



Ministère de la Transition
écologique et solidaire

Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale des Territoires de la Savoie

1 rue des Cévennes

73011 Chambéry Cedex

ÉTUDE DES ALEAS RELATIFS AUX CRUES DU GUIERS ET DE SES AFFLUENTS SUR LES DEPARTEMENTS DE LA SAVOIE ET DE L'ISERE

TERRITOIRE N°2 : L'AINAN



RAPPORT
D'ETUDE -
TERRITOIRE N 2



N° d'Affaire FR 16-044

FR 20-032

Version 4.2

Révisions de septembre
2020 à avril 2021

Emetteur(s) HYDRETTDES
 Alpes du Nord
 Alpespace – 429 Avenue
 Léonard de Vinci
 73800 STE HELENE DU
 LAC
 Tél. : 04 79 96 14 57
 contact-
 savoie@hydretudes.com



Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

Arrêté du 15 novembre 2012 portant agrément d'organismes
 intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques

NOR : DEF1220744

IV. – Dignes et petits barrages - études et diagnostics

NUMERO D'AGREMENT	DESIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGREE : dignes et barrages - études et diagnostics	AGREE JUSQU'AU
14	HYDRETTDES	10 juin 2017

V. – Dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux

NUMERO D'AGREMENT	DESIGNATION DE L'ENTREPRISE OU DE L'ORGANISME AGREE : dignes et petits barrages - études, diagnostics et suivi des travaux	AGREE JUSQU'AU
14	HYDRETTDES	10 juin 2017

Réf. 16-044 et 20-032

Objet : ETTTDES DES ALEAS RELATIFS AUX CRUES DU GUIERS ET DE SES AFFLUENTS SUR LES
 DEPARTEMENTS DE LA SAVOIE ET DE L'ISERE

Mission : Etudes hydrologique et hydraulique

Type de document : Rapport d'étude - Territoire n 2

Société(s) : HYDRETTDES

Maître d'Ouvrage : DDT 73 et DDT 38

Indice	Date	Mise à jour	Phase	Statut du document	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
01	28/03/2019	28/03/2019	Première diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> Provisoire <input type="checkbox"/> Définitif	Cécile PICOUET	Benoit CHAPON	Didier CLEMENT
02	11/05/2020	25/05/2020	Diffusion du rapport définitif DDT73	<input type="checkbox"/> Provisoire <input checked="" type="checkbox"/> Définitif	Nicolas BOULANDET	Cécile PICOUET	Didier CLEMENT
03	24/09/2020		Révision DDT 38	<input checked="" type="checkbox"/> Définitif	Cécile PICOUET		Didier CLEMENT
04	06/05/2021	17/05/2021	2ème Révision DDT38	<input checked="" type="checkbox"/> Définitif	Cécile PICOUET		Didier CLEMENT

Chef de projet : Cécile PICOUET

Rédacteur(s) : Cécile PICOUET et Nicolas BOULANDET

Vérificateur(s) : Benoît CHAPON et Romain CHEVAUDONNA

*Document protégé, propriété exclusive d'HYDRETTDES. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers
 à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.*

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX	6
0. RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE	7
0.1. ARTICULATION GENERALE DE L'ETUDE	7
0.2. OBJECTIF ET DEMARCHE ADOPTEE POUR LE TERRITOIRE N°2	8
0.2.1. Définition de l'événement de crue de référence à retenir pour l'aléa	8
0.2.2. Phénomènes d'inondation pris en compte et grille de qualification.....	9
0.2.3. Mode de détermination de l'aléa "inondation" vs phénomènes traités	9
0.3. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA CONJUGUÉ	10
1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET DEMARCHE SADOPTÉES	12
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	12
1.2. RAPPEL DU PERIMETRE PRIS EN COMPTE	13
1.3. DEMARCHE ADOPTEE POUR LE TERRITOIRE N°2	14
1.3.1. Définition des phénomènes d'inondations pris en compte	14
1.3.2. Démarche pour construire l'aléa de référence	14
1.4. OBJECTIF ET PHASAGE DE L'ETUDE	18
2. DESCRIPTION ET PRINCIPALES SPECIFICITES DU BASSIN VERSANT	20
2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE	20
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	21
2.3. CONTEXTE ANTHROPIQUE	22
2.4. CONTEXTE CLIMATIQUE	23
2.4.1. Postes et données pluviométriques	23
2.4.2. Climatologie	24
2.4.3. Pluviométrie exceptionnelle	26
2.5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE	30
2.5.1. Analyse des données historiques	30
2.5.2. Analyse des données observées aux stations hydrométriques	35
2.5.3. Estimations des débits caractéristiques	43
2.5.4. Hydrogrammes caractéristiques	53
3. METHODES UTILISEES POUR L'ETUDE DE L'ALEA INONDATION SUR LE TERRITOIRE N°2	57
3.1. MODELISATION HYDRAULIQUE 1D/2D	57
3.1.1. Topographie et construction du MNT	58
3.1.2. Hypothèses de base et construction des modèles	58

3.1.3.	Paramètres (valeurs optimisées).....	61
3.1.4.	Conditions aux limites	63
3.2.	ANALYSE DU TRANSPORT SOLIDE ET DES EMBACLES	63
3.2.1.	Résultats des études antérieures	64
3.2.2.	Evaluation du risque d'embâcles (bois mort et matériaux)	71
3.3.	ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE DE DIGUE	74
3.3.1.	Recensement et caractéristiques des digues	74
3.3.2.	Choix des ouvrages à effacer et localisation des ruptures/ruines de digues.....	76
3.4.	APPROCHE MIXTE PAR GENERATION D'UNE SURFACE D'EAU ET PROJECTION SUR UN MNT	77
3.5.	ANALYSE HYDRO-HYDROMORPHOLOGIQUE	79
3.6.	AJUSTEMENT A DIRE D'EXPERT	80
4.	QUALIFICATION DE L'ALEA SUR LE TERRITOIRE N°2.....	84
4.1.	CHOIX DE LA CRUE DE REFERENCE	84
4.1.1.	Identification de la plus forte crue sur le périmètre de l'Ainan	84
4.1.2.	Scenario hydrologique de référence retenu	84
4.2.	QUALIFICATION DE L'ALEA SECTEUR PAR SECTEUR	87
4.2.1.	Secteur de Chirens amont (jusqu'à la station de pompage du marais)	88
4.2.2.	Secteur de Chirens à La Côte d'Ainan	90
4.2.3.	Secteur de la Côte d'Ainan à Saint Bueil	96
4.2.4.	Secteur des gorges de Saint Bueil	103
4.2.5.	<i>De l'ancienne usine MIVA à la confluence avec le ruisseau du brut.....</i>	<i>103</i>
4.2.6.	Secteur des gorges de Voissant jusqu'à la confluence avec le Guiers	107
5.	MISE EN PERSPECTIVE DE LA PRESENTE ETUDE PAR RAPPORT A L'AZI DE 2004.....	109

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Périmètre pris en compte.....	13
Figure 2. Echelles d'analyse hydrologique & hydraulique.....	15
Figure 3: Type d'approche par secteurs en fonction de la pente (et donc des phénomènes) et des enjeux pour le territoire n°2.....	16
Figure 4 : Bassin versant du Guiers et ses affluents. L'étude porte sur le bassin versant de l'Ainan (Territoire n°2)	20
Figure 5 : Profil en long de l'Ainan (Burgeap, 2006) et modifié d'après Alp'Georisque (2003).....	21
Figure 6 : Occupation du sol (CMLC, 2012), localisation et répartition des digues de l'état des digues du bassin versant.....	22

Figure 7 : Localisation des stations de mesures des paramètres météorologiques et des débits à l'intérieur et à l'extérieur du bassin versant du Guiers.....	23
Figure 8 Précipitations moyennes mensuelles dans le val d'Ainan (Burgeap, 2006 d'après Alp'Georisque, 2003).....	25
Figure 9 : Evolution des températures et des précipitations moyennes (Statistiques 1981–2010) sur les deux stations caractéristiques du bassin versant du Guiers.....	25
Figure 10 : Quelques records d'épisodes pluvieux récents à caractère exceptionnel >100 mm en 24 h (source : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Cartes-pluviometriques.html).....	27
Figure 11 : Localisation des pixels SHYREG à l'intérieur et à l'extérieur du bassin versant du Guiers. 29	
Figure 12 Modification morphologique du lit de l'Ainan suite à la crue de 2002 (IRMA - http://www.irma-grenoble.com/PDF/o6sorties/expo_itinerante/o1StGeoire-3panos.pdf).....	33
Figure 13 Cumul sur 24h (06/06/2002) - Pluies extrêmes en France métropolitaine et en outre-mer (MétéoFrance).....	34
Figure 14 Illustration des embâcles causés par les affluents de l'Ainan en 2002 (IRMA - http://www.irma-grenoble.com/PDF/o6sorties/expo_itinerante/o1StGeoire-3panos.pdf).....	34
Figure 15 : Localisation des stations hydrométriques disponibles sur et autour du bassin versant du Guiers.....	36
Figure 16 : Ecoulements mensuels (naturels) en m ³ /s pour 4 stations hydrométriques du bassin versant du Guiers (source : BANQUE HYDRO)	37
Figure 17. L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine - CRUCAL : débits maximaux instantanés de crue (1972 - 1986) - Période du 1 septembre au 31 août - Ajustement à une loi de GUMBEL sur 14 valeurs et 14 années.....	38
Figure 18 : Répartition mensuelle des crues (nombre de crue par mois).....	39
Figure 19 Comparaison des hydrogrammes normés de l'Ainan.....	42
Figure 20 Comparaison des ajustements de Gumbel sur plusieurs cours d'eau similaires (débits spécifiques) Burgeap (2006)	45
Figure 21 Ajustement des débits de l'Ainan à l'exutoire	46
Figure 22 Comparaison des régressions linéaires des valeurs Alp-Géorisques et des valeurs Burgeap retenues	46
Figure 23 Débits retenus pour l'Ainan - Burgeap (2009).....	48
Figure 24 Débits retenus pour les affluents de l'Ainan - Burgeap (2009)	48
Figure 25 Comparaison des estimations de débit selon le point de calcul sur l'Ainan pour Q ₁₀	51
Figure 26 Comparaison des estimations de débit selon le point de calcul sur l'Ainan pour Q ₁₀₀	52
Figure 27 : hydrogramme de référence retenu (normé) - (territoire n°2).....	53
Figure 28 : Comparaison des hydrogrammes MESRI et de référence retenue à l'exutoire (territoire n°2).	54
Figure 29 : Sectorisation des modélisations.....	58
Figure 30 : Exemple de construction du modèle 1D/2D.....	60

Figure 31 : Exemple de construction des ponts	61
Figure 32 : Exemple d'ouvrage sans et avec obstruction (ici à 90% de la surface initiale)	63
Figure 33 : Exemple d'analyse diachronique en aval de St-Geoire (Burgeap, 2006).....	68
Figure 34 : Profil en long des forces tractrices (Burgeap, 2006).....	69
Figure 35 : Profil en long des capacités de transport solide (Burgeap, 2006).....	69
Figure 36 : Localisation des travaux d'élimination d'embâcles suite à la crue et bilan des travaux d'élimination des embâcles (entre octobre 2002 et juin 2003, après la crue du 6 juin 2002) (Burgeap, 2006).....	70
Figure 37 : Etat des boisements de berge (Burgeap, 2006).....	70
Figure 38 : Transport et équilibre sédimentaire de l'Ainan (Burgeap, 2010 et modifié)	71
Figure 39: Type d'approche par secteurs pour le territoire n°2.....	73
Figure 40: Illustration des paramètres hydrauliques pris en compte	75
Figure 41: Localisation des digues - Profil en travers et ligne d'eau Q100 – les digues sont contournées.	77
Figure 42 : Ligne de charge ; charge spécifique (cf. G. Degoutte)	77
Figure 43 : Principe de génération de la surface en eau (CEREMA, 2016 - http://www.sud-ouest.cerema.fr/IMG/pdf/o8_AtelierGeothematique_161108_DREAL-NA-SPC.pdf).....	78
Figure 44 : Exemple de résultats.....	78
Figure 45 : Exemple de résultats pour l'approche mixte.....	79
Figure 46 : Organisation de la plaine alluviale (schéma générale)	80
Figure 47 : Illustration des différents secteurs analysés.....	88
Figure 48 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 1 - Ainan.....	90
Figure 49 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 2-3-Ainan	95
Figure 50 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 4-Ainan	96
Figure 51 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 5 et 6 - Ainan	101
Figure 52 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 7 et 8 - Ainan	102
Figure 53 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 9 et 10 - Ainan.....	107
Figure 54 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 9 et 10 - Ainan	108
Figure 56 : Illustration des différences de limite de zonage de l'aléa crue rapide des rivières entre les différentes cartographies pour l'Ainan (données issues du LIDAR 2016 pour le profil en travers) ...	113

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Stations Météo-France sur le bassin versant disposant de longues séries de données quotidiennes (en gras dans le tableau).....	24
Tableau 2 : Quelques records d'épisodes pluvieux récents à caractère exceptionnel >100 mm en 24 h (source : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Cartes-pluviometriques.html).....	26
Tableau 3 : Précipitations journalières maximales centrées (Alp'Géorisques, 2004).....	28
Tableau 4 : Précipitations journalières maximales - Valeurs corrigées des pluviométries exceptionnelles pour les 5 stations (cumuls journaliers en mm suite à une correction de Weiss de 1,14) - (Merlin, 2015)	28
Tableau 5 : Précipitations journalières maximales en mm de période de retour 100 ans (données SHYREG Météo France - 1 km ²)	30
Tableau 6 : Principales sources de données analysées pour l'étude des crues historiques sur le bassin de l'Ainan	31
Tableau 7 : Crues les plus remarquables sur l'Ainan (avant 2002).....	32
Tableau 8 : Caractéristiques des stations hydrométriques.....	36
Tableau 9 : Crues remarquables modernes enregistrées aux 3 stations de référence du bassin versant du Guiers.....	41
Tableau 10 : Estimation des débits de l'Ainan (Alp'Géorisque (étude post-crue de 2003).....	44
Tableau 11 : Débits retenus pour l'Ainan - Burgeap (2006).....	47
Tableau 12 : Débits retenus pour les affluents de l'Ainan - Burgeap (2006).....	47
Tableau 13 : Valeurs du débit de pointe décennal estimé par les formules usuelles d'hydrologie Merlin (2015) :	49
Tableau 14 : Valeurs du débit de pointe décennal estimées par les formules CRUPEDIX et SOCOSE (HYDRETUDES). Avec Pa=1128 mm ; Pj(10)=118,8mm et Ta=11°C.....	50
Tableau 15 : Valeurs du débit de pointe décennal et centennale estimées à l'aide du modèle MESRI (HYDRETUDES).	51
Tableau 16 : Caractéristiques générales des modèles 1D/2D.....	58
Tableau 17 : Paramètres de rugosité pour le lit majeur - moteur 2D.....	62
Tableau 18 : Débits Crue de référence pour l'Ainan (basée sur la crue de 100 m ³ /s le 6 juin 2002 au seuil MIVA).....	84

o. RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE

o.1. ARTICULATION GENERALE DE L'ETUDE

Pour réaliser la cartographie de l'aléa "inondation" du Guiers et de certains de ses affluents dans les départements de la Savoie et de l'Isère, le service sécurité et risques de la direction départementale des territoires de Savoie (DDT73/SSR), associé à celui de l'Isère ont mandaté un bureau d'étude spécialisé (HYDRETUDES).

Les processus pouvant provoquer le phénomène d'inondation pris en compte pour l'étude des aléas liés aux crues du Guiers et de ses affluents sont au nombre de 4 :

1. **Crue débordante** de part et d'autre des cours d'eau principaux (lié à une pluviométrie conséquente, parfois associée à une fonte de la neige).
2. **Embâcles et engravement** liés au transport de matériaux (bois mort et/ou cailloux) (phénomènes aggravants).
3. **Crues torrentielles** (débit solide important en plus du débit liquide)
4. **Défaillances des digues** (ruines et ruptures de digues)

La construction des cartes d'aléa inondation a pour objet d'établir le degré d'exposition d'une zone à ces 4 phénomènes et de retenir *in fine* le scénario le plus pénalisant pour une zone donnée.

Trois étapes sont ainsi nécessaires : 1/ la définition de l'événement de crue de référence à retenir pour l'aléa ; 2/ l'étude des écoulements de crue et les débordements pour les différents types d'inondations envisagés ; et 3/ la qualification et la cartographie de l'aléa conjugué.

La qualification des aléas comprend ainsi 2 niveaux d'intervention pour 2 échelles :

- Le **bassin versant du Guiers** (env. 614 km²) pour l'aspect Hydrologique de l'étude subdivisé en 3 territoires de signification hydrologique (Guiers amont, Ainan, Guiers aval).

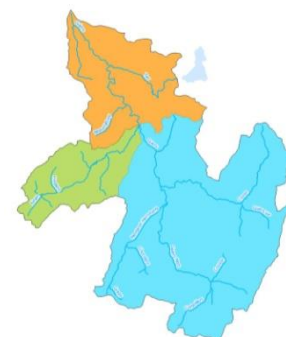
Territoire n°1 : bassin versant du Guiers à l'amont de la confluence avec l'Ainan (348 km²)

Territoire n°2 : bassin versant de l'Ainan (~75.6 km²)

Territoire n°3 : bassin versant du Guiers de la confluence avec le l'Ainan au Rhône (~122 km²)

Cette échelle d'étude correspond au domaine de **l'hydrologie** qui permet la connaissance et l'estimation des débits de crues. Les données de pluies et de débits sont ici essentielles.

- Les **zones de débordements potentiels** (liés aux 4 phénomènes d'inondation étudiés). L'échelle est alors celle du bief de cours d'eau (lit mineur et lit majeur). Les méthodes de qualification de l'aléa à partir de critères plus ou moins quantitatifs varient selon les secteurs au vu des caractéristiques spécifiques des cours d'eau du bassin versant du Guiers (pente, vitesse de montée de la crue notamment). Deux approches distinctes mais complémentaires sont utilisées : **approche par modélisation hydraulique et hydromorphologique**. Les données topographiques (levées terrestres et LIDAR) constituent le socle de cette analyse.



Le présent rapport traite uniquement du territoire n°2 qui correspond au bassin versant de l'Ainan (~75.6 km²). Par rapport aux deux autres territoires, une marge de recul de part et d'autre du cours d'eau a été introduites pour traduire le potentiel recul des berges dû à l'érosion, objet d'une expertise demandée par la DDT de l'Isère en 2020.

0.2. OBJECTIF ET DEMARCHE ADOPTEE POUR LE TERRITOIRE N°2

L'objet de la présente étude réalisée par le bureau HYDRETTUES est ainsi de fournir aux Directions Départementales des Territoires de Savoie et de l'Isère (DDT73&38), les éléments techniques nécessaires à la définition de l'aléa inondation pour la crue de référence en l'état actuel des cours d'eau sur le périmètre d'étude du territoire n°2 (l'Ainan).

0.2.1. DEFINITION DE L'ÉVENEMENT DE CRUE DE REFERENCE A RETENIR POUR L'ALEA

Cet événement de référence est défini selon les principes nationaux, comme la crue historique la plus importante connue ou une crue centennale modélisée si cette dernière est supérieure.

Il s'agissait ainsi de répondre aux différentes questions essentielles suivantes :

- Existe-t-il des crues historiques plus fortes que la crue centennale ?
- Quel scénario de référence (hydrogrammes) faut-il injecter dans les modélisations hydrauliques pour respecter la crue de référence du Guiers et de ses affluents de l'amont à l'aval ?

L'analyse des données anciennes et modernes a fait apparaître qu'une crue de période de retour égale ou supérieure à 100 ans a déjà eu lieu. Cette crue est la crue de Juin 2002 où le débit de pointe estimé au seuil MIVA est de 100 m³/s (Alpgeoriques, 2003), soit un débit plus que centennale au niveau de l'exutoire dans le Guiers (suivant les débits de référence Q₁₀₀ estimés par Burgeap, 2006).

Cette crue exceptionnelle résulte de pluies intenses cumulées sur le bassin versant (150 à 200 mm sur 24h) ayant saturé les sols (déjà peu perméable) suivie d'une pluie localisée très violente. Une particularité de cette crue et des dégâts qu'elle a occasionnés est le rôle majeur des affluents et des embâcles (sur-aléas). Les affluents, en particulier les affluents rive gauche sur la commune de St-Geoire (Gorge, Verderet, Cascade), ont connu des crues beaucoup plus rares que celles sur le cours d'eau principal de l'Ainan. Les crues des affluents ne sont pas prises en compte. Seule la crue de l'Ainan est étudiée. La crue de référence ne reproduit pas la crue de 2002.

Bien que les données chiffrées soient très parcellaires (la station hydrométrique de la DREAL à Saint-Geoire-en-Valdaine a été détruite en 200 -elle n'a jamais été remise en état depuis cette date), le **débit estimé en 2002 de 100 m³/s au seuil de la MIVA à St-Bueil (Alpgeoriques, 2003) est retenu comme référence** pour la crue historique de 2002 de l'Ainan. Les débits pour les autres points de calcul sur le bassin versant de l'Ainan sont obtenus selon la formule de Myer avec un alpha de 0.75 afin de garder une homogénéité des fréquences sur l'ensemble du cours d'eau.

Le tableau suivant synthétise les débits estimés aux principaux points de calcul.

Point de calcul	Surface (km ²)	Q ₁₀₀ [m ³ /s]	Q événement de référence [m ³ /s]
Arsenal	17,5	31	35,2
Cote d'Ainan	37,3	57	62,1
Pont du Moulin	41,4	63	67,2
Station DIREN	45,0	64	71,5
Champet	50,4	71	77,8

La Pale	53,5	74	81,4
Amont MIVA	70,4	86	100
Confluence	75,9	95	105,8

L'hydrogramme normé de référence retenu pour la crue de l'Ainan est celui déterminé dans la présente étude à partir de l'analyse des hydrogrammes extraits de la banque Hydro. Il présente une montée de crue d'environ 15-20 heures (durée de la croissance rapide d'environ 12h) et une décrue longue sur plus de 60 heures traduisant des écoulements retardés importants sur ce bassin versant (fin de l'écoulement rapide crue à + 30 heures). Il est appliqué à l'ensemble des points de calcul et des périodes de retour.

0.2.2. PHENOMENES D'INONDATION PRIS EN COMPTE ET GRILLE DE QUALIFICATION

Sur le territoire n°2, le phénomène d'inondation pris en compte est l'**Aléa crues rapides (C)**. Les phénomènes aggravant que sont les embâcles (matériaux et corps flottants) ou l'engravement (dépôt de matériaux solides au cours de l'évènement de référence ou par évolution prévisible à long terme) sont pris en compte.

Les axes préférentiels d'écoulement des eaux, dont les lits mineurs, et les plans d'eau sont classés en aléa très fort (C4). Une marge de recul dans la cartographie de l'aléa inondation, telle qu'elle est pratiquée sur le département de l'Isère, a été adoptée pour traduire le caractère torrentiel spécifique de l'Ainan. Elle correspond à une bande de recul systématique de 10 mètres de part et d'autre des limites du cours d'eau, tel qu'il est défini dans la cartographie de 2020, avec des ajustements locaux plus larges suivant les caractéristiques du cours d'eau. L'aléa doit être considéré comme « Très fort » (C4) sur l'ensemble de la marge de recul.

Pour les zones inondables hors lits mineurs des cours d'eau, plans d'eau et zones d'érosions, les critères de qualification du niveau d'aléa sont issus de la **grille Hauteur x Vitesse** de la DDT.

Vitesse v en m/s						
Hauteur	v < 0,2	0,2 < v < 0,5	0,5 < v < 1	1 < v < 2	v > 2	
H en m						
H < 0,5	Faible (C1)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Très fort (C4)	Très fort avec vitesse aggravante (C5)	
0,5 < H < 1	Moyen (C2)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Très fort (C4)		
1 < H < 2	Fort (C3)		Très fort (C4)	Très fort (C4)		
H > 2 (zone de très forte hauteur d'eau)	Très fort (C4)			Très fort (C4)		

0.2.3. MODE DE DETERMINATION DE L'ALEA "INONDATION" VS PHENOMENES TRAITES

Suivant le bief de cours d'eau, différentes approches pour qualifier l'aléa sont utilisées : modélisation hydraulique 2D et 1D/2D avec prise en compte des phénomènes aggravants (embâcles et engravement), analyse hydro-morphologique (connaissances historiques, analyse du relief et reconnaissances de terrain...) ou combinaison des deux méthodes pour les secteurs à la limite des deux phénomènes d'inondation C et T (approche mixte à partir des sorties du modèle hydraulique 1D et analyses historiques et de terrain).

La modélisation 2D et 1D/2D concerne la majorité du linéaire de l'Ainan ou de nombreux enjeux sont présents. Le secteur amont de Chirens est traité à dire d'expert puis modélisé en tout 2D jusqu'à Saint-Jeoire en Valdaine. Une modélisation 1D/2D est réalisée dès lors jusqu'à l'amont des gorges aval. Ce dernier secteur est traité à dire d'expert.

Quelle que soit la méthode utilisée, les **données topographiques** constituent la base de la détermination de l'aléa inondation. Deux sources de données sont disponibles :

- Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu des données « LIDAR » produites en mai 2016 sur le territoire concerné par l'étude (emprise maximale des zones potentiellement inondables) et dont dispose la DDT. Le modèle numérique de terrain présente une résolution fine. Il apporte donc une réelle plus-value en comparaison d'une analyse à partir des cartes IGN. La méthodologie est présentée en annexe du rapport.
- Les données topographiques terrestres en lit mineur issues des données topographiques terrestres existantes et des nouveaux levés réalisés pour la présente étude par HYDRETUDES 2017.

o.3. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA CONJUGUÉ

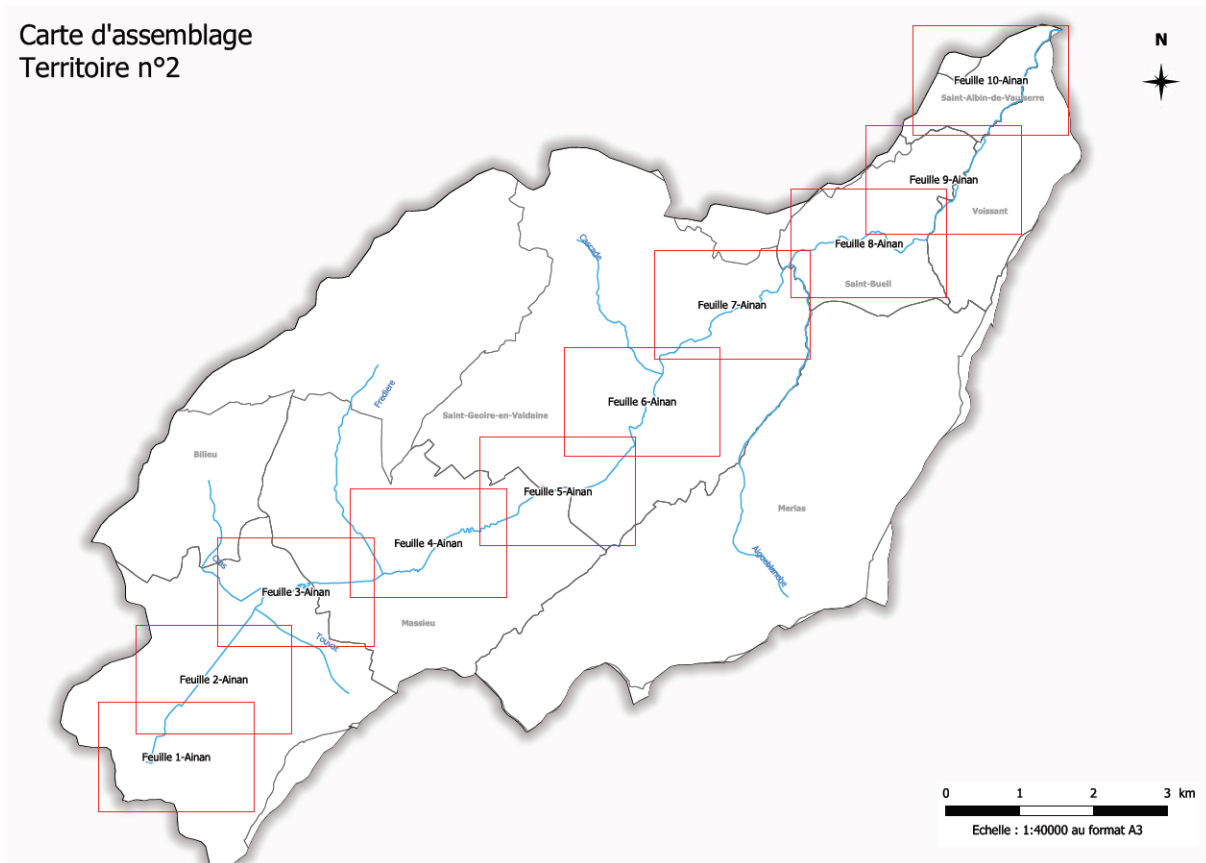
La cartographie conjuguée finale est une représentation du scénario le plus pénalisant en tous points, quelle que soit la méthode utilisée (modélisation hydraulique ou à dire d'expert).

La qualification de cet aléa conjugué est réalisée à partir des mêmes grilles DDT « crues rapides des rivières » citées précédemment.

La carte finale des aléas est obtenue par un lissage manuel des polygones obtenus par combinaison de tous les scénarios. Ce lissage fin est réalisé en vue d'effacer des artefacts dus aux croisements des données ou de lisser des polygones isolés (terrains isolés entièrement cernés par une zone inondable présentant un niveau d'aléa différent) justifié par le fait de leur éloignement ou du niveau d'aléa plus important dans la zone qui les entoure en cas de survenance d'une crise.

Au final, un atlas cartographique de l'aléa inondation de l'Ainan est disponible au format A3. Il comprend 3 jeux de cartes (Aléa, hauteur et vitesse), comprenant chacun 10 feuilles (échelle au 1/5000) et une planche de situation (échelle 1/10000).

Carte d'assemblage
Territoire n°2



1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET DEMARCHES ADOPTEES

L'étude présentée dans ce rapport présente uniquement les étapes et les résultats du territoire n°2, c'est-à-dire le bassin versant de l'Ainan. La méthodologie pour ce territoire, bien que relativement similaire, présente des particularités (voir ci-dessous). Les territoires n°1 et n°3, regroupant le Guiers amont et aval, sont traités par ailleurs.

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le Guiers et ses affluents drainent un bassin versant de 614 km² et un réseau hydrographique principal de 130 km environ. En 2016, les services de l'État ont mis en exergue la forte problématique "risque" de ce territoire et la nécessité de disposer d'une connaissance du risque d'inondation homogène sur les départements de l'Isère et de la Savoie mitoyens par le Guiers.

Or la connaissance de l'aléa d'inondation du Guiers et de ses principaux affluents a été très évolutive et morcelée au fil du temps, notamment sur l'Ainan.

Un Atlas des Zones Inondables (AZI) du Guiers (en totalité) et de ses affluents (partie iséroise) a été établi en septembre 2004 par Alp'géorisques et la DDAF de l'Isère. Sa réalisation est basée sur une approche hydro-géomorphologique maximaliste (voir partie 4). Un atlas à l'échelle 1/10 000ème a ainsi été produit et porté à connaissance des communes à cette époque.

L'Ainan a été traité de manière séparée dans l'AZI de 2004 suite aux événements de juin 2002. **Ce sont les zones inondables définies dans l'étude post-crue de 2003 (Alp'géorisques, 2003) qui ont été reportées directement sur le fond IGN géoréférencé.** Rappelons également que l'AZI de 2004 ne prend pas en compte les affluents savoyards du Guiers (en rive droite du Guiers Vif puis du Guiers). D'autres cartes des aléas naturels de la commune de Chirens (Alpes-Géo-Conseil (2000) et des cartes des aléas hydrauliques des communes des bassins versants de l'Ainan et du Malfossant ont été réalisées par Alp'Georisque (2006) pour la DDAF 38 à cette époque (entre décembre 2004 et mars 2006). Elles ont conduit à des cartes multirisques utilisées par les communes (sauf pour la commune de St Albin de Vaulserre).

En 2014, l'étude de Burgeap (2014) " Etude de définition de l'espace de bon fonctionnement des cours d'eau du bassin versant du Guiers " réalisée pour le SIAGA en 2014-2015, fournit sur l'ensemble du Guiers et de ses affluents différentes limites d'espaces alluviaux.

En 2016, les DDT 73 et 38 ont souhaité mettre à jour la cartographie de l'aléa d'inondation du Guiers et de ses principaux affluents, dont l'Ainan. Pour réaliser cette cartographie :

- un levé LIDAR (Light Detection And Ranging) a été réalisé en mai 2016 sur le territoire concerné par l'étude (emprise maximale des zones potentiellement inondables) en conséquence.
- les services sécurité et risques de la direction départementale des territoires de la Savoie et de l'Isère ont mandaté un bureau d'étude spécialisé (HYDRETUDES) en 2016 pour étudier les inondations du Guiers et de certains de ses affluents.

En 2020, la DDT 38 a souhaité mettre en perspective la carte de l'aléa crue rapide des rivières portées par la DDT73 sur l'Ainan par rapport aux anciennes cartes des aléas hydrauliques sur 12 secteurs spécifiques du bassin versant de l'Ainan (HYDRETUDES, 2020).

Suite à cette mise en perspective, la DDT 38 a souhaité introduire la notion de « Marge de recul » dans la cartographie de l'aléa afin de traduire le potentiel recul des berges dû à l'érosion sur ce territoire spécifique.

kilomètres pour l'Ainan. Sur ce secteur, 6 communes sont directement concernées par l'étude : Chirens, Massieu, Saint-Geoire-en-Valdaine, Saint Bueil, Voissant et Saint Albin de Vaulserre.

1.3. DEMARCHE ADOPTEE POUR LE TERRITOIRE N°2

1.3.1. DEFINITION DES PHENOMENES D'INONDATIONS PRIS EN COMPTE

Sur le territoire n°2, le phénomène d'inondation pris en compte est l'**Aléa crues rapides (C)**. Les phénomènes aggravant que sont les embâcles (matériaux et corps flottants) ou l'engravement (dépôt de matériaux solides au cours de l'évènement de référence ou par évolution prévisible à long terme) sont pris en compte.

Le linéaire à étudier présente de très faibles tronçons endigués ; par conséquent, l'étude identifie s'il existe ou pas un sur-aléa lié à ces éléments longitudinaux et s'il faut le prendre en compte dans la détermination de l'aléa conjugué.

1.3.2. DEMARCHE POUR CONSTRUIRE L'ALEA DE REFERENCE

La modélisation puis la construction des cartes d'aléa inondation conformément aux principes d'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI) a pour objet d'établir le degré d'exposition d'une zone aux inondations.

Pour le territoire n°2, elle nécessite quatre étapes présentées ci-dessous :

1. Définition de l'évènement de référence à retenir pour l'aléa.

La circulaire interministérielle du 24 janvier 1994 précise que l'aléa de référence est « la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de référence centennale, cette dernière ».

L'échelle d'étude est celle du bassin versant. Cette étape consiste donc à rechercher, aux principaux nœuds hydrologiques du bassin versant du Guiers la plus forte connue à partir des données à disposition (données historiques ou modernes) à lui attribuer un temps de retour ; et si celle-ci est plus faible qu'une crue centennale à déterminer la crue de référence centennale.

Cet aspect est lié au domaine de l'**hydrologie de surface** qui propose des outils et des méthodes qui permettent la connaissance et l'estimation des débits de crues (et leur fréquence) pour in fine proposer soit un débit de pointe de crue, soit un hydrogramme de crue, soit encore différents scénarios de crue. Dans la pratique, le choix d'une méthode par rapport à une autre dépend essentiellement des données à disposition sur le bassin versant étudié – principalement des données de débits, facteur la plupart du temps limitant en hydrologie – et du temps accordé à l'étude hydrologique.

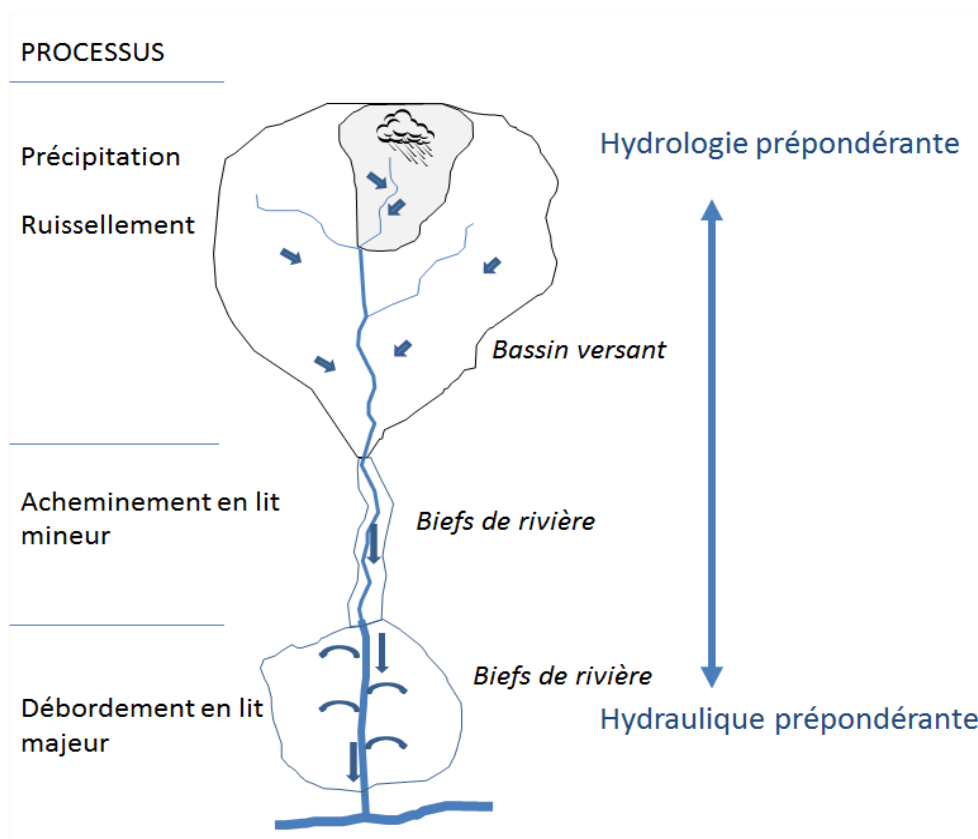


Figure 2. Echelles d'analyse hydrologique & hydraulique

2. Etude de l'aléa inondation C pour la crue de référence.

L'échelle est alors celle du bief de cours d'eau (lit mineur et lit majeur). Les méthodes varient selon les secteurs aux vues de leurs caractéristiques spécifiques (pente, vitesse de montée de la crue). Elles fournissent des **critères de qualification de l'aléa plus ou moins quantitatif** qui seront utilisées pour la cartographie. Les données topographiques (levées terrestres et LIDAR) constituent le socle de cette analyse.

Pour définir les zones inondables ; deux approches distinctes mais complémentaires ont ainsi été utilisées :

- **L'approche par modélisation hydraulique.** Cette approche est quantitative dans le sens où elle permet de fournir des hauteurs d'eau, des vitesses, des zones inondées utiles à la qualification de l'aléa et à sa cartographie. Elle nécessite un modèle hydraulique tout 2D ou 1D/2D qui permet de simuler par ordinateur la propagation des écoulements au sein du réseau hydrographique (lit mineur et lit majeur) lors de l'événement de référence (défini au préalable). Ces méthodes dépendent très fortement des hydrogrammes de crues injectées et de la qualité de la topographie, données de base des modèles hydrauliques. Elles sont très utiles dans le sens où elles permettent de simuler la propagation des écoulements dans le lit majeur (et les critères de hauteur et vitesse nécessaires à la qualification de l'aléa) pour différents scénarios de crue, d'embâcles, de ruptures ou de ruines de digues.
- **L'approche hydromorphologique.** Cette approche est plus naturaliste et qualitative. Sans calculs, elle est fondée sur la compréhension du fonctionnement naturel des

cours d'eau (érosion, sédimentation...) au cours du temps. Elle ne permet pas de définir une crue de référence au sens strict du terme mais fournit cependant une vision de l'espace d'expression des crues d'un cours d'eau aux différentes gammes de crue. Elle est un préalable capital à toute étude hydraulique. La qualification de l'aléa est dite « à dire d'expert » puisqu'elle repose sur une approche plus qualitative mais néanmoins reconnues. C'est cette approche qui a été utilisée dans le cadre du Plan de Prévention des Risques Inondation du Guiers de 2004 et de l'Ainan de 2005 puis dans la cartographie des aléas hydrauliques de 2004/2006 (Alp'Géorisques, 2006) à partir des connaissances historiques et partir de reconnaissances de terrain.

Suivant le bief de cours d'eau et les phénomènes concernés, l'une ou l'autre des deux approches, est utilisée. Dans certains secteurs une approche mixte a été développée. Elle combine les résultats de modélisations hydrauliques avec l'analyse hydromorphologique et à dire d'expert.

La figure ci-dessous présente les différents secteurs pour lesquels une modélisation hydraulique 2D, 1D/2D, une analyse hydro-morphologique ou la combinaison des deux méthodes ont été utilisées pour qualifier l'aléa dans le cas du territoire n°2.

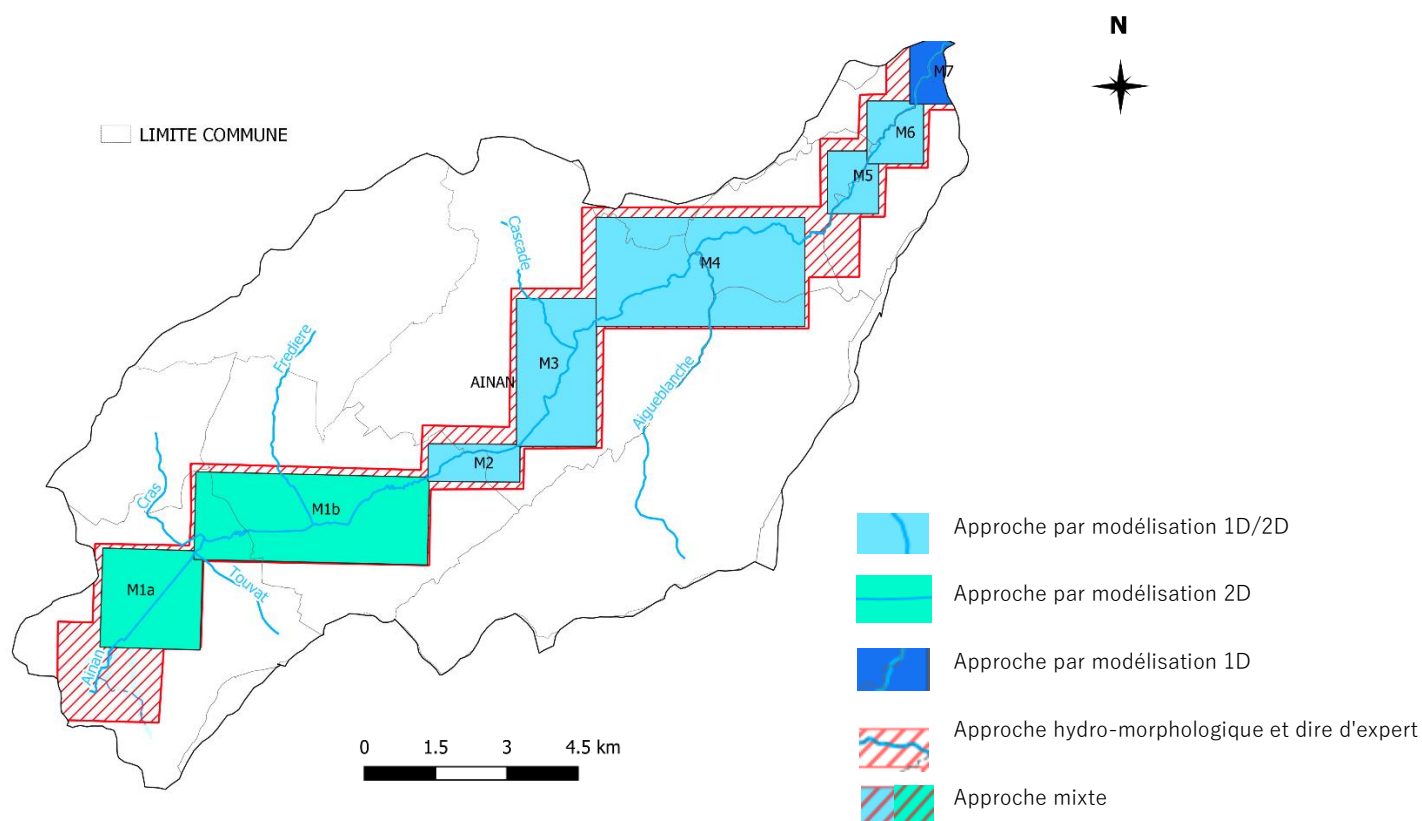


Figure 3: Type d'approche par secteurs en fonction de la pente (et donc des phénomènes) et des enjeux pour le territoire n°2

- Le secteur le plus en amont (Chirens et marais du Val d'Ainan) est traité par une approche mixte (hydromorphologique et modélisation tout 2D). Cette approche a été retenue en raison des conditions hydrologiques et des conditions morphologiques du

cours d'eau. L'approche 2D a notamment été choisie pour l'évaluation des écoulements sur les secteurs à très faibles pentes (marais).

- Le secteur intermédiaire de l'Ainan où sont concentrés la majorité des enjeux a été traité en 1D/2D complétée par une analyse à dire d'expert. Ce secteur s'étend de Saint Geoire en Valdaine jusqu'aux gorges en amont de la confluence avec le Guiers.
- Le dernier secteur de confluence a été traité par une approche mixte (1D et hydromorphologique), en raison des faibles enjeux et des conditions d'écoulement présents.

Dans le cas du territoire n°2 et suite aux premiers diagnostic hydrauliques, seule la configuration A a été étudiée (c'est-à-dire sans prise ne compte de digue).

Scenario	Nom du scenario	Phénomènes d'inondation traités (y compris processus aggravants)
A	Aléa de référence en l'état actuel du système d'endiguement	<ul style="list-style-type: none"> • Crue débordante (C) • Embâcles et engrèvement • Etude de la mise en charge des digues • Erosion et mobilité du lit (rivière torrentielle)

3. Qualification de l'aléa.

Pour l'aléa crues rapides (C), les critères de qualification du niveau d'aléa sont issus de la grille Hauteur x Vitesse de la DDT ci-dessous :

		Vitesse v en m/s				
Hauteur H en m		v < 0,2	0,2 < v < 0,5	0,5 < v < 1	1 < v < 2	v > 2
H < 0,5		Faible (C1)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Très fort (C4)	Très fort avec vitesse aggravante (C5)
0,5 < H < 1		Moyen (C2)	Moyen (C2)	Fort (C3)	Très fort (C4)	
1 < H < 2		Fort (C3)		Très fort (C4)	Très fort (C4)	
H > 2 (zone de très forte hauteur d'eau)		Très fort (C4)			Très fort (C4)	

Les axes préférentiels d'écoulement des eaux et plans d'eau sont classés en aléa très fort (C₄). Sont également classées en aléa très fort les bandes de terrain hors axes préférentiels d'écoulement des eaux pouvant être affouillées ou déstabilisées par les événements successifs susceptibles de survenir pendant une durée de cent ans. Une marge de recul dans la cartographie de l'aléa inondation a ainsi été adoptée pour traduire le caractère torrentiel spécifique de l'Ainan. Elle correspond à une bande de recul systématique de 10 mètres de part et d'autre des limites du cours d'eau, avec des ajustements locaux plus larges suivant les caractéristiques du cours d'eau et son historique.

4. **Cartographie de l'aléa conjugué.**

Dans le cas du territoire n°2, seul le « Scenario A : Evénement de fréquence centennale C avec phénomènes aggravants » est pris en compte. La cartographie finale conjuguée est donc identique. Seule la visualisation de la marge de recul est différente puisqu'elle est considérée comme « Très fort » (C4).

1.4. OBJECTIF ET PHASAGE DE L'ETUDE

L'objet de l'étude, réalisée par le bureau HYDRETUDES, est ainsi de fournir les éléments techniques nécessaires à la définition de l'aléa inondation du Guiers et de certains de ses affluents – dont l'Ainan (et à sa cartographie) pour la crue de référence en l'état actuel des cours d'eau.

Pour chacun des 3 territoires traités, la réalisation de l'étude comprend plusieurs phases présentées dans le présent rapport (exceptés phase 2 : Topographie) :

- **Phase 1 : Analyse du fonctionnement du bassin de risque** via un recueil et une analyse des données disponibles, complétée par des visites de terrain. Cette phase est notamment essentielle pour l'analyse du facteur transport solide et son incidence probable sur les débordements mais aussi pour réaliser l'inventaire et le diagnostic des digues pour la réalisation des modélisations complémentaires de sur-aléas si nécessaire.
- **Phase 2 : Réalisation de levés topographiques terrestres** (levé de profils en travers de la rivière) pour compléter les levés existants (LIDAR 2016 et terrestres) suite à l'analyse des données existantes et la définition des besoins complémentaires.
- **Phase 3 : Analyse et révision de l'hydrologie du territoire**, production d'hydrogrammes pour la modélisation hydraulique.
- **Phase 4 : Etudes des aléas inondations I, C ou T suivant les cours d'eau pour la crue de référence.**
- **Phase 5 : Production d'atlas cartographiques des différents scénarios et de l'aléa conjugué.**

Les différents choix et hypothèses tout au long de l'étude ont été discutés et validés par les services concernés (DDT73 & 38) en concertation avec la communauté de commune et le SIAGA.

A retenir :

Sur le territoire de l'Ainan, les phénomènes pris en compte pour l'étude des aléas liés aux crues de l'Ainan sont au nombre de 2 :

1. Crue débordante de part et d'autre de l'Ainan
2. Embâcles de bois flottants, érosion et engravement (phénomènes aggravants)

La cartographie finale de l'aléa de référence représente une combinaison de ces différents phénomènes d'inondations étudiés. Les méthodes d'analyse sont une approche par modélisation hydraulique 2D, 1D/2D, une approche hydro-morphologique (connaissances historiques, analyse du relief et reconnaissances de terrain) et une approche mixte combinant les résultats de modélisations hydrauliques avec l'analyse hydromorphologique et à dire d'expert.

Sur le territoire n°2, les phénomènes de rupture de digues et d'effacement de digues pour la crue de référence ne sont pas un enjeu essentiel pour la définition de cet aléa inondation (digue non mise en charge et contournée) et ne sont donc pas pris en compte (absence de système d'endiguement).

Les cônes de déjections des torrents des affluents ne sont pas pris en compte dans la cartographie. Tous les débits des affluents ont été pris pour qu'à l'aval des confluences le débit de l'Ainan soit égal à la crue de référence. **Les débits retenus pour les affluents ne peuvent être retenus pour la cartographie de leur propre aléa.**

2. DESCRIPTION ET PRINCIPALES SPECIFICITES DU BASSIN VERSANT

Le présent rapport concerne uniquement le **bassin versant de l'Ainan**.

Les éléments du contexte général concernant l'ensemble du bassin versant du Guiers sont disponibles dans les rapports des territoires n°1 et n°3 (Guiers amont et aval). Seuls les éléments spécifiques à l'Ainan sont repris et développés ici.

De nombreux éléments du contexte général sont issus d'études antérieures (voir liste en annexe 1) et notamment de l'étude post crue du 06/06/02 dans le Val d'Ainan d'Alp 'Géorisques (2003) et l'étude réalisée dans le cadre du Schéma d'aménagement et de gestion du bassin versant de l'Ainan (Burgeap, 2006) auxquelles il est possible de se reporter pour plus de détails.

2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

L'Ainan est un affluent du Guiers, de 19,3 km de long et s'écoulant selon un axe orientée Sud-Est – Nord-Ouest. Son bassin versant représente une superficie de 75,9 km² et se trouve parcouru par de nombreux affluents (23 km en rive gauche et 17.2 km en rive droite).

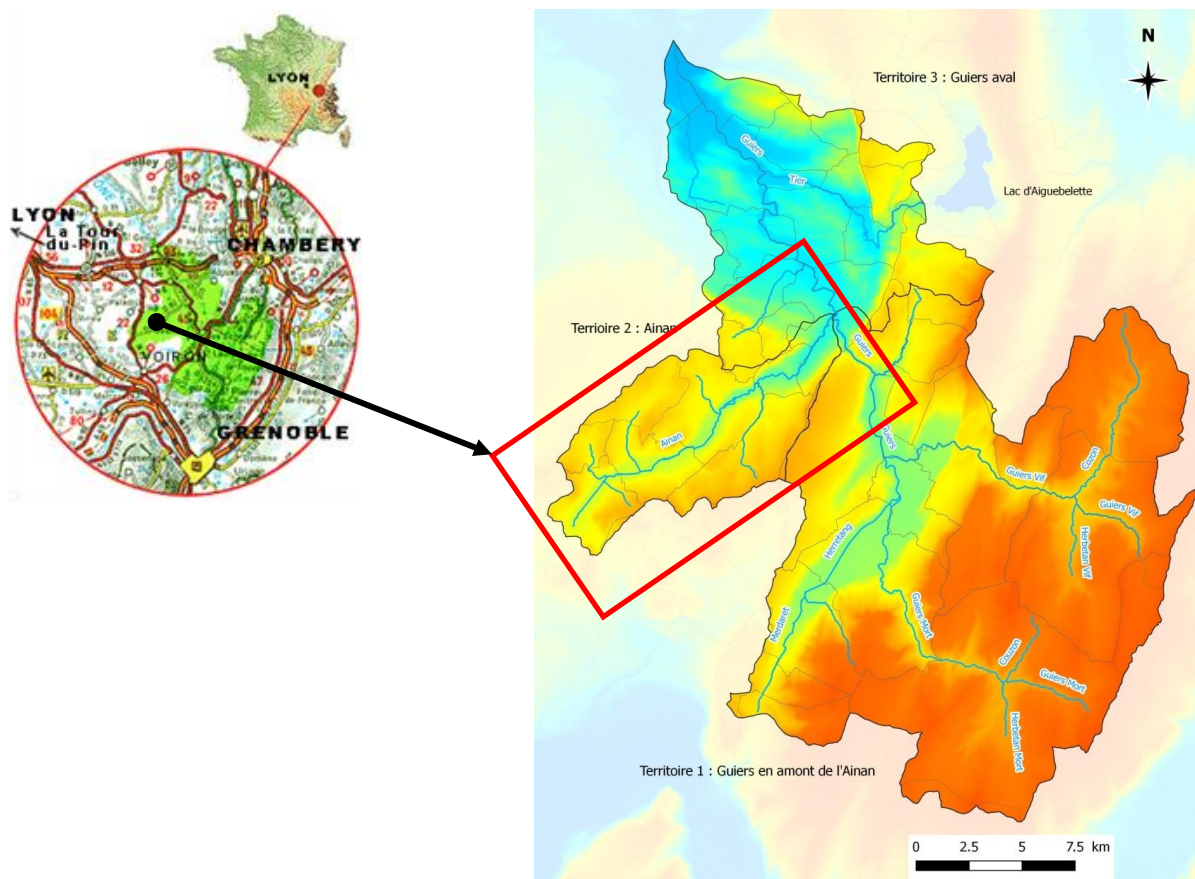


Figure 4 : Bassin versant du Guiers et ses affluents. L'étude porte sur le bassin versant de l'Ainan (Territoire n°2)

Le relief est bien moins accentué que sur le Guiers amont avec des sommets à environ 950 m qui se situent sur les versants de part et d'autre du cours d'eau (pentes versants fortes). Le réseau hydrographique est ainsi caractérisé par le contraste entre l'Ainan (large vallée à pente faible) et ses affluents (petits bassins à fortes pentes).

La particularité de l'Ainan est ainsi de prendre sa source à Chirens à une altitude de 459 m environ (plus faible que les plus hauts sommets) et dans une zone relativement peu pentue puis de se jeter dans le Guiers 19,3 km plus en aval à une altitude de 268 m. Le dénivelé parcouru par le cours d'eau est donc de 191 m, ce qui donne une pente moyenne de 1,0 % (Burgeap, 2006).

Le profil en long n'est cependant pas continu. Les pentes s'accroissent progressivement de l'amont vers l'aval comme le montre la figure ci-dessous. Le profil en long montre une succession de zones à pente longitudinale relativement faible, séparées des zones de plus forte pente. Ces zones correspondent aux franchissements de seuils naturels formés par la confluence de cônes de déjections anciens (L'ARSENAL) ou par des verrous molassiques (SAINT-BUEIL).

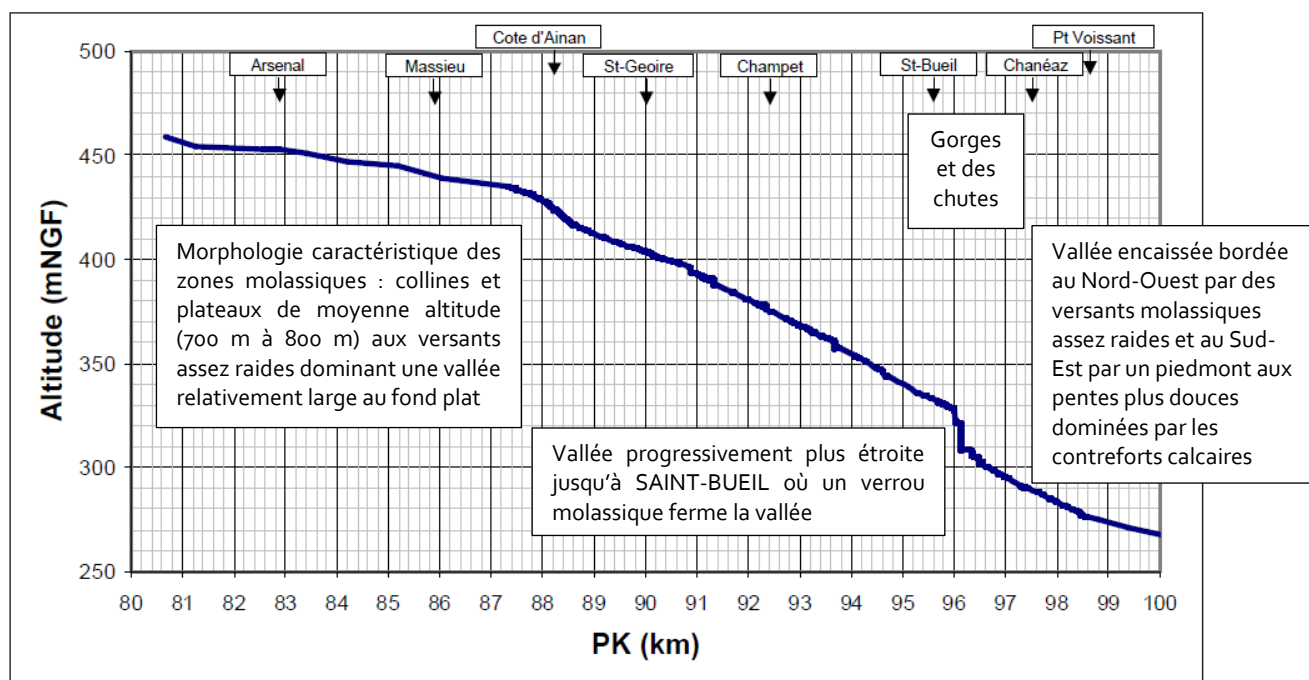


Figure 5 : Profil en long de l'Ainan (Burgeap, 2006) et modifié d'après Alp'Georisque (2003)

La morphologie de la vallée de l'Ainan est ainsi caractérisée par une succession de profils sensiblement différents (Alp'Georisque, 2003) avec :

- Des secteurs de vallée large en U, favorable au laminage (entre CHIRENS et L'ARSENAL).
- Des zones de vallée resserrées par des cônes de déjection ou des épandages fluvio-glaciaires latéraux (à l'amont de MASSIEU ou à hauteur de la COTE D'AINAN par exemple) ;
- Des zones de gorges (au droit de SAINT-BUEIL ou à l'amont immédiat de la confluence avec le Guiers).

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Tiré de Burgeap (2006).

Le bassin versant de l'Ainan s'appuie côté Est sur des terrains d'âge Jurassique et Crétacé constituant le rebord Ouest du Massif de la Chartreuse. La plus grande partie du territoire est occupée par des dépôts d'origines marine et continentale qui correspondent à l'existence d'un vaste delta durant l'époque Tertiaire. Au Quaternaire, un bras du glacier du Rhône a emprunté la vallée de l'Ainan, participant ainsi à son creusement.

Le glacier du Rhône s'est donc écoulé à « contre pente » dans le Val d'Ainan, et le retrait progressif du glacier s'est accompagné d'un remplissage alluvial/colluvial et de la formation de lacs étagés, dont l'Etang de Chirens. La vidange des lacs a accentué la formation de la vallée de l'Ainan. Cette genèse explique la **présence de marais ou anciens marais en tête de bassin versant**, ainsi que la forme convexe du profil en long topographique de la vallée (pentes plus fortes en aval qu'en amont).

Globalement, les terrains de couverture présents dans le Val d'Ainan sont caractérisés par une teneur généralement forte en argile qui traduit une faible perméabilité et un ruissellement important à saturation. Les calcaires urgoniens peuvent abriter des réseaux karstiques depuis lesquels des exurgences peuvent se produire après des précipitations abondantes. L'extension de cette formation étant limitée aux versants de Merlas et Voissant limite l'incidence potentielle sur l'hydrologie de l'Ainan.

2.3. CONTEXTE ANTHROPIQUE

L'occupation du sol (CLC, 2012) est à plus de 50 % composé de terres agricoles et à plus de 35% de forêts. Les zones urbaines sont réduites aux bourgs de CHIRENS et SAINT-GEOIRE EN VALDAINE.

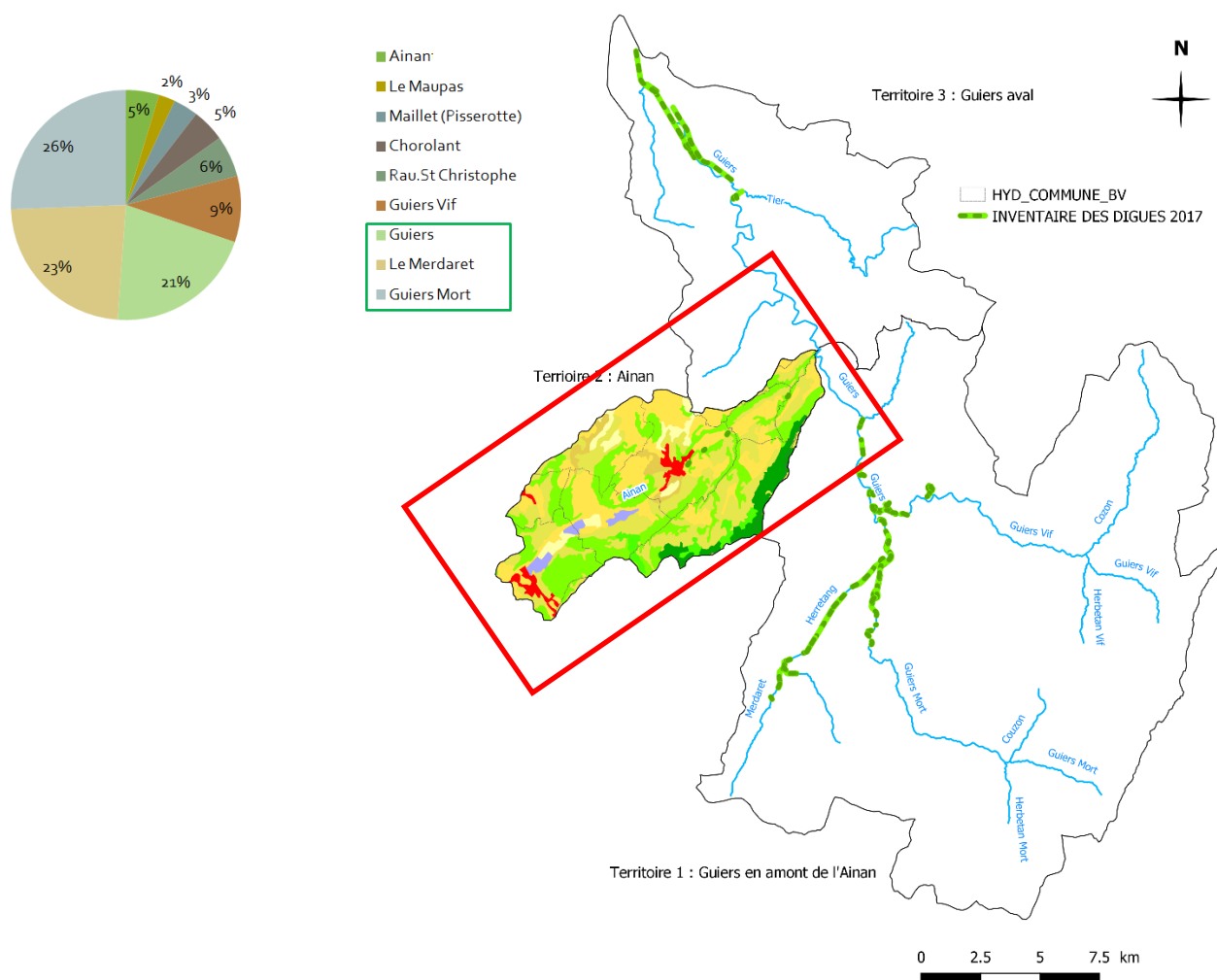


Figure 6 : Occupation du sol (CMLC, 2012), localisation et répartition des digues de l'état des digues du bassin versant

La spécificité du réseau hydrographique du Guiers avec ses nombreuses digues de part et d'autre des cours d'eau, ne se retrouve pas sur l'Ainan dont les berges sont encore relativement naturelles. L'inventaire exhaustif réalisé dans le cadre de la présente étude, a permis de mettre en évidence la présence de **3 petits tronçons de digue** qui ont été analysés.

2.4. CONTEXTE CLIMATIQUE

Cette partie a pour objectif de présenter le contexte climatique général du bassin du Guiers et les spécificités du bassin versant de l'Ainan. Les données utilisées pour l'étude et l'ensemble des caractéristiques des stations sont reportées dans l'Annexe 6 "modèle hydrologique".

2.4.1. POSTES ET DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Plusieurs postes pluviométriques permettent d'apprécier le régime des précipitations qui arrosent le bassin versant du Guiers et de l'Ainan (voir annexe). Les postes les plus représentatifs (en termes de durée d'enregistrement - plus de 50 ans) sont situés à Chirens (L'Arsenal, 460 m), à Pont de Beauvoisin (230 m) et à St Pierre de Chartreuse (945 m). La station de Chirens est fermée depuis 1999 et les données climatologiques moyennes ne sont pas disponibles sur le site de Météo-France. Ces stations sont de type 4, c'est-à-dire qu'elles ne fournissent que des données journalières. Elles permettent cependant de préciser la climatologie du bassin versant du Guiers.

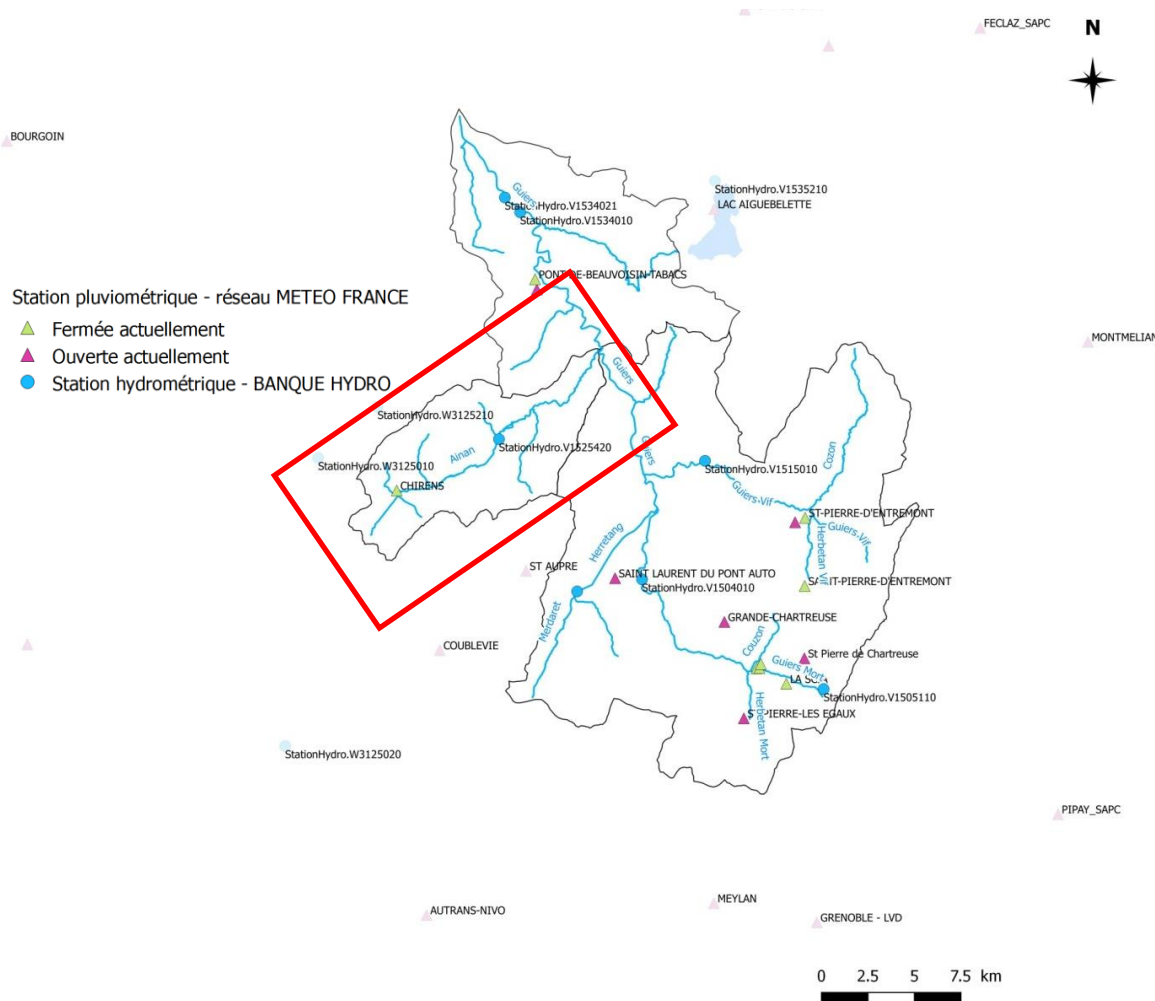


Figure 7 : Localisation des stations de mesures des paramètres météorologiques et des débits à l'intérieur et à l'extérieur du bassin versant du Guiers.

La station synoptique la plus proche est située à St Etienne de St Geoirs, à 50 km du Val d'Ainan, dans un contexte orographique différent. Elle constitue néanmoins une référence incontournable pour l'estimation des pluies courtes.

Un réseau expérimental de pluviographes, le Transect Pluviographique (TPG), a été mis en place en 1987 par le Cemagref dont trois de ces appareils sont situés à proximité de la zone d'étude (étudiés et cités par Alp'Géorsique, 2003). Ces pluviographes fournissent des indications précieuses sur les précipitations de 1h à 24 h.

Tableau 1 : Stations Météo-France sur le bassin versant disposant de longues séries de données quotidiennes (en gras dans le tableau)

Nom	Date début	Date fin	Altitude (m)
CHIRENS	04/01/1946	30/09/1999	463
LE PONT-DE-BEAUVOISIN (PONT-DE-BEAUVOISIN-TABACS)	01/01/1935	31/12/1989	239
LE PONT-DE-BEAUVOISIN (PONT-DE-BEAUVOISIN)	08/01/1985	21/03/2017	284
SAINT-LAURENT-DU-PONT (ST-LAURENT-DU-PONT)	01/10/1892	31/12/2011	389
SAINT-PIERRE-DE-CHARTREUSE (GRANDE-CHARTREUSE)	07/01/1921	21/03/2017	945
SAINT-PIERRE-DE-CHARTREUSE (ST-PIERRE-CHARTREUSE-COTTAVES)	01/01/1930	30/09/1957	1080
SAINT-PIERRE-DE-CHARTREUSE (ST-PIERRE-DE-CH)	09/01/1996	08/08/2005	895
SAINT-PIERRE-DE-CHARTREUSE (St Pierre de Chartreuse)	23/12/1986	21/03/2017	1700
SAINT-PIERRE-D'ENTREMONT (ST-PIERRE-D'ENTREMONT)	01/09/1916	28/02/2002	644
SAINT-PIERRE-D'ENTREMONT (ST-PIERRE-D'ENTREMONT)	03/01/2002	21/03/2017	870
SAINT-CHRISTOPHE (ST-CHRISTOPHE LA-GROTTE)	11/01/1984	21/03/2017	420

2.4.2. CLIMATOLOGIE

Les bassins versants du Guiers et de l'Ainan sont soumis à un climat montagnard plus ou moins marqué suivant l'altitude, accompagné d'influences continentales. Ce contexte climatique est caractérisé par :

- Une exposition aux vents dominants venant de l'Ouest-Nord-Ouest qui détermine un climat particulièrement humide. Le climat de la plaine du Guiers aval l'est un peu moins ;
- De fortes précipitations annuelles, comprises entre 1140 mm sur la partie basse du bassin du Guiers, autour de 1200mm sur l'Ainan et quasi le double enregistré au poste météorologique de la Grande Chartreuse (2020 mm). Le bassin versant est donc fortement arrosé avec des cumuls de pluies exceptionnels centrés sur la partie haute du bassin, qui s'abaissent en direction de la vallée du Rhône, tout en restant relativement élevés (se reporter au paragraphes sur les pluies exceptionnelles ci-dessous);
- Ces précipitations sont abondantes tout au long de l'année avec des cumuls importants au printemps et en automne, ainsi que des maximums mensuels observés en septembre, se décalant sur octobre pour la partie basse du bassin versant ;
- Les précipitations hivernales ont lieu pour partie sous forme de neige (températures moyennes annuelles proches de 5°C). La neige peut tomber de novembre à avril sur l'avant pays de Chartreuse, d'octobre à mai sur le massif de Chartreuse ;
- Les mois estivaux sont bien arrosés, avec des valeurs mensuelles supérieures aux valeurs hivernales ;

- Les températures subissent également l'influence de l'altitude, mais l'amplitude annuelle reste élevée sur tout le bassin avec une valeur de l'ordre de 16 à 18°C ;
- Les mois d'hiver sont caractérisés par de faibles températures, passant en moyenne régulièrement en dessous de zéro entre décembre et février sur les parties hautes du bassin, et plus ponctuellement dans la partie basse.

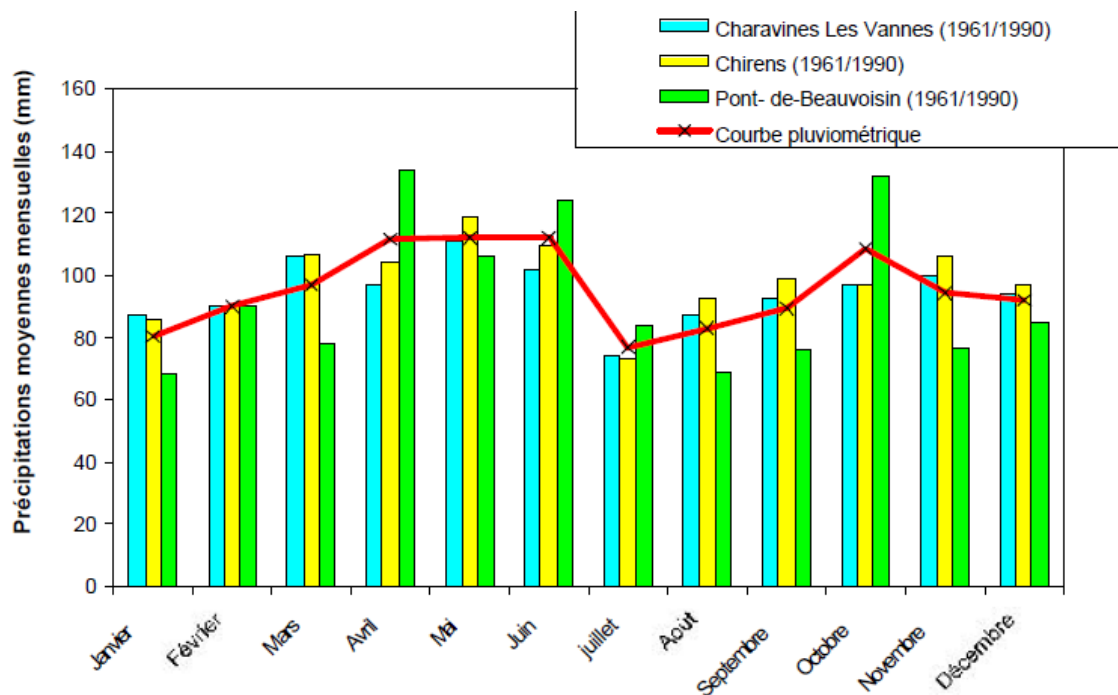
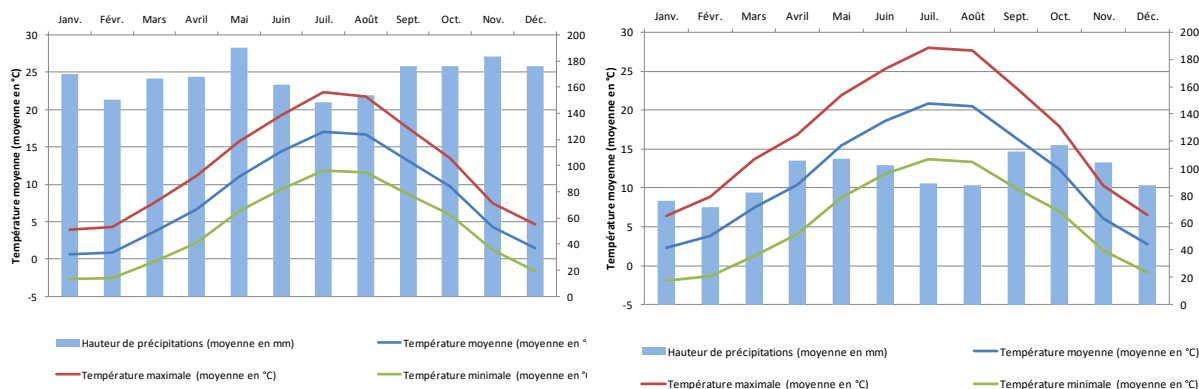


Figure 8 Précipitations moyennes mensuelles dans le val d'Ainan (Burgeap, 2006 d'après Alp'Georisque, 2003)



Grande Chartreuse (38442001) à 945 m NGF

Saint-Laurent du Pont (38412001) à 389 m NGF

Figure 9 : Evolution des températures et des précipitations moyennes (Statistiques 1981-2010) sur les deux stations caractéristiques du bassin versant du Guiers.

2.4.3. PLUVIOMETRIE EXCEPTIONNELLE

2.4.3.1. Pluviométries exceptionnelles enregistrées (P24h)

Comme évoqué précédemment, les données aux stations pluviométriques présentes sur le bassin versant sont journalières. Elles permettent de connaître les cumuls exceptionnels de pluie qui se sont produits.

Les records établis sur la période du 01/01/1947 au 07/01/2018 par Météo-France sont présentés ci-dessous pour la station de GRANDE-CHARTREUSE (38) située à 945 m :

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc
102.5	99.3	76.7	125.2	171.3	128	141.7	138.7	139.5	144.8	85.2	157.9
10/1995	13/1990	15/1964	25/1994	18/1994	06/2002	07/1996	07/1978	13/2008	24/1980	28/1983	21/1991

Les valeurs de quelques épisodes pluvieux récents à caractère exceptionnel sont également présentées dans le tableau ci-dessous. Ces données sont issues du site de Météo-France "Pluies extrêmes en France métropolitaine". Elles confirment que le haut du bassin versant situé dans le massif de la Chartreuse est fortement arrosé.

Le record journalier de 200 mm est cependant observé sur le bassin versant de l'Ainan à Saint-Geoire en Valdaine.

Tableau 2 : Quelques records d'épisodes pluvieux récents à caractère exceptionnel >100 mm en 24 h (source : <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Cartes-pluviometriques.html>)

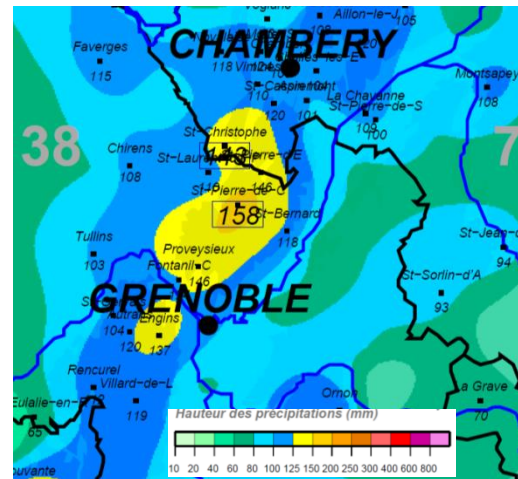
Poste	DATE	PRECIPITATIONS [mm]
SAINT-GEOIRE-EN-VALDAINE	06/06/2002	200
SAINT-PIERRE DE CHARTREUSE (945 m)	23/04/2016	110
	13/09/2008	140
	02/10/2005	101
	28/01/1999	151
	31/05/1995	124
	12/05/1995	122
	10/01/1995	103
	18/05/1994	171
	25/04/1994	125
	21/12/1991	158
	11/08/1986	104
	10/07/1981	113
	24/10/1980	145
	10/12/1961	108
	12/08/1960	108
12/08/1960	108	
16/05/1958	148	
SAINT-LAURENT DU PONT (389m)	30/09/1960	103
SAINT PIERRE D'ENTREMONT (644 m)	06/07/1986	115
	25/12/1968	125
	15/09/1967	120
	20/06/1959	101

Les figures ci-dessous présentent les cartes pluviométriques de certains épisodes pluvieux majeurs (sur 24h ou plus) sur le bassin versant du Guiers ayant conduit à des crues remarquables :

- **Episode de 24h jour du 21/12/1991**

Maxi.	Dép.	Lieu
158 mm	38	SAINT-PIERRE-DE-CHARTREUSE

Les quantités de pluies en 24 h sont importantes sur tout le haut du bassin versant avec un cumul journalier encore important sur Saint Laurent du Pont (143 mm) a contrario de l'événement de février 1990. C'est aussi le cumul sur 4 jours qui a été remarquable pour cet épisode (231 mm à Saint-Pierre-de-Chartreuse) du 18/12 au 21/12/1991.



- **Episode de 24 h du 06/06/2002**

Maxi.	Dép.	Lieu
200 mm	38	SAINT-GEOIRE-EN-VALDAINE

Le cumul de 200 mm en 24h à Saint-Geoire-en-Valdaine est un record a priori avec une période de retour plus que centennale. Le bassin versant de l'Ainan a été particulièrement touché.

C'est aussi le cumul sur 4 jours qui a été remarquable pour cet épisode (242 mm à Saint-Geoire-en-Valdaine) du 05/06 au 08/06/2002.

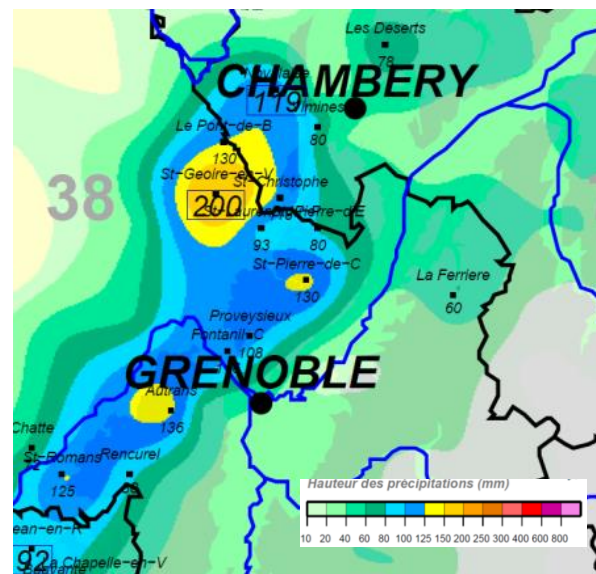


Figure 10 : Quelques records d'épisodes pluvieux récents à caractère exceptionnel >100 mm en 24 h (source : <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Cartes-pluviometriques.html>)

2.4.3.2. Estimation des pluies extrêmes

Afin de caractériser les valeurs exceptionnelles de pluviométrie (cumuls de périodes de retour données) sur le bassin versant de l'Ainan, les statistiques pluviométriques sont également présentées ci-dessous à titre informatif.

Les valeurs de pluies exceptionnelles sur 24h, données dans le tableau suivant, sont issues de l'étude réalisée par Alp'Géorisques (2004) dans le cadre du premier AZI et faisant suite à l'étude 2003 post-crue 2002 dans laquelle Alp'Géorisques avait analysé en détail la pluviométrie exceptionnelle dans le Val d'Ainan, en basant les interprétations sur les données aux postes automatiques (Charavines, Pont de Beauvoisin, Chirens), au poste synoptique (St Etienne de St Geoirs) et aux pluviographes du CEMAGREF (Massieu, Paladru et La Boutière). Ces données ont été reprises dans l'étude Burgeap (2006).

Les valeurs exceptionnelles de pluviométrie aux différents postes retenus ont été obtenues par l'analyse statistique des maxima annuels à partir des données quotidiennes (pluviomètre de type 4).

Tableau 3 : Précipitations journalières maximales centrées (Alp'Géorisques, 2004)

Poste	Chronique	Pw Précipitations centrées Pw=1.14*P (Weiss)			Gw Gradex centré Gw= 1.14G
		Pw10 mm	Pw50 mm	Pw100 mm	
Ainan : pluie estimée (étude Alp'géorisques)		111.7	145.0	160.0	24.4
Pont de Beauvoisin	1986-2002	128.1	174.3	191.8	28.0
St Laurent du Pont	1949-2002	109.9	137.7	149.5	16.9
St Pierre d'Entremont	1961-2003	131.1	167.6	183.5	22.3
St Pierre de Chartreuse	1947-2002	145.8	188.3	206.3	25.8

De nouvelles estimations pour les pluies journalières ont été proposées lors de l'étude hydrologique de Merlin réalisée pour le SIAGA en 2015. Elles sont basées sur deux types de données de pluies journalière :

- **Données acquises aux pluviomètres** situés à l'intérieur du bassin versant, tous de de type 4 (Grande-Chartreuse, St-Pierre-d'Entremont, Chirens, St-Laurent du Pont, Pont-de-Beauvoisin). Un ajustement de l'échantillon des maxima journaliers annuels par la loi de Pearson, puis correction de Weiss a ensuite été réalisé.

Tableau 4 : Précipitations journalières maximales - Valeurs corrigées des pluviométries exceptionnelles pour les 5 stations (cumuls journaliers en mm suite à une correction de Weiss de 1,14) - (Merlin, 2015)

Période de retour T	Grande Chartreuse (945 m)	Saint Pierre d'Entremont (644 m)	Chirens (463 m)	St Laurent du Pont (389 m)	Pont de Beauvoisin (284 m)
100 ans	210 mm [158 - 262]	159 mm [139 - 178]	186 mm [99 - 272]	151 mm [123 - 179]	160 mm [ND]
50 ans	189 mm [151 - 228]	148 mm [131 - 165]	155 mm [99 - 212]	139 mm [117 - 161]	139 mm [101 - 177]
20 ans	163 mm [139 - 188]	133 mm [120 - 146]	123 mm [93 - 153]	123 mm [107 - 138]	115 mm [95 - 136]
10 ans	144 mm [127 - 161]	121 mm [110 - 131]	103 mm [85 - 121]	110 mm [99 - 121]	99 mm [86 - 112]
5 ans	124 mm [113 - 136]	108 mm [100 - 116]	85 mm [75 - 96]	97 mm [89 - 105]	85 mm [76 - 93]
3 ans	110 mm [101 - 119]	97 mm [90 - 103]	74 mm [67 - 81]	86 mm [81 - 92]	74 mm [68 - 81]
2 ans	96 mm [89 - 104]	87 mm [81 - 92]	65 mm [60 - 70]	77 mm [72 - 82]	66 mm [61 - 70]

- Valeurs issues de la méthode SHYREG (Météo France).** La méthode SHYREG₁ (Simulation d'HYétogramme REGionalisée) permet également de caractériser, en tout point de la France sur un maillage de 1 km², des pluies de temps de retour extrêmes (jusqu'à 100 ans). L'avantage de cette méthode réside dans la prise en compte de l'effet orographique dans l'interpolation des quantiles de pluies, contrairement à la loi GEV (Généralisée des Valeurs Extrêmes) ou loi des maxima annuels. Le massif de la Chartreuse est en effet présent sur une majeure partie du bassin versant du Guiers. Par ailleurs, la méthode permet l'estimation des quantiles pour des pluies de courtes durée (min 1h).

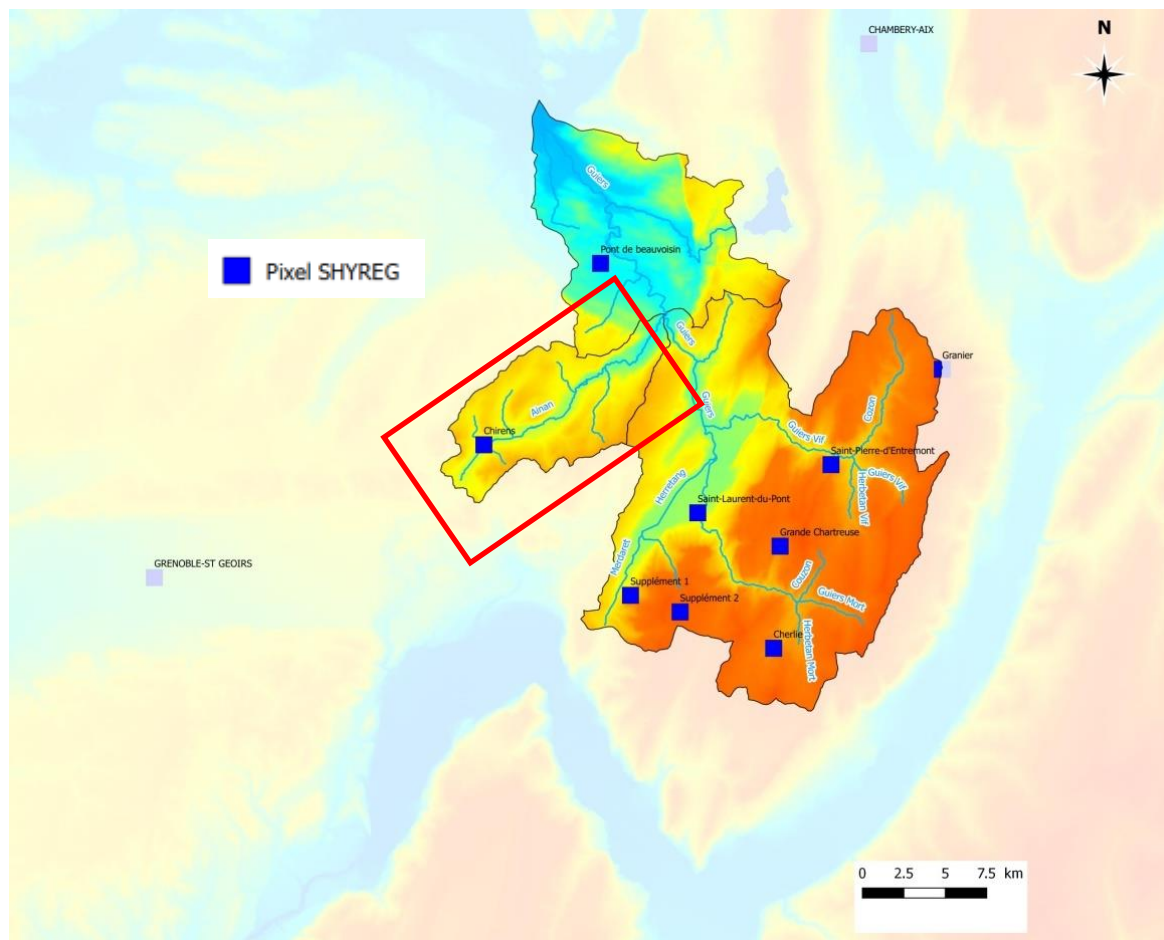


Figure 11 : Localisation des pixels SHYREG à l'intérieur et à l'extérieur du bassin versant du Guiers.

Ce sont ces valeurs (voir localisation ci-dessous) qui par la suite ont été utilisées dans l'étude Merlin et dans la présente étude. Au total, 11 pixels de 1 km² ont été utilisés pour construire les pluies de projet (9 à l'intérieur du bassin et 2 à l'extérieur) - voir figure ci-dessous et Annexe 6 "modèle hydrologique".

¹ La méthode SHYREG a été développée par le Cemagref (aujourd'hui, Irstea), pour la connaissance régionale des débits de crue de différentes durées et de différentes fréquences.

Tableau 5 : Précipitations journalières maximales en mm de période de retour 100 ans
(données SHYREG Météo France - 1 km²)

Territoire n°1	Sup 1	Sup 2	Saint-Laurent du Pont	Grande Chartreuse	Saint-Pierre d'Entremont	Granier	Cherlieu
	206,7 mm	233,0 mm	173,3 mm	243,6 mm	198,2 mm	211,4 mm	187,7 mm
Territoire n°2	Chirens						
	143,1 v						
Territoire n°3	Pont de Beauvoisin						
	132,4 mm						

Quelques soit l'origine des estimations, les valeurs rencontrées montrent une forte hétérogénéité des cumuls pluviométriques journaliers pour les différentes stations du bassin versant du Guiers. Ainsi, la station de Grande Chartreuse, situés au cœur du massif, présente des cumuls supérieurs aux stations situées dans la vallée. Les données SHYREG confirment encore une fois que le massif de la Chartreuse est fortement arrosé avec des pluies centennales à plus de 240 mm sur le pixel " Grande Chartreuse". Les pluies sont moins abondantes sur le nord du massif (211 mm sur le pixel "Granier").

La station de Chirens sur le bassin de l'Ainan (au sud-ouest) présente également des cumuls importants de période de retour 100 ans (143.1 mm / 24h) mais plus proches des stations de la plaine.

2.5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Cette partie a pour objectif de présenter l'hydrologie de l'Ainan à partir :

- Des données historiques renseignées dans des rapports techniques des services hydrométriques, dans des publications scientifiques ou dans des retours d'expérience post-événements,
- Et des données enregistrées aux stations hydrométriques sur le réseau hydrométrique français qui alimentent la banque de données HYDRO (<http://hydro.eaufrance.fr>).

Les données sur l'Ainan sont peu nombreuses. Il y a très peu de données historiques, hormis les travaux de Capolini et Schrambach (tableau ci-dessous). Les données sur les crues modernes sont en effet réduites du fait que la station de l'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine a été détruite en 2002 (elle n'a jamais été remise en état depuis cette date). Cette crue récente et exceptionnelle est ainsi abordée dans la partie « données historiques », les données chiffrées étant très parcellaires.

Par ailleurs les mesures aux stations hydrométriques ont été interrompues pendant 9 ans et la station déplacée.

2.5.1. ANALYSE DES DONNEES HISTORIQUES

Afin de rechercher les plus fortes crues connues sur l'Ainan, de l'amont vers l'aval du périmètre les données suivantes ont été analysées (se reporter à ces références pour plus de détail) :

Tableau 6 : Principales sources de données analysées pour l'étude des crues historiques sur le bassin de l'Ainan

Intitulé	Maître d'ouvrage	Prestataire	année
Etude historique Guiers : utilisation de l'information historique pour une meilleure définition du risque d'inondation + rapport intermédiaire	CEMAGREF	Lang, Cœur, Lallement, Naulet, Boudou	1998
Dossier de demande de renouvellement de l'autorisation des ouvrages utilisant l'énergie hydraulique de l'Ainan à Saint Bueil	SEER		1999
Etude post crue du 06/06/02 dans le Val d'Ainan	SIAGA	Alp'Géorisques	2003
Carte des aléas hydrauliques des communes des bassins versants de l'Ainan et du Malafossant	DDAF 38	Alp'Géorisques	2004
Atlas de zones inondables du Guiers et des affluents isérois	DDAF 38	Alp'Géorisques	2004
Etude hydraulique du ruisseau de St Geoire en Valdaine - Le Verderet	SIAGA	BURGEAP	2005
Les crues les plus violentes dans les vallées autour du lac de Paladru, chateau d'eau BARRACUCHET MorgeAinan, crue AINAN 2002 + autres publications d'Alain Schrambach et Jean. Capolini sur l'Ainan (http://archeoschrambach.blogspot.fr/ http://bernard.schrambach.free.fr/hydro.htm) dont la note sur La crue du 6 juin 2002 publié le 20/07/2003.	A. SCHRAMBACH	J.CAPOLINI	2005
Schéma d'aménagement et de gestion du bassin versant de l'Ainan + DIG du programme de gestion de la ripisylve	SIAGA	BURGEAP / CCEau	2006
AINAN ET CANAL DU MOULIN A ST-GEOIRE-EN-VALDAINE - Etude préalable et restauration du site - PHASE 2 : Scénarii d'aménagement (Version provisoire)	SIAGA	BURGEAP	2010
Schéma morphoécologique des cours d'eau du bassin versant du Guiers	SIAGA	BURGEAP	2010
Etude de délimitation de l'espace de bon fonctionnement	SIAGA	BURGEAP	2014
Etude de maîtrise d'œuvre pour les travaux définis au contrat de bassin Guiers / Aiguebelette et sous maîtrise d'ouvrage du SIAGA (Etude hydrologique et hydraulique, AVP, PRO)	SIAGA	MERLIN	2015
La catastrophe de la Valdaine : 6 juin 2002. http://www.irma-grenoble.com/PDF/06sorties/expo_itinerante/01StGeoire-3panos.pdf		IRMA	

2.5.1.1. Les crues anciennes

Les recherches historiques menées par Capolini et Schrambach (2003) pour les besoins de diverses études après la catastrophe du 6 juin 2002 ont révélé plusieurs crues anciennes du cours d'eau : quelques années avant 1679, entre 1720 et 1740, en 1840, en 1852, sans doute en 1856, 1897, 1934 et 1991. Pour la majorité de ces événements il existe peu de données chiffrées.

Les crues qui affectent le bassin versant entier ou une grande partie du bassin versant de l'Ainan se produisent à différentes époques de l'année : en hiver (1991), au printemps (1934, 1983), en été (1852).

Il n'existe pas en apparence de prédominance saisonnière pour les crues importantes ; celles-ci sembleraient plutôt liées à l'abondance des pluies sur des périodes longues et donc à la saturation des sols et des aquifères.

Tableau 7 : Crues les plus remarquables sur l'Ainan (avant 2002)

Siècle	Année	Commentaires	Source
XVIIe siècle	Quelques années avant 1679	Crue de l'Ainan, quelques années avant 1679, ayant provoqué la rupture de la chaussée de l'Etang Vora à Massieu et les ouvrages du Pont Musy	Capolini et Schrambach (2003)
XVIIIe siècle	1720, 1740	Sans confirmation écrite, a priori, plusieurs crues importantes sur l'Ainan sur cette période.	Capolini et Schrambach (2003)
XIXe siècle	1840, 1851, 1852, 1856, 1897, 1898	Les crues de 1840 et de 1852, par leur rôle érosif, rappellent la crue de juin 2002. 1840 : changement de lit de l'Ainan sur le site MIVA à Saint-Bueil. 1851 : Crue subite de l'Ainan ayant dévasté et empierré des pièces de terre vers le site MIVA. 1852 : Crue subite et torrentielle de l'Ainan ayant emporté une maison et une taillanderie sur Voissant (Pré Vivier). 1897 : Crue ayant détruit le barrage en bois du Moulin Muzy à St-Bueil	Capolini et Schrambach (2003)
XXe siècle	1910, 1919, 1934, 1983, 1991, 2002	1934 : crue ayant provoqué le contournement du barrage Mignot à St-Bueil, la destruction du Pont du moulin Berthier à St-Bueil et de nombreuses érosions de berge en aval de St-Geoire. 1983 : 3 crues successives suite à des précipitations importantes (292 mm en mai 1983) – mesures existantes. - 16 m ³ /s à St-Geoire - 24,2 m ³ /s à St-Geoire (maximum enregistré) - 23 m ³ /s à St-Geoire A St-Bueil / Voissant le pont de la Chanéaz et la voie communale ont été fortement endommagés. Le Pont du Moulin Berthier a été dégradé également et son seuil a dû être refait. 1991 : lors de la crue de novembre ou décembre, le débit probable est de 40 m ³ /s (seuil de la MIVA à St-Bueil). En ce lieu, on intègre toutes les crues issues du bassin amont. 2002 : une des " crues catastrophiques " de la fin du 20ème siècle en région Rhône Alpes	Capolini et Schrambach (2003) Alp'Géorisques (2004a) Burgéap (2006), Données BANQUE HYDRO

2.5.1.2. La crue de juin 2002

La crue de juin 2002 est identifiée par Capolini et Schrambach (2003) et dans de nombreuses autres publications comme une des " crues catastrophiques " de la fin du 20^{ème} siècle en région Rhône Alpes (Burgéap, 2006, Lang, 2011 p 347 ; étude post crue de 2003).

Les inondations ont été très importantes dans des secteurs urbanisés et agricoles, qui ont notamment nécessité l'intervention de l'armée. Une victime a été à déplorer.

5 communes de la région de Saint -Geoire-en-Valdaine et de Pont-de-Beauvoisin ont été reconnues en état de Catastrophe Naturelle (CAT-NAT) et le coût des dégâts a atteint plusieurs millions d'euros.

Cette crue a profondément modifié le lit de l'Ainan dans certains secteurs : son lit mineur est passé de quelques mètres à plus de 100 mètres de largeur par endroit. Ce phénomène a entraîné la perte de nombreuses terres agricoles.

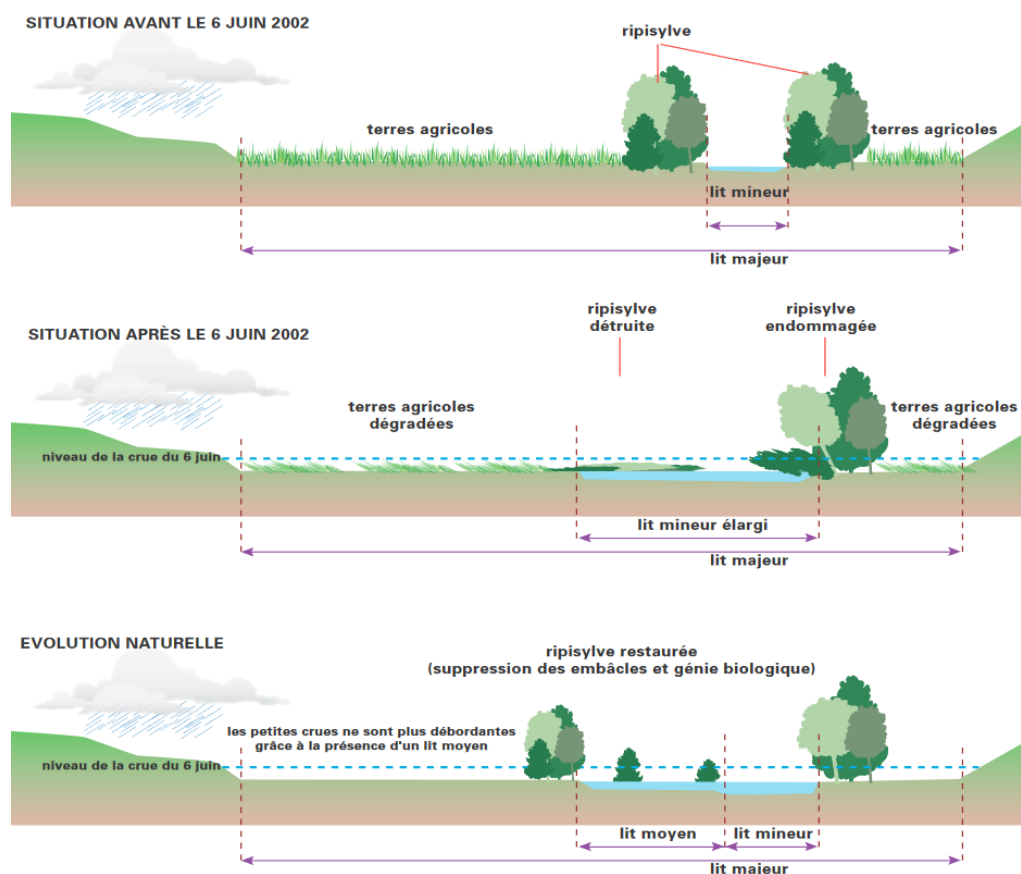


Figure 12 Modification morphologique du lit de l'Ainan suite à la crue de 2002 (IRMA - http://www.irma-grenoble.com/PDF/o6sorties/expo_itinerante/o1StGeoire-3panos.pdf)

Les particularités suivantes sont à relever pour cette crue :

- **Les précipitations furent exceptionnelles sur des sols saturés.** Le phénomène météorologique ayant provoqué cette crue correspond à une pluie antécédente ayant saturée le bassin versant (déjà peu perméable) suivie d'une **pluie localisée très violente**. La majorité des précipitations étant tombées en moins de 3 heures (cumul compris entre 150 et 200 mm en 24 heures).

Le site "pluies extrêmes en France métropolitaine et en outre-mer" de MétéoFrance permet de donner une image spatiale de l'épisode journalier avec cumul de 200 mm en 24h centré sur Saint Geoire en Valdaine.

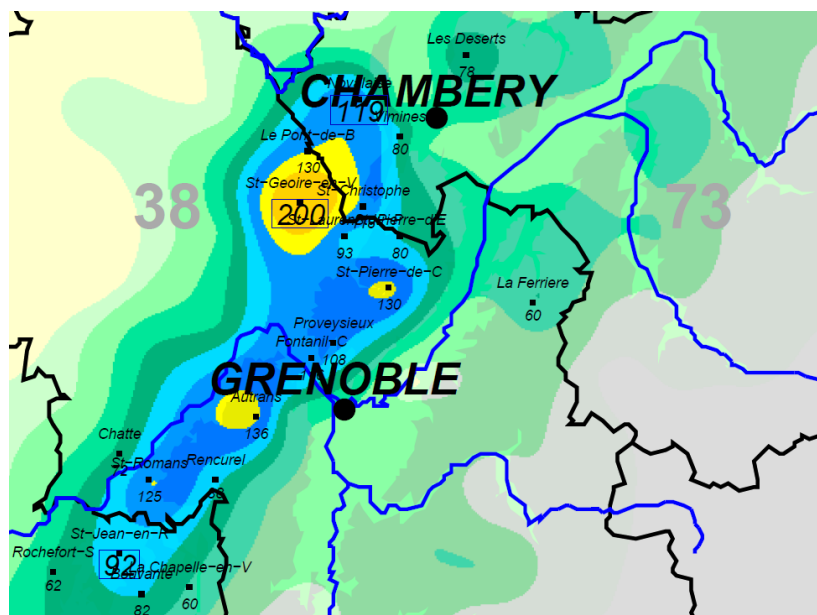


Figure 13 Cumul sur 24h (06/06/2002) - Pluies extrêmes en France métropolitaine et en outre-mer (MétéoFrance)

- **Les facteurs aggravants que sont les embâcles de bois et de matériaux ont joué un rôle majeur dans l'intensité des dégâts.** Les études réalisées après la catastrophe (Alp'Géorisques, 2003 et 2004 et Burgeap, 2006) ont mis en évidence que de nombreux aménagements (ponts principalement) présentaient des caractéristiques rendant les désordres très probables, y compris pour des crues très inférieures à celle du 6 juin 2002. Le manque d'entretien des cours d'eau, ainsi que les glissements de berges très importants, ont quant à eux permis la mobilisation d'une quantité phénoménale de bois et de matériaux solides.
- **Les crues torrentielles sur certains des affluents de l'Ainan furent exceptionnelles** (temps de retour estimé à bien plus que centennale). La très forte érosion des lits et des berges a permis de « nourrir » la crue en matériaux solides (bois morts, cailloux) et a donc très largement aggravé l'accroissement des débits liquides. Les phénomènes de glissements de terrain, de coulées de boue et de ravinements extrêmes ont également été très importants sur les versants. **La violence de la crue observée en 2002 (sur-aléas liés aux embâcles flottants et transport solide) est étroitement liée aux affluents.**



Figure 14 Illustration des embâcles causés par les affluents de l'Ainan en 2002 (IRMA - http://www.irma-grenoble.com/PDF/o6sorties/expo_itinerante/o1StGeoire-3panos.pdf)

- **Les débits de crue de l'Ainan à son exutoire sont jugés s'approcher d'une crue de fréquence centennale.** Aucune mesure de débit n'est disponible pour cet épisode. Il n'y a pas d'hydrogramme de crue (rappelons que la station hydrométrique de la DREAL à Saint-Geoire-en-Valdaine a été détruite).

En revanche, deux estimations du débit de pointe sur l'Ainan ont été calculées à partir d'une loi de seuil et des laisses de crues au seuil de la prise d'eau MIVA à St-Bueil en aval des gorges (la station installée sur l'Ainan étant endommagée) :

- Le débit estimé par Capolini et Schrambach (2003) est de 94 m³/s. Ce débit donne, pour un bassin versant de 71 km², un débit de pointe spécifique de 1,3 m³/s/km².
- Le débit estimé par Alp'Géorisques (2003) confirme ces estimations et annonce un ordre de grandeur de 100 m³/s à St-Bueil. Ces mêmes auteurs estiment que le Ruisseau de la Cascade a présenté la crue relativement la plus importante avec un débit de 40 m³/s à la Gaité, pour un bassin versant de 4,75 km², soit un débit de pointe spécifique très important de 8,4 m³/s/km².

Selon Alp'Géorisques (2003) " *Les incertitudes sur la hauteur d'eau sont de ±20 cm. Il est probable que la surface libre était très agitée et les traces visibles sur les parois ne traduisent pas strictement la hauteur maximale atteinte. En outre, la hauteur était modifiée par le transport solide. On peut retenir, en première approximation, un débit de l'ordre de 100 m³/s.*"

La crue du 6 juin 2002 a détruit ce qui restait du moulin situé dans les gorges de Vaulserre (sous le château de Verchère) à 300 m de la confluence avec le Guiers. Ceci pourrait signifier que cette crue fut probablement la plus forte depuis le XVI ou le XVII^e siècle.

La crue du 6 juin 2002 a été suivie la même année par au moins deux autres crues conséquentes (Oct. et Nov. 2002) sur lesquelles aucune donnée n'existe. Ces crues ont continué à bouleverser la morphologie du cours d'eau et de ses affluents.

2.5.2. ANALYSE DES DONNEES OBSERVEES AUX STATIONS HYDROMETRIQUES

L'analyse des crues observées repose sur l'inventaire des crues remarquables (plus que biennales) enregistrées aux stations hydrométriques présentes sur le bassin versant. Les événements remarquables pour chaque station ont été analysés en fonction des débits sur les autres stations pour notamment comprendre le fonctionnement global du Guiers. Cette analyse est disponible en annexe 4. Les statistiques de crues utilisées pour classer les crues en termes de fréquences sont issues des données CRUCAL pour les stations DREAL et de l'ajustement de Gumbel des débits de crues mesurés de 1964 à 2010 par la CNR (cité par MERLIN, 2015) pour la station du Guiers à Belmont Tramonet.

Les données sur l'Ainan sont relativement réduites mais toutefois exploitables pour mieux cerner le fonctionnement hydrologique de ce cours d'eau. Les principaux points à retenir sont résumés ci-dessous.

2.5.2.1. Stations hydrométriques

Plusieurs stations hydrométriques fournissent des données de débits au sein de la zone d'étude permettant de caractériser l'hydrologie des cours d'eau du bassin versant (cf. tableau 9).

Deux stations hydrométriques ont été installées par le passé sur l'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine. Des débits sont fournis sur deux périodes (1972 - 1986 et 1995 - 2002). Les données sont disponibles sur la BANQUE HYDRO (<http://hydro.eaufrance.fr>).

La station de St-Geoire-en-Valdaine a cependant été détruite par la crue de 2002 sur l'Ainan. Elle n'a jamais été remise en état depuis cette date.

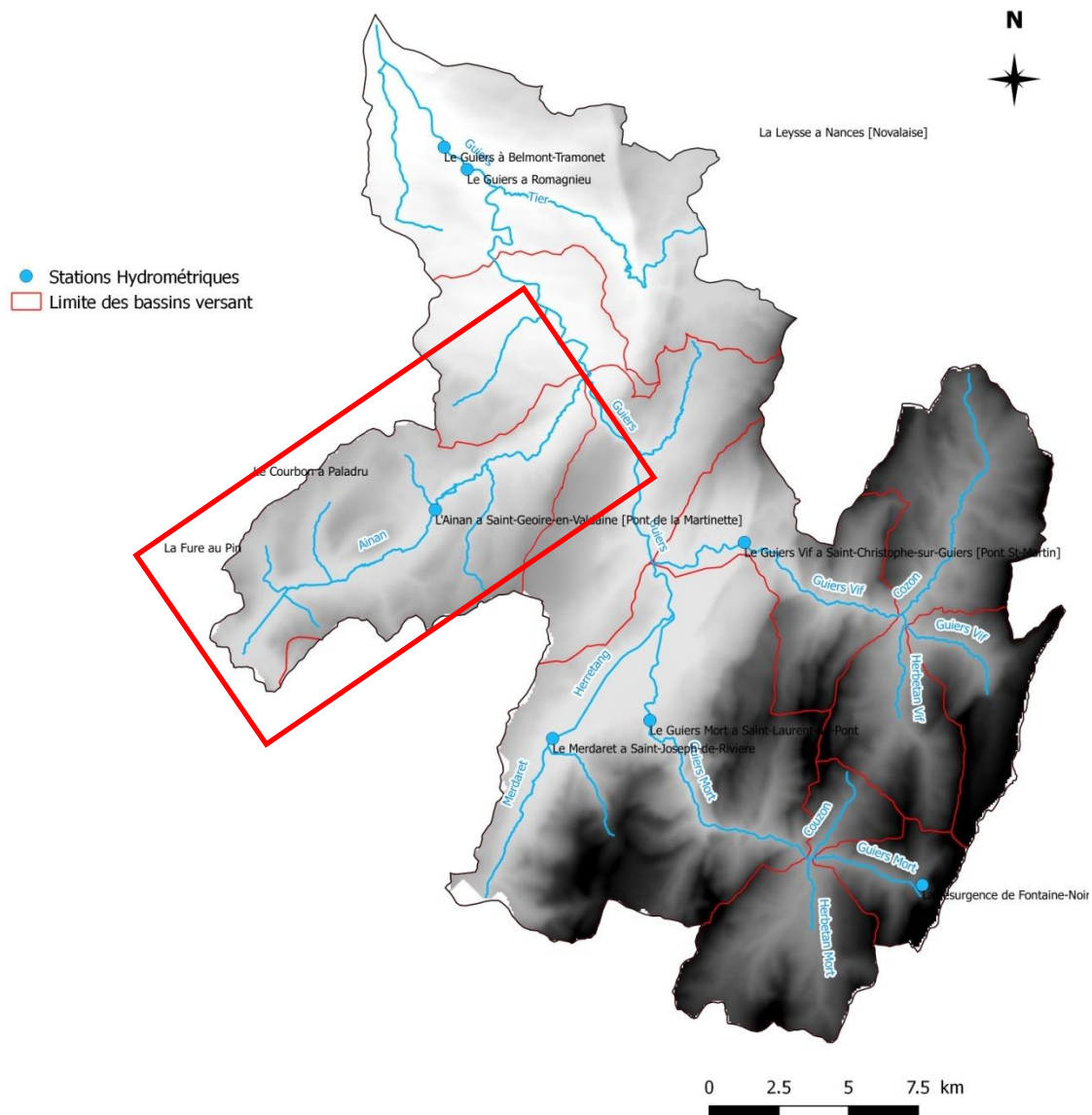


Figure 15 : Localisation des stations hydrométriques disponibles sur et autour du bassin versant du Guiers

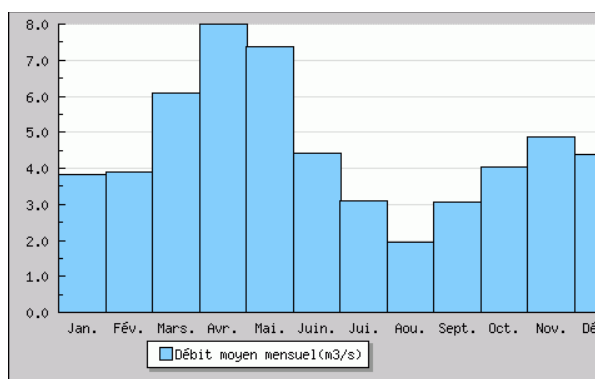
Tableau 8 : Caractéristiques des stations hydrométriques

Stations hydrométriques du Guiers					
Code de la station	Libellé de la station	Bassin versant	Gestionnaire	Hauteurs	Débits
				Données disponibles	Données disponibles
V1525410	L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine	41 km ²	DREAL	1972 - 1986	1972 - 1986

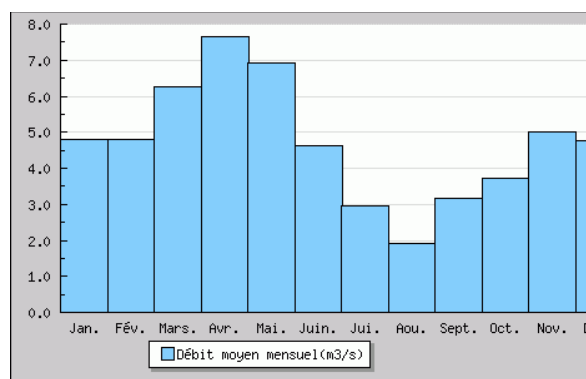
V1525420	L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine [Pont de la Martinette]	45 km ²	DREAL	1986 - 2002	1995 - 2002
----------	--	--------------------	-------	-------------	-------------

2.5.2.2. Régime hydrologique

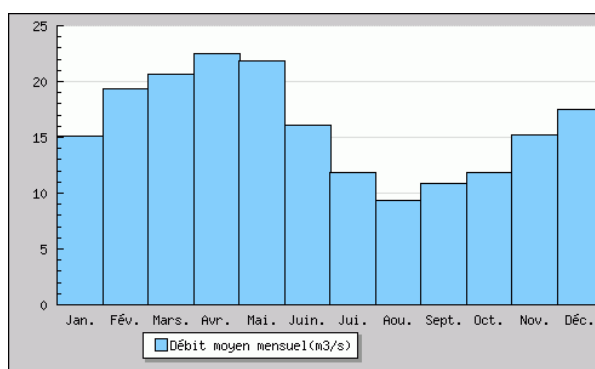
Comme pour le Guiers, le bassin versant de l'Ainan est fortement exposé aux perturbations océaniques. Le bassin versant du Guiers est très peu soumis aux crues méditerranéennes.



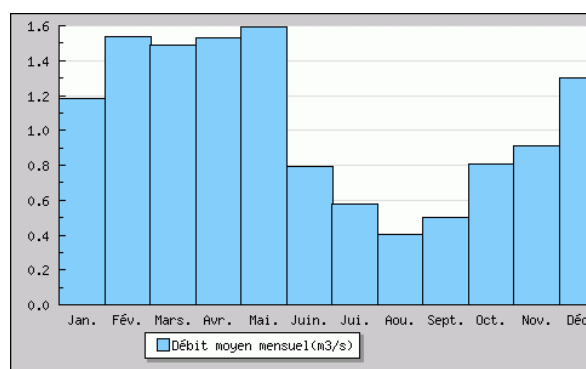
Le Guiers Mort à Saint-Laurent du Pont - SYNTHÈSE : données hydrologiques de synthèse (1970 - 2017)



Le Guiers Vif à Saint-Christophe sur Guiers [Pont Saint-Martin] - SYNTHÈSE : données hydrologiques de synthèse (1970 - 2018)



Le Guiers à Romagnieu - SYNTHÈSE : données hydrologiques de synthèse (1963 - 1982)



L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine - SYNTHÈSE : données hydrologiques de synthèse (1972 - 1986)

Figure 16 : Ecoulements mensuels (naturels) en m³/s pour 4 stations hydrométriques du bassin versant du Guiers (source : BANQUE HYDRO)

En revanche, si le Guiers possède un régime hydrologique pluvio-nival avec une période de hautes eaux se situant aux mois d'avril/mai (fonte des neiges), l'Ainan présente un régime hydrologique pluvial net provoqué par des précipitations abondantes durant l'hiver et les premiers mois du printemps.

2.5.2.3. Débits caractéristiques (BANQUE HYDRO)

Il n'existe pas sur le bassin versant de l'Ainan des sites jaugés depuis suffisamment longtemps pour permettre d'estimer, à partir des mesures et par une approche standardisée, les débits pour les crues rares. Cependant, les données hydrométriques de la station V1525410 (S= 41 km²) ont permis aux services de la DREAL de calculer des débits de référence entre Q₂ et Q₂₀ à partir d'un ajustement à une loi de GUMBEL sur 14 valeurs et 14 années.

Les résultats de l'analyse statistique spécifique des maxima annuels proposé par la BANQUE HDYRO sont reportés ci-dessous.

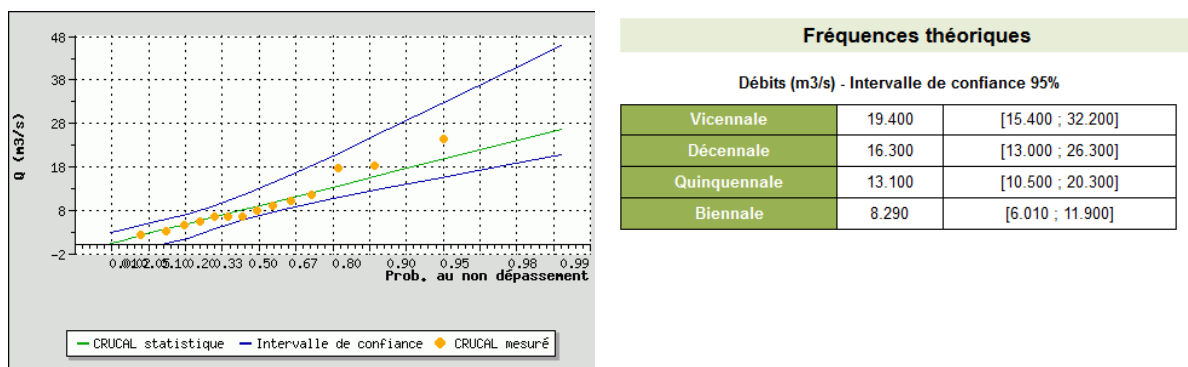


Figure 17. L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine - CRUCAL : débits maximaux instantanés de crue (1972 - 1986) - Période du 1 septembre au 31 août - Ajustement à une loi de GUMBEL sur 14 valeurs et 14 années

A titre de comparatif, les débits retenus dans le cadre de l'établissement du schéma d'aménagement et d'entretien du bassin versant de l'Ainan, en 2006, Burgeap sont précisés ci-dessous. Les valeurs retenues pour la Q10 (30 m³/s) sont quasi deux fois plus fortes par rapport à la station DREAL (Q10 = 17.5 m³/s pour S=45 km² en utilisant la formule de Myer avec un coefficient de 0,75).

Cours d'eau	Lieu	Surface en km²	Débits estimés (m³/s)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Ainan	Arsenal	17,5	6	10	14	19	26	31
Ainan	Cote d'Ainan	37,3	12	19	27	36	48	57
Ainan	Pont du Moulin	41,4	13	21	30	40	53	63
Ainan	Station DIREN	45	14	22	30	41	54	64
Ainan	Champet	50,4	15	24	34	45	60	71
Ainan	La Pale	53,5	16	25	35	47	62	74
Ainan	Amont MIVA	70,4	18	28	40	54	72	86
Ainan	Confluence	75,9	20	32	45	60	80	95

Rappelons que l'objectif n'est pas, ici, de comparer ces estimations avec les analyses hydrologiques déjà réalisées par ailleurs ou les résultats du modèle hydrologique MESRI développé pour la présente étude (voir 2.5.3 ci-dessous).

2.5.2.4. Répartition saisonnière des crues

Les 3 stations du Guiers, du Guiers Vif et du Guiers Mort qui sont significatives permettent d'avoir une bonne vision du fonctionnement hydrologique globale du bassin versant. La distribution saisonnière des plus fortes crues enregistrées (de fréquence au moins biennale), en termes de débits maximum instantanés (maximums horaires pour le Guiers à Belmont), montre une répartition des crues différenciée suivant les régimes hydrologiques des bassins versants :

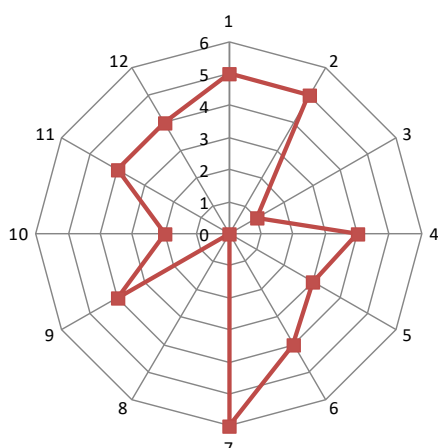
- Sur le Guiers Vif les crues sont globalement bien réparties sur toute l'année mais avec une prédominance de crues hivernales (en fréquence et en amplitude) générées par des épisodes

pluvieux plus longs combinés à une fonte massive du manteau neigeux (redoux hivernaux sur un bassin de moyenne altitude). Les crues d'été (juillet) sont également nombreuses mais de plus faibles amplitudes.

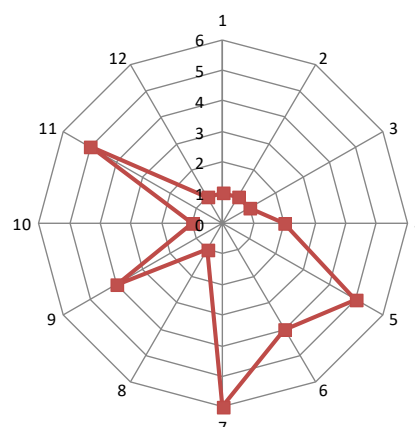
- Pour le Guiers Mort, les crues les plus fréquentes se produisent entre le printemps (mai et juin) et l'automne (octobre, novembre et décembre) caractéristique des régimes des rivières alpines pluvio-nivales. Les précipitations neigeuses plus abondantes et les températures plus froides liées à l'altitude moyenne plus élevée de ce bassin versant expliquent ces différences avec le Guiers Vif. L'amplitude des crues n'est pas marquée par les saisons.
- Le Guiers à Belmont-Tramonet combine la triple influence des crues du Guiers Vif, du Guiers Mort et de l'Ainan. Les crues les plus fréquentes se situent entre l'automne et l'été.

Malgré une période d'observation plus courte que sur les autres stations (19 ans au total avec une interruption de 8 ans), quelques crues significatives ont été observées (16 crues).

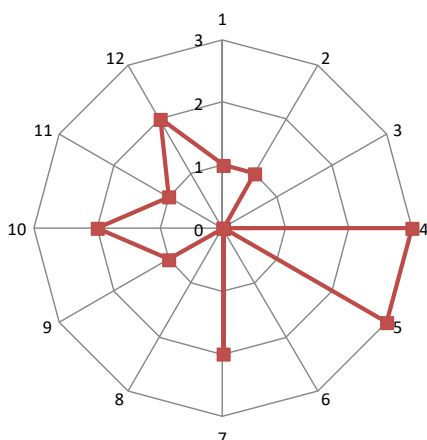
- Pour l'Ainan, la répartition mensuelle des crues montre que les crues les plus fréquentes se situent au début du printemps (avril et mai) et l'automne (octobre, novembre et décembre). Les crues d'été (juillet) sont également présentes. La crue de 2002 s'est produite en juin. La crue de 1991 en décembre.



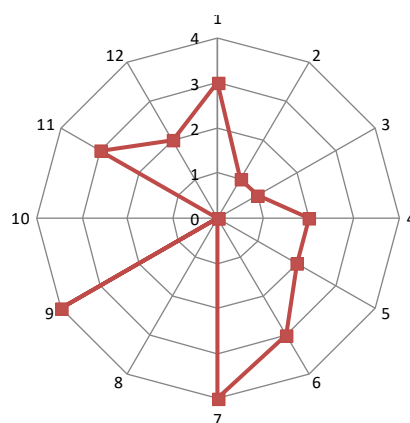
Le Guiers Vif à Saint-Christophe sur Guiers (42 crues entre 1970 et 2016)



Le Guiers Mort à Saint-Laurent du Pont (32 crues entre 1974 et 2016)



L'Ainan (16 crues entre 1972 et 1983)



Le Guiers à Belmont-Tramonet (25 crues entre 1990 et 2016)

Figure 18 : Répartition mensuelle des crues (nombre de crue par mois)

2.5.2.5. Crues "remarquables" enregistrées sur l'Ainan

Aucune crue remarquable n'est enregistrée sur l'Ainan entre 1995 et 2002. Les débits sont très faibles ($Q_p < 5,8 \text{ m}^3/\text{s}$). **La faible hydraulité sur cette période** est également observée sur les autres stations du Guiers avec quelques crues mais toujours plus faibles que Q_5 .

Les principales crues "remarquables" sur l'Ainan, reportées dans le tableau ci-dessous, sont observées entre 1972 -1986 sur la première station de l'Ainan. Il y a 16 crues plus que biennales à la station V1525410 (l'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine). Si les débits caractéristiques issues de l'étude Burgeap (2006) sont pris comme références, seules 5 crues sont plus que biennales. Sur cette période, aucune de ces crues ne correspond à une crue plus que biennale sur le Guiers aval. Seules deux crues sont également identifiées sur l'un ou l'autre des affluents du Guiers. **Les plus fortes crues de l'Ainan sont ainsi majoritairement indépendantes des crues du Guiers Vif et du Guiers Mort.**

Comme évoqué pour les régimes des cours d'eau, la position géographique des trois sous-bassins du Guiers induit des comportements différenciés entre eux.

Les crues successives de mai 1983 sont les crues pour lesquelles les plus forts débits ont été enregistrés à la station de SAINT-GEOIRE-EN-VALDAINE (bassin versant 41 km^2).

		L'Ainan à Saint-Geoire-en-Valdaine				Le Guiers Mort à Saint-Laurent-du-Pont		Le Guiers Vif à Saint-Christophe-sur-Guiers [Pont Saint-Martin]		Le Guiers à Belmont-Tramonet	
	DATE	Q max [m ³ /s]	Temps de retour (1)	Temps de retour (2)	Q max [m ³ /s]	Temps de retour	Q max [m ³ /s]	Temps de retour	Q max [m ³ /s]	Temps de retour	
1	21/07/72	8,95	Q2<QT<Q5		-	-	4,72	-			
2	14/09/75	18	Q10<QT<Q20	Q2<QT<Q5	59,1	-	25,6	-			
3	18/11/75	10,1	Q2<QT<Q5		10,8	-	11,3	-			
4	19/02/78	11,3	Q2<QT<Q5		23,2	-	24,9	-			
5	08/07/80	8,9	Q2<QT<Q5		54,4	-	31,2	-			
6	25/10/80	17,4	Q10<QT<Q20	Q2<QT<Q5	66,9	Q2<QT<Q5	36,9	-			
7	26/10/80	11,3	Q2<QT<Q5		32	-	16,8	-			
8	20/01/81	11,9	Q2<QT<Q5		3,75	-	5,55	-			
9	18/12/81	10,1	Q2<QT<Q5		11,8	-	10	-			
10	09/12/82	10,7	Q2<QT<Q5		42,2	-	4,51	-			
11	06/04/83	12,6	Q2<QT<Q5		21,2	-	28,7	-			
12	11/04/83	8,29	Q2<QT<Q5		19,6	-	26,2	-			
13	21/04/83	11,3	Q2<QT<Q5		17,3	-	39	-			
14	08/05/83	16,8	Q10<QT<Q20	Q2<QT<Q5	43,2	-	49,3	-			
15	16/05/83	24,2	QT>Q20	Q5<QT<Q10	42,2	-	80,7	Q2<QT<Q5			
16	25/05/83	22,9	QT>Q20	Q2<QT<Q5	16,2	-	34,7	-			

Malheureusement, aucune donnée sur l'Ainan n'est concomitante avec les crues de 1990 et 1991 qui sont les crues "modernes" les plus fortes enregistrées sur les 3 stations du Guiers dans la gamme de période de retour de plus de 20 ans. D'après les données historiques citées en début de chapitre, la crue de 1991 serait bien une crue généralisée sur l'ensemble du bassin versant avec une estimation de période de retour de 10 ans pour la crue de l'Ainan.

La crue de 2002 est atypique, avec une crue sur l'Ainan à priori exceptionnelle qui a produit une crue plus que quinquennale à l'aval de la confluence Guiers-Ainan.

Tableau 9 : Crues remarquables modernes enregistrées aux 3 stations de référence du bassin versant du Guiers

Année	DATE	Cours d'eau	Q max [m ³ /s]	Temps de retour
1990	14/02/1990	Guiers Mort	105	Q10<QT<Q20
	14/02/1990	Guiers Vif	169	QT>Q50
	15/02/1990	Guiers	403,4	Q20<QT<Q50
1991	22/12/1991	Guiers Mort	93,6	Q10<QT<Q20
	22/12/1991	Guiers Vif	140	QT>Q50
	22/12/1991	Guiers	449,05	QT>Q50
	22/12/1991	Ainan	40*	Q10
1992	21/11/92	Guiers Mort	87,4	Q5<QT<Q10
	21/11/92	Guiers Vif	128	Q20<QT<Q50
	21/11/92	Guiers	279,2	Q5<QT<Q10
1994	18/05/94	Guiers Mort	109	Q20<QT<Q50
	18/05/94	Guiers Vif	83,5	Q2<QT<Q5
	19/05/94	Guiers	201,878	Q2<QT<Q5
1996	08/07/96	Guiers Mort	112	Q20<QT<Q50
	08/07/96	Guiers Vif	89,4	Q5<QT<Q10
	08/07/96	Guiers	299,263	Q5<QT<Q10
2002	07/06/2002	Guiers Mort	119	Q20<QT<Q50
	06/06/2002	Guiers Vif	83,4	Q2<QT<Q5
	07/06/2002	Guiers	457,539	QT>Q50

* pas d'enregistrement

2.5.2.6. Analyse des hydrogrammes enregistrées sur l'Ainan

La réponse du bassin versant de l'Ainan aux précipitations n'est pas connue de manière précise faute de données de précipitations infra horaire concomitantes avec les données de débits.

Cependant, les hydrogrammes enregistrées sur la période de fonctionnement de la station sur l'Ainan (entre 1972 -1986) permettent toutefois d'observer les différentes formes de réponse de l'Ainan pour les 16 crues les plus fortes.

La figure ci-dessous présente les hydrogrammes normés réduit pour 15 de ces 16 crues (la crue de février 1978 est éliminée d'office de l'échantillon du fait des deux pointes de crue).

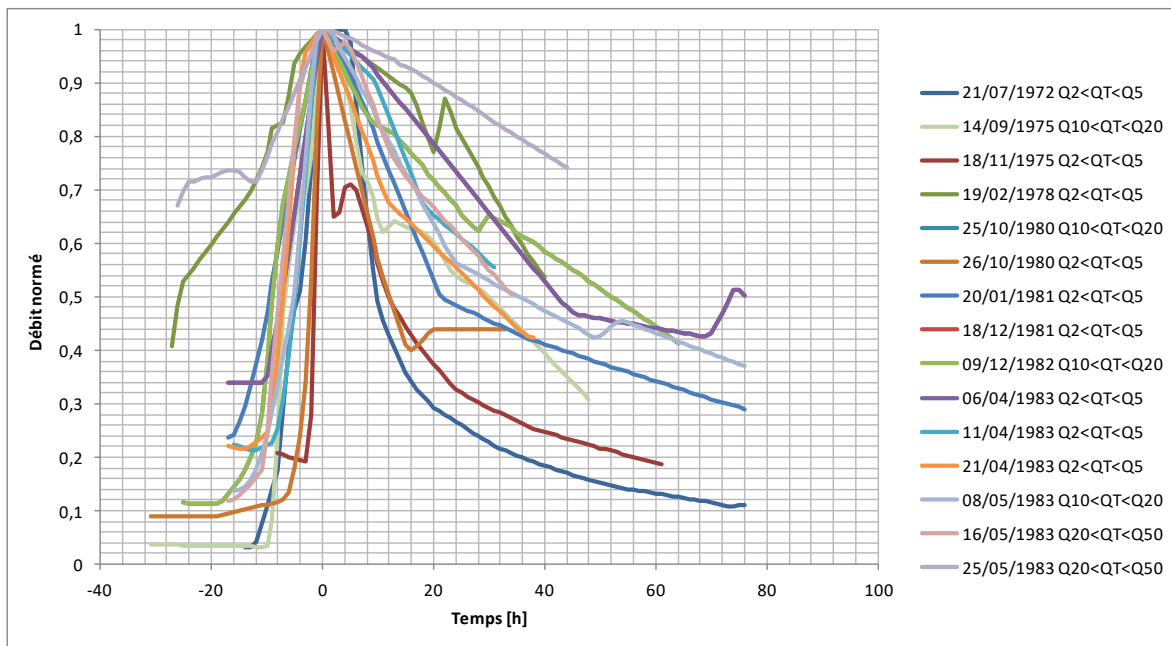
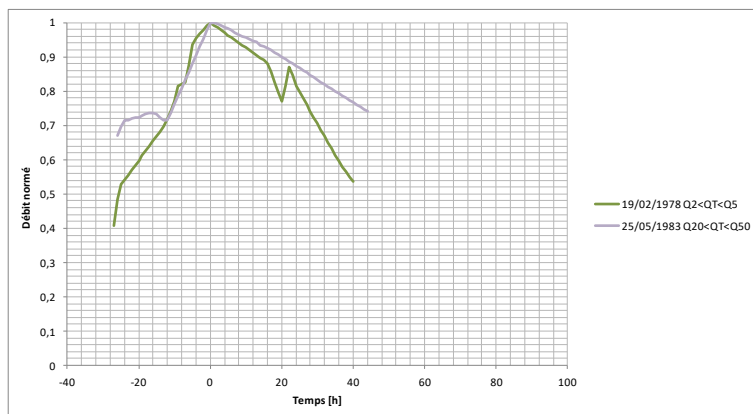


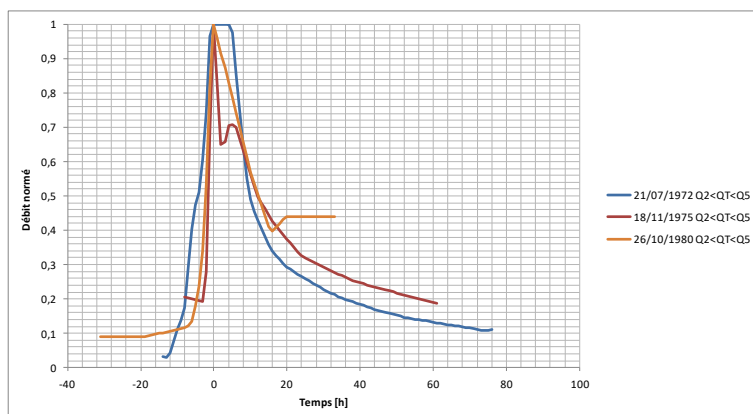
Figure 19 Comparaison des hydrogrammes normés de l'Ainan

Il est possible de distinguer différents types de forme de crue :

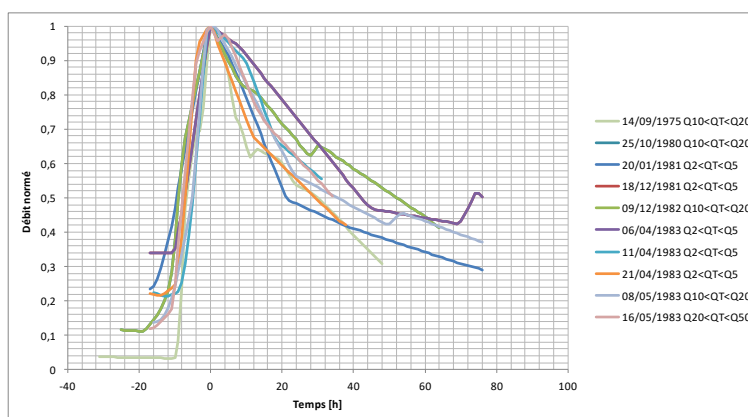
- des crues atypiques avec des débits initiaux forts et des montées de crue très lentes (nov 75 et 3ème événement de mai 83).



- des crues très rapides (juillet 72, sept 75 et juillet 80)



- les 10 autres crues présentent une montée de crues très similaires (d'environ 12h) avec une décrue prononcée, témoignant d'écoulement retardé.



2.5.3. ESTIMATIONS DES DEBITS CARACTERISTIQUES

Dans la présente étude, la question centrale est de définir l'événement de référence de l'Ainan, de l'amont vers l'aval du cours d'eau. Cet événement sera pris en considération dans les modélisations hydrauliques.

Pour rappel la doctrine PPRi demande à définir « la plus forte crue connue » et de lui associer un temps de retour. En effet si cette crue historique est plus faible qu'une crue centennale, la doctrine prévoit de prendre cette dernière comme crue de référence.

Ainsi l'analyse des débits de crues extrêmes est une étape essentielle pour la définition de la crue de référence puisqu'elle permet soit d'estimer la période de retour des événements observés soit d'estimer le débit qui correspond à une période de retour choisie.

La difficulté pour l'Ainan est d'attribuer un temps de retour aux crues observées sachant que les chroniques de débits existantes sont trop courtes pour établir des analyses statistiques pour des crues rares.

De nombreuses méthodes pour exploiter au mieux les informations de séries locales et les données régionales ont été utilisées pour l'étude des crues extrêmes sur le bassin versant de l'Ainan (voir liste des études). Les trois études les plus complètes et présentant une synthèse des études antérieures sont celle d'Alp'Géorisque (étude post-crue de 2003), celle de Burgeap (2006) et celle de Merlin (2015).

Pour la présente étude, HYDRETUDES a développé un modèle hydrologique Pluie/Débit nommé "MESRI" afin d'estimer les débits de pointe de crue et les hydrogrammes de crue de période de retour 100 ans de l'amont à l'aval du Guiers (voir partie 3.1 et annexe 6).

La synthèse des données existantes sur le bassin versant de l'Ainan couplée à des calculs hydrologiques complémentaires a permis de récapituler les débits de référence du cours d'eau.

2.5.3.1. SIEE (1996) - cité par les autres études

Le débit de crue décennal a été estimé par des méthodes analytiques telles que la méthode CRUPEDIX ou encore la méthode rationnelle qui s'est avérée être la plus cohérente. Les débits exceptionnels ont ensuite été estimés par la méthode du Gradex. La période d'analyse (1972-1986) ne prend pas en compte les pluviométries exceptionnelles (et les débits) de 1990 à nos jours.

Les valeurs annoncées de débits de crue de l'Ainan à Saint Geoire en Valdaine ($S = 41 \text{ km}^2$, $Q_{10} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_{100} = 27 \text{ m}^3/\text{s}$) et à la confluence par transposition ($S = 78 \text{ km}^2$, $Q_{10} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_{100} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$) sont environ 30 % plus faibles que les autres estimations.

2.5.3.2. Alp'Géorisque (étude post-crue de 2003)

Suite à la crue exceptionnelle du 6 juin 2002, AlpGéorisques a réalisé une étude hydrologique sur l'ensemble du bassin versant de l'Ainan pour répondre à deux objectifs principaux :

- Une meilleure compréhension de la crue du 6 juin 2002 et plus particulièrement des relations entre les pluies et les débits qui sont apparues lors de cet épisode ;
- La détermination de débits de projet pouvant être utilisés pour la définition des aménagements à reconstruire ou à réaliser.

Les pluies théoriques pour différents temps de retour ont été estimées à partir des données journalières de différents pluviomètres situés dans le bassin versant ou à proximité (Charavines-les Vannes, Chirens, Le Pont de Beauvoisin).

Les résultats de débit sont issus d'un modèle de transformation pluie/débit s'appuyant sur la méthode SCS et réalisé sur HEC-HMS à partir de hyetogrammes théoriques ($P_{100}=121.8$ mm sur 12 h) ; à noter que seules deux durées de pluies ont été modélisées (2 h et 12 h) et que les résultats des hydrogrammes ne sont pas disponibles.

Faute de données hydro-météorologiques, les paramètres du modèle hydrologique n'ont pas été calés mais estimés à partir des caractéristiques du bassin versant (occupation du sol, pente etc.) et des valeurs issues de la littérature usuelle.

Cette première étude complète sur le bassin versant de l'Ainan est cependant très intéressante. Elle souligne les spécificités du bassin versant de l'Ainan (abondance des zones humides dans le haut bassin, imbrication des sous bassins, etc.) qui limitent l'importance des crues fréquentes et paraissent ainsi favoriser une sous-estimation des risques induits par ce cours d'eau. Il est vraisemblable que l'Ainan connaisse un fonctionnement à seuil et que la réponse de son bassin versant puisse être violente dans des conditions hydrologiques particulières (pluies fortes et après saturation du bassin). L'analyse de ce fonctionnement nécessiterait la disponibilité de longues séries de mesures limnimétriques et pluviométriques.

Le rapport Q_{10}/Q_{100} à la confluence est de 2.5, ce qui est important par rapport aux autres bassins versants de la zone d'étude.

Tableau 10 : Estimation des débits de l'Ainan (Alp'Géorisque (étude post-crue de 2003))

Bassin versant	Surface	Débits estimés		
		10 ans	50 ans	100 ans
Ainan à L'ARSENAL	17.5 km ²	19 m ³ /s	37 m ³ /s	47 m ³ /s
Ainan à LA COTE D'AINAN	37.3 km ²	31 m ³ /s	60 m ³ /s	76 m ³ /s
Ainan amont de SAINT-GEOIRE	41.4 km ²	33 m ³ /s	65 m ³ /s	82 m ³ /s
Ainan aval de SAINT-GEOIRE	50.4 km ²	36 m ³ /s	70 m ³ /s	90 m ³ /s
Ainan au Pont de LA PALE	53.5 km ²	37 m ³ /s	72 m ³ /s	92 m ³ /s
Ainan à SAINT-BUEIL (amont MIVA)	70.4 km ²	40 m ³ /s	79 m ³ /s	102 m ³ /s
Confluence du Guiers	75.9 km ²	45 m ³ /s	87 m ³ /s	111 m ³ /s

Nota. Les débits ont été arrondis au m³/s supérieur.

Les estimations présentées dans l'Atlas des zones inondables du Guiers sont, pour l'Ainan, issues de cette étude post-crue.

2.5.3.3. Burgeap (2006)

Dans le cadre de l'établissement du schéma d'aménagement et d'entretien du bassin versant de l'Ainan, en 2006, BURGEAP a précisé l'hydrologie de l'Ainan.

Après avoir caractérisé les bassins versants, Burgeap a basé ses estimations sur trois types d'analyse :

- Les ajustements de Gumbel sur les données de la station hydrométrique de St-Geoire pour les crues faibles et moyennes (Q_2 , Q_5 , et Q_{10}). Le débit de crue décennale estimé à la station hydrométrique de St-Geoire est de $17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($S= 45,0 \text{ km}^2$). Pour rappel, l'estimation de la Q_{10} de la BANQUE HYDRO ($Q_{10\text{CRUCAL}}= 16,3 [13-26,3] \text{ m}^3/\text{s}$ à partir d'un ajustement à une loi de GUMBEL sur 14 valeurs et 14 années). Elle intègre bien les valeurs des crues de mai 1983.
- Les données annoncées par Alp'Géorisques (2003) pour les petites crues (Q_2 , Q_5 , Q_{10}) issues de leur modèle Pluie-Débit.
- Une analyse régionale des débits de crues des cours d'eau de la région (Guiers, Guiers Mort et Vif, Fure, Morge...). L'analyse régionale est basée sur les débits estimés pour l'Ainan issus des études antérieures et des estimations de débits de crue de cours d'eau voisins présentant, dans la mesure du possible, une bonne similarité géomorphologique (Bourbre et Morge avec la présence de zones marécageuses et de secteurs plus encaissés). Seule la Bourbre est équipée d'une station hydrométrique.

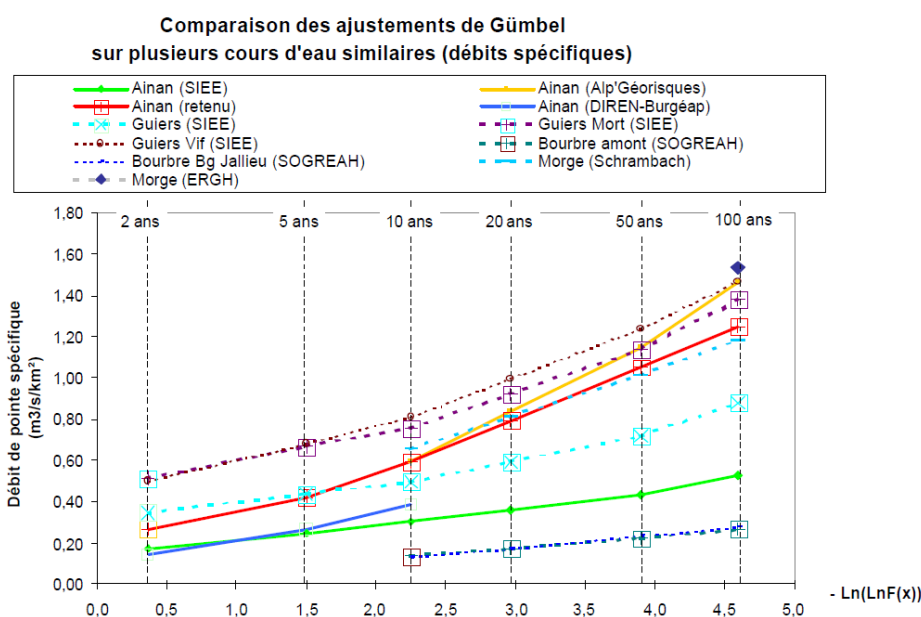


Figure 20 Comparaison des ajustements de Gumbel sur plusieurs cours d'eau similaires (débits spécifiques)
Burgeap (2006)

Au final les valeurs retenues par Burgeap (2006) se basent sur les hypothèses suivantes :

- Les estimations de débits des petites crues issus des ajustements statistiques (Q_2 à Q_{10}) sont révisées à la hausse pour intégrer indirectement l'effet des crues récentes les plus fortes (2002) non prises en compte. Les débits d'Alp'Géorisques (2003) pour les petites crues (Q_2 , Q_5 , Q_{10}), issues de leur modèle Pluie-Débit, sont ainsi converties.
- Les données régionales de la Bourbre à Bourgoin-Jallieu ($S= 304 \text{ km}^2$) sont les plus pertinentes pour extrapoler les débits supérieurs à Q_{10} sur l'Ainan à sa confluence.

La Bourbre présente effectivement un fonctionnement similaire en considérant qu'il s'agit d'un cours de marais avec des phénomènes d'écrêtement importants.

A priori c'est donc l'ajustement de Gumbel sur cette station qui est utilisé pour obtenir le gradex (c'est à dire la pente de l'ajustement) qui sera appliqué à la Q10 de l'Ainan pour obtenir les débits Q20, Q50 et Q100 (voir figure ci-dessous). Le débit de crue centennale est arrondi à 95 m³/s à l'exutoire (S=74,9km²). A titre de comparaison l'ajustement utilisé par Alp'Géorisques est également représenté.

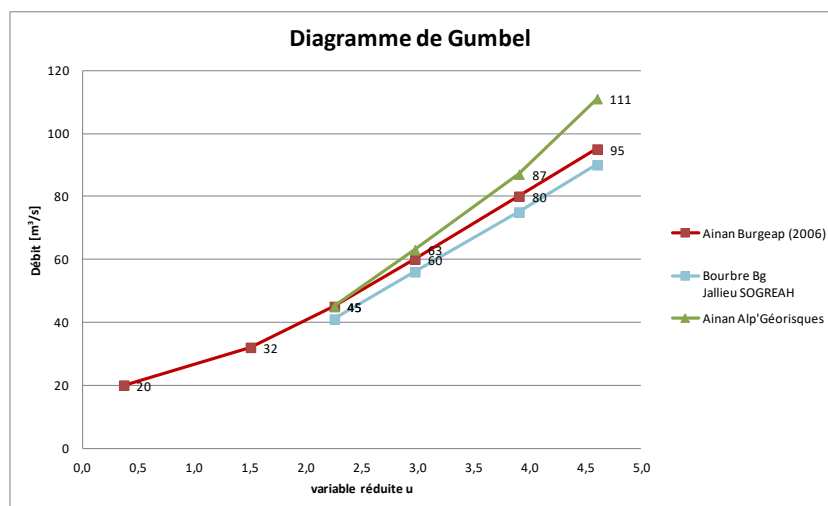


Figure 21 Ajustement des débits de l'Ainan à l'exutoire

Les valeurs retenues pour la Q100 sont inférieures à celles d'Alp'Géorisques de 15 % environ (95 m³/s contre 111 m³/s). Ceci conduit, avec les débits de la crue de 2002 estimés à 100 m³/s à St-Bueil, à qualifier l'événement de 2002 comme une crue plus nettement centennale.

Pour le reste du bassin versant, Burgeap (2006) transpose les données calculées à l'exutoire au reste du bassin versant en utilisant la formule de Myer avec un coefficient de 0,75 et en modulant les valeurs obtenues à partir des résultats de la modélisation hydrologique d'Alp'Géorisques, de façon à intégrer implicitement les effets de l'occupation du sol et de la géomorphologie.

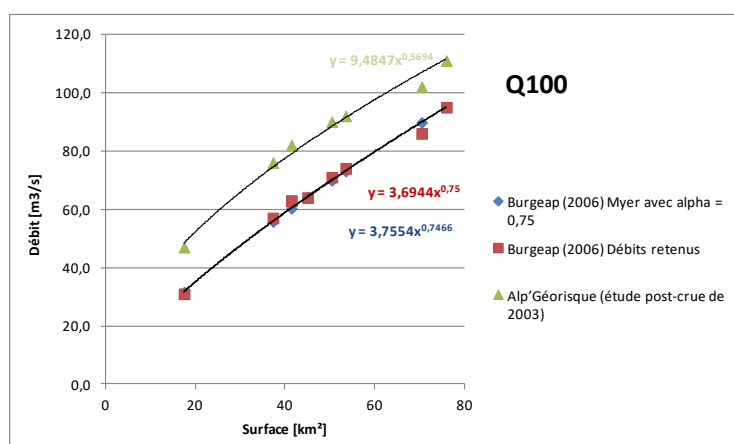


Figure 22 Comparaison des régressions linéaires des valeurs Alp-Géorisques et des valeurs Burgeap retenues

Burgeap (2006) présente également les données hydrologiques de référence pour chaque affluent de l'Ainan issues de méthode rationnelle pour la Q10 et de l'application du Gradex pour la Q100. Ces résultats sont présentés à titre informatif. Les débits retenus sont présentés dans le tableau et les cartes ci-dessous :

Tableau 11 : Débits retenus pour l'Ainan - Burgeap (2006)

Cours d'eau	Lieu	Surface en km ²	Débits estimés (m ³ /s)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Ainan	Arsenal	17,5	6	10	14	19	26	31
Ainan	Cote d'Ainan	37,3	12	19	27	36	48	57
Ainan	Pont du Moulin	41,4	13	21	30	40	53	63
Ainan	Station DIREN	45	14	22	30	41	54	64
Ainan	Champet	50,4	15	24	34	45	60	71
Ainan	La Pale	53,5	16	25	35	47	62	74
Ainan	Amont MIVA	70,4	18	28	40	54	72	86
Ainan	Confluence	75,9	20	32	45	60	80	95

Tableau 12 : Débits retenus pour les affluents de l'Ainan - Burgeap (2006)

Cours d'eau	S	Module		Etiage QMNA5		Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
	km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Cras	5.5	0,079	14	0,004	0,78	3,5	5,7	8,0	12,8	19,0	24,0
Fredièrè	9.5	0,152	16	0,012	1,21	4,6	7,5	10,5	16,8	25,0	31,0
Combes	2.1	0,025	12	0,001	0,36	1,5	2,5	3,5	5,7	8,5	10,5
Gorges	2.5	0,031	12	0,001	0,42	2,2	3,6	5,0	8,3	12,5	16,0
Verderet	0.5	0,004	9	0,000	0,11	1,0	1,6	2,2	3,2	4,5	6,0
Cascade	5.8	0,084	14	0,005	0,82	3,7	6,0	8,5	13,3	19,5	24,5
Pajolière	0.7	0,007	9	0,000	0,15	1,1	1,8	2,5	4,2	6,5	8,0
Brut	0.7	0,007	9	0,000	0,15	1,1	1,8	2,5	4,2	6,5	8,0
Touvat	0.9	0,009	10	0,000	0,18	0,9	1,4	2,0	3,3	5,0	6,5
Davière	2.4	0,029	12	0,001	0,40	1,8	2,8	4,0	6,8	10,5	13,0
Crozarièu	2.9	0,037	13	0,001	0,47	2,2	3,6	5,0	8,5	13,0	16,5
Aigueblanche	9.8	0,158	16	0,012	1,24	5,3	8,5	12,0	18,1	26,0	33,5
Picaudière	2.7	0,034	12	0,001	0,44	2,2	3,6	5,0	8,3	12,5	16,0
Mollard	0.6	0,006	9	0,000	0,13	0,9	1,4	2,0	3,3	5,0	6,5
Satre	0.6	0,006	9	0,000	0,13	0,9	1,4	2,0	3,1	4,5	6,0

2.5.3.4. Burgeap (2009)

Pour l'Ainan, les données à la confluence sont celles de **Burgeap (2006)** : (S= 75,9 km², Q10 = 45 m³/s et Q100=95 m³/s).

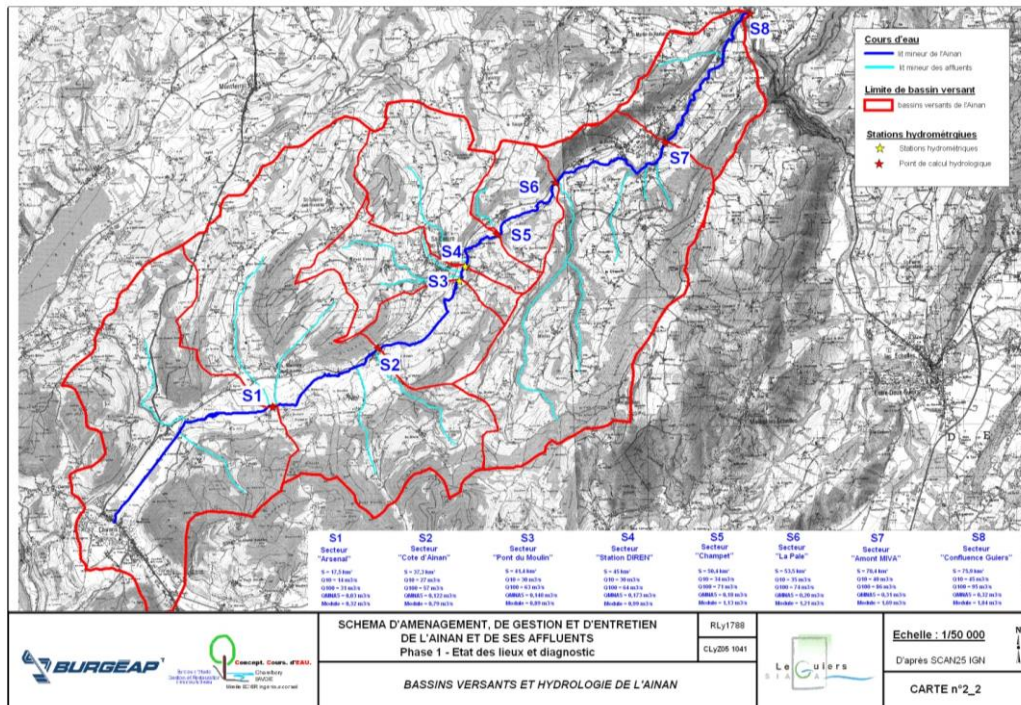


Figure 23 Débits retenus pour l'Ainan - Burgeap (2009)

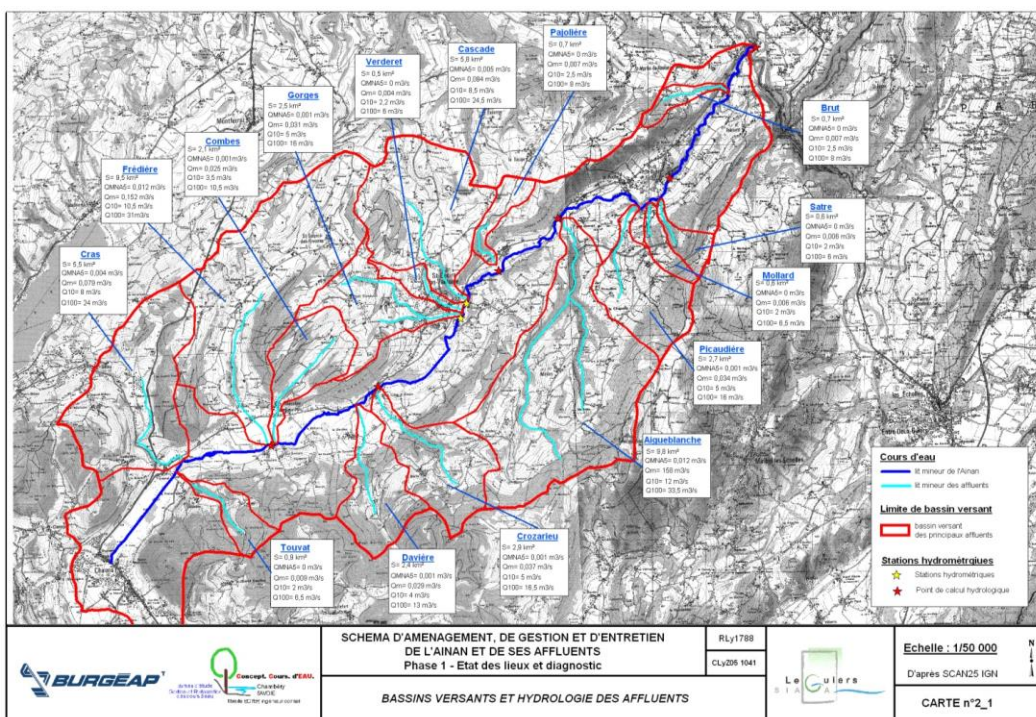


Figure 24 Débits retenus pour les affluents de l'Ainan - Burgeap (2009)

2.5.3.5. Merlin (2015)

L'étude de Merlin sur l'Ainan, propose pour la crue décennale (Q_{10}) à Saint Geoire en Valdaine d'utiliser :

- Les formules CRUPEDIX et Rationnelle. Les valeurs qui ressortent ($S=35\text{ km}^2$, $Q_{10}=30$ et $38\text{ m}^3/\text{s}$) sont supérieures à la valeur issue de l'analyse statistique mais restent proches de la valeur estimée par Alp'géorisques dans son étude post-crue et celles de Burgeap (2006).
- La méthode des maxima annuels donne un débit inférieur aux estimations des études antérieures ; ceci peut s'expliquer par le fonctionnement à seuil du bassin versant de l'Ainan, qui tend à amortir les crues de faibles périodes de retour.

Pour la crue centennale (Q_{100}), les méthodes SPEED et du GRADEX ne sont pas jugées valides par Merlin sur le bassin versant du Guiers, étant donné la nature du bassin, l'hétérogénéité des pluies et le manque de précision des données. Aucune nouvelle valeur n'est proposée.

Dans la suite de l'étude Merlin fait le choix de privilégier les mesures dans la hiérarchie des données :

- Q_{10} : la valeur retenue pour la Q_{10} est donc celle de la DREAL ; la série de données de 15 ans est considérée comme suffisamment fiable pour des crues de faibles périodes de retour, représentatives d'un fonctionnement du bassin en-dessous du « seuil de saturation » des zones humides ($Q_{10}=18\text{ m}^3/\text{s}$) ;
- Q_{50} et Q_{100} : la valeur retenue pour la Q_{100} est une transposition de bassin versant sur la base du débit de pointe estimé pour la crue de 2002 ($100\text{ m}^3/\text{s}$ à Saint-Bueil). Les paramètres de transposition ne sont pas bien identifiés.

Dans tous les cas, la valeur retenue pour Q_{100} à Saint-Geoire en Valdaine pour les deux stations hydrométriques jadis présentes sur l'Ainan sont de $65\text{ m}^3/\text{s}$ (pour $S=45\text{ km}^2$) et $60\text{ m}^3/\text{s}$ pour ($S=41\text{ km}^2$). Ces valeurs sont équivalentes à celles de Burgeap (2006, 2009).

- Le rapport Q_{100}/Q_{10} est de 3,3, ce qui est très important par rapport aux autres bassins versants de la zone d'étude.

Tableau 13 : Valeurs du débit de pointe décennal estimé par les formules usuelles d'hydrologie Merlin (2015) :

Source	Date	Données		Méthodologie		Q_{10} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
		Pluie (poste pluviométrique de Chirens)	Débit (St-Geoire en Valdaine)	Q_{10}	Q_{50} et Q_{100}			
Cabinet MERLIN	2015	1950-1999 (49 ans)	-	CRUPEDIX et Rationnelle	-	34 [22 ; 51]	-	-
		-	1972-1986 (15 ans) ²¹	Méthode des maxima annuels		17 [ND]	-	-
BURGEAP Etude préalable et restauration du site	2012	1980-2010 (30 ans)	1973-2002 (19 ans) ²²	Analyse régionale et analyse locale par formules usuelles (CRUPEDIX, LAMA, transposition de bassin versant,	Analyse régionale et analyse locale par formules usuelles (Gradex, transposition de bassin versant)	30 ²³	54	64
BURGEAP Schéma morphoécologique	2010							
BURGEAP Schéma d'aménagement, de gestion et d'entretien	2006							
Alp'Georisques Atlas des ZI	2004	1961 -1998 (38 ans)	1973-2002 (19 ans)	CRUPEDIX	Gradex	24 ²⁴	47 ¹¹	60 ¹¹
Alp'Georisques Etude post crue	2003	Pas de détail sur les échantillons utilisés		Modèle transformation pluie/débit		33	65	82
STEE	1996	Pas de détail sur les échantillons utilisés		CRUPEDIX ou rationnelle	Gradex	15	22	27
Valeur statistique retenue en amont de la zone d'étude						18	50	60

²¹ Contrairement à BURGEAP et Alp'Géorisques, le choix est fait de ne conserver que la première station hydrométrique car la DREAL considère que les deux stations, d'ailleurs situées à deux endroits différents, sont distinctes.

²² Interruption des mesures pendant 10ans (de 1985 à 1995)

²³ Valeurs à la station DIREN ($S=45\text{ km}^2$)

²⁴ Estimé par formule de Myer (avec $\alpha=0,8$) pour $S=41\text{ km}^2$ à partir du bassin versant global de l'Ainan ($S=76\text{ km}^2$) ; voir détails de la formule en annexe 8.26 page 185;

2.5.3.6. Estimations HYDRETTUES (2017)

Pour la présente étude, HYDRETTUES a réalisé deux types d'estimations :

- **Méthodes CRUPEDIX et SOCOSE pour la Q10.**

Les calculs pour l'estimation de la Q10 ont été repris avec les méthodes CRUPEDIX et SOCOSE. Les données de pluie sont des données SHYREG issues de l'étude Merlin (2015) pour la pluie décennale ($P=118,8$ mm à Saint Geoire en Valdaine). Pour la température et la pluie moyenne interannuelle les données sont celles issues des analyses d'IRSTEA (données SAFRAN sur le BV de 1968-2010). Les caractéristiques physiques des bassins versant sont celles issues de l'étude Burgeap (2006).

Tableau 14 : Valeurs du débit de pointe décennal estimées par les formules CRUPEDIX et SOCOSE (HYDRETTUES).

Avec $P_a=1128$ mm ; $P_j(10)=118,8$ mm et $T_a=11$ °C.

Point de calcul*	Surface (km ²)	Longueur (km)	Pente (m/m)	Q10 (m ³ /s)	
				CRUPEDIX	SOCOSE
Arsenal	17,5	2,0	0,25	21,8	17,4
Cote d'Ainan	37,3	6,8	0,38	39,9	37,3
Pont du Moulin	41,4	9,3	0,64	43,4	42,3
Station DIREN	45,0	9,6	0,70	46,3	45,3
Champet	50,4	10,1	0,74	50,7	49,8
La Pale	53,5	12,1	0,73	53,2	53,5
Amont MIVA	70,4	15,3	1,06	66,3	68,3
Confluence	75,9	18,8	1,00	70,4	74,5

*Toutes choses étant égales par ailleurs la formule Crupedix est une formule de Myer avec $\alpha = 0,8$. Pour SOCOSE, α est variable d'une station à l'autre mais très proche de 1.

Les valeurs qui ressortent sont supérieures aux autres études, notamment à l'exutoire. Par exemple à la station DREAL(1) ($S=41$ km² et $Q_{10} = 43,4$ m³/s).

- **Modèle pluie/débit MESRI pour Q10 et Q100.**

Le modèle pluie/débit MESRI a également été développé pour le bassin de l'Ainan (il est la base de l'hydrologue sur le Guiers). Les données concomitantes de pluie et de débits étant insuffisantes pour le calage du modèle sur l'Ainan, les paramètres de calage utilisés sont ceux établis pour le Merdaret-Guiers Mort.

Les estimations de débits Q10 et Q100 (cf. tableau ci-dessous) sont obtenus à partir d'une pluie de projet simple triangle de durée 24h à partir des pluies SHYREG (3 polygones de THIESSEN sont utilisés pour construire une pluie spatiale de projet sur l'Ainan).

- Q10 : les valeurs obtenues pour la Q10 à l'exutoire sont proches de celles estimées avec les méthodes régionales (CRUPEDIX et SOCOSE) et donc bien plus importantes que celles des autres études. Pour les stations plus à l'amont, les débits sont plus proches : au niveau de la station DREAL(2) $Q_{10} = 40$ m³/s pour $S=44,7$ km².
- Q100 : les valeurs obtenues pour la Q100 à la confluence sont du même ordre de grandeur que celles de Burgeap (2006) avec 93 m³/s à l'exutoire ($S=73,8$ km²). Les valeurs pour les autres points de calcul plus en amont sont en revanche plus faibles (plus le point de calcul est à

l'amont, plus la différence est importante). L'estimation des débits aux autres points de calcul correspond à une formule de Myer avec un coefficient alpha proche de 1 (contre 0.75 pour les autres méthodes).

- Le rapport Q10/Q100 à la confluence est de 1,26.

Tableau 15 : Valeurs du débit de pointe décennal et centennale estimées à l'aide du modèle MESRI (HYDRETUDES).

Point de calcul*	Surface [km ²]	Q10 [m ³ /s]	Q100 [m ³ /s]	Q100/Q10	Débit spécifique Q100 [l/s/km ²]
Ainan amont Touvat (Vieux moulin)	11,55	10,4	14,8	1,43	1,28
Ainan amont Frediere	20,53	18,3	26,1	1,43	1,27
Ainan amont Matton	33,98	30,4	43,3	1,43	1,28
Ainan Crozarieu (Cote d'Ainan)	38,75	34,6	49,3	1,43	1,27
Ainan amont St-Geoire	44,72	40,0	57,0	1,43	1,28
Ainan amont Aigueblanche	57,38	51,1	72,8	1,42	1,27
Ainan aval Aigueblanche	67,43	60,5	86,3	1,43	1,28
Ainan exutoire	73,84	65,4	93,2	1,42	1,26

*l'estimation des débits aux autres points de calcul correspond à une formule de Myer avec alpha proche de 1.

L'hydrogramme obtenu présente une montée de crue de 20h et une décrue très rapide.

2.5.3.7.Synthèse et valeurs retenues

Les figures suivantes synthétisent les résultats obtenus lors des différentes études pour la Q10 et Q100.

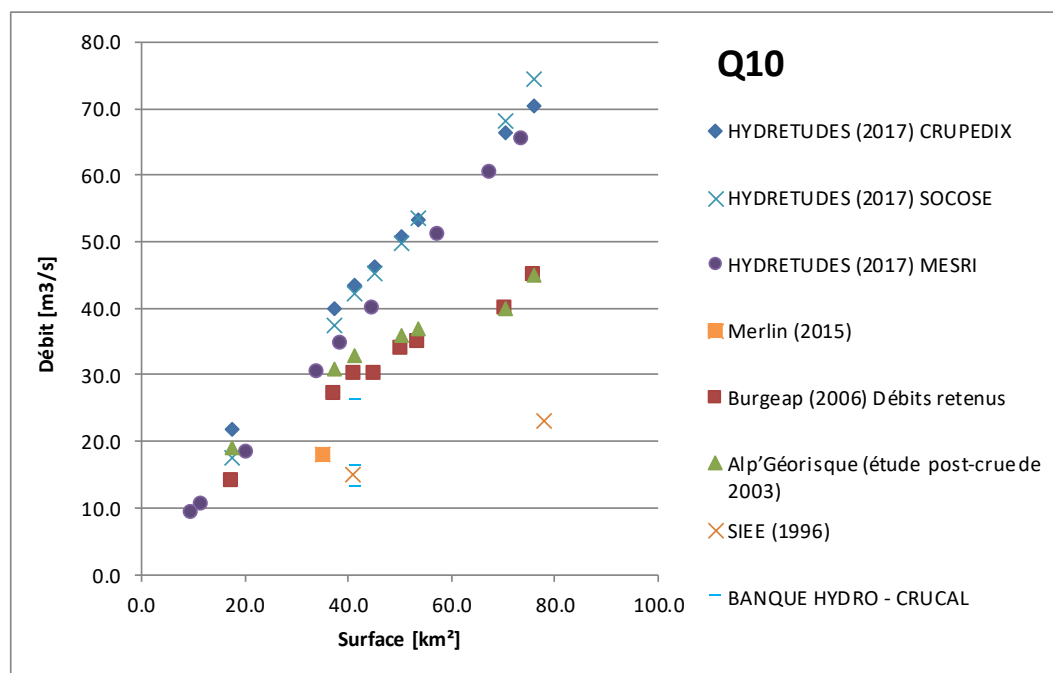


Figure 25 Comparaison des estimations de débit selon le point de calcul sur l'Ainan pour Q10

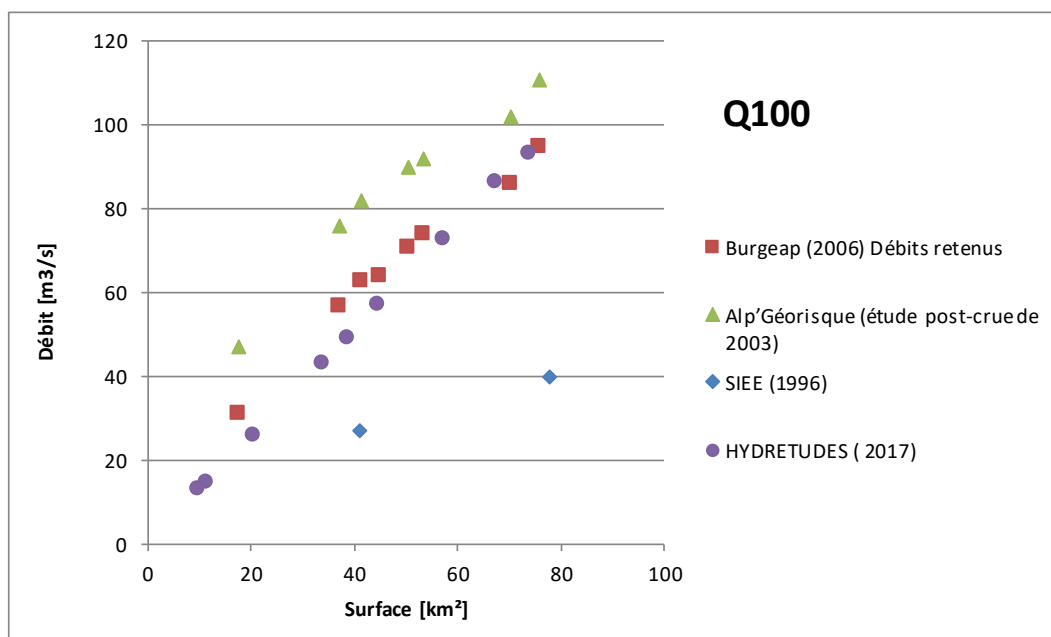


Figure 26 Comparaison des estimations de débit selon le point de calcul sur l'Ainan pour Q100

Les résultats sur l'Ainan présentent des écarts importants suivant les méthodes utilisées et la localisation des points de calculs ; ce qui s'explique à la fois par l'absence de données suffisantes pour une étude statistique valide, l'absence de référence pour le calage des modèles et en particulier le fonctionnement hydrologique par seuil de l'Ainan.

En résumé :

- **Q10** : Les estimations SIEE (1996), les estimations de la DREAL (BANQUE HYDRO sur 14 années) ainsi que les estimations de Merlin (2015) sont faibles par rapport aux estimations de la Q10 qui sont relativement cohérentes entre les données Alp'Géorisque (étude post-crue de 2003) et Burgeap (2006, 2009) sur l'ensemble des points de calculs du bassin versant (avec une surestimation des débits de crue par la méthode d'Alp'Géorisque sur les points les plus en amont). Les débits Q10 estimés par la méthode CRUPEDIX, SOCOSE et MESRI avec des données récentes montrent qu'au contraire les estimations antérieures sont peut-être sous-estimées.

La valeur proposée à la station DREAL par Alp'Géorisque (2003) et Burgeap (2006) est retenue par mesure de sécurité (Q10 = 30 m³/s). Elle est plus forte que celle estimée à partir des observations sur 14 années. Elle reste aussi dans le même ordre de grandeur (10% près) que la fourchette la plus haute des estimations DREAL (Q10 = 16,3 [13-26,3] m³/s). Les estimations CRUPEDIX, SOCOSE et MESRI sont jugées ne pas assez prendre en compte le fonctionnement par seuil du bassin de l'Ainan (effet tampon).

- **Q100** : Les estimations SIEE (1996) sont écartées. Elles sont très faibles par rapport aux estimations de la Q100 de Alp'Géorisque (étude post-crue de 2003) et Burgeap (2006, 2009) qui sont plus cohérentes avec la crue de 2002. De ces deux études, **l'analyse régionale réalisée par Burgeap (2006) est jugée la plus cohérente. Elle utilise la Bourbe comme référence pour extrapoler les débits centennaux.** Le gradex de la Bourbe est jugé représentatif des effets d'écrêtement importants se produisant sur l'Ainan du fait de la présence des zones marécageuses et des effets de seuils associés.

Les résultats Q100 du modèle pluie/débit d'HYDRETUDES sont cohérents avec l'étude Burgeap bien que l'écart d'estimation se creuse (>15%) pour les bassins versants en amont du pont du Moulin, en tête de bassins (en dessous de 40 km²).

Dans la suite de l'étude le choix est de privilégier les débits caractéristiques de l'étude Burgeap (2006).

2.5.4. HYDROGRAMMES CARACTERISTIQUES

Le fonctionnement de l'Ainan par seuil avec la présence de zone de stockage et sans doute d'écoulement retardé contribuant fortement à la crue par effet piston, nous a conduit à utiliser une forme de crue déterminée à partir de l'analyse des hydrogrammes des crues extraites de la BANQUE HYDRO (15 crues analysées). La synthèse des résultats est présentée ci-dessous.

La forme de l'hydrogramme de référence a été déterminée à partir de l'analyse des hydrogrammes extraits de la banque Hydro. Sur la période de fonctionnement de la station 16 crues ont été identifiées et les hydrogrammes horaires extraits.

La forme de l'hydrogramme de référence peut être déterminée en utilisant une moyenne calculée sur toutes les crues, 10 crues de fonctionnement semblables, les crues triées selon leur de fréquence... La figure ci-dessous présente les hydrogrammes normés réduit pour les différentes configurations testées.

Les résultats sont similaires avec une montée de crue d'environ 15-20 heures (durée la croissance rapide d'environ 12h) et une décrue longue sur plus de 60 heures traduisant des écoulements retardés importants (fin de l'écoulement rapide crue à + 30 heures).

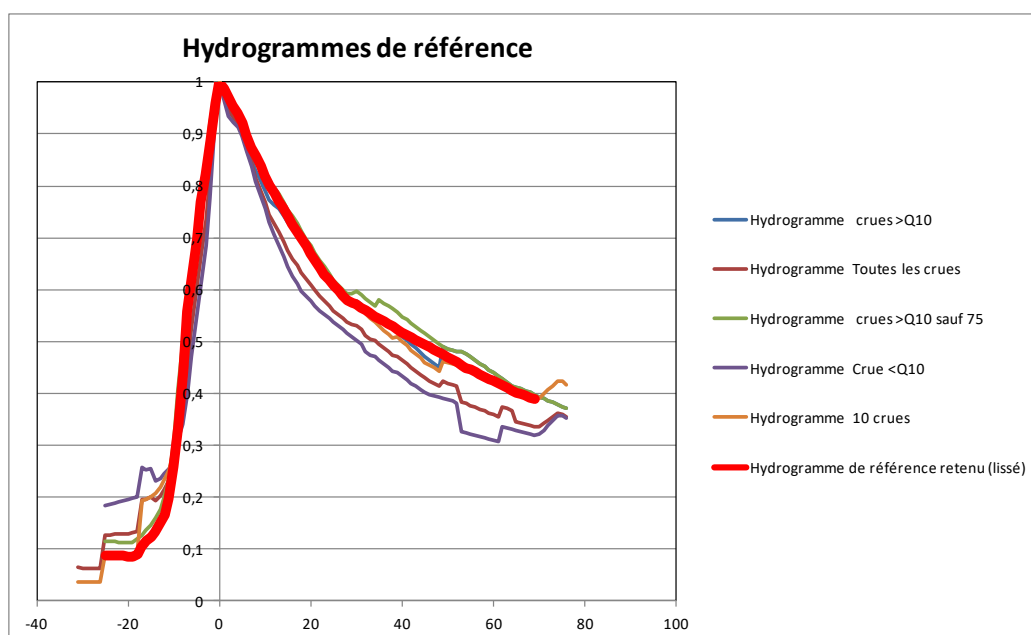


Figure 27 : hydrogramme de référence retenu (normé) - (territoire n°2).

La comparaison de l'hydrogramme de référence retenu (issue des observations) avec l'hydrogramme MESRI (pour l'exutoire) montre que la montée de crue de 20 heures est aussi reproduite par le modèle Pluie/Débit. En revanche, les apports retardés ne sont pas bien pris en compte.

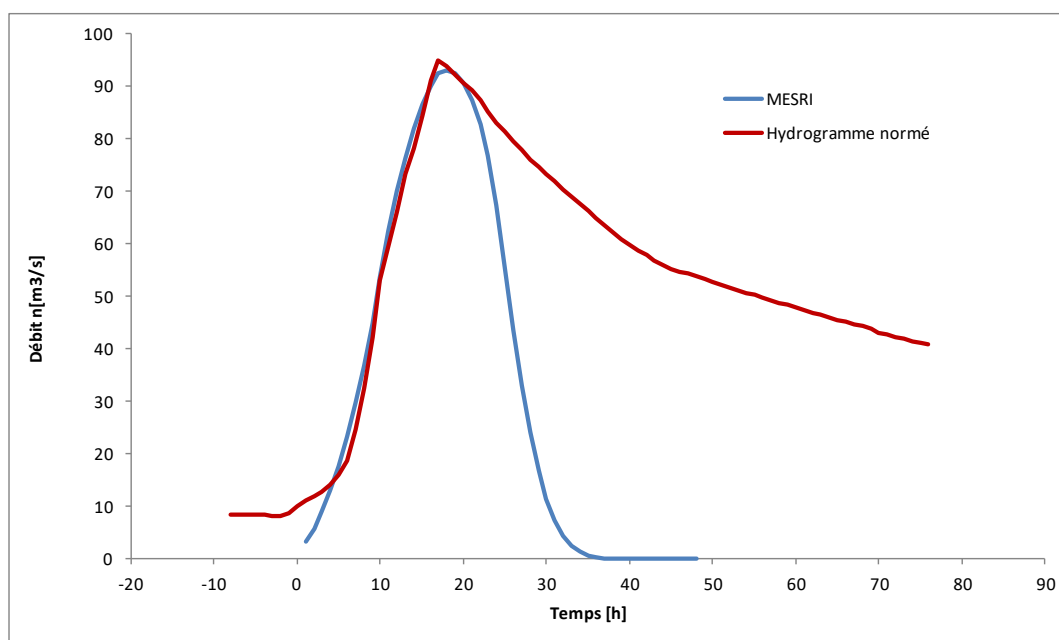


Figure 28 : Comparaison des hydrogrammes MESRI et de référence retenue à l'exutoire (territoire n°2).

A retenir :

- Le bassin versant de l'Ainan en quelques chiffres clés :
 - Surface : 75,9 km²
 - Cours principal : 19.3 km
 - Affluents principaux et secondaires : 40.2 km
 - Les digues sont très peu présentes (4 ont été recensés).
- Le profil en long général est atypique de forme convexe avec
 - Des pentes du cours d'eau plus faibles en amont qu'en aval,
 - La présence de marais ou anciens marais en tête de bassin versant.
- Le réseau hydrographique est caractérisé par le contraste entre l'Ainan (large vallée à pente faible) et ses affluents (petits bassins de versant à fortes pentes).
- **La crue du 6 juin 2002 a bouleversé la morphologie du cours d'eau.**
 - La crue trouve ses origines dans une pluviométrie exceptionnelle, centennale à l'échelle du bassin versant aval et plus que centennale sur le territoire de St-Geoire-en-Valdaine, qui a mobilisé des volumes liquides et solides très importants et activé une dynamique fluviale latente.
 - Au-delà du phénomène météorologique, le déroulement de la crue semble avoir été aggravé par plusieurs facteurs (Burgeap, 2006) :
 - L'absence de crue forte depuis 1934, ayant favorisé avant 2002 la fermeture du lit mineur de l'Ainan et de ses affluents ;

- Les ouvrages situés sur le linéaire ont constitué des obstacles aux écoulements, aux embâcles, et au transport solide, et ont été des sources de respirations et divagations de la rivière ;
 - Les zones humides de tête de bassin assainies par le passé n'ont pas joué tout le rôle de ralentissement dynamique (fonction d'éponge) qu'elles auraient eu en conditions naturelles ;
 - Les nombreux secteurs recalibrés et rectifiés par le passé, en limitant les débordements et accélérant les vitesses, ont favorisé la propagation de la crue vers l'aval ainsi que les phénomènes morphodynamiques d'érosion de berges, d'incision du lit, puis de dépôts en aval ;
 - L'absence d'entretien de la végétation a favorisé la formation d'embâcles. Cependant, face à une telle crue, l'arrachement de la ripisylve et la formation d'embâcles aurait été inévitable, même en conditions normales d'entretien.
- La crue du 6 juin 2002 a bouleversé les **statistiques des débits maximaux de crues** correspondant à différentes périodes de retour. De 27 m³/s avant 2002 à la station DREAL (S=41.4 km²), aujourd'hui détruite, le débit de crue centennal a été ré-évalué à 82 m³/s par Alp'Géorisques (2003), 60 m³/s par Alp'Géorisques (2004), puis à 60.3 m³/s (Burgeap, 2006) et 61.6 m³/s (HYDRETUDES, 2017).
 - Le fonctionnement de l'Ainan par seuil avec la présence de zone de stockage et sans doute d'écoulement retardé contribuant fortement à la crue par effet piston, nous ont conduit à privilégier :
 - Les débits de pointes caractéristiques de l'étude Burgeap (2006) qui suivent la tendance de la Bourbre sur les débits supérieurs à 10 ans (amortissement) :

Cours d'eau	Lieu	Surface en km ²	Débits estimés (m ³ /s)					
			2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Ainan	Arsenal	17,5	6	10	14	19	26	31
Ainan	Cote d'Ainan	37,3	12	19	27	36	48	57
Ainan	Pont du Moulin	41,4	13	21	30	40	53	63
Ainan	Station DIREN	45	14	22	30	41	54	64
Ainan	Champet	50,4	15	24	34	45	60	71
Ainan	La Pale	53,5	16	25	35	47	62	74
Ainan	Amont MIVA	70,4	18	28	40	54	72	86
Ainan	Confluence	75,9	20	32	45	60	80	95

- Une forme de crue déterminée à partir de l'analyse des hydrogrammes des crues extraites de la BANQUE HYDRO (15 crues analysées par HYDRETUDES).

L'hydrogramme de référence normée présente une montée de crue d'environ 15-20 heures (durée de la croissance rapide d'environ 12h) et une décrue longue sur

plus de 60 heures traduisant des écoulements retardés importants sur ce bassin versant (fin de l'écoulement rapide crue à + 30 heures). Il est appliqué à l'ensemble des points de calcul.

- L'analyse des données anciennes et modernes fait apparaître que la crue de 2002 a atteint une période de retour supérieure à 100 ans (suivant les débits de référence estimés par Burgeap, 2006). A noter que le temps de retour de cette crue est proche de 100 ans si les estimations d'Alpgéoriques (2003) sont prises comptes.
- **Le débit estimé en 2002 est de 100 m³/s au seuil de la MIVA à St-Bueil (Alpgéoriques, 2003) est retenu comme référence pour cette crue historique.**

3. METHODES UTILISEES POUR L'ETUDE DE L'ALEA INONDATION SUR LE TERRITOIRE N°2

Le périmètre d'étude des phénomènes est celui des débordements latéraux de l'Ainan. Comme évoqué précédemment, les processus pouvant provoquer des phénomènes d'inondations sont multiples et différentes approches pour étudier l'aléa sont nécessaires, et utilisées ici, pour le territoire n°2. Ces méthodes ne sont pas antagonistes mais le plus souvent complémentaires et s'alimentent l'une de l'autre sur de nombreux secteurs.

Les principaux outils utilisés et des illustrations par l'exemple sont résumés ci-dessous. Leur description détaillée est reportée en annexe.

3.1. MODELISATION HYDRAULIQUE 1D/2D

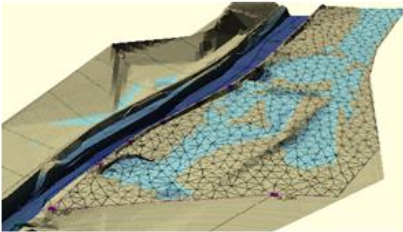
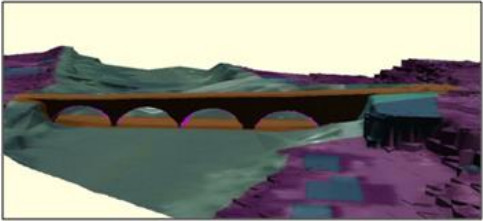
Le diagnostic hydraulique de l'état actuel réalisé par HYDRETTUES est basé sur une modélisation hydraulique 1D, 1D/2D et tout 2D avec le logiciel Infoworks/ICM en **régime transitoire** (c'est-à-dire en injectant un hydrogramme qui évolue dans le temps). Cela permet notamment d'évaluer les durées de submersion, ce que ne permet pas le régime uniforme). Les secteurs de plaines (même sans enjeux) sont pris en compte du fait de l'effet d'amortissement de la crue qui peut être important, et d'atténuation des débordements plus en aval (aspect « ralentissement dynamique »).

Modèle hydraulique 1D/ 2D InfoWorks® ICM
Modélisation hydraulique couplé 1D-2D en régime transitoire

- Représentation des **cours d'eau le moteur 1D** à partir des profils en travers terrestre
- Représentation du lit majeur par un **maillage de la zone 2D** à partir des données LIDAR (taille des polygones variable en fonction du relief) entre 1 et 10 m². Le générateur de maillage inclut en outre les bâtiments ou les murs.
- Représentation des ouvrages ponts à partir des données topographiques terrestres disponibles.

Remarque : les digues correspondent à la limite du moteur 1D et moteur 2D.

OUTIL DE MODÉLISATION

Le premier objectif de la modélisation hydraulique est la description de la phase liquide pour l'aléa inondation sur le secteur concerné. Elle permet de réaliser de nombreux diagnostics en lit mineur (points de débordement du cours d'eau, points de mise en charge des digues ou des ponts, ...) et lit majeur (propagation des écoulements). La modélisation hydraulique 1D/2D ou tout 2D permet ainsi de simuler pour la crue de référence les multiples scénarios nécessaires à la qualification de l'aléa inondation : débordements des cours d'eau, embâcles, ruines, rupture et effacement de digues. La simulation de la Q100 en 1D permet aussi de connaître les paramètres hydrauliques dans le cours d'eau, au niveau des digues ou pour l'étude du transport solide.

3.1.1. TOPOGRAPHIE ET CONSTRUCTION DU MNT

Les sources topographiques utilisées pour la modélisation sont :

- **Pour le lit mineur (moteur 1D) :** données topographiques terrestres issues des levés topographiques terrestres existants (voir annexe) et des nouveaux levés réalisés pour la présente étude par HYDRETUDES en sur le territoire n°2 (été 2017).
- **Pour le lit majeur (moteur 2D) :**
 - Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu des données « LIDAR » produites en mai 2016 sur le territoire concerné par l'étude (emprise maximale des zones potentiellement inondables) et dont dispose la DDT. La maille est de 0.5m (précision altimétrique de 10 cm et planimétrique de 20 cm).
 - Données cadastrales du bâti numérisées (dont dispose la DDT en 2017).

3.1.2. HYPOTHESES DE BASE ET CONSTRUCTION DES MODELES

Pour la modélisation des cours d'eau du territoire n°2, 7 modèles ont été créés représentant environ 18 km de linéaire de cours d'eau. Le tableau suivant présente les caractéristiques des sous-secteurs de modélisation retenus.

Tableau 16 : Caractéristiques générales des modèles 1D/2D

	Localisation	Type de modèle	Linéaire [km]	Coefficient de rugosité Manning n (lit)	Surf. mailles 2D [m²]		Ainan m³/s	Apports Latéraux m³/s
					min	max		
M1	Entre Chirens (aval du village) et Massieu (amont de la confluence avec le Matton, affluent rive droite). Ce modèle est scindé en deux entités de modélisation : <ul style="list-style-type: none"> • M1a : partie amont du marais jusqu'au pont de Arsenal • M1b : partie aval jusqu'au pont (route de la Lizardière) - confluence avec le Matton 	Tout 2D permanent	6	0.04	20	60	35	-
M2	De l'aval de la confluence avec le Matton (pont) à l'aval de la côte d'Ainan	1D/2D transitoire	1.5	0.04-0.067	3	30	7.5	27.7 (Cras) 26.9 (Pradière)
M3	De la côte d'Ainan à la Martinette (aval du complexe sportif aval)	1D/2D transitoire	2.5	0.04	5	30	71	6.3 (Cascade)
M4	De l'aval du complexe sportif à l'amont de la confluence avec le Satre sur Saint Bueil	1D/2D transitoire	4.5	0.04	5	25	81	18.6 (Aigueblanche)
M5	Du seuil Miva au début du secteur des gorges sur Voissant (pont route de Chanéaz)	1D/2D transitoire	2.5	0.04	5	25	106	
M6	De l'aval du pont route de Chanéaz à l'aval du pont au niveau de Grand Crolaz (D82K)						106	
M7	Gorges de Voissant jusqu'à la confluence avec le Guiers	1D permanent	0.8	0.04	5	25	106	

Figure 29 : Sectorisation des modélisations

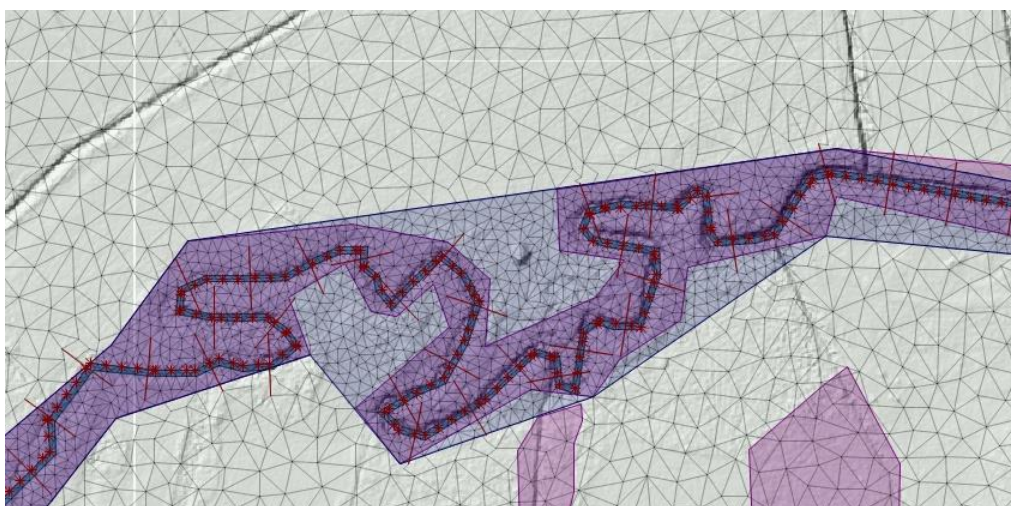
Pour chacun de ces modèles, les hypothèses de base et les éléments de construction des modèles sont les suivants :

3.1.2.1. Schéma de modélisation « tout 2D »

Représentation du lit mineur et du lit majeur par un maillage 2D (polygone de modélisation bidimensionnelle des écoulements représenté en 2D à l'aide d'un maillage triangulaire irrégulier (TIN), produit à partir des données MNT issus des données LIDAR).

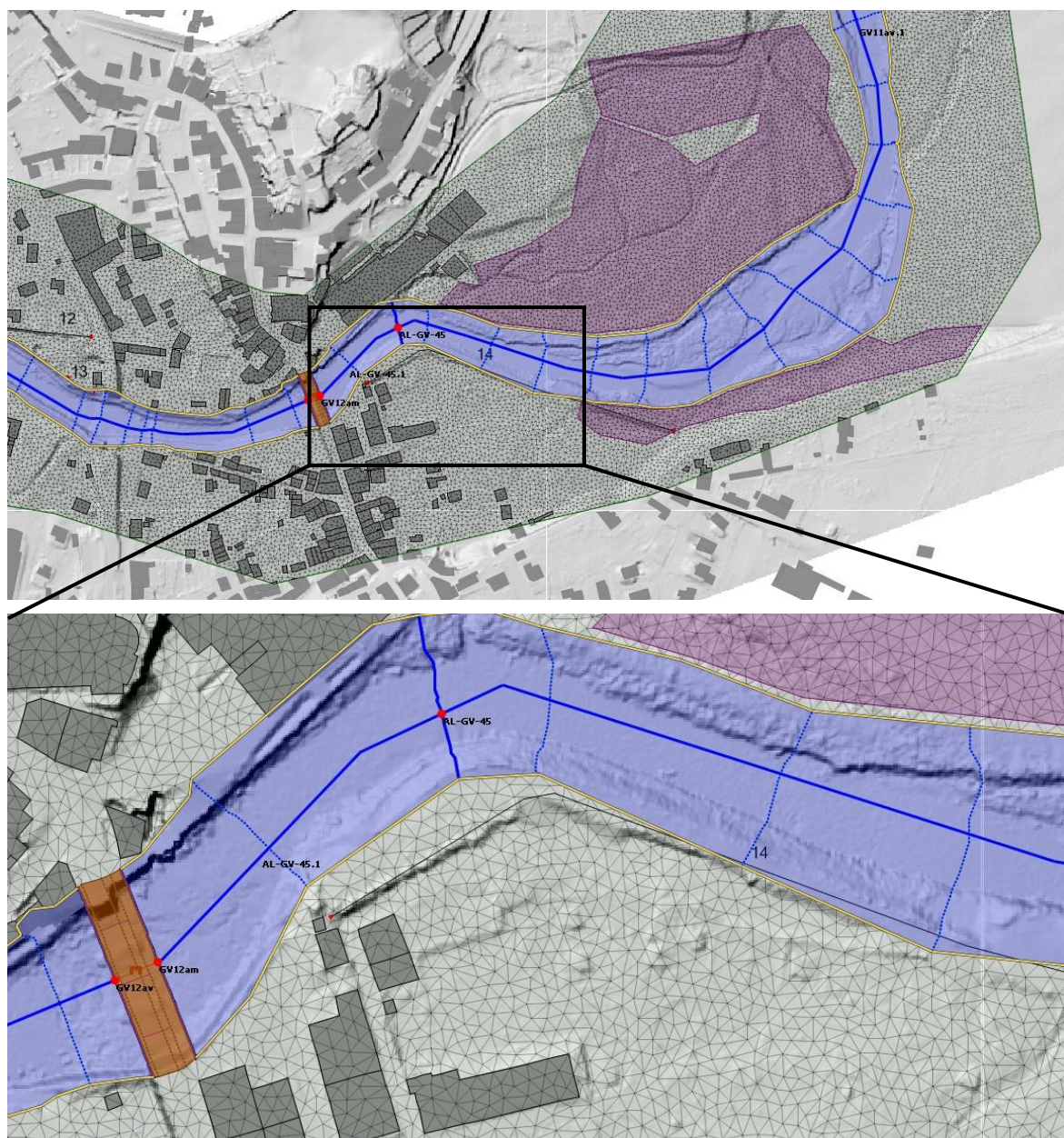
Le générateur de maillage inclut en outre les bâtiments. Des polygones pour différencier la rugosité (lacs, forêts, lit mineur) sont utilisés. Le moteur 2D fournit les hauteurs et les vitesses pour chaque maille, nécessaire à la qualification et à la cartographie de l'aléa.

La représentation du lit mineur est complétée par l'ajout de zones de rugosités spécifiques. Le maillage est raffiné sur et en bordure du lit pour une bonne représentation des écoulements. Le fond du lit a été ajusté à la baisse par rapport à la cote du LIDAR afin de représenter au mieux le lit (la donnée LIDAR fournit la cote de surface pour les zones en eau).







3.1.2.2. Schéma de modélisation 1D/2D

- **Représentation des cours d'eau avec le moteur 1D** à partir des profils en travers et des profils en long issus des levés topographiques terrestres. Les zones 1D (lit mineur) des différents modèles ont été construites avec une rugosité homogène pour le lit et les berges. La modélisation hydraulique via le moteur 1D permet de définir les caractéristiques hydrauliques de la crue de référence en de très nombreux points du réseau.
- Représentation du lit majeur par un **maillage de la zone 2D (polygone de modélisation bidimensionnelle)** des écoulements en lit majeur représenté en 2D à l'aide d'un maillage triangulaire irrégulier (TIN) de 0.5 à 30 m² de surface, produit à partir des données MNT issues des données LIDAR). Le générateur de maillage inclut en outre les bâtiments ou les murs. Des polygones pour différencier la rugosité (lacs, forêts, lit mineur) sont utilisés. Le moteur 2D fournit les hauteurs et les vitesses pour chaque maille, nécessaires à la qualification et à la cartographie de l'aléa.



Représentation du lit majeur dans le moteur 2D

-  Maillage (issue des données LIDAR)
-  Polygone de rugosité
-  Bâti
-  Digue

Représentation des cours d'eau le moteur 1D





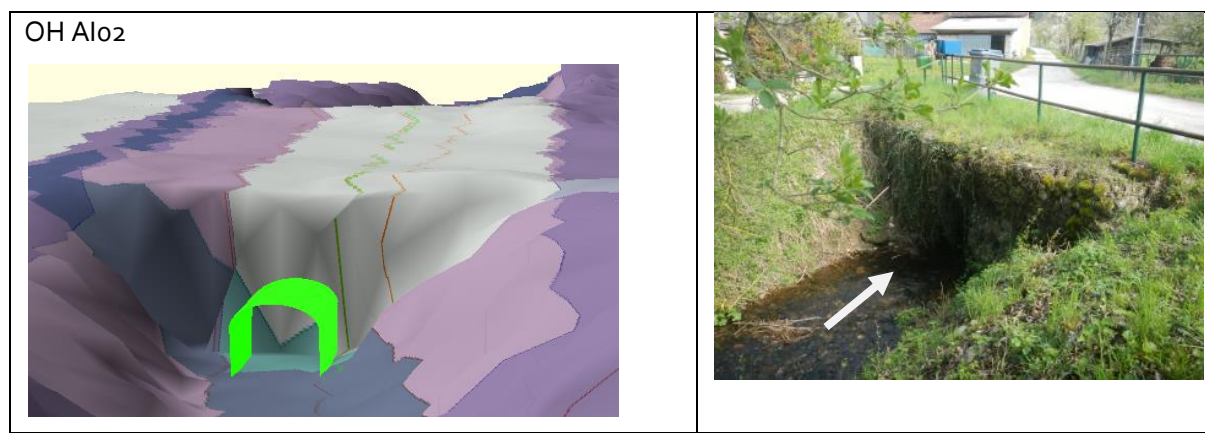
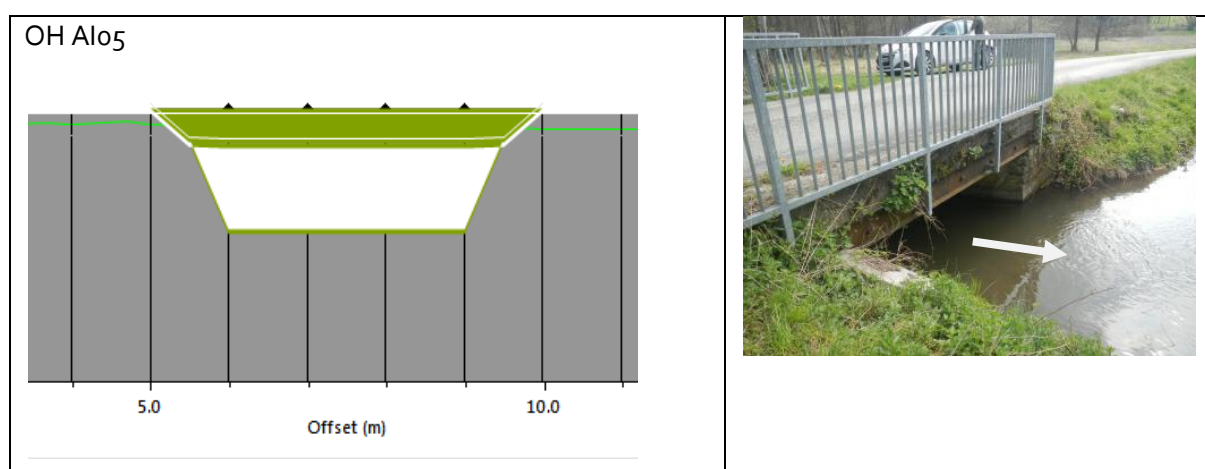
-  Profil en travers/ profil en long (issue des levés terrestres)
-  Ponts et connections amont-aval
-  Ligne de berge
-  Injection latérale

Figure 30 : Exemple de construction du modèle 1D/2D

- **Modélisation des ouvrages ponts** à partir des données topographiques disponibles. Les ponts non modélisés ont été choisis à dire d'expert s'ils ne présentent aucune influence sur les écoulements en crue. Les ouvrages pont sont intégrés au sein du moteur 1D ou tout 2D.



Intégration d'un pont dans le modèle tout 2D



Intégration d'un pont dans le modèle 1D/2D

Figure 31 : Exemple de construction des ponts

3.1.3. PARAMETRES (VALEURS OPTIMISEES)

- **Lit mineur.** Les valeurs des paramètres possibles sont issues des valeurs de références de la bibliographie (coefficient de Manning notamment).

Le réglage du modèle a été réalisé sur la base de tests de sensibilité. Ceux-ci ont été réalisés pour essayer de reproduire la crue historique de 2002 de 100 m³/s au seuil MIVA (plus que centennale).

Cependant, cette crue témoigne d'un état du lit mineur et majeur correspondant à une crue très spécifique et résultant d'un état morphologique et aménagé, datant de plus de 16 ans. Elle a entraîné de forts débordements et surtout entraîné de **très forts ajustements du lit du cours d'eau** avec un élargissement du lit moyen (se reporter au § 2.5.1.2 et § 2.5.1.2 ci-dessus). Il est nécessaire de relativiser ces éléments vis-à-vis de l'état actuel du cours d'eau.

Il est important de rappeler que pour l'Ainan, la topographie utilisée est celle de 2015 et que de nombreux travaux et aménagements post crue ont été réalisés suite à l'événement de 2002.

Typologie des travaux réalisés :

- Réouverture des sections hydrauliques par enlèvement des embâcles.

- Travaux de reconstruction ou remise en état d'ouvrage existant (pont, lagunage).
- Réalisation de protections de berges.
- Travaux de curages et de remodelage du lit.

Au total, 10 sites ont été concernés par la réalisation de nouveaux ouvrages sur l'Ainan et ses affluents. La majorité des aménagements ont été réalisés sur la partie basse du bassin versant. Les compléments d'informations sont disponibles dans le Schéma d'aménagement, de gestion et d'entretien du bassin versant de l'Ainan (Phase I – Etat des lieux et diagnostic) réalisé par BURGEAP en 2007.

Ainsi, la modélisation hydraulique (et l'approche à dire d'expert) ne vise pas à reproduire les enveloppes de crue observées en 2002 mais bien à évaluer les zones inondables dans les conditions physiques actuelles pour un hydrogramme de crue de référence de l'Ainan de fréquence homogène de l'amont vers l'aval.

Les résultats des tests de sensibilité sur le paramètre de rugosité, croisés avec une analyse des conditions morphologiques et sédimentaires des secteurs modélisés (études antérieures, terrain et analyse du MNT) ont permis de définir les valeurs les plus pertinentes pour la définition des conditions d'écoulement (cf. Tableau 16).

- **Lit majeur.** L'influence de la rugosité en lit majeur est beaucoup plus faible et n'a qu'un impact faible sur les lignes d'eau. Les zones 2D (lit majeur) des différents modèles ont été construites avec une rugosité par défaut où $n=0.066$. Des enveloppes de rugosité spécifiques ont été définies afin de tenir compte de l'occupation des sols sur les écoulements. Les valeurs utilisées sont détaillées dans le tableau ci-après :

Tableau 17 : Paramètres de rugosité pour le lit majeur - moteur 2D

	n	K
Forêt	0,100	10
Zones naturelles / champs	0,050	20
Habitat dispersé / Villas	0,033	30
Ville-Centre	0,025	40
Zones industrielles / Commerciales	0,020	50

Rappelons que la **macro-rugosité de surface** est intégrée dans la représentation du modèle numérique de terrain et dans la représentation des bâtiments.

- **Ouvrages.** Enfin des rugosités spécifiques ont été définies au niveau des ouvrages ponts, en fonction de leur structure (béton, pierre, berge naturelle...) et de la granulométrie du fond, au droit des ouvrages.

Pour chaque ouvrage, des rugosités spécifiques ont été appliquées ainsi que des pertes de charge fixe variable de 0,3 à 0,7). Le coefficient de contraction a été défini à 0,3. La modélisation hydraulique via le moteur 1D permet de définir les ponts en charge ou ayant un tirant d'air trop faible en crue Q100.

La prise en compte des embâcles au niveau des ponts est obtenue par l'obstruction des ponts modélisés en modifiant les dimensions de son ouverture.

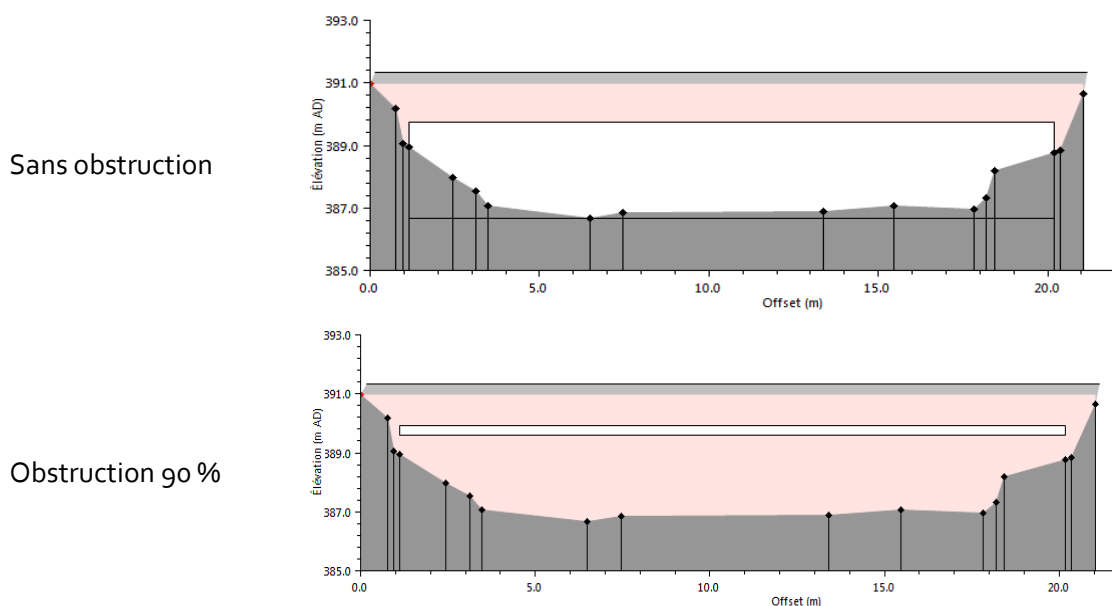


Figure 32 : Exemple d'ouvrage sans et avec obstruction (ici à 90% de la surface initiale)

3.1.4. CONDITIONS AUX LIMITES

3.1.4.1. Conditions aux limites amont.

Les hydrogrammes correspondant à la crue hydrologique de l'Ainan constituent les conditions aux limites amont des différents modèles (injections principales dans le cours d'eau et injections latérales ponctuelles). **Le principe est de conserver la même période de retour de l'amont vers l'aval sur le linéaire du cours d'eau principal (homogénéité des fréquences)**. Se reporter au Tableau 16 pour les débits injectés.

3.1.4.2. Conditions aux limites aval.

Les conditions aval des modèles sont diverses en fonction de la position de ces derniers. Pour les modèles ayant pour exutoire des barrages, la condition limite est fixée à la cote d'eau observée sur le LIDAR. Si le modèle a pour exutoire un nœud de calcul hydrologique, la condition aval correspondra à l'hydrogramme aval.

3.2. ANALYSE DU TRANSPORT SOLIDE ET DES EMBACLES

Sur certains secteurs le transport solide peut devenir important et le **risque d'engrèvement ou d'obstruction dans le lit mineur** est à prendre en compte. La présence des matériaux peut en effet aggraver l'aléa occasionné par les crues :

- Augmentation de la ligne d'eau lors des crues due à un transport de matériaux dans le lit.
- Augmentation de la ligne d'eau due aux dépôts de matériaux dans le lit.
- Augmentation du risque d'embâcles au niveau des ouvrages.

La présence d'embâcles constitue un facteur aggravant lors des inondations liées aux crues rapides des rivières. Leur présence induit une réduction de la ligne d'eau, une augmentation et une diversification des sens et vitesses d'écoulement et une modification de la charge hydraulique. Ils peuvent en outre entraîner une onde d'écoulement en cas de rupture du système d'embâcles ou de rupture de l'ouvrage.

Différentes approches ont été utilisées pour appréhender les embâcles, le transport solide et l'évolution du lit sur le secteur d'étude de l'Ainan. En effet il est très important de rappeler qu'il n'existe pas à ce jour d'outil universel et infaillible : chaque situation est unique et nécessite la mise en œuvre d'une panoplie d'outils et de méthodes adaptées (Malavoi et al, 2011).

L'analyse du risque d'engravement et d'embâcles sur l'Ainan, s'est portée sur :

- L'exploitation des résultats des études antérieures,
- Complétée par une visite du terrain (état actuel),
- Et une évaluation du risque d'embâcles (bois mort et matériaux) à partir des résultats de la modélisation hydraulique 1D/2D.

3.2.1. RESULTATS DES ETUDES ANTERIEURES

3.2.1.1. Eléments de diagnostic post crue de 2002 (Alp'Géorisque 2003) et Capolini et A. Schrambach (2002)

Rappelons que les deux études post-crue 2002 témoignent d'un état du lit mineur et majeur correspondant à une crue très spécifique et résultant d'un état morphologique.

Sur le plan hydrologique, elles soulignent les spécificités du bassin versant de l'Ainan (abondance des zones humides dans le haut bassin, imbrication des sous bassins, etc.) qui limitent l'importance des crues fréquentes et paraissent ainsi favoriser une sous-estimation des risques induits par ce cours d'eau. Il est vraisemblable que l'Ainan connaisse un fonctionnement à seuil et que la réponse de son bassin versant puisse être violente dans des conditions hydrologiques particulières (pluies fortes après saturation du bassin). L'analyse de ce fonctionnement nécessiterait la disponibilité de longues séries de mesures limnimétriques et pluviométriques.

Les études post-crue 2002 renseignent en outre sur la dynamique de la crue, les enveloppes d'inondations associées, et les laisses de crues recensées. L'encadré ci-dessous en offre une synthèse.

Quelques éléments de diagnostic post crue de 2002 (Alp'Géorisque 2003) et Capolini et A. Schrambach (2002)

Les premiers débordements ont été identifiés à Massieu au niveau de la confluence avec la Fredière. Le transport solide de cet affluent a ensablé l'Ainan sur sa rive gauche. L'écoulement aurait submergé de +10cm le pont. Plus en aval le ruisseau des Combes a débordé de manière importante dans le bourg de Massieu jusqu'en aval du pont de La Rebatière laissant des dépôts.

En aval du pont, des débordements ont été identifiés sur les deux rives jusqu'à près de 200m en rive gauche. Dans le marais de La Davière, l'Ainan a débordé sur ses deux rives, une laisse de crue à +60cm vis-à-vis du TN a été identifiée 500m en aval du pont de la Bletonna.

Des zones d'érosions ont été relevées à l'amont de la Cote d'Ainan près du pont de la Davière. Des berges ont été déstabilisées en aval.

Les dégâts sont importants à partir de la Cote d'Ainan où la rivière a débordé en rive gauche et droite, impactant la RD82, une ancienne usine et des habitations. Laisses de crue d'une hauteur de 87 cm dans l'usine.

Des inondations liées aux écoulements de versants et au ruisseau du Crozarieu ont également impacté la Cote d'Ainan. En aval de cette dernière, les berges ont été déstabilisées par des érosions entraînant la production de sédiments et de bois morts.

En aval, le profil en long du secteur est stabilisé par de nombreux seuils mais ceux-ci entraînent une dissipation latérale et des érosions.

A la suite des seuils, les débordements se propagent dans les prairies et les cultures. Le lit mineur est plus faiblement impacté. Environ 1000m³ ont obstrué le lit en aval.

Les débordements se sont ensuite propagés sur les deux rives au niveau du changement de direction du cours d'eau (prise d'eau). En amont du pont de la RD des laisses de crues ont été identifiées : en rive gauche en amont du cimetière dans le jardin avec +80cm et sur la maison +80cm sur la façade. La lame d'eau importante aurait été liée à l'obstruction causée par le ruisseau de la Gorge.



En aval de la RD, l'Ainan a débordé de part et d'autre du cours d'eau. Un fort engrèvement a été identifié, lié aux apports des combes des Brosses et Choche (volume environ 200m³ avec jusqu'à +1m d'épaisseur et un fil d'eau à +1.5m).

Plus bas, le pont de Choche a été détruit en partie (toujours observable en 2017).



2003 Alpgéoriques



2017 HYDRETTUES

En aval du pont, le cours d'eau a débordé en rive gauche sur 200 m entraînant des engrèvements. Une laisse de crue à +1.2m a été relevée sur un arbre situé dans le champ rive gauche.

Au droit du hameau de la Gaité, plusieurs zones d'érosions et d'affouillements ont été identifiées et sont notamment liées au ruisseau de la Cascade et de la Gaité. Des débordements sont présents en aval près de la prise d'eau avec une laisse de crue à +1.44m. Le ruisseau de la Cascade a entraîné de forts apports de sédiments et de corps flottants bloqués au niveau du hameau. Près de l'usine de la Gaité, la lame d'eau "a dû dépasser" les 1.8m.

En aval du pont de la Martinette des débordements ont eu lieu sur plus de 180m ainsi que des érosions et déracinement d'arbres. Les terrains de sport et l'école ont été impactés (laisses de crues à +1 et +0.8m au niveau des terrains de sport).



2003 Alpgéoriques



2017 HYDRETTUES

Plus en aval, des combes ont entraîné de forts apports solides et des glissements ont été observés sur les berges de l'Ainan. Les prairies ont été touchées en rive gauche par les débordements. De nombreux embâcles ont été déposés et des hauteurs très importantes ont été observées avec jusqu'à +2.2m en amont de Champet.

Au niveau du lotissement de la Balme les habitations ont été touchées par les débordements avec une hauteur d'environ +80 cm. De fortes érosions ont été identifiées en amont du pont de la Balme. Ce dernier a été détruit.

Les prairies ont été fortement inondées en aval du pont avec un fort transport solide, entraînant un engrèvement et une forte divagation du lit.

De fortes érosions ont eu lieu en amont du pont de La Pale en rive gauche. Les habitations ont été touchées avec des hauteurs d'eau observées de 80cm à +2.35m. De fortes érosions ont également eu lieu sur les berges en bordure d'habitations.



En aval, les lagunes ont été touchées par les débordements entraînant d'importants dégâts. L'Ainan poursuit ensuite son cours et ravine sur de nombreuses parcelles agricoles.

L'Aigueblanche a subi de forts embâcles (3000m³) lors de la crue. Ces derniers ont entraîné des engrèvements et une obstruction du lit en amont.

Au niveau du hameau du Donnat, de nombreux dépôts ont eu lieu avec un volume estimé à plus de 3000m³. Le lit est très mobile sur ce secteur jusqu'au pont du Perrier. Au droit de ce pont la hauteur d'eau était d'environ 80 cm sur les terrains. Un ensablement en amont du pont a entraîné des débordements sur la route.

En aval du pont le lit s'est largement propagé jusqu'à plus de 40m avec des inondations jusqu'à plus de 200m.



Le pont situé en aval a été fortement sollicité. Les débordements ont eu lieu à gauche de celui-ci, permettant de soulager l'ouvrage. Les gorges en aval ont été peu impactées. Seules la prise d'eau et quelques habitations situées en aval ont subi des dégâts.

En aval des gorges de nombreux dégâts ont été observés sur le site de la MIVA. En effet des embâcles ont entraîné de forts déplacements du lit avec pour conséquence une destruction des bâtiments et des ouvrages. Le pont de la Chanaez a résisté à la crue mais la route a été détruite en partie par les écoulements.

A l'aval de la Buguiere, l'Ainan a inondé des prairies sur 100 m et des hauteurs jusqu'à 1.2m ont été relevées au travers des laisses de crues.

Le pont de la RD82 a été détruit par la crue, de fortes érosions avaient eu lieu en amont et en aval de l'ouvrage. Un nouvel ouvrage a été reconstruit depuis.



2003 Alpgéoriques



2017 HYDRETTUES

La scierie située avant le secteur aval des gorges de l'Ainan, a également été impactée par les érosions liées à la crue.

Le secteur aval, relativement naturel est sensible aux glissements de terrains et a été touché par ces derniers lors de la crue. 1500 à 2000 m³ de sédiments se sont déposés à l'amont de la confluence avec le Guiers.

3.2.1.2. Éléments du diagnostic hydro-morphologique (Burgeap, 2006) et burgeap (2010)

L'étude du fonctionnement morphodynamique menée par Burgeap (2006 - partie 4.4 Morphodynamique) dans le cadre du Schéma d'aménagement, de gestion et d'entretien du bassin versant de l'Ainan (Burgeap, 2010) est une source précieuse pour la prise en compte du transport solide et des embâcles dans l'étude de l'aléa inondation.

Dans le cas de la présente étude, il s'agit de définir si des apports en matériaux sont possibles en amont des ouvrages et si le transit des sédiments de l'amont vers l'aval est assuré. Pour le détail des formules de calcul utilisées se reporter à l'étude Burgeap (2006).

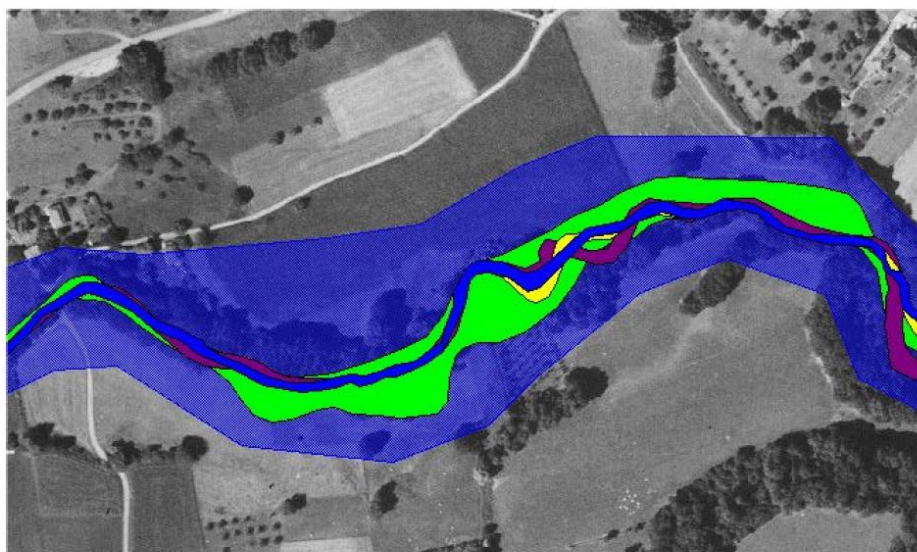
Les principaux éléments du diagnostic hydro-morphologique (Burgeap, 2006) ainsi utilisés pour notre étude sont issus des analyses suivantes :

- Analyse diachronique de l'Ainan (évolutions des tracés en plan et des profils en long) ;
- Fonctionnement morphodynamique actuel : énergies, forces tractrices, granulométrie, transport solide.
- L'état des boisements de berge et encombrement du lit.
- Les travaux de nettoyage du lit après la crue du 6 juin 2002.
- Etat des boisements de berge et encombrement du lit
- Espaces de mobilité et équilibre sédimentaire de l'Ainan (étude complétée en 2010).

Quelques résultats sont repris dans l'encadré ci-dessous à titre d'exemple.

Quelques éléments du diagnostic hydro-morphologique (Burgeap, 2006) et burgeap (2010)

L'analyse diachronique des anciens tracés de l'Ainan entre 1818 et 2003 démontre que l'Ainan présente un espace de mobilité historique en aval de St-Geoire, et en particulier en aval de l'Aigueblanche, sur un linéaire de 8,75 km. L'espace de mobilité historique représente une bande de 20 à 50 m de large en amont de St-Bueil, et de 50 à 100 m de large entre le site MIVA à St-Bueil et les gorges de Vaulserre à Voissant



Secteur du Pont du Moulin Berthier au Pont de la Roche (tronçon 7D)

Figure 33 : Exemple d'analyse diachronique en aval de St-Geoire (Burgeap, 2006)

Les deux figures ci-après, confirme que l'Ainan est caractérisé en aval de la Côte d'Ainan par une composante solide en plus de la composante liquide (caractère semi-torrentiel).

La pente, qui évolue entre 0,7 et 1,6 % (moyenne 1,2 %) est le premier paramètre explicatif de ce caractère torrentiel. Le transport solide potentiel peut être important. Le transport potentiel est effectif si les matériaux sont mobilisables ce qui est le cas lors des événements les plus forts, ou actuellement, dans l'état

de fragilisation que connaît la rivière. Cinq points de blocage du transport solide ont été identifiés, d'amont en aval.

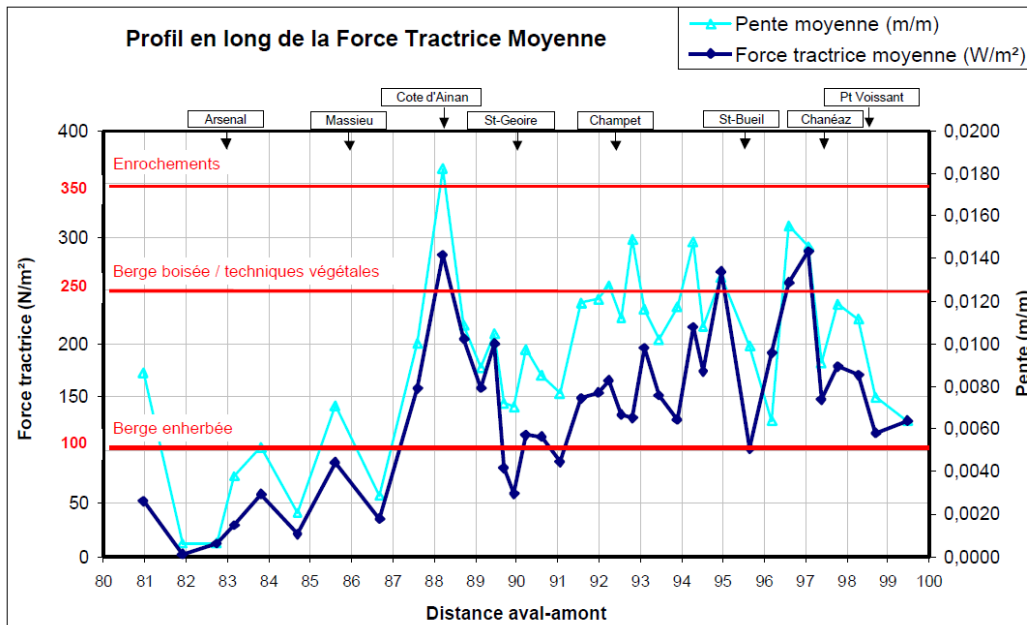


Figure 34 : Profil en long des forces tractrices (Burgeap, 2006)

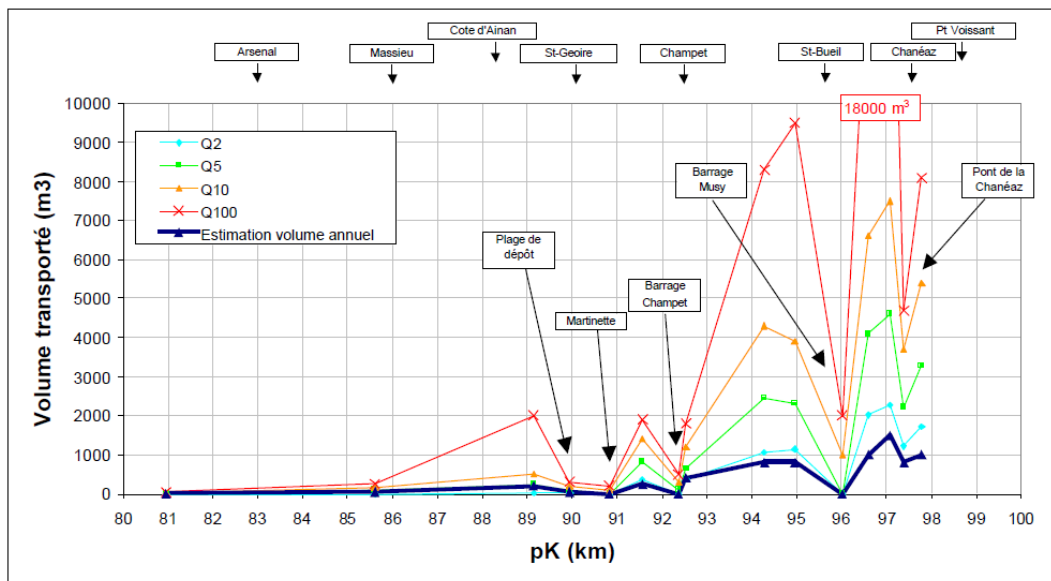


Figure 35 : Profil en long des capacités de transport solide (Burgeap, 2006)

La carte ci-dessous met en évidence la forte sensibilité aux embâcles de la zone aval du bassin versant de l'Ainan, pour la crue de 2002. La localisation des travaux est également bien corrélée avec la proportion d'apport des affluents intermédiaires.

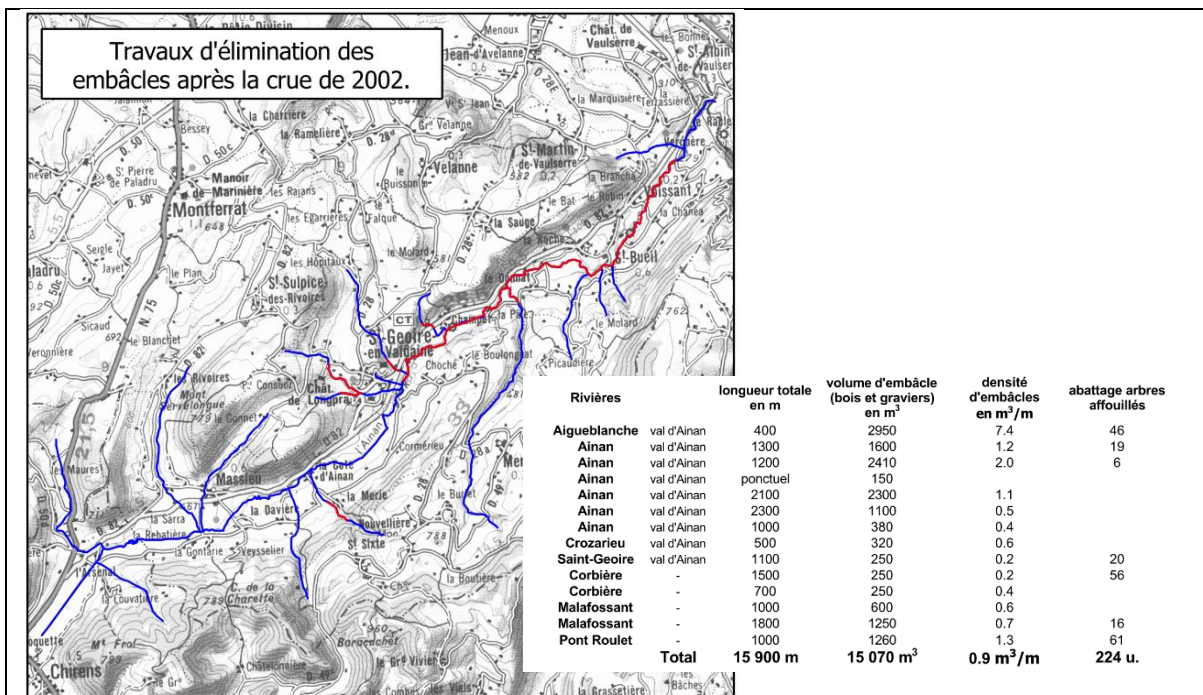


Figure 36 : Localisation des travaux d'élimination d'embâcles suite à la crue et bilan des travaux d'élimination des embâcles (entre octobre 2002 et juin 2003, après la crue du 6 juin 2002) (Burgeap, 2006)

La carte ci-après présente l'état des boisements de berges. Un "bon" état signifie que le boisement rivulaire est sain et que les arbres affouillés, penchés ou morts sont très peu nombreux. Un état "moyen" signifie que l'on trouve sur les berges de 10 à 30 % d'individus morts, affouillés ou penchés et un état médiocre plus de 30 %.

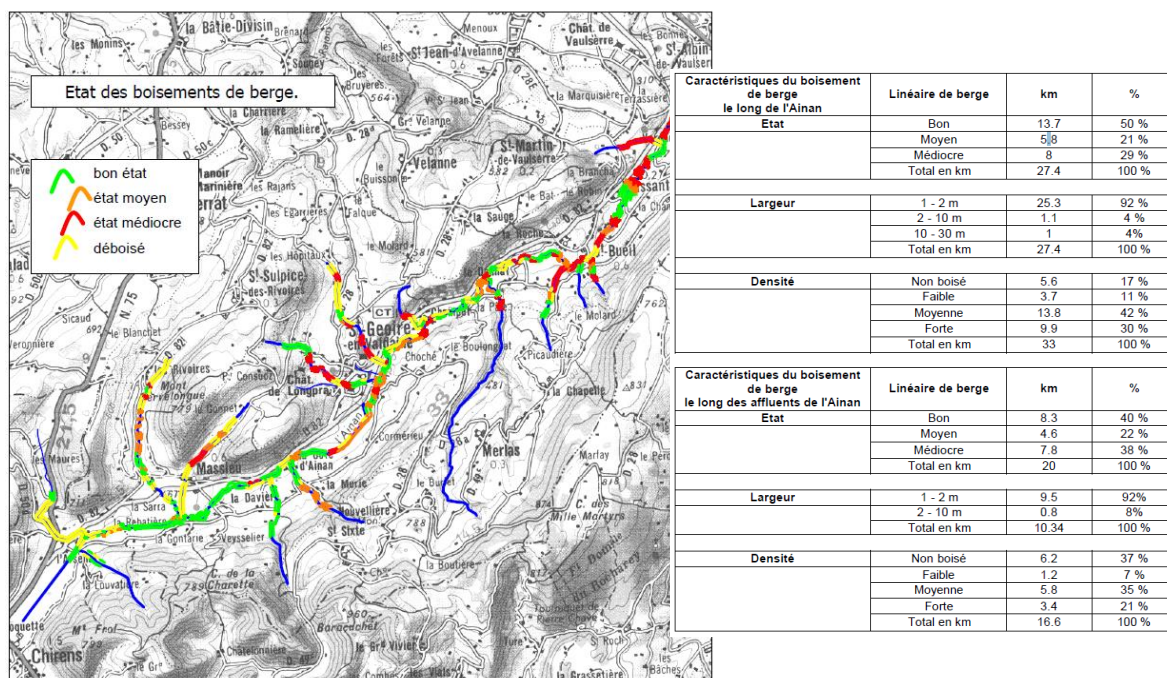


Figure 37 : Etat des boisements de berge (Burgeap, 2006)

La carte ci-dessous présente la cartographie de l'équilibre sédimentaire de l'Ainan (BURGEAP 2009). L'Ainan présente une tendance excédentaire majoritaire. Une importante zone de déficit est cependant observable au cœur du bassin versant et correspond au secteur le plus urbanisé et aménagé du linéaire (de Chirens à Saint Geoire en Valdaine).

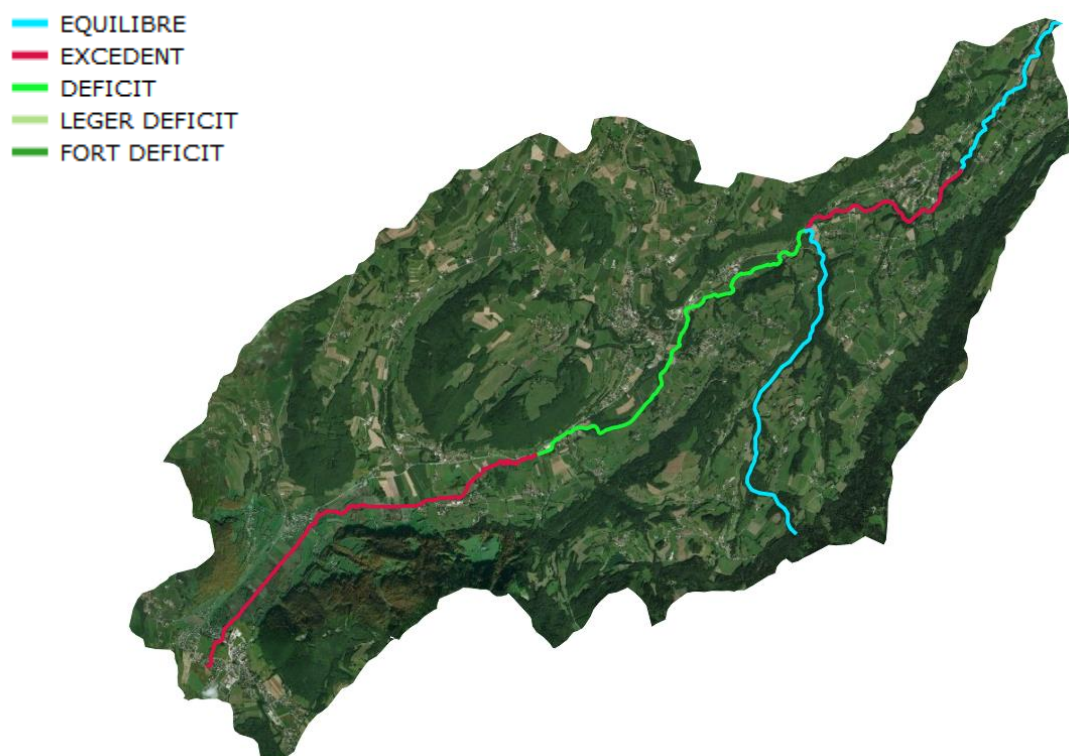


Figure 38 : Transport et équilibre sédimentaire de l'Ainan (Burgeap, 2010 et modifié)

3.2.2. EVALUATION DU RISQUE D'EMBACLES (BOIS MORT ET MATERIAUX)

Le **risque d'embâcle** de corps flottants (liés à la présence de bois mort, d'une ripisylve...) et de matériaux solides (engravement lié aux apports amont) au droit d'un ouvrage a été qualifié à partir de l'ensemble des critères suivant :

- Dimensions et caractéristiques du pont (hauteur du tablier, géométrie et présence de piles de pont).
- Résultats de modélisation 1D/2D (hauteur de la ligne d'eau vis à vis du tablier et plus précisément le niveau de surcharge de l'ouvrage, le tirant d'air ...).
- Granulométrie en place (mobilité des sédiments à partir des estimations de débit de début d'entraînement).
- Géomorphologie des tronçons amont et aval de l'ouvrage (équilibre sédimentaire).
- Etat des berges (présence d'affouillements/érosions...).
- Etat du boisement (nature, structure, présence de bois morts, zones de dépôts...).

Ce risque a été intégré dans l'étude de l'aléa inondation au travers de la modélisation hydraulique 1D/2D (obstruction simulée par une réduction de l'ouverture de l'ouvrage) ET pour les secteurs à dire d'expert pour les sections et ouvrages dont :

- La potentialité d'embâcles est forte (présence de bois mort, ripisylve en mauvais état, érosions des berges, apports amont de matériaux solides...).
- Le tablier en charge pour la crue de référence ou le tirant d'air trop faible (configuration défavorable).

La prise en compte des embâcles au niveau des ouvrages est réalisée suivant deux catégories. Les éléments sont détaillés ci-dessous :

	Modélisation d'obstructions 90% sur secteurs 1D-2D	Analyse à dire d'expert sur secteurs 2D où 1D2D
Critères	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'embâcles très fort • Enjeux 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'embâcles moyen, fort ou très fort • Pas ou peu d'enjeux
Méthode	Réduction de l'ouverture de 90%, analyse du plan de ligne de charge et ajustements manuels des enveloppes	Ajustements des enveloppes à partir d'une projection de la ligne de charge seule où complétée avec une revanche de sécurité
Nombre	9	15

La carte ci-dessous récapitule les secteurs de modélisation ou à dire d'expert et les ouvrages pris en compte.

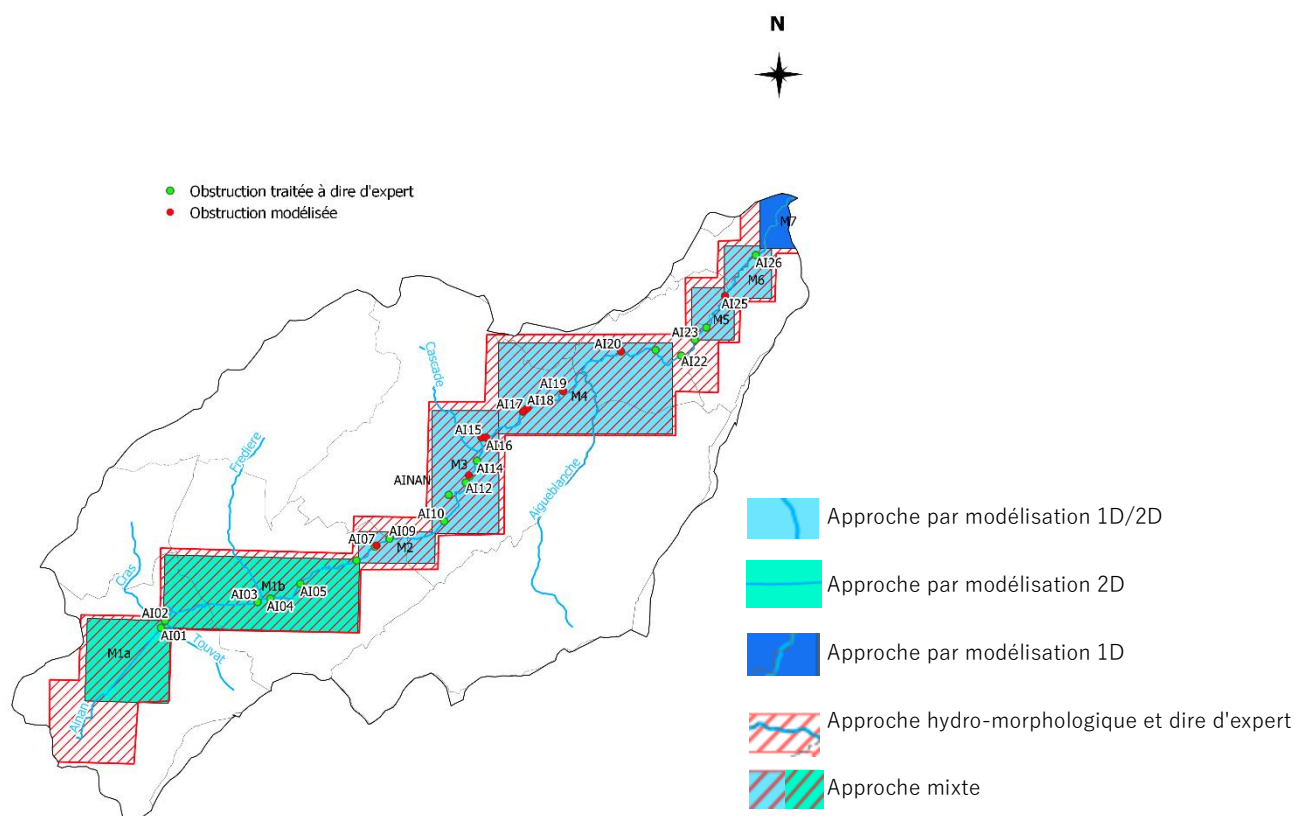
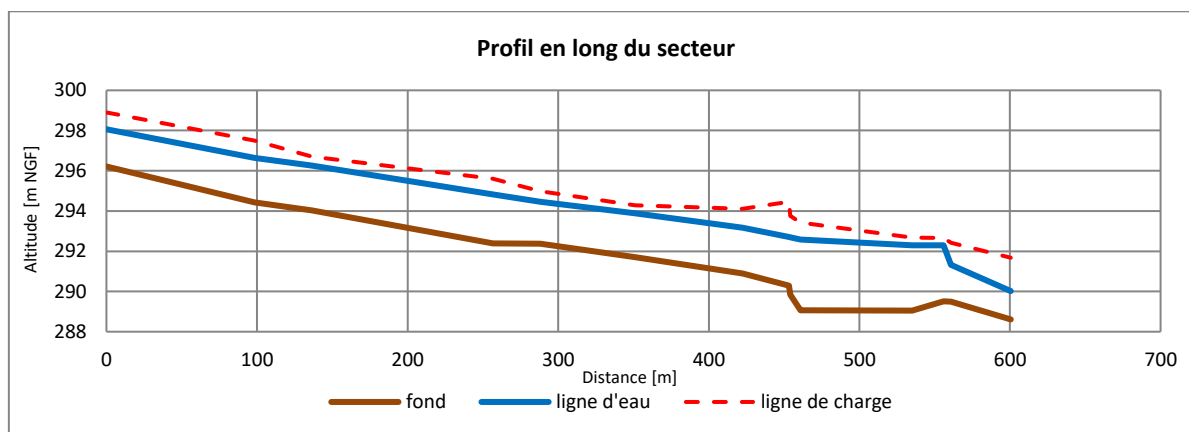


Figure 39: Type d'approche par secteurs pour le territoire n°2

Le secteur exemple utilisé pour la présentation des méthodes est le bief en amont du Pont de la Chanaez (AI25) sur la commune de Voissant.

Le graphique ci-après présente les résultats hydrauliques résultant du modèle suite à la modélisation de la crue liquide Q100. La hauteur de charge moyenne sur la zone présentée est de **0.9m**.



L'analyse des conditions d'écoulement a permis de mettre en avant une saturation du pont de la Chanaez pour la crue liquide. De par les conditions hydrauliques, morphologiques et historiques de l'ouvrage une obstruction à 90% a été validée et modélisée. La modélisation de l'obstruction met en évidence une faible influence amont de l'ouvrage mais une augmentation notable en amont direct de l'ouvrage. Le volume et l'enveloppe de débordement est en outre fortement augmenté.

3.3. ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE DE DIGUE

Le linéaire à étudier présente très peu de tronçons endigués à enjeu (urbain ou agricole). Le sur-aléa que peut engendrer la présence des digues existantes sur le linéaire est toutefois étudié.

La démarche adoptée pour ce diagnostic est basée sur trois étapes :

- Un inventaire exhaustif (bibliographique et topographique) couplé à une campagne terrain, pour vérifier et confirmer la localisation et l'état des digues.
- Une modélisation de la crue centennale « Q100 » en l'état actuel pour évaluer le niveau de mise en charge des ouvrages (ligne d'eau dans le cours d'eau supérieure au terrain naturel derrière la digue), s'il y a surverse ou si la revanche de sécurité est suffisante.
- Un croisement des données collectées pour l'identification des secteurs à risques, pour lesquels les simulations des effacements et des ruptures seront réalisées.

L'objectif du diagnostic des digues est de localiser les digues qui seront prises en compte dans la définition de l'aléa de référence avec défaillances des digues.

3.3.1. RECENSEMENT ET CARACTERISTIQUES DES DIGUES

L'analyse des digues s'appuie sur la notion de « tronçon homogène », c'est-à-dire une zone de digue homogène quant à ses grandes caractéristiques géométriques et structurelles (largeur, hauteur, pente, type...) ainsi que l'occupation du lit majeur.

Des tronçons homogènes en fonction de leur qualité physique et de leur fonction ont ainsi été caractérisés suivant les étapes suivantes :

- **Inventaire exhaustif des digues pré-identifiées.** Sur la base des données collectées géo-référencées, un inventaire exhaustif des digues pré-identifiées (couches DDT38, DDT 73 et SIAGA) a été réalisé.

Les données disponibles concernant les digues sur le bassin versant du Guiers, sont présentées en annexe 10.

La position de chaque digue a été vérifiée et mise à jour à partir des données LIDAR (MNT et MNS), des orthophotos et de données SIG complémentaires quand nécessaire. Des digues pré-identifiées ont parfois été supprimées suite à cette analyse (une visite de terrain a toujours été réalisée dans ce cas et a permis de confirmer l'absence de digue).

- **Identification de nouvelles digues ayant un rôle de protection hydraulique.** En complément, une analyse fine du MNT issu du LIDAR a permis d'identifier de nouvelles digues. Ces nouvelles digues ont été vectorisées et leurs caractéristiques collectées et implémentées dans la table attributaire de la couche digue. Les digues non référencées (pas de code SIOUH) ont été codées pour leur identification.
- **Identification des ouvrages situés en lit majeur pouvant influencer l'écoulement des eaux en crue et en décrue (dignes de second rang ou transversales).** Ces ouvrages sont essentiellement des remblais/remblais routiers en lit majeur. Ces ouvrages ont été vectorisés et référencés dans une couche SIG à partir du MNT issu du LIDAR. Ces ouvrages ont été codés pour leur identification.

- **Identification des caractéristiques de chaque digue.** Sur la base de l'inventaire des digues, les caractéristiques de chaque digue (hauteur min/max, largeur min/max, position géographique, constitution, végétation, enjeux...) ont été identifiées (ou validées quand nécessaire) à partir des données LIDAR, des orthophotos, de données SIG ou d'études complémentaires.

Les profils en travers ont été tracés sur la base des données LIDAR ou à partir de données topographiques si ces dernières étaient suffisamment précises. Les profils en long ont été tracés en extrayant l'altimétrie de la digue vectorisée. Un tracé du fond du lit du cours d'eau et du TN a permis en complément, d'identifier les secteurs les plus sensibles.

- **Visites de terrain (20 mars 2017, 4 et 10 avril 2017) pour la validation des tronçons de digue sur le terrain et identification de secteurs sensibles (érosion, points bas, ponts...).**
- **Exploitation du modèle 1D/2D pour établir la mise en charge et les zones de surverse des digues pour la crue de référence.**

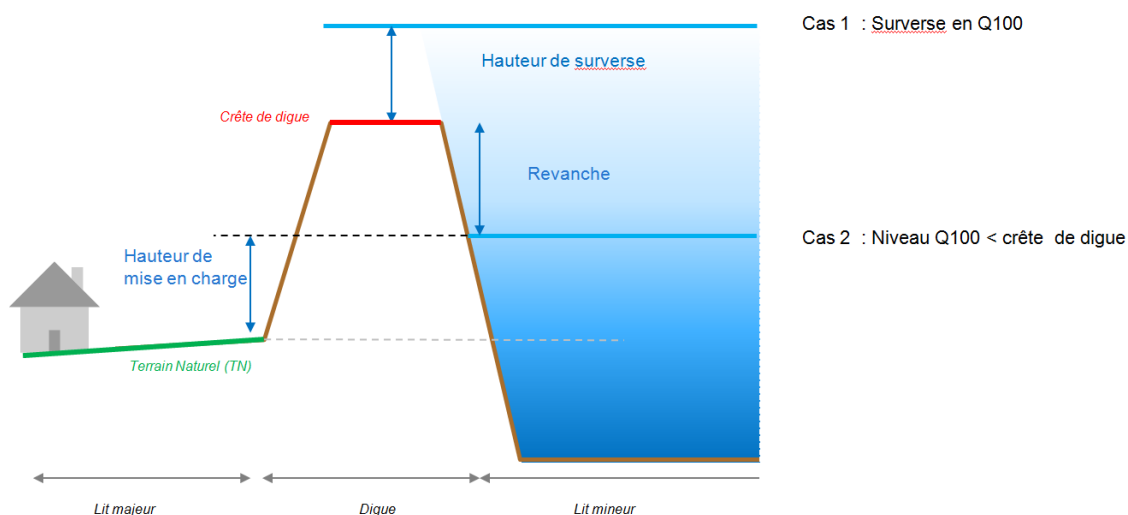


Figure 40: Illustration des paramètres hydrauliques pris en compte

La synthèse des données relatives aux digues ont été compilées dans :

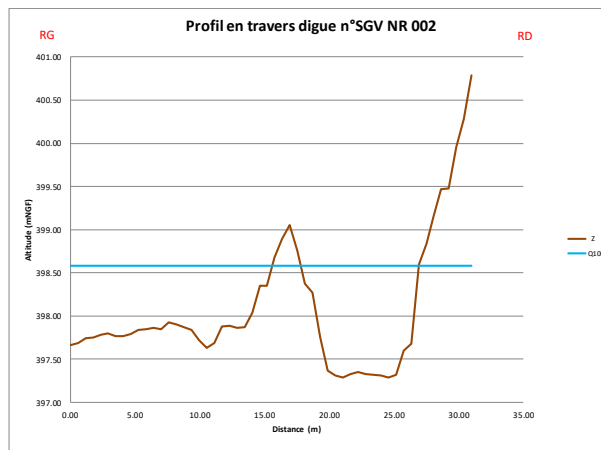
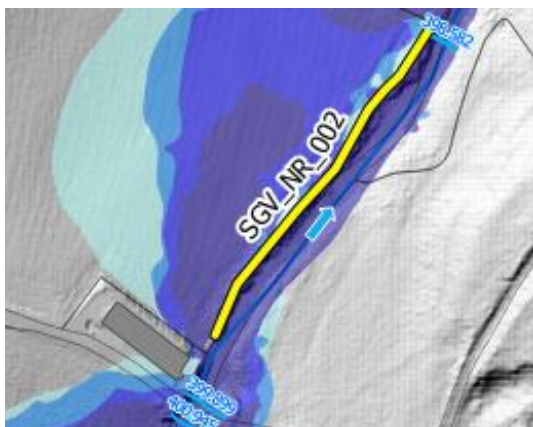
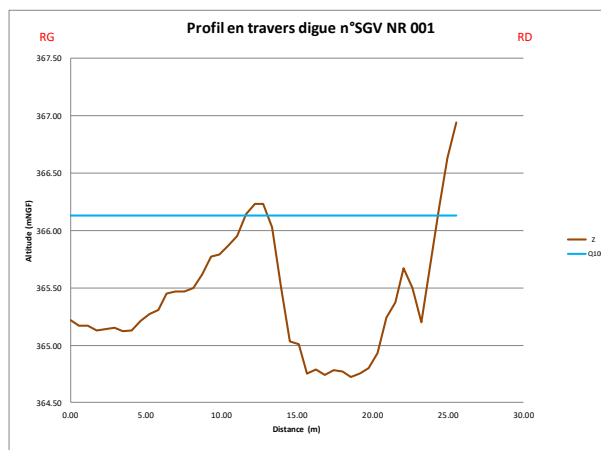
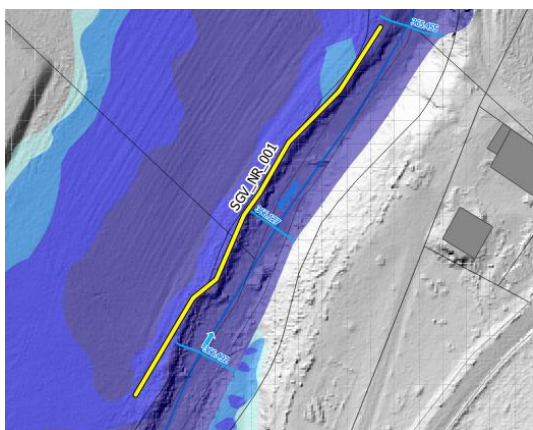
- **Un recueil des profils en travers et en long pour chaque digue ou système de digue.** Les profils topographiques sont basés sur les données LIDAR et réalisés à partir du système SIG. Sur chaque profil est reporté la cote d'eau calculée par les études antérieures si disponible (cotes extraites de données SIG ou graphiquement à partir de profils en travers) ainsi que celle résultant des modélisations. Cet outil permet de visualiser rapidement les dimensions de la digue, ainsi que le niveau de mise en charge. Il permet enfin d'évaluer les variations de résultat des différentes études avec les résultats de nos modélisations.
- **Une couche unique dans le SIG,** regroupant l'ensemble des informations disponibles. Chaque tronçon de digue est identifié au mieux avec le code SIAGA ou le code SIOUH pour le département 38 ("nouveau_identifiant_siouh_tronc"). La source des données est toujours précisée. Certains attributs ont été rajoutés pour mieux caractériser les digues. Les données en lit majeur sont regroupées dans une autre couche.

3.3.2. CHOIX DES OUVRAGES A EFFACER ET LOCALISATION DES RUPTURES/RUINES DE DIGUES

Le diagnostic des ouvrages sur le bassin versant de l'Ainan a permis de recenser uniquement trois ouvrages digues.

Les 3 petites digues identifiées, sont toutes contournées. Ces ouvrages sont avant tout des merlons de curage irréguliers présentant de nombreux points bas. Les débordements ont lieu même pour les faibles crues. Les phénomènes de contournement limitent fortement la mise en charge et le risque de rupture brutale. Par ailleurs, ces ouvrages sont situés sur des zones naturelles, où l'impact d'une défaillance n'impacte pas d'enjeux, autres qu'agricoles.

Ces ouvrages ne présentent donc pas de rôle de protection ; leur dysfonctionnement n'entraîne pas de sur-aléa.



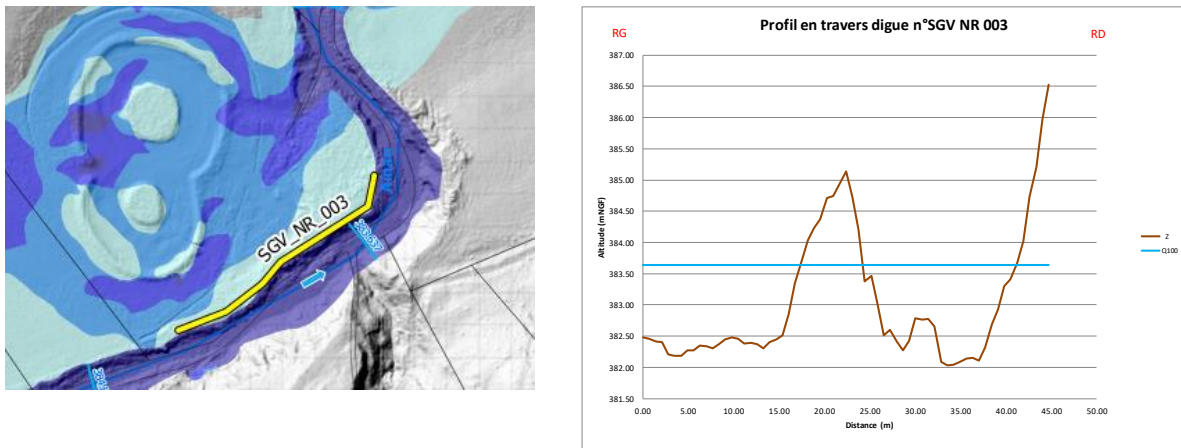


Figure 41 : Localisation des digues - Profil en travers et ligne d'eau Q100 – les digues sont contournées.

3.4. APPROCHE MIXTE PAR GENERATION D'UNE SURFACE D'EAU ET PROJECTION SUR UN MNT

Un dernier outil utilisé pour certains secteurs est une approche mixte qui combine les sorties du modèle hydraulique 1D et les données du MNT issues du LIDAR (2016).

Il s'agit simplement de décrire les zones inondées à partir des profils en long de ligne d'eau ou de charge puis de générer une surface d'eau et de la projeter sur un MNT. Cette approche est limitée aux zones sans digues.

La procédure est décrite par la suite.

- **Extrapolation des profils en travers en lit majeur à partir des profils du modèle hydraulique 1D** (issus de la topographie terrestres) de manière à ce que les écoulements soient orthogonaux aux profils (les profils en travers doivent aussi couvrir toute la zone inondée).
- **Récupération des données hydrauliques issues de la modélisation 1D/2D (Q100).**

Compte tenu du régime torrentiel des écoulements du cours d'eau (pentes et vitesses élevées, transport solide, écoulements turbulents), la ligne d'eau considérée est la ligne de charge hydraulique (charge moyenne dans la section).

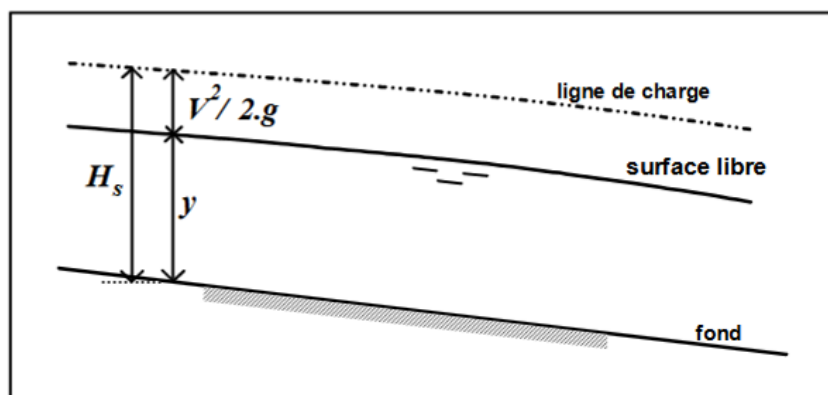


Figure 42 : Ligne de charge ; charge spécifique (cf. G. Degoutte)

- Interpolation deux à deux, le plan entre profils pour créer la **surface du plan d'eau** (outil SIG).

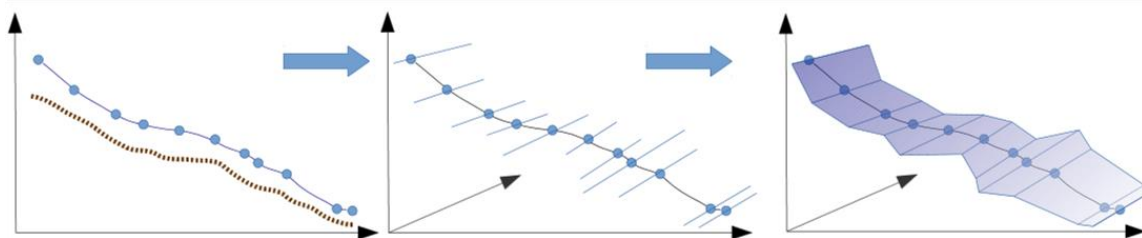


Figure 43 : Principe de génération de la surface en eau (CEREMA, 2016 -http://www.sud-ouest.cerema.fr/IMG/pdf/o8_AtelierGeothematique_161108_DREAL-NA-SPC.pdf)

- Calcule par soustraction avec le MNT la hauteur d'eau au-dessus du terrain naturel (outil SIG).
- **Classement par hauteur puis lissage et vectorisation**

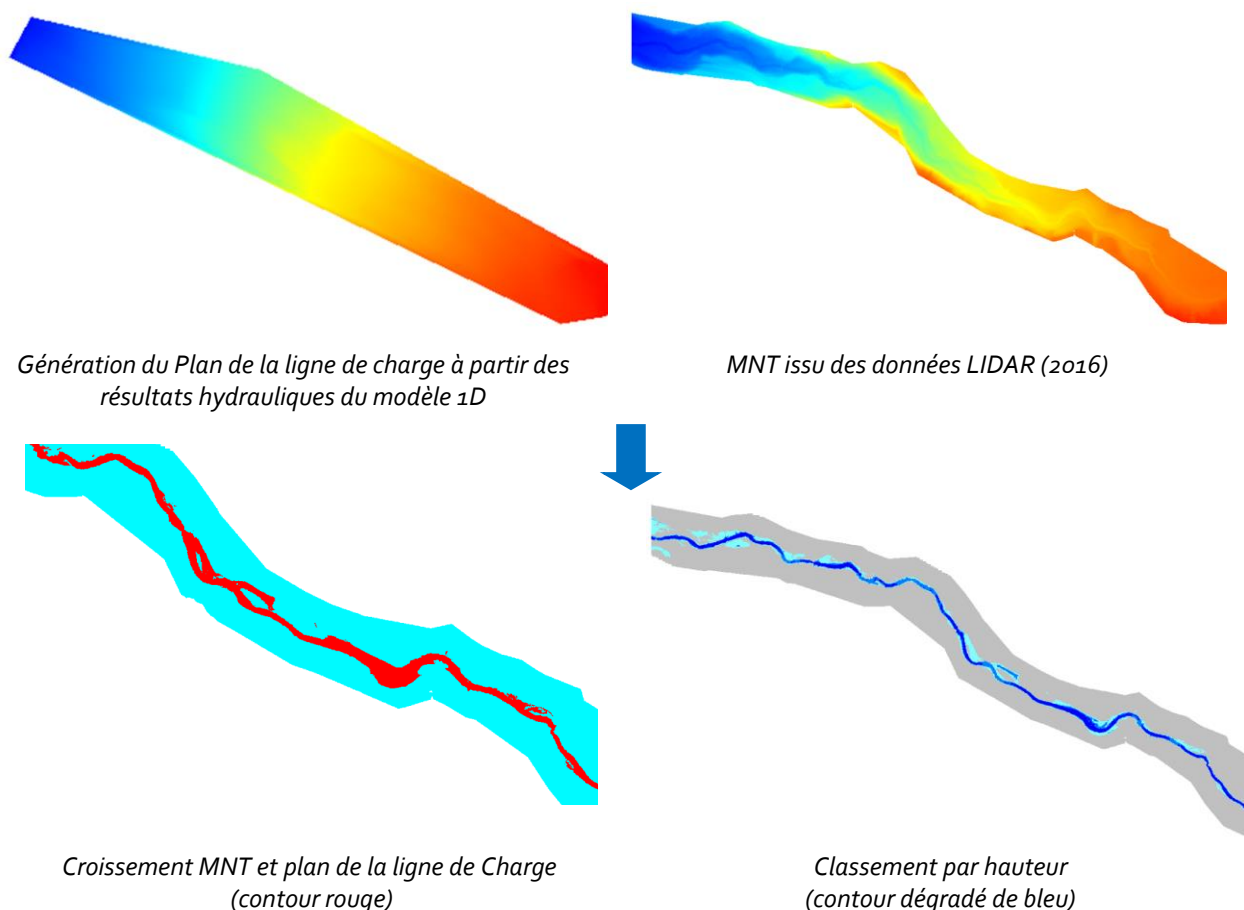


Figure 44 : Exemple de résultats

Cette approche a été utilisée, notamment pour les secteurs où le transport solide peut devenir important et le risque d'engravement ou d'obstruction dans le lit mineur est à prendre en compte.

La figure suivante montre dans le cas d'une obstruction d'un pont, les résultats obtenus pour les deux simulations hydrauliques (avec et sans obstruction) et l'analyse du plan de ligne de charge.

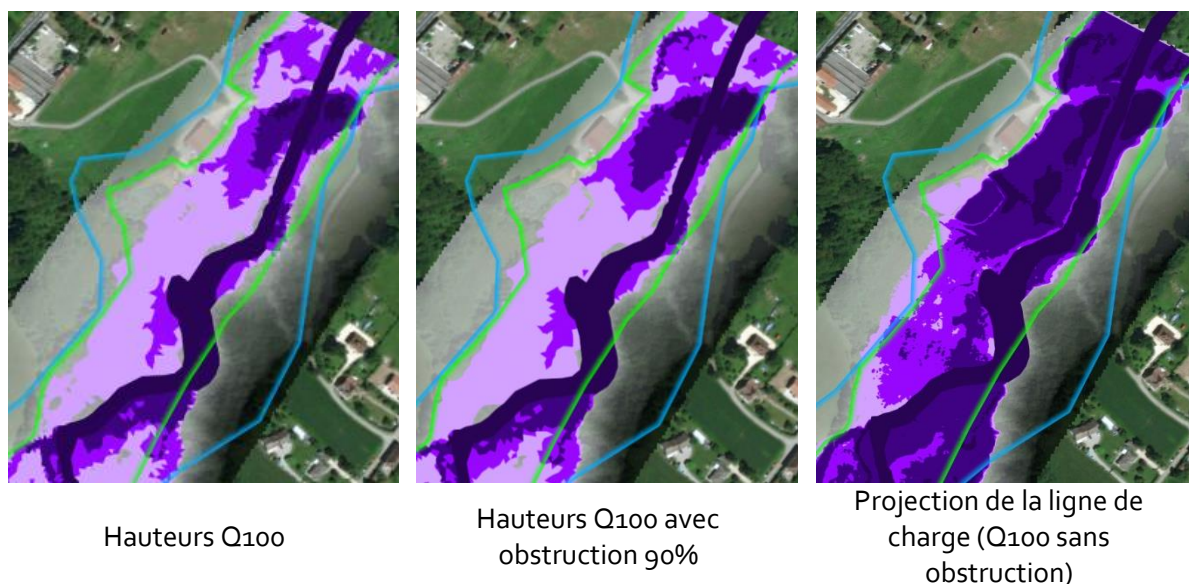
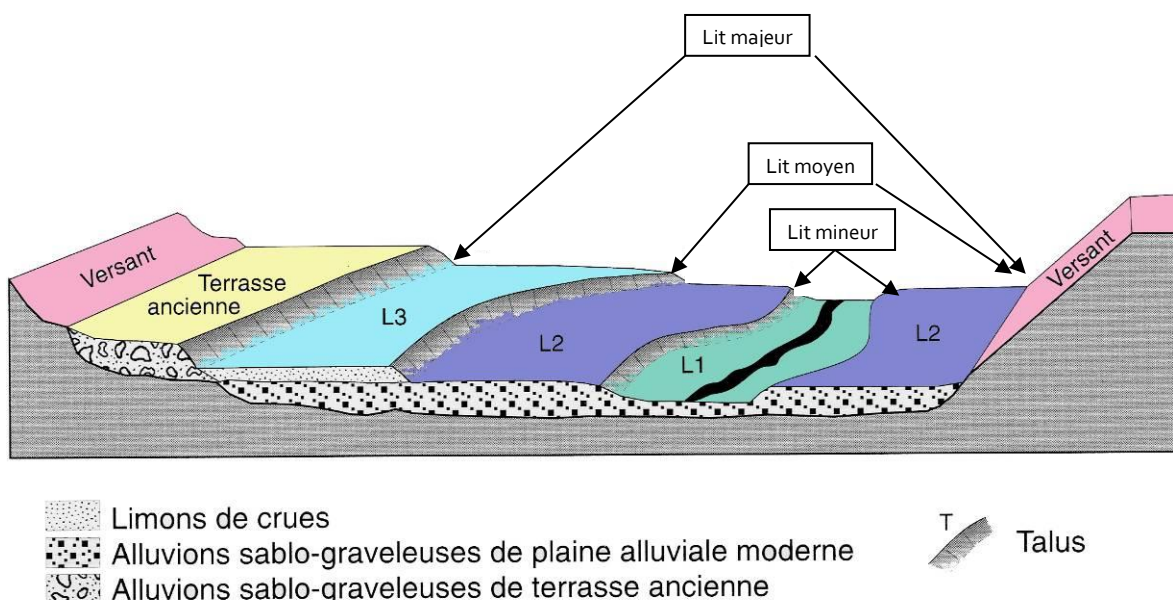


Figure 45 : Exemple de résultats pour l'approche mixte

3.5. ANALYSE HYDRO-HYDROMORPHOLOGIQUE

Depuis la parution d'un méthodologique en 1996, la cartographie des zones inondables par approche hydro-géomorphologique est devenu un outil majeur pour l'élaboration des atlas des zones inondables, des cartes d'aléa inondation des PPR Inondation ou de la directive inondation ainsi que plus généralement dans les projets d'aménagement et de développement durable du territoire (PLU, SCOT...).

Cette approche naturaliste permet une bonne connaissance des éléments naturels ou anthropiques structurant le paysage des vallées, des différentes unités constituant la plaine alluviale fonctionnelle et du fonctionnement hydrodynamique des cours d'eau.



L 1 = Limites des crues non débordantes

L 2 = Limites du champ d'inondation des crues fréquentes

L 3 = Limites du champ d'inondation des crues exceptionnelles

Figure 46 : Organisation de la plaine alluviale (schéma générale)

L'approche hydro géomorphologique ne permet pas de définir une crue de référence au sens strict du terme. Elle fournit cependant une vision du fonctionnement de la vallée en situation extrême, mais réaliste. Elle est complémentaire à toute étude hydraulique puisque qu'elle permet la délimitation de la plaine alluviale en unités spatiales homogènes et représentatives de l'expression des crues antérieures, donc des grands types de débits. Elle permet de tenir compte des éléments anthropiques majeurs du relief (routes, etc.) et de la dynamique fluviale récente (derniers siècles).

Les documents de référence sont le Schéma morpho écologique des cours d'eau du bassin versant du Guiers (BURGEAP, 2010) et l'étude sur les Espace de bon fonctionnement (BURGEAP, 2014). Les cartographies issues de l'AZI de 2004 ont également été analysées.

L'analyse du MNT issu des données LIDAR (2016) est un outil précieux de mise à jour des limites préalablement établies.

La qualification de l'aléa inondation au sein de cette limite est réalisée à dire d'expert selon les grilles de la DDT.

3.6. AJUSTEMENT A DIRE D'EXPERT ET BANDE DE REcul

Les résultats obtenus par les différentes méthodes précitées, ont été comparés, sur la base du MNT (2016) aux différentes sources de connaissances suivantes :

- Les connaissances de terrains (connaissances historiques, reconnaissances de terrain).
- Les différentes enveloppes d'inondation suivantes :
 - Les limites de l'Aléa inondation de l'AZI de l'Ainan 2005 (y compris crues des torrents) et les limites de l'espace de bon fonctionnement 2014 (Burgeap, 2014).
 - Les limites de l'Aléa hydraulique de 2006 des communes des bassin versants de l'Ainan et du Malfossant (Alp'Géorisques, 2004/2006).

Ces dernières données spatiales sont indicatives car produites avec des jeux de données (notamment topographie) très certainement moins précises que celles disponibles pour la nouvelle cartographie de l'aléa inondation (LIDAR, 2016). Elles ont cependant orienté certain ajustement à dire d'expert (si leur pertinence était avérée).

Suite à cette expertise, une bande de recul systématique de 10 m à partir du sommet des berges du lit de l'Ainan a été proposé avec des ajustements locaux, là où les processus d'érosions important de l'Ainan n'auraient pas été bien pris en compte lors de la 1^{ère} cartographie.

Se reporter au § 5 Mise en perspective de la cartographie de la présente par rapport aux anciennes connaissances sur l'aléa « crue rapide de rivières ».

A retenir :

Les méthodes employées pour qualifier ensuite l'aléa inondation C sont :

- 1. Exploitation directe des sorties du modèle hydraulique 2D et 1D/2D.** La modélisation de la propagation des écoulements en lit mineur et en lit majeur à l'aide du modèle hydraulique 1D/2D (ICM) permet de modéliser :

- a. La crue de référence,
- b. Les scénarios d'embâcles (où le potentiel d'embâcles est fort).

La qualification de l'aléa inondation est réalisée selon les grilles de la DDT à partir des vitesses et des hauteurs obtenues.

- 2. Exploitation des sorties du modèle hydraulique 1D et du MNT issu du LIDAR.** La méthode consiste à utiliser les profils en long de la ligne de charge pour générer une surface d'eau puis par soustraction avec le MNT, obtenir des surfaces en eau associé à de hauteurs.

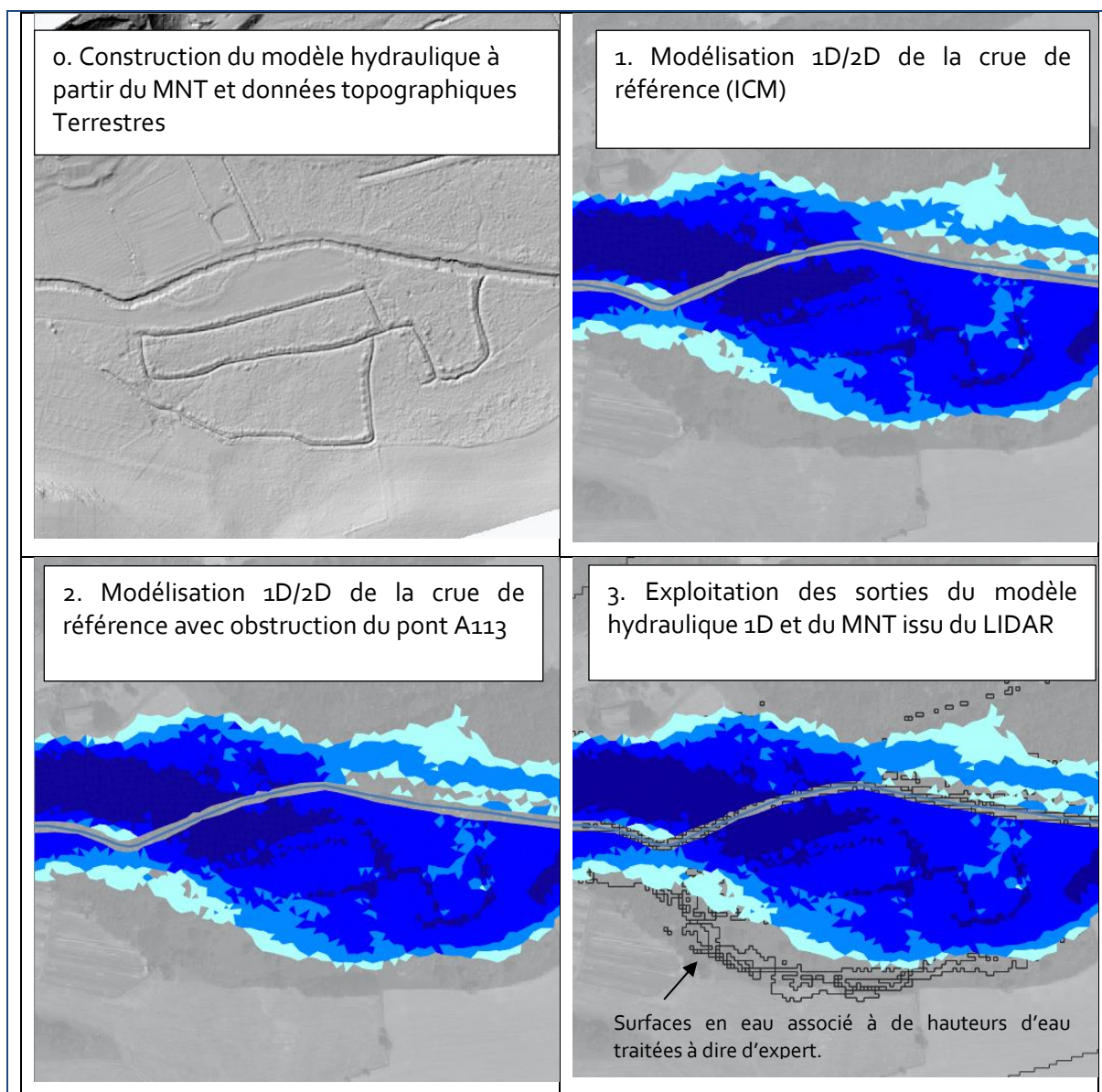
Les vitesses n'étant pas estimées, la qualification de l'aléa inondation au sein de cette limite est réalisée à dire d'expert selon les grilles de la DDT.

- 3. Approche hydro-morphologique et exploitation des données du MNT issues des données LIDAR (2016).** La méthode consiste à se confronter aux données de terrains (historiques ou réalisées par HYDRETUDES) et aux cartographies existantes (AZI et EBF et carte des aléas hydrauliques ou multi-alea).

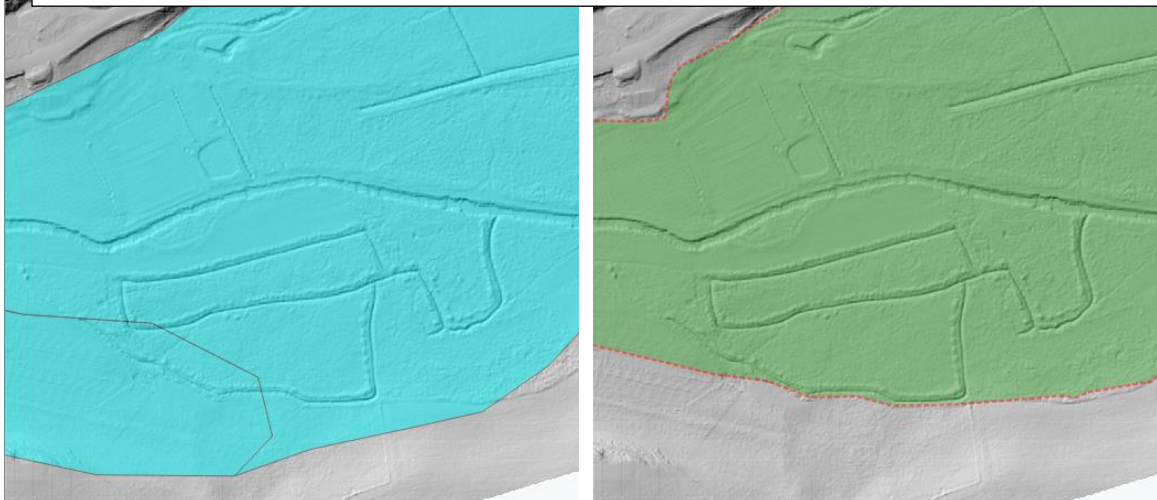
Ces différentes méthodes ne sont pas antagonistes mais le plus souvent complémentaires et s'alimentent l'une de l'autre sur de nombreux secteurs. Le croisement avec la réalité de terrain est toujours réalisé. L'analyse hydraulique est toujours complétée par une analyse critique à dire d'expert en raison du contexte d'écoulement et du passif historique très particulier de l'Ainan.

Rappelons que, la crue de 2002 ayant entraîné de très forts ajustements du lit du cours d'eau avec un élargissement du lit moyen, elle n'est pas reproductible en tant que telle. La modélisation hydraulique (et l'approche mixte à dire d'expert) ne vise pas à reproduire les enveloppes de crue observées en 2002 mais bien à évaluer les zones inondables dans les **conditions physiques actuelles** pour un hydrogramme de crue de référence.

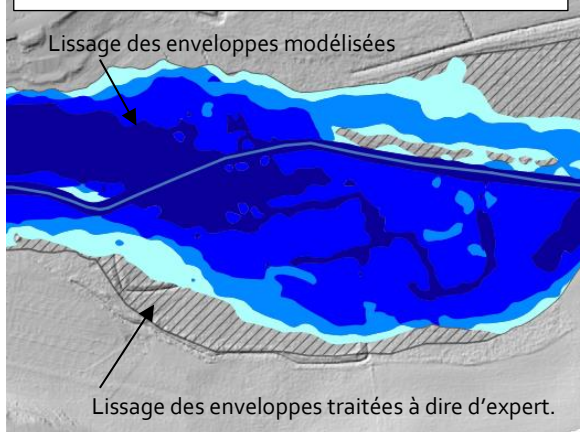
Les figures ci-dessous illustre par l'exemple les trois différentes méthodes utilisées pour aboutir à la cartographie de l'aléa de référence de l'Ainan. Le secteur exemple utilisé pour la présentation des méthodes est un secteur de plaine en amont du Pont de la D28 (A13) sur la commune de Saint-Geoire en Valdaine.



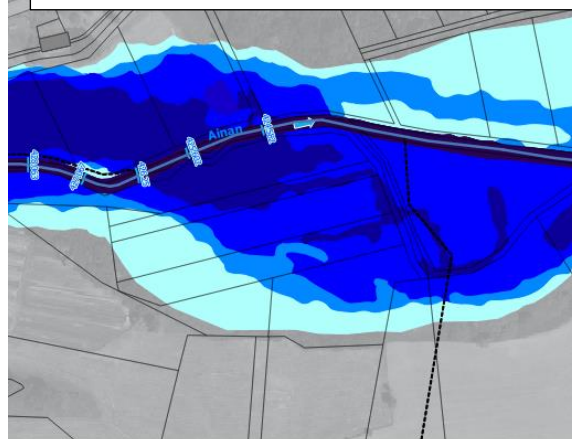
4. Analyse hydro-morphologique à partir du MNT et des données existantes (AZI et EBF)



5. Lissage des enveloppes modélisées et traitées à dire d'expert



6. Combinaison des différentes cartographies quantitatives et qualitatives réalisées



Enfin, une zone « tampon » systématique de 10 m avec des ajustements locaux plus larges à dire d'expert a été appliquée de part et d'autre du cours d'eau pour tenir compte des processus d'érosions important sur l'Ainan qui n'auraient pas été pris en compte lors de la cartographie.

4. QUALIFICATION DE L'ALEA SUR LE TERRITOIRE N°2

Se reporter à l'ensemble des Atlas cartographiques.

4.1. CHOIX DE LA CRUE DE REFERENCE

Les deux questions essentielles suivantes auxquelles l'étude doit répondre sont :

- Existe-t-il des crues historiques plus fortes que la crue centennale ? Sont-elles suffisamment documentées pour servir d'événement de référence ?
- Quel scénario de référence (hydrogrammes) faut-il injecter dans les modélisations hydrauliques pour respecter la crue de référence de l'Ainan de l'amont vers l'aval ?

4.1.1. IDENTIFICATION DE LA PLUS FORTE CRUE SUR LE PERIMETRE DE L'AINAN

Pour rappel, la doctrine PPRi demande de définir « la plus forte crue connue » et de lui associer un temps de retour. En effet, si cette crue historique est plus faible qu'une crue centennale, la doctrine prévoit de prendre cette dernière comme crue de référence.

L'analyse des données anciennes et modernes fait apparaître que la crue de juin 2002 présente une crue de période de retour égale ou supérieure à 100 ans. Cette crue est bien documentée sur les aspects hydro-morphologiques mais très peu sur les aspects hydrauliques (débits liquides) ; la station DREAL à Saint-Geoire-en-Valdaine étant détruite au cours de la crue.

Le débit estimé en 2002 par Alpgéorisques (2003) de 100 m³/s au seuil de la MIVA à St-Bueil est en effet le débit de pointe le plus fort connu sur l'Ainan. Il peut être considéré supérieur au débit centennal de référence estimé par Burgeap (2006) de 86 m³/s au seuil de la MIVA et centennale si l'estimation d'Alp'Géorisque (2003) est considérée (102 m³/s). Au regard des incertitudes de calcul sur le débit de pointe de 100 m³/s estimé après la crue et sur les débits caractéristiques, le comité de pilotage a validé la crue de référence de 100 m³/s sur l'Ainan seul.

Rappelons que la violence de la crue observée en 2002 est étroitement liée aux embâcles flottants et aux affluents (crue plus que centennale) et qu'elle a bouleversé la morphologie du cours d'eau. Elle n'est pas reproductible en tant que telle.

4.1.2. SCENARIO HYDROLOGIQUE DE REFERENCE RETENU

Le scénario hydrologique de référence proposé et validé par les DDT 73 et 38, est ainsi bâti en partie sur la crue historique de juin 2002 et basé sur les hypothèses suivantes :

- **Le débit estimé en 2002 de 100 m³/s au seuil de la MIVA à St-Bueil (Alpgéorisques, 2003) est retenu comme référence pour cette crue historique. Suivant les estimations de débits, c'est un débit centennal à plus que centennale.**
- De l'amont vers l'aval de l'Ainan, les débits retenus varient dans le bassin versant selon la formule de Myer avec un alpha=0.75 afin de garder une homogénéité des fréquences sur l'ensemble du cours d'eau.

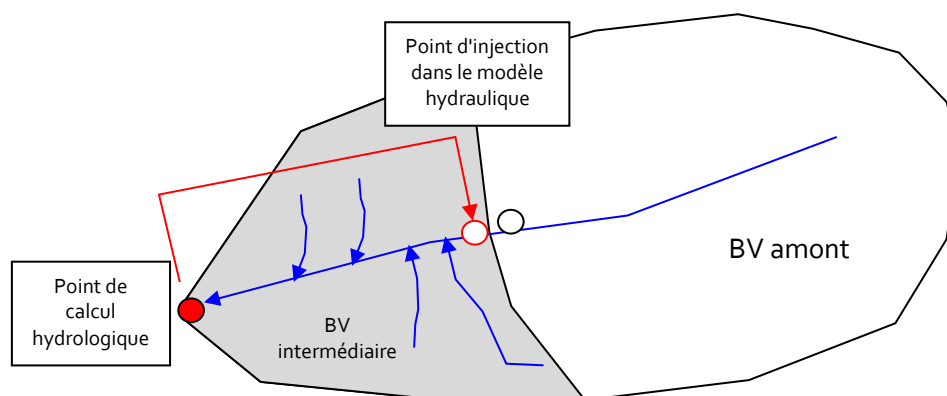
*Tableau 18 : Débits Crue de référence pour l'Ainan
(basée sur la crue de 100 m³/s le 6 juin 2002 au seuil MIVA)*

Point de calcul	Surface (km ²)	Qp [m ³ /s]	QRéférence* [m ³ /s]
Arsenal	17,5	35,2	35
Cote d'Ainan	37,3	62,1	

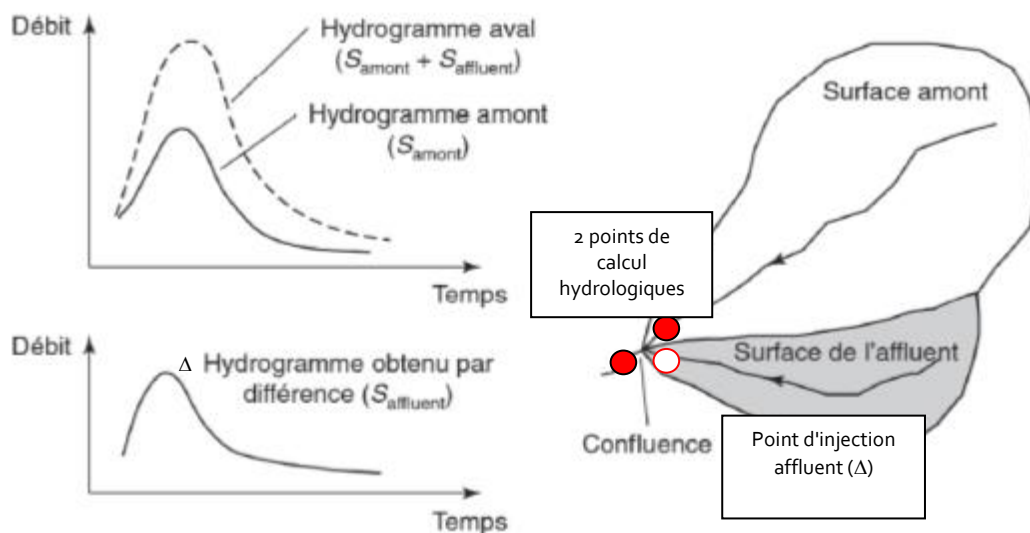
Pont du Moulin	41,4	67,2	
Station DIREN	45,0	71,5	71
Champet	50,4	77,8	
La Pale	53,5	81,4	81
Amont MIVA	70,4	100	
Confluence	75,9	105,8	106

* Débits injectés dans les modèles (cf. Tableau 16)

- Afin de conserver la même période de retour de l'amont vers l'aval sur le linéaire de l'Ainan (homogénéité des fréquences amont-aval sur le cours d'eau principal) les apports latéraux ont été traités de deux manières par des injections ponctuelles dans le modèle hydrauliques (cf. Tableau 16) :
 - **Cas 1 : Si le bassin intermédiaire entre le point d'injection et la confluence est peu important (secteurs sans affluents importants), l'hydrogramme correspondant à la contribution totale à l'aval est injecté directement en amont du modèle.**



- **Cas 2 : Si, le bassin intermédiaire entre le point d'injection et la confluence est à prendre en compte (secteurs avec les contributions des ruisseaux du Cras, Touvat, Fredière, Cascade, Aigueblanche), l'injection de la contribution de l'affluent est prise pour qu'à l'aval des confluences le débit de l'Ainan soit égal à la crue de référence. Les débits retenus pour les affluents ne peuvent être retenus pour la cartographie de leur propre aléa.**



A signaler le cas particulier du secteur en amont du Cras. Les apports de l'Ainan sont considérés comme très fortement amortis à la sortie du marais de Chirens. A l'aval de la confluence avec le Cras, l'essentiel des apports liquides en crue sont liés aux affluents.

4.2. QUALIFICATION DE L'ALEA SECTEUR PAR SECTEUR

Il ne s'agit pas ici d'exposer en détail tous les résultats intermédiaires ayant conduit à la définition de l'aléa conjugué mais de synthétiser, secteur par secteur, leur spécificité, les outils employés pour étudier et qualifier l'aléa et enfin de décrire succinctement les phénomènes d'inondation.

L'analyse de l'aléa inondation de l'Ainan est basée sur une modélisation hydraulique de la crue de référence en 1D/2D, 1D ou 2D suivant les caractéristiques des différents secteurs étudiés. L'analyse hydraulique est toujours complétée par une analyse critique à dire d'expert en raison du contexte d'écoulement et du passif historique très particulier de l'Ainan (approche mixte, analyse hydro-morphologique). Certaines zones comme les zones de marais, de gorges ou sur l'aval du Guiers sont traitées en croissant différentes approches.

Le tableau et la figure suivantes illustrent les spécificités et le type d'approche utilisées par secteur.

Tableau 19 : Spécificités et type d'approche utilisées par secteur

Localisation du secteur	Spécificité	Type d'approche
Chirens amont	Tête de bassin	Analyse à dire d'expert (analyse hydro-morphologique)
De Chirens à la Côte d'Ainan	Zone de marécages et marais, faible pente et peu d'enjeux. 2 sous-secteurs de modélisation.	Modélisation 2D (modèle M1a et M1b), complétée par une analyse à dire d'expert (approche mixte, analyse hydro-morphologique dont obstructions de pont)
De la Côte d'Ainan à l'amont des gorges de Saint Bueil	Long secteur scindé en 3 sous-secteurs de modélisation. Pente moyenne. Nombreux ouvrages d'art et nombreux enjeux.	Modélisation 1D/2D (modèles M2, M3 et M4), 8 obstructions de pont modélisées, complétée par une analyse à dire d'expert (approche mixte, analyse hydro-morphologique)
Gorges de Saint Bueil	Secteur de gorges avec forte pente moyenne. Présence de cascade et ouvrage seuil. Défaillance du LIDAR sur ce secteur.	Analyse à dire d'expert (analyse hydro-morphologique)
De l'ancienne usine MIVA à la confluence avec le ruisseau du brut	Secteur de pente moyenne avec quelques enjeux et ouvrages d'art	Modélisation 1D/2D (modèle M5 et M6), 1 obstruction de pont modélisée, complétée par une analyse à dire d'expert (approche mixte, analyse hydro-morphologique dont obstructions de pont)
De l'aval de la confluence avec le ruisseau du brut à la confluence avec le Guiers	Secteur de gorges avec pentes moyenne. Lit mobile et encaissé	1D - Analyse à dire d'expert (approche mixte, analyse hydro-morphologique)

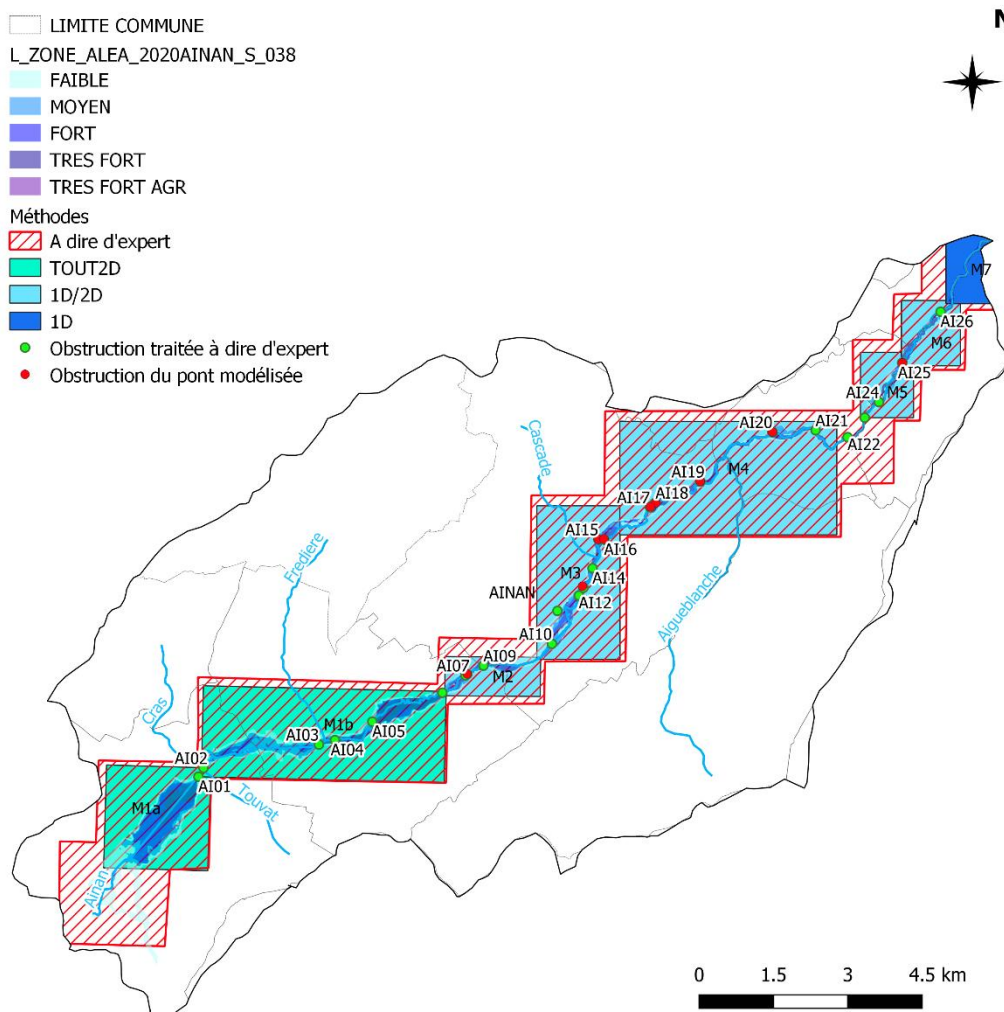


Figure 47 : Illustration des différents secteurs analysés

4.2.1. SECTEUR DE CHIRENS AMONT (JUSQU'A LA STATION DE POMPAGE DU MARAIS)

Feuille 1

4.2.1.1. Spécificité du secteur

La bourgade de Chirens occupe une zone alluviale plate enserrée de collines sur presque tous ses côtés, sauf au sud-est et au nord-est où ces collines sont percées de deux larges trouées. Ce sont respectivement la vallée du Rousset et l'extrémité sud du val de l'Ainan, l'une et l'autre empruntées (successivement) par la N.75. Il s'agit de deux vallées mortes car, en dépit de leur largeur, elles sont pratiquement dépourvues de cours d'eau.

Le secteur de Chirens amont, bien qu'en tête de bassin, se situe ainsi dans une zone de pentes modérées avec un réseau hydrographique d'avantage assimilés à des fossés qui s'écoulent au cœur de la zone urbaine qu'à des cours d'eau.

Les inondations sont liées autant aux débordements des fossés qu'au phénomènes de rétention des eaux de ruissellement dans des zones basses.

Rappelons que le val d'Ainan a été creusé et calibré en une large vallée par une langue du glacier rhodanien, qui s'avançait du NE vers le SW, c'est-à-dire à contresens du drainage actuel de cette vallée.

4.2.1.2. Outils employés

La partie haute de Chirens (jusqu'à la station de pompage du marais) a été traitée uniquement par une approche hydro-morphologique à partir des données MNT issues du LIDAR et des orthophoto 2009 - 2015.

Pour ce secteur, la limite de la crue de référence s'apparente à l'espace de mobilité fonctionnel du cours d'eau et l'enveloppe maximale de crue théorique compte tenue de la topographie issue du MNT 2016. Pour le lit mineur, les tracés issus de la topographie terrestre, du LIDAR, de l'étude Burgeap (2010) ou des données "surface en eau" de l'IGN ont été utilisés.

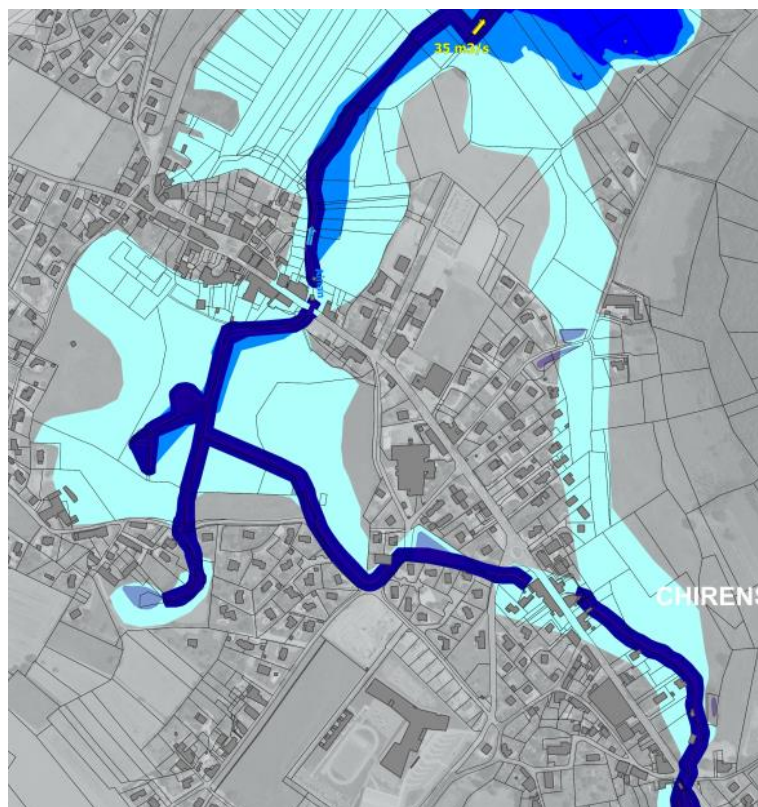
4.2.1.3. Type et qualification de l'aléa

L'aléa a été classé en "crue rapide des rivières" (C) à dire d'expert. Le lit mineur est classé en aléa "très fort". L'enveloppe du lit du cours d'eau jusqu'au sommet des berges dans la limite du lit majeur déterminée à partir de l'espace de mobilité fonctionnel est classée en **aléa "fort" (Zone C3)**. Des zones d'**aléa moyen (Zone C2) ou faible (Zone C1)** ont été également identifiées. Le classement des hauteurs et de vitesses est à dire d'expert.

4.2.1.4. Description de l'inondation

Plusieurs zones de débordements ou de rétention des eaux de ruissellement sont possibles du fait de la topographie et des ouvrages.

Au sud-est, le long de la RD1075, un fort risque de débordement en rive droite se produit lors de la traversée de la RD1075 (rue des Arts). Ce débordement entraîne une propagation des écoulements vers le hameau Beaudine puis vers le marais.



Secteur de Chirens amont

Figure 48 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 1 - Ainan

4.2.2. SECTEUR DE CHIRENS A LA COTE D'AINAN

Feuilles 2 à 4

4.2.2.1. Spécificité du secteur

Le secteur présente la particularité d'avoir une pente moyenne très faible. Il est scindé en deux secteurs majeurs :

- « l'Etang de Chirens » bordé à l'ouest par la route départementale D 1075 et à l'est par le Chemin communal de l'Envers.
- et la plaine de Massieu en aval du pont de l'Arsenal.

La zone est relativement naturelle avec quelques enjeux urbains. A l'heure actuelle, le site de la tourbière alcaline « marais de Chirens » (« Etang de Chirens » et « Grosse Terre » en limite communale Chirens-Massieu) est classé au titre des « Espaces Naturels Sensibles Départementaux ». Il porte encore les traces des utilisations passées plus ou moins intensives ; la trace la plus visible étant la canalisation de l'Ainan dans sa partie amont.

Il faut noter d'une part l'importance des sources latérales dans le maintien du marais et le rôle du seuil de l'Arsenal pour le maintien des niveaux d'eau en amont ; d'autre part, un impact avéré des pompes d'eau potable sur la quantité et la qualité de l'eau (<http://www.cen-isere.org>).

4.2.2.2. Outils employés

Pour ce secteur à enjeux, la qualification de l'aléa inondation s'est basée sur une double approche :

- Une approche par modélisation hydraulique tout 2D (obstructions des ponts et ligne de charge pour la crue Q100).

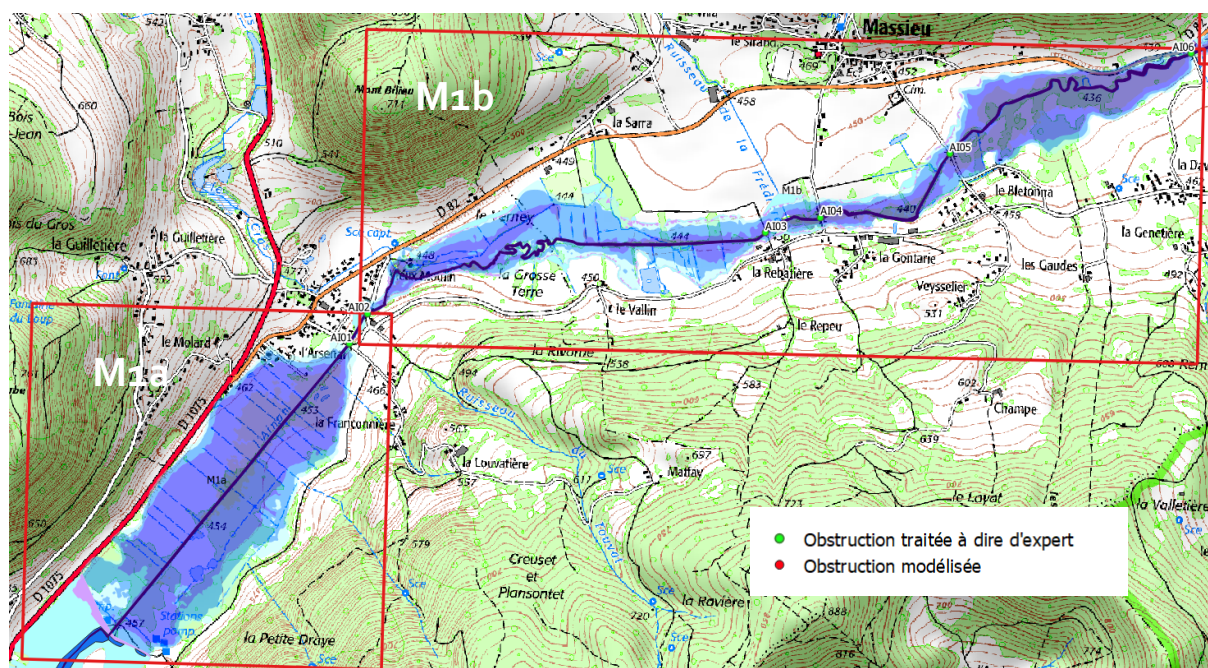
Deux entités de modélisation ont été constituées : une partie amont du marais jusqu'au pont d'Arsenal (modèle M1a) et une partie aval jusqu'au pont (route de la Lizardière) au niveau de la confluence avec le Matton (modèle M1b). L'ensemble du secteur est traité avec un modèle tout 2D, en raison de l'absence de topographie terrestre et des spécificités du secteur (marrais). Une autre particularité du secteur est d'avoir été traité en régime permanent pour cibler l'enveloppe de débordement maximale. Plusieurs ouvrages limitants (6 ponts) sont présents sur ce secteur à proximité d'enjeux.







Le modèle M1a est « maximisant » car il prend en compte le débit hydrologique de l'Ainan au pont de l'Arsenal ; l'injection de ce débit est réalisée en amont du nœud de calcul hydrologique.

Le modèle M1b prend en compte les apports des affluents latéraux (Touvat, Cras et Fredière). Les pointes de crue étant décalées dans le temps, les débits de l'Ainan injectés dans le modèle sont estimés pour conserver la même période de retour de l'Ainan de l'amont vers l'aval (homogénéité des fréquences amont-aval sur le cours d'eau principal).

- Une approche hydro-morphologique avec exploitation des données du MNT issues des données LIDAR (2016). Cette méthode a permis de compléter l'approche modélisation.

La carte et le tableau ci-dessous présentent succinctement le diagnostic des ouvrages ponts (risque d'embâcles) et la manière dont ils sont pris en compte dans l'aléa de référence (à dire d'expert ou modélisation d'une obstruction).



CODE OUVRAGE	EQUILIBRE SEDIMENTAIRE (BURGEAP)	SURCHARGE	PROPOSITION OBSTRUCTION	PHOTO	COMMENTAIRE
Al01	EXCEDENT	2	A dire d'expert		Enjeux *Photo BURGEAP
Al02	EXCEDENT	2	A dire d'expert		Enjeux
Al03	EXCEDENT	2	A dire d'expert		Enjeux
Al04	EXCEDENT	2	A dire d'expert		Affluent Frediere en amont, dépôts en rive gauche lors de la crue de 2002
Al05	EXCEDENT	2	A dire d'expert		Enjeux
Al06	EXCEDENT	2	A dire d'expert		Erosions observées en amont et en aval du pont lors de la crue de 2002. Confluence avec la Davière. Enjeux en aval en rive gauche

4.2.2.3. Type et qualification de l'aléa

Le secteur de Chirens à Massieu est concerné par l'inondation C. Le transport solide est modéré, un aléa de type "Crue rapide des rivières" (C) en tenant compte des phénomènes aggravants (possibilités d'embâcles de corps flottants et variations de la topographie par dépôt de matériaux solides au cours de l'événement) est retenu.

Le classement de l'aléa est réalisé à partir des grilles d'aléa de la DDT (H x V) :

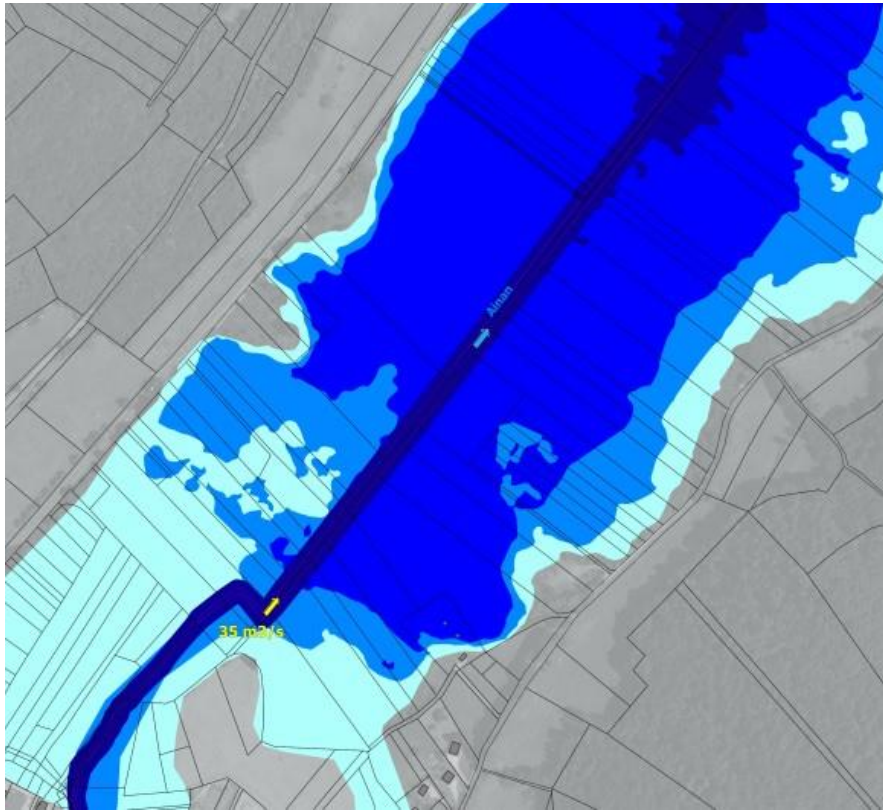
- **Zone C4 (aléa très fort)** : Les axes préférentiels d'écoulement dont les lits mineurs, les chenaux de divagation habituels et les plans d'eau sont classés en aléa très fort. Cette zone correspond au lit du cours d'eau jusqu'aux sommets des berges y compris les bandes de terrain au-delà des sommets de berges du lit mineur susceptibles d'être concernées par le recul des berges par érosion.
- **Zone C3 (aléa fort)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa fort de la crue Q100 avec obstruction.
- **Zone C2 (aléa moyen)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa moyen de la crue Q100 avec obstruction ajustée à l'enveloppe de la ligne de charge Q100 (lit majeur).
- **Zone C1 (aléa faible)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa faible de la crue Q100 avec obstruction ajustée à l'enveloppe de la ligne de charge Q100 (lit majeur).

Les débordements historiques ainsi que la capacité au transport solide connus sur ces secteurs amènent à revoir localement à la hausse les résultats de la modélisation. Ainsi, l'emprise de la zone d'aléa faible à l'aval du pont de l'Arsenal a été revue en reprenant les emprises affichées dans les anciennes cartes.

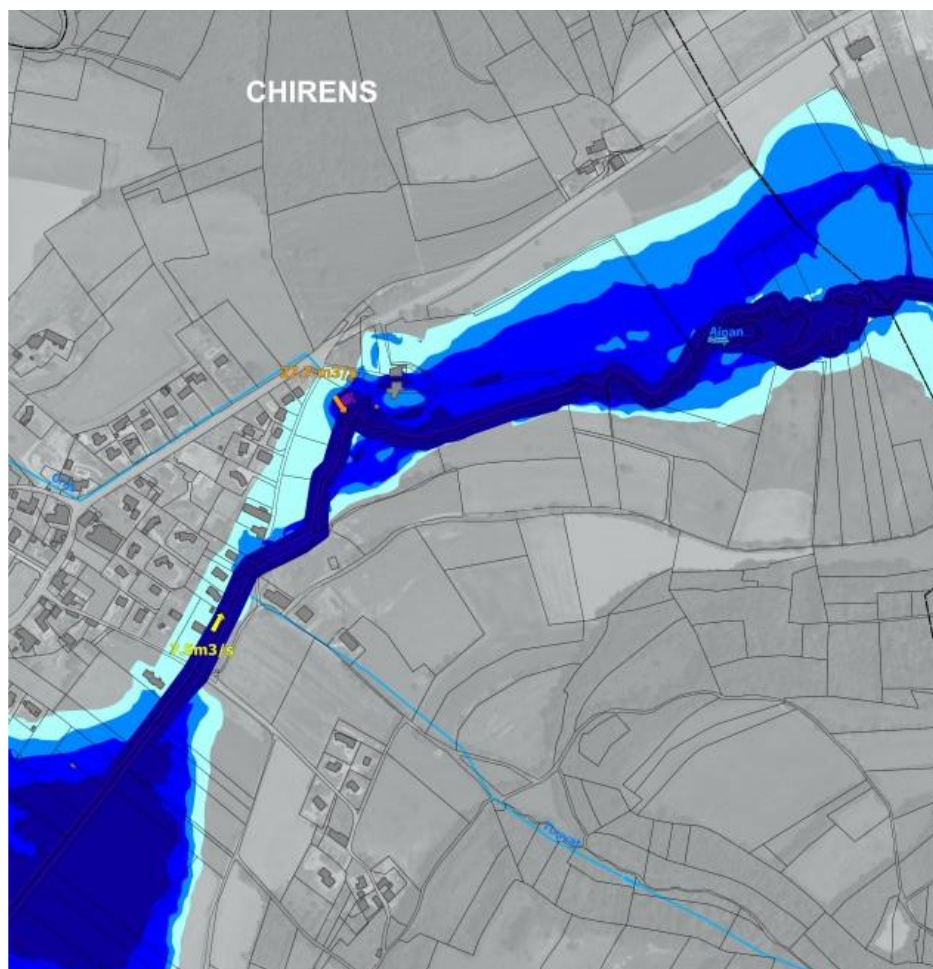
4.2.2.4. Description de l'inondation

Le marais étant un ancien étang (il a été asséché, dès le 18ème siècle, par une série de drains visibles déjà sur la carte de Cassini (18ème siècle), il présente une très forte sensibilité à l'inondation. Ainsi, les débordements sont relativement importants dans cette zone et se propagent sur près de 300m en rive gauche et en rive droite. Les vitesses sont cependant très faibles du fait des faibles pentes et grâce au pouvoir de dissipation d'énergie de la zone. Quelques habitations sont impactées par la crue.

L'exutoire du marais au niveau des ouvrages pont est un entonnement topographique où le cours d'eau se reconcentre. Le second ouvrage sous dimensionné présente des débordements impactant plusieurs habitations. L'Ainan s'écoule ensuite dans une zone marécageuse et déborde en rive gauche et droite, entre le pont de l'Arsenal et la confluence avec le Cras. L'amortissement de la pointe crue de l'Ainan par le marais de Chirens est très important, et les apports vers l'aval sont ainsi faibles. Les apports liquides en crue sont ainsi liés aux affluents, dont les pointes de crue sont décalées.



Marais de Chirens

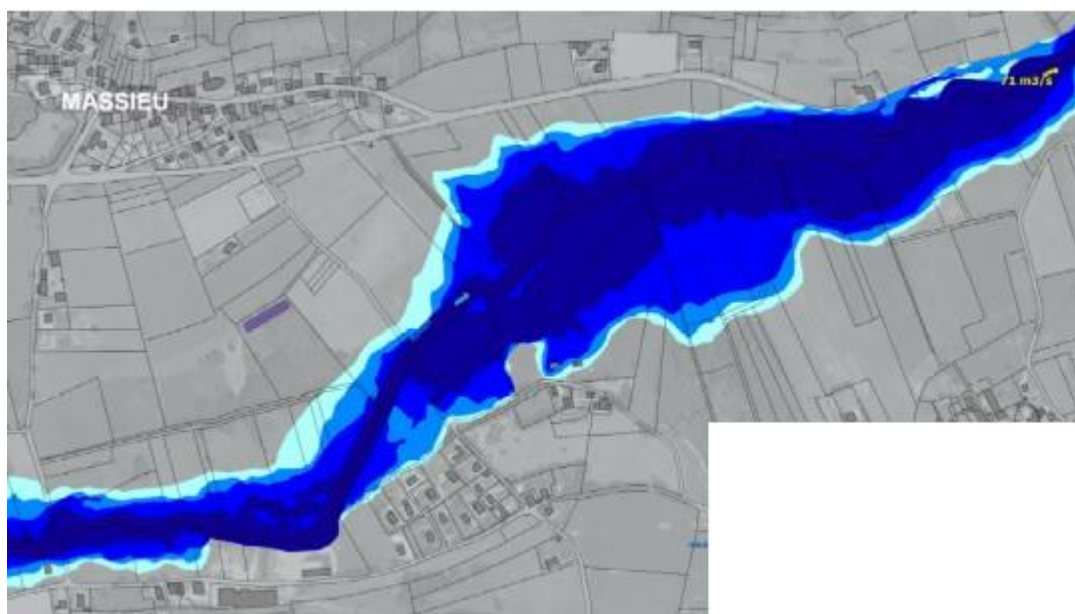


Zone marécageuse et déborde en rive gauche et droite, entre le pont de l'Arsenal et la confluence avec le Cras

Figure 49 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 2-3-Ainan

Avec les apports du Cras (apport de 27.7 m³/s en pointe), les débordements deviennent plus importants, notamment en rive gauche sur des zones agricoles et de prairie. Les débordements restent importants jusqu'à la Rebatière puis après la confluence avec la Fredière (apport de 26 m³/s).

Quelques bâtiments sont impactés dans cette zone, notamment à cause des débordements liés aux ponts mis en charge par les écoulements.



Plaine de Massieu

Figure 50 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 4-Ainan

Les débordements se poursuivent entre la Rebatière et le Bletonna avec des vitesses importantes en lit majeur. Le pont situé au droit du lieu-dit « le Bletonna » entraîne des débordements importants sur le tablier et la voirie. En aval de cet ouvrage les débordements se propagent une nouvelle fois dans le lit majeur sur les deux rives. La D82 est impactée en amont de la zone artisanale de la Cornaz à cause du pont surchargé.

4.2.3.SECTEUR DE LA COTE D'AINAN A SAINT BUEIL

Feuilles 5 à 8

4.2.3.1. Spécificité du secteur

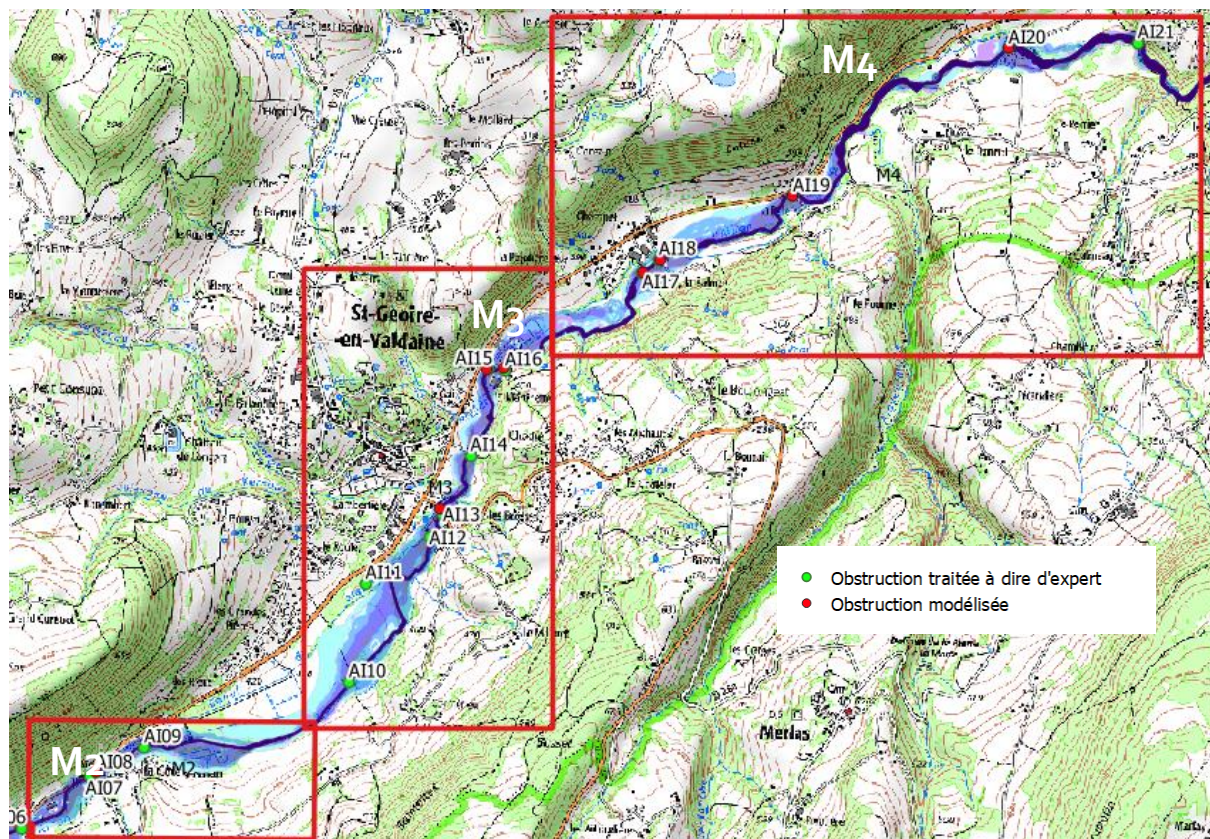
L'Ainan retrouve sur ce secteur une morphologie plus « classique » avec une vallée plus resserrée par des cônes de déjection ou des épandages fluvio-glaciaires latéraux. Deux affluents principaux (ruisseau de la Cascade en rive gauche et l'Aigueblanche en rive droite) sont présents. Une particularité hydrographique est la présence d'un chenal secondaire en aval du seuil des moulins. Ce chenal permet l'alimentation d'un moulin avant de rejoindre l'Ainan.

Les enjeux urbains se situent au niveau des hameaux de la Cote d'Ainan et de Saint-Geoire en Valdaine. La présence de nombreux ouvrages ponts associé à un risque d'embâcle fort (bois morts et matériaux solides) est un facteur aggravant le risque d'inondation sur ce secteur.








4.2.3.2. Outils employés





L'étude de l'aléa inondation s'est basée essentiellement sur la modélisation hydraulique 1D/2D (Q100, obstructions de pont), complétée à dire d'expert. Les 3 modèles 1D2D (M2, M3 et M4) sont exploités en mode transitoire. Les modèles sont constitués de plusieurs ouvrages ponts. Le chenal secondaire a été traité en 2D avec une connexion au 1D au moyen d'une buse observée sur le terrain, et d'un déversoir également observé sur le terrain pour les écoulements de crue. Les modèles intègrent le ruisseau de la Cascade et l'Aigueblanche comme affluents latéraux.

La carte et le tableau ci-dessous présentent succinctement le diagnostic des ouvrages ponts (risque d'embâcles) et la manière dont ils sont pris en compte dans l'aléa de référence (à dire d'expert ou modélisation d'une obstruction).



CODE OUVRAGE	EQUILIBRE SEDIMENTAIRE (BURGEAP)	SURCHARGE	PROPOSITION OBSTRUCTION	PHOTO	COMMENTAIRE
AI07	DEFICIT	2	A dire d'expert		Enjeux importants à proximité. Nombreux dysfonctionnements observés lors de la crue de 2002, partiellement solutionnés. Apports solides importants avec les débordements du Crozarieu.
AI08	DEFICIT	1	Oui -> 90%		

Al09	DEFICIT	2	A dire d'expert		Peu d'enjeux mais de nombreuses zones d'érosion identifiées en 2002 et lors du terrain.
Al10	DEFICIT	2	A dire d'expert		Pas d'enjeux. Ouvrages reconstruit récemment. Secteur sensible à l'érosion des berges et au dépôt de sédiments.
Al13	DEFICIT	1	Oui -> 90%		Blocage sédimentaire identifié en amont par BURGEAP. Forts enjeux en amont et en aval du pont. Deux habitations avec laisses de crues. Pont impacté par les ruissellements des combes.
Al14	DEFICIT	1	A dire d'expert		Ouvrage détruit lors de la crue de 2002 mais toujours présent dans le cours d'eau. Fortes érosions à proximité. Deux affluents rive gauche en amont susceptibles d'obstruer ce qu'il reste de l'ouvrage.
Al15	DEFICIT	2	Oui -> 90%		Affluent rive gauche en amont (ruisseau des cascades) entraînant un fort transport solide. Blocage sédimentaire en amont sur l'Ainan identifié par BURGEAP. Enjeux importants
Al16	DEFICIT	2	Oui -> 90%		Affluent rive gauche en amont (ruisseau des cascades) entraînant un fort transport solide. Blocage sédimentaire en amont sur l'Ainan identifié par BURGEAP. Enjeux importants
Al17	DEFICIT	1	Oui -> 90%		Forte mobilité du lit en amont avec de forts risques de glissements de terrain (notamment observé en 2002). Présence de trois affluents latéraux a fort

					transport solide et nombreux enjeux présents.
Al18	DEFICIT	2	Oui -> 90%		Ouvrage détruit lors de la crue de 2002 et reconstruit. Situé juste en aval du pont Al17, il est très susceptible d'être impacté également par l'Ainan et les affluents latéraux. De fortes zones d'érosions sont présentes en aval
Al19	DEFICIT	0.76	Oui -> 90%	Pont détruit	Ouvrage fortement sollicité en forte crue de l'Ainan. Les lagunes situées en aval ont été touchées fortement lors de la crue de 2002. Des signes d'érosion sont visibles. Quelques d'enjeux.
Al20 Pont du Perrier	EXCEDENT	0.97	Oui -> 90%		Pont ayant résisté à la crue 2002. Forts dépôts observés en amont et débordement sur la voirie. Le lit est très mobile et amont et susceptible de produire et charrier des embâcles. Peu d'enjeux
Al21	EXCEDENT	1	A dire d'expert		Pont ayant résisté à la crue de 2002. Des débordements ont été identifiés en rive gauche. Un affluent est présent en amont et susceptible de charrier des embâcles. Peu d'enjeux *Photo BURGEAP
Al22	EXCEDENT	0.52	A dire d'expert		Pont ayant résisté à la crue de 2002. Il est situé en amont de la prise d'eau MIVA. Des embâcles ont obstrué en partie le déversoir en aval du pont, impactant plusieurs bâtiments.

4.2.3.3. Type et qualification de l'aléa

Le transport solide restant modéré et principalement associé aux petits affluents, un aléa de type "Crue rapide des rivières" (C) en tenant compte des phénomènes aggravants (possibilités d'embâcles de corps flottants et variations de la topographie par dépôt de matériaux solides au cours de l'événement) est retenu.

Le classement de l'aléa est réalisé à partir des grilles d'aléas de la DDT (H x V) :

- **Zone C4 (aléa très fort)** : Les axes préférentiels d'écoulement dont les lits mineurs, les chenaux de divagation habituels et les plans d'eau sont classés en aléa très fort. Cette zone correspond au lit du cours d'eau jusqu'aux sommets des berges y compris les bandes de terrain au-delà des sommets de berges du lit mineur susceptibles d'être concernées par le recul des berges par érosion.
- **Zone C3 (aléa fort)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa fort de la crue Q100 avec obstruction.
- **Zone C2 (aléa moyen)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa moyen de la crue Q100 avec obstruction ajustée à l'enveloppe de la ligne de charge Q100 (lit majeur).
- **Zone C1 (aléa faible)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa faible de la crue Q100 avec obstruction ajustée à l'enveloppe de la ligne de charge Q100 (lit majeur).

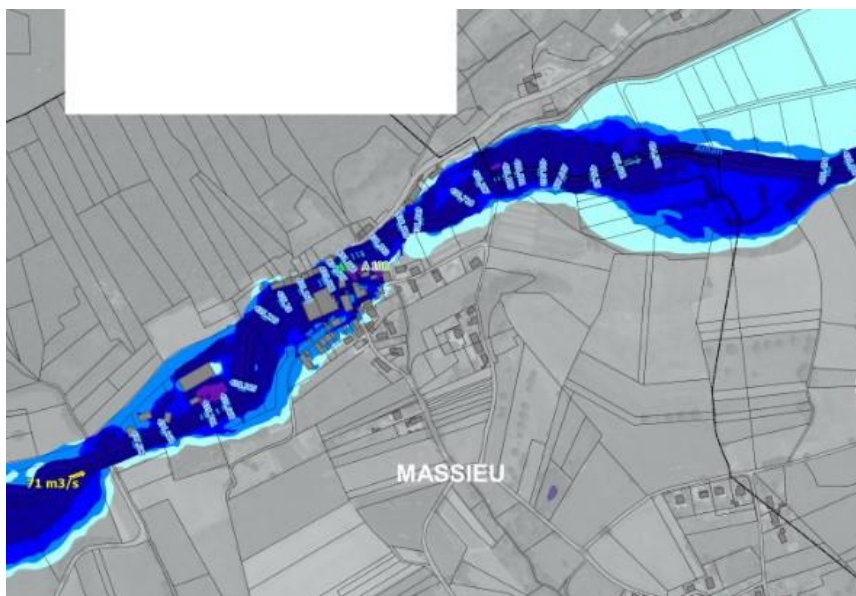
Les débordements historiques ainsi que la capacité au transport solide connus sur ces secteurs amènent à revoir localement à la hausse les résultats de la modélisation. Ainsi, l'emprise de la zone d'aléa faible à l'aval de la côte d'Ainan, sur le secteur de La Martinette et celui de la Balme ont été revues en reprenant les emprises affichées dans les anciennes cartes.

4.2.3.4. Description de l'inondation

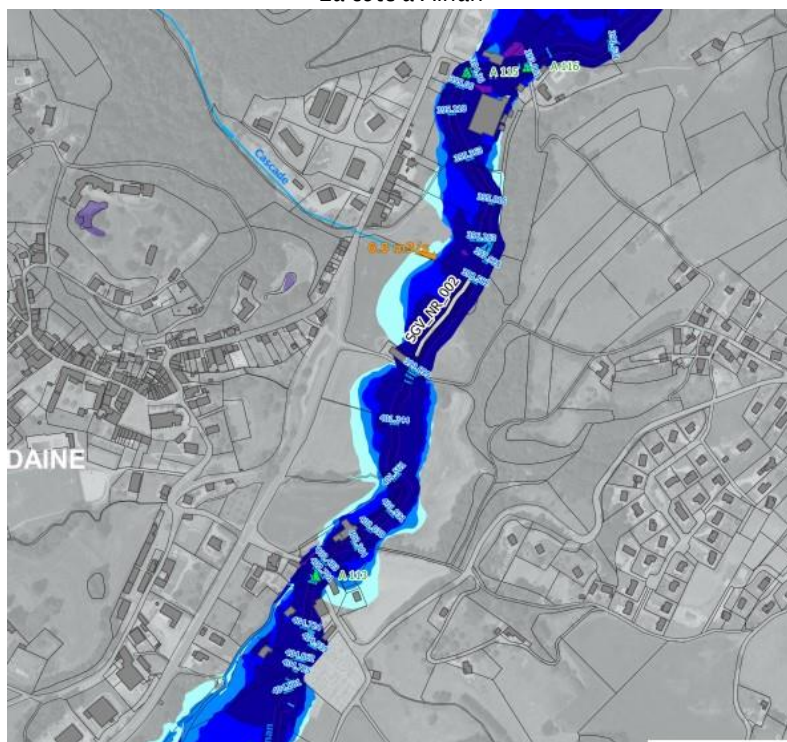
Au lieu-dit la Côte d'Ainan, les débordements sont très importants en rive gauche et droite de l'Ainan. Les hauteurs d'eau sont relativement importantes en raison des ponts mis en charge et de l'effet d'entonnement topographique. De nombreux bâtiments ainsi que les voiries sont impactés par les débordements.

Le pont en aval de la Côte d'Ainan est également surchargé et entraîne des débordements latéraux relativement importants notamment sur la rive gauche dans un premier temps puis sur la rive droite au niveau des seuils aval.

En aval des seuils, les écoulements en lit majeur se re-concentrent vers le cours d'eau pour à nouveau se propager essentiellement en rive gauche sur le tracé de l'ancien lit. En rive droite, le plan d'eau est impacté. Les débordements restent importants en rive gauche et droite de l'Ainan jusqu'au pont des Brosses. Un rétrécissement de la zone inondable s'opère au vu du relief (ancienne route et remblais du bâtiment). Le bâtiment de l'abattoir, historiquement impactés par la crue de 2002 est touché sur sa partie la plus à l'Est. Le pont détruit lors de la crue de 2002 est toujours présent dans le cours d'eau et engendre un impact non négligeable sur les débordements.



La côte d'Ainan



Les Brosses

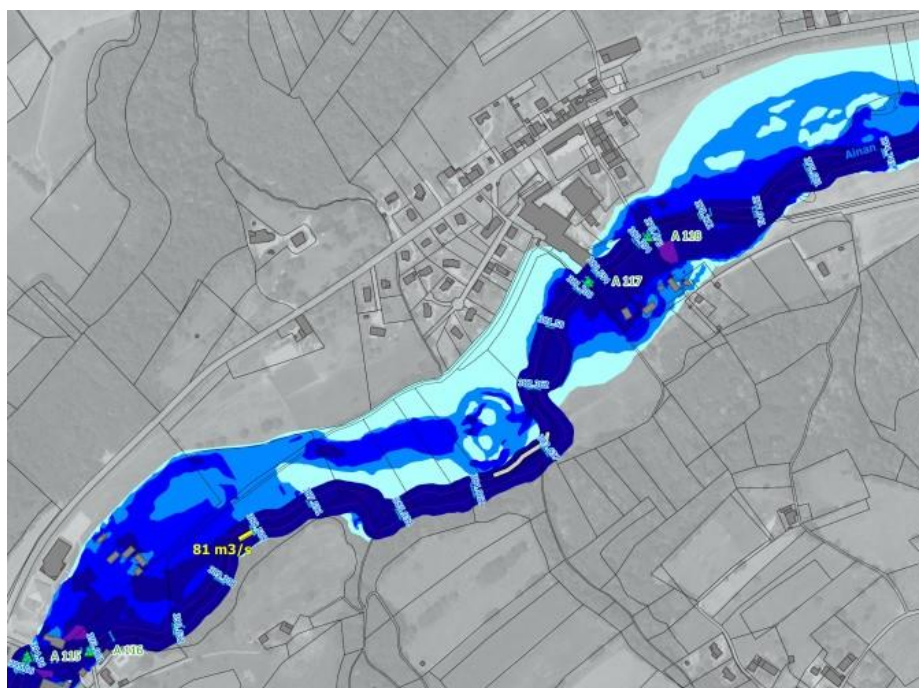
Figure 51 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 5 et 6 - Ainan

En aval du pont des Brosses les débordements restent limités. Plusieurs bâtiments, historiquement impactés par les crues (notamment en 2002) sont également touchés plus en aval.

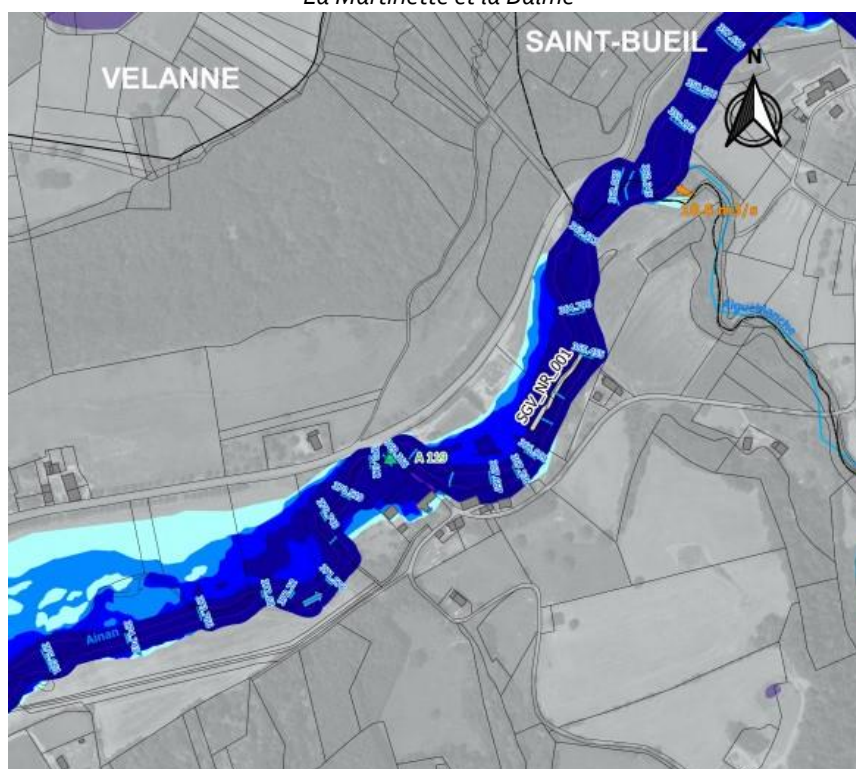
Au niveau de la Martinette où le ruisseau des cascades rejoint l'Ainan, les deux ponts présentent des mises en charge importantes provoquant des débordements qui impactent plusieurs bâtiments.

Ce secteur a été fortement impacté lors de la crue du ruisseau de la Cascade de 2002 au droit du hameau de la Gaité. Le ruisseau de la Cascade a entraîné de forts apports de sédiments et de corps flottants

bloqués au niveau du hameau (cf. Alp'Géorisque, 2003). Cet aléa n'est pas pris en compte dans la présente étude qui ne concerne que les crues de l'Ainan.



La Martinette et la Balme



La Pale

Figure 52 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 7 et 8 - Ainan

En aval des ponts de la Martinette (Al15 et Al16), les débordements se propagent en rive gauche et impactent quelques bâtiments sur la zone de loisirs, également impactés par la crue de 2002.

En amont de la Balme, les débordements basculent en rive gauche, impactant une nouvelle fois, quelques bâtiments. Les ponts de la Balme (Al17 et Al18), également surchargé, entraîne des débordements latéraux en rive gauche et droite sur la voirie touchant quelques bâtiments. L'ouvrage conditionne la ligne d'eau amont de manière significative.

Entre la Balme et la Pale, l'essentiel des débordements s'effectuent sur la rive gauche de l'Ainan. Le pont situé à la Pâle (Al19) présente des niveaux de mise en charge importants et conditionne une nouvelle fois les débordements en amont. Des débordements sont ainsi présents sur la voirie en rive gauche qui borde le pont. Les premiers bâtiments de la Pâle en rive droite sont touchés par les débordements amont. Les écoulements retournent au cours d'eau en aval du pont.

Tous les ouvrages de franchissement ont été impactés historiquement par la crue de 2002 sur ce secteur.

En aval du pont de la Pâle, les débordements s'effectuent en rive gauche de l'Ainan et touchent la station d'épuration (lagunes impactées par la crue de l'Ainan de 2002). Au droit et à l'aval du groupe de maisons de la Pâle, le sommet de berge de la rive droite est à plus de 1.5 m au-dessus du niveau de la crue de référence. La berge rive gauche étant plus basse et le champ d'inondation très important, la zone d'érosion historique est large de 2 m environ en rive droite.

Les débordements se poursuivent sur près de 300 m le long de l'Ainan. Suite à une zone plus contrainte topographiquement, la crue de l'Ainan déborde à nouveau de part et d'autre de son lit dans une zone essentiellement agricole et naturelle. Quelques bâtiments sont touchés.

4.2.4. SECTEUR DES GORGES DE SAINT BUEIL

Feuille 8

4.2.4.1. Spécificité du secteur

Le secteur en aval du seuil est constitué de gorges où se situe une cascade naturelle. Il est très limité en linéaire.

4.2.4.2. Outils employés

Ce secteur a été traité uniquement par une approche hydro-morphologique à partir des données MNT issues du LIDAR et des orthophotos 2009 -2015.

Pour ce secteur, la limite de la crue de référence s'apparente à l'espace de mobilité fonctionnel du cours d'eau et l'enveloppe maximale de crue théorique (ajustement des limites à la topographie issue du LIDAR).

4.2.4.3. Type et qualification de l'aléa

L'aléa a été classé en "crue rapide des rivières" (C) à dire d'expert. L'enveloppe du lit du cours d'eau jusqu'au sommet des berges dans la limite du lit majeur déterminée à partir de l'espace de mobilité fonctionnel est classée en aléa " fort" (Zone C3).

4.2.5. DE L'ANCIENNE USINE MIVA A LA CONFLUENCE AVEC LE RUISSEAU DU BRUT

Feuilles 9 à 10

4.2.5.1. Spécificité du secteur

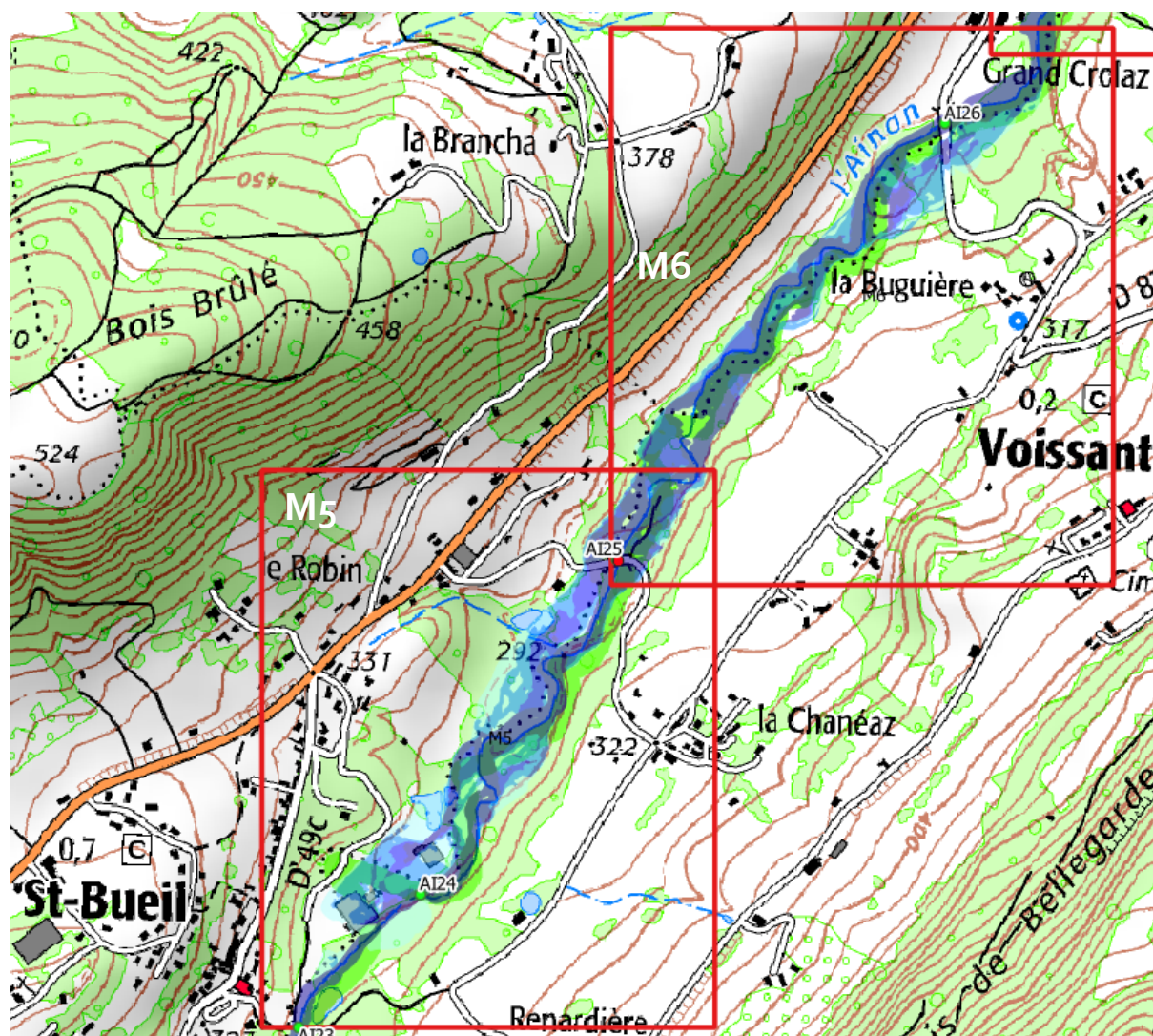
Le secteur présente des pentes moyennes avec quelques enjeux et ouvrages d'art. Ce secteur présente la mobilité naturelle la plus importante de tout le linéaire de l'Ainan (zone d'équilibre, sans exhaussement ou incision majeurs). Ces évolutions latérales sont cependant contraintes par l'étranglement du lit majeur encaissé dans les terrasses molassiques. Les évolutions naturelles dans ce secteur sont localement bloquées par facteurs d'origine anthropiques (Pont de la Chanéaz, secteur du seuil Bellemin), qui stabilisent le profil en long et limite les divagations.





4.2.5.2. Outils employés

L'étude de l'aléa inondation s'est basée essentiellement sur la modélisation hydraulique 1D/2D (Q100, obstructions de pont) et complétée à dire d'expert. Le modèle débute au niveau du seuil Miva 1 et se termine au début du secteur des gorges sur Voissant.

Ce secteur est traité en 1D/2D en régime transitoire. Il s'étend sur environ 2.5 km de linéaire. Le modèle est scindé en deux entités de modélisation en amont et en aval de l'ouvrage OH AI 22 (M5 et M6).

La carte et le tableau ci-dessous présentent succinctement le diagnostic des ouvrages ponts (risque d'embâcles) et la manière dont ils sont pris en compte dans l'aléa de référence (à dire d'expert ou modélisation d'une obstruction).



CODE OUVRAGE	EQUILIBRE SEDIMENTAIRE (BURGEAP)	SURCHARGE	PROPOSITION OBSTRUCTION	PHOTO	COMMENTAIRE
Al23	EXCEDENT	0.67	A dire d'expert		Ouvrage détruit lors de la crue de 2002 à cause d'embâcles puis reconstruit. Glissements de terrain observés en amont de l'ouvrage. Fort transport et dépôts solides. Pas d'enjeux
Al24	EXCEDENT	0.96	A dire d'expert		Ouvrage presque à pleine capacité. Fort transport et dépôts solides dans la zone. Pas d'enjeux
Al25 pont de la Chanaez	EQUILIBRE	1	Oui -> 90%		Pont ayant résisté à la crue de 2002 mais route détruite puis reconstruite. Fort transport et dépôts solides.
Al26 pont de la RD82	EQUILIBRE	0.38	A dire d'expert		Pont détruit en 2002, puis reconstruit. Enjeux présents en aval.

4.2.5.3. Type et qualification de l'aléa

Le secteur est étudié avec une approche de modélisation 1D/2D et à dire d'expert. Un aléa de type "Crue rapide des rivières" (C) en tenant compte des variations de la topographie par dépôt de matériaux solides au cours de l'événement), est retenu.

Le classement de l'aléa est réalisé à partir des grilles d'aléas de la DDT (H x V) :

- **Zone C4 (aléa très fort)** : Les axes préférentiels d'écoulement dont les lits mineurs, les chenaux de divagation habituels et les plans d'eau sont classés en aléa très fort. Cette zone correspond au lit du cours d'eau jusqu'aux sommets des berges y compris les bandes de terrain au-delà des sommets de berges du lit mineur susceptibles d'être concernées par le recul des berges par érosion.
- **Zone C3 (aléa fort)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa fort de la crue Q100 avec obstruction.
- **Zone C2 (aléa moyen)** : La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa moyen de la crue Q100 avec obstruction ajustée à l'enveloppe de la ligne de charge Q100 (lit majeur).

- **Zone C1 (aléa faible) :** La limite de la zone est l'enveloppe selon la grille aléa H x V pour l'aléa faible de la crue Q100 avec obstruction ajustée à l'enveloppe de la ligne de charge Q100 (lit majeur).

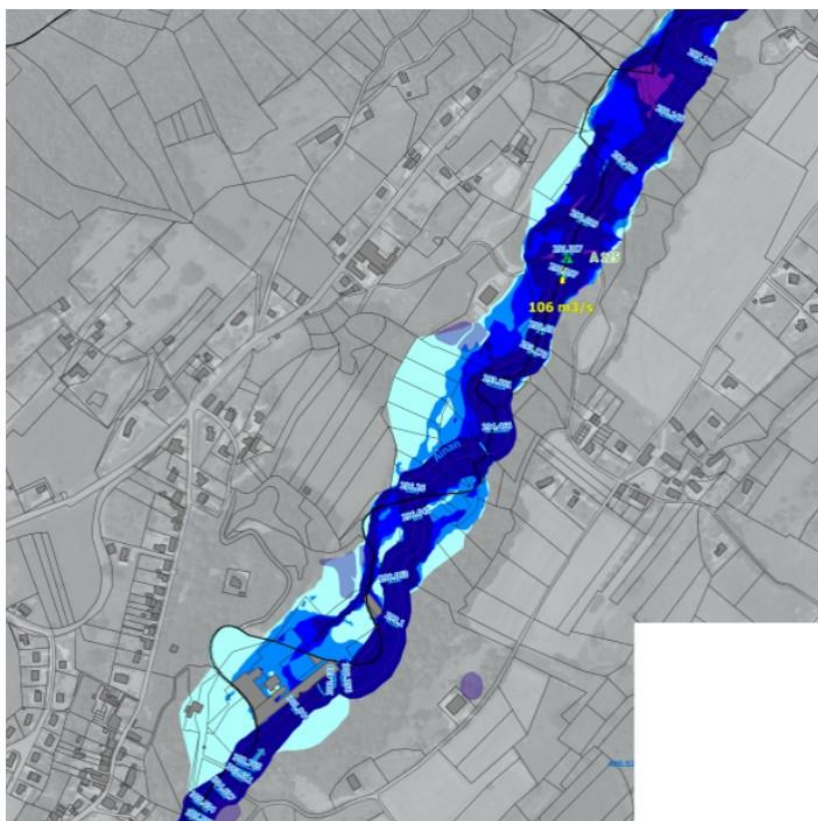
Les débordements historiques ainsi que la capacité au transport solide connus sur ces secteurs amènent à revoir localement à la hausse les résultats de la modélisation. Ainsi, l'emprise de la zone d'aléa faible au droit de l'usine MIVA ainsi que sur l'important secteur inondable en rive droite de l'Ainan à Saint-Albin-de-Vaulserre ont été revues en reprenant les emprises affichées dans les anciennes cartes.

4.2.5.4. Description de l'inondation

A l'aval des gorges de Saint Bueil les débordements sont relativement contraints par la topographie dans un lit vif large et mobile. Ils inondent les zones historiquement touchées et notamment l'usine MIVA en rive gauche. Les débordements en rive droite et en rive gauche sont orientés et conditionnés par les anciens tracés de l'Ainan.

Le pont situé route de la Chanéaz est saturé et entraîne des débordements en rive gauche et en rive droite de l'ouvrage. Pour rappel, la crue de 2002 a entraîné une destruction des voiries latérales à l'ouvrage. Le pont de la D82K (vers Grand Crolaz) plus en aval ne présente pas de risque majeur. Les dimensions de cet ouvrage (reconstruit suite à sa destruction lors de la crue de 2002) sont suffisantes pour assurer l'écoulement de la crue liquide. Cela étant dit, le risque d'engravement reste important et peut induire une forte réduction de la section d'écoulement. La présence du seuil Bellemin en amont du Pont de Voissant entraîne des débordements en rive droite qui touchent la voirie du pont. En aval du pont le lit atteint la limite des bâtiments (scierie Bellemin).

Sur la partie aval de l'Ainan, les débordements sont relativement contraints par les berges en rive gauche et droite. Aucun enjeu n'est présent sur ce secteur.



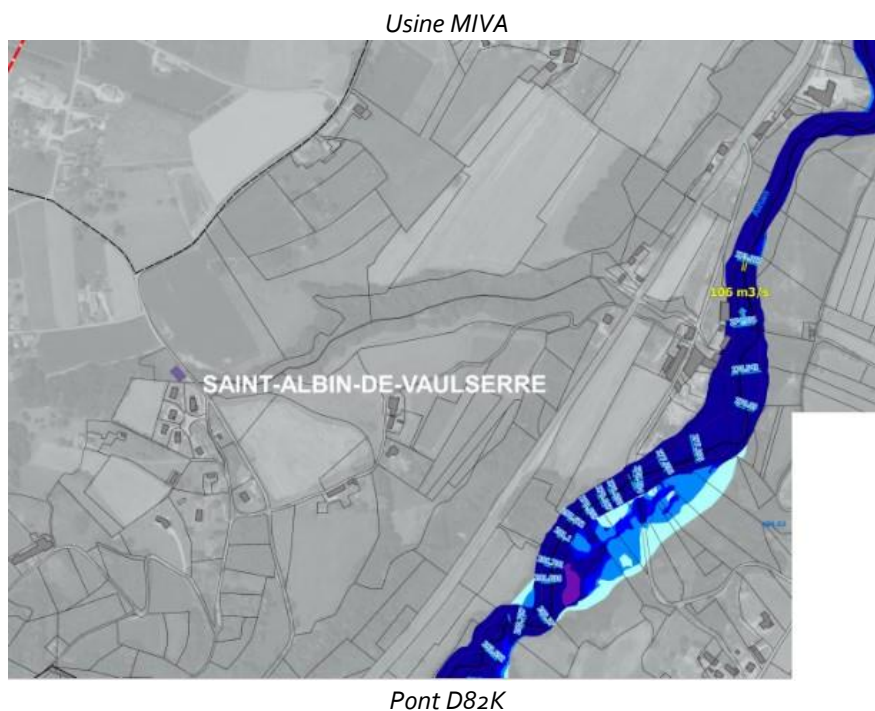


Figure 53 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 9 et 10 - Ainan

4.2.6. SECTEUR DES GORGES DE VOISSANT JUSQU'À LA CONFLUENCE AVEC LE GUIERS

Feuille 10

4.2.6.1. Spécificité du secteur

Ce secteur constitue la partie aval terminale de l'Ainan. La topographie crée un fort encaissement lié aux versants. La mobilité latérale est relativement limitée.

4.2.6.2. Outils employés

Pour ce secteur sans enjeux, la qualification de l'aléa inondation s'est basée sur une approche mixte avec exploitation des sorties du modèle hydraulique 1D (ligne de charge pour la crue Q_{100}) et des données du MNT issues des données LIDAR (2016). La méthode "à dire d'expert" est prédominante sur ce secteur

4.2.6.3. Type et qualification de l'aléa

Le secteur est étudié avec une approche de modélisation 1D et à dire d'expert. Un aléa de type "Crue rapide des rivières" (C) en tenant compte des variations de la topographie par dépôt de matériaux solides au cours de l'événement), est retenu.

Le lit mineur est classé en aléa "très fort". L'enveloppe du lit du cours d'eau jusqu'au sommet des berges dans la limite du lit majeur déterminée à partir de la méthode mixte est classée en **aléa "fort" (Zone C3)**. Des zones d'**aléa moyen (Zone C2)** ont été également identifiées. Le classement des hauteurs et de vitesses est à dire d'expert.

4.2.6.4. Description de l'inondation

Sur ce secteur la crue reste confinée entre les deux versants. On note cependant des variations d'aléas liées à la topographie étagée du lit.

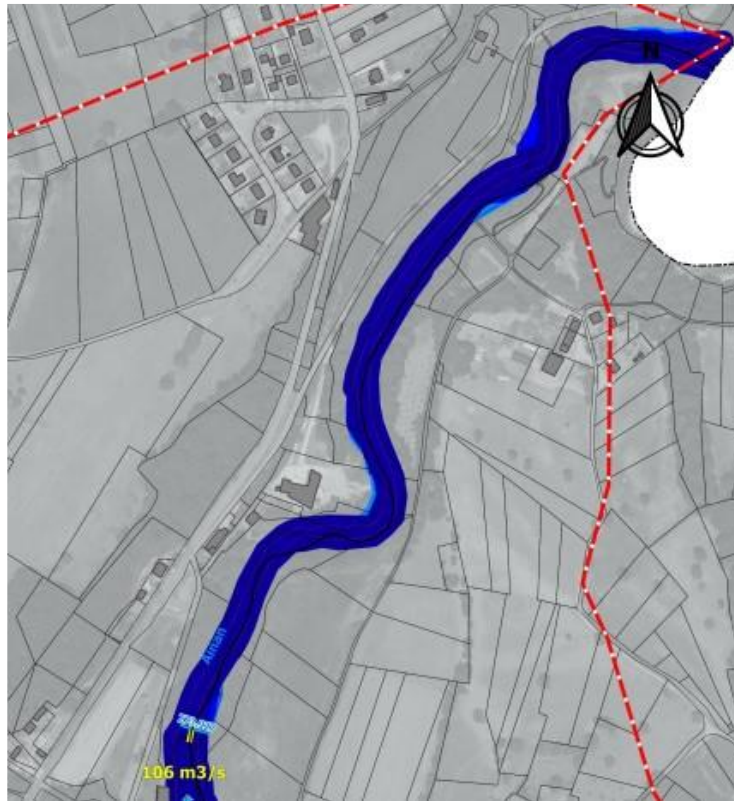


Figure 54 : Extrait de l'Atlas de l'aléa conjugué : Feuille 9 et 10 - Ainan

5. MISE EN PERSPECTIVE DE LA CARTOGRAPHIE DE LA PRESENTE PAR RAPPORT AUX ANCIENNES CONNAISSANCES SUR L'ALEA « CRUE RAPIDE DE RIVIERES » SUR L'AINAN

ATTENTION : Le zonage de l'aléa inondation « crue rapide de rivières » (Hauteur, vitesse, aléa) réalisé dans le cadre de la présente étude portée par les DDT de Savoie et de l'Isère **se substitue** à l'Atlas des Zones Inondables (AZI) du Guiers et de ses affluents (partie iséroise) établi en septembre 2004 par la DDAF de l'Isère et, en ce qui concerne l'aléa « C », aux cartes multi-aléas de 2012 pour la commune de Chirens (Alpes-GeoConseil), cartes multi-aléas de 2005 -2010 pour les communes de Saint-Geoire en Valdaine, Saint-Bueil, Voissant (RTM/Alp'Géorisques) et enfin carte des aléas hydrauliques de 2004 pour la commune de Saint-Albin de Vaulserre.

Pour rappel, le risque inondation « crue rapide de rivières » sur les 4 communes de Chirens, Saint-Geoire en Valdaine, Saint-Bueil et Voissant était pris en compte via l'article R.111-2 du code de l'urbanisme et sur la base des cartes multi-Aléas (date de mise à jour variable suivant les communes 2006 à 2012). Pour la commune de St Albin de Vaulserre, seule la carte des aléas hydrauliques de 2004 est disponible pour évaluer le risque par les services instructeurs.

Le tableau ci-dessous présente un rappel des cartes existantes et des sources de connaissances ayant permis de les établir. Les cartes des aléas hydrauliques réalisées par Alp'Géorisques entre décembre 2004 et 2006 ont visiblement été reprises dans leur intégralité lors de la réalisation des cartes multi-Aléas par Alp'Géorisques sous pilotage RTM (2005-2012). Les cartes de l'Atlas des zones inondables du Guiers et des affluents isérois (Alp'Georisque, 2004) sont antérieures.

Commune	Détails des documents d'affichage des risques	Date	Sources des connaissances
Commune de CHIRENS	CARTE MULTI-ALEAS Echelle : 1/5 000 Pilotage: service RTM Réalisation: Alpes-GeoConseil Dossier n° 2169.10	Edition février 2012 version définitive	<ul style="list-style-type: none"> La 1^{ère} carte des aléas multirisques a été réalisée par le bureau Alpes-GeoConseil (Novembre 2002) La carte des aléas hydrauliques établie par Alp'Georisque (décembre 2004) reprend la carte de 2002. La carte multi-aléa réalisée par le bureau Alp'Georisque (mars 2006) reprend la carte de 2002. Des modifications de niveau d'aléa ou de type d'aléa sont observées entre la carte des aléas hydrauliques et la carte multi-aléa.
Commune de SAINT-GEOIRE-EN-VALDAINE	CARTE MULTI-ALEAS Echelle : 1/5 000 Réalisation : Alp'Géorisques Edition : Alp'Géorisques	Etabli le : Juillet 2006 Modifié le : Mars 2010	<ul style="list-style-type: none"> Suite à la crue du 6 juin 2002, une étude détaillée a été réalisée sur l'ensemble du val d'Ainan par Alp'Georisque (2003). Un Atlas des zones inondables du Guiers et des affluents isérois (comprenant l'Ainan) a été réalisé par Alp'Georisque (septembre 2004) pour la DDAF 38. Des cartes des aléas hydrauliques des communes des bassin versants de l'Ainan et du Malfossant ont été réalisées par Alp'Georisque pour la DDAF 38 (décembre 2004 puis rapport en mars 2006). Elles sont basées sur les reconnaissances de terrain effectuées en juillet 2004 et des enquêtes auprès des municipalités et des services déconcentrés de l'Etat. Aucune modélisation hydraulique n'a été menée. Les critères de caractérisation de l'aléa sont
Commune de SAINT-BUEIL	CARTE MULTI-ALEAS Echelle : 1/5 000 Réalisation : Alp'Géorisques Edition : Alp'Géorisques	Etabli le : Octobre 2005 Modifié le : -	
Commune de VOISSANT	CARTE MULTI-ALEAS Echelle : 1/5 000 Réalisation : Alp'Géorisques Edition : Alp'Géorisques	Etabli le : Décembre 2005 Modifié le : -	

			<p>résumés dans le rapport de présentation de 2006 (tableau page -55-56).</p> <ul style="list-style-type: none"> Les zones inondables issues de l'étude de 2004-2006 réalisée par Alp'Géorisques, semblent avoir été reprises dans leur intégralité lors de la réalisation des cartes multi-aléa sous pilotage RTM.
Commune de SAINT-ALBIN DE VAULSERRE	CARTE DES ALEAS HYDRAULIQUES Echelle : 1/5 000 Réalisation : Alp'Géorisques Edition : Alp'Géorisques	Etabli le : Décembre 2004 Modifié le :	<ul style="list-style-type: none"> Il n'y a pas de carte multi-aléa sur la commune de St Albin de Vaulserre. Seule la carte des aléas hydrauliques réalisée par Alp'Géorisque (2004, 2006) est disponible.

Les différences entre les cartographies de l'aléa crues rapides des rivières « C » lié à l'Ainan dites « anciennes » et celle de 2020 sont essentiellement liées aux différences en termes d'approches (données topographiques, hypothèses et méthodes utilisées).

Une expertise est disponible à la DDT 38 qui confronte les différentes cartographies de l'aléa « crue rapide de rivières » de l'Ainan sur les 5 communes de Chirens, Saint-Geoire en Valdaine, Saint-Bueil, Saint-Albin de Vaulserre et Voissant (HYDRETTUES, 2020). A la suite de cette étude complémentaire, certains secteurs ont encore été modifiés afin de tenir compte des phénomènes historiques et de la capacité au transport solide de la crue de référence de l'Ainan. Sur ces secteurs, l'emprise de l'aléa affiché dans les anciens documents du risque a été reprise.

En guise de synthèse, les disparités entre les différentes cartographies se justifient par les différents points suivants :

- **La méthode utilisée.** Pour définir les zones inondables, deux approches distinctes mais complémentaires sont souvent utilisées : l'approche hydromorphologique (sans calculs) et l'approche par modélisation hydraulique, plus quantitative dans le sens où elle permet de fournir des hauteurs d'eau et des vitesses sur les zones inondées.
 - **L'analyse de l'aléa « crues rapides des rivières » pour les cartes anciennes est essentiellement basée sur une analyse hydro-géomorphologique en lit majeur à partir des connaissances historiques et des reconnaissances de terrain effectuées en juillet 2004.** Aucune donnée topographique en lit majeur n'est précisée. Sans calculs, la qualification de l'aléa est dite « à dire d'expert ». Cette approche naturaliste permet une bonne connaissance des éléments naturels ou anthropiques structurant le fonctionnement hydrodynamique des cours d'eau en **situation extrême**. Le résultat cartographique est ainsi composé de trois niveaux d'aléa (faible, moyen, fort) dont les limites sont plus ou moins grossières et sont représentatives de l'expression des crues antérieures, donc des grands types de débits.
 - **La qualification de l'aléa inondation de 2020 est, quant à elle, basée essentiellement sur la modélisation hydraulique (1D, tout 2D, 1D/2D) et sur des données topographiques récentes** (voir point ci-dessous). Les obstructions de pont sont traitées à partir des modélisations hydrauliques 1D/2D avec les seules crues liquides Q₁₀₀ ou à dire d'expert. Une approche « mixte » à dire d'expert qui combine les sorties du modèle hydraulique 1D (charge hydraulique) et les données du MNT issues du LIDAR (2016) a également été utilisée pour prendre en compte, dans une certaine mesure, les secteurs où le transport solide et le risque d'engravement ou d'obstruction dans le lit mineur peut devenir important.

Une **bande de recul** systématique de 10 m à partir du sommet des berges du lit de l'Ainan est aussi proposé avec des ajustements locaux pour permettre, dans la plupart des cas, de garantir un espace suffisant à l'Ainan pour exprimer son caractère torrentiel.

La cartographie conjuguée finale est une combinaison (représentation du scénario le plus pénalisant pour un polygone donné) des cartographies des phénomènes précités. Un premier lissage fin a été opéré sur les polygones de résultats (surface entre 3 et 10 m²). Le choix du lissage a été de garder le niveau de détail du modèle hydraulique afin de reproduire au maximum la réalité topographique et hydraulique. Ainsi, aucune zone « tampon » systématique n'a été appliquée en limite de zone inondable, cet aspect étant réservé à la réglementation future dans une optique de PPRI.

Rappelons encore que la modélisation tout 2D ou 1D/2D de la crue de référence permet d'avoir une vision plus réaliste de la **dynamique des débordements**. Elle permet notamment de prendre en compte les interactions lit mineur /lit majeur en modélisant la direction des écoulements en lit majeur et leur retour en lit mineur. Elle permet aussi de prendre en compte les effets d'amortissement des crues liées aux débordements amont. L'approche hydro-géomorphologique ne permet pas, quant à elle, de définir une crue de référence au sens strict du terme. Elle fournit cependant une vision du fonctionnement de la vallée en situation extrême (largement plus que centennale dans notre cas).

- **Les données topographiques utilisées.** L'intégration d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) détaillé est aujourd'hui la base d'une restitution cartographique fidèle des inondations par débordement quelle que soit ensuite la méthode utilisée (modèles hydrauliques ou approche hydro-géomorphologique).

Le LIDAR de 2016 utilisées pour la présente étude constitue ainsi une des données d'entrée de base pour la définition des zones inondables de la cartographie de l'aléa inondation de 2020. Pour l'approche calculatoire, l'autre donnée indispensable est une densité de points topographiques terrestres correcte (profil en en travers, géométrie des ouvrages...). Elle permet de représenter au mieux les écoulements dans le lit mineur et l'influence des ouvrages sur les écoulements, mais aussi tous les points hydrauliquement critiques comme les fossés, buses de franchissement des routes en lit majeur. Si le lit mineur est plutôt bien documenté, il n'en est pas de même pour le lit majeur et de nombreuses hypothèses (au plus proche de la réalité évidemment) lors de la construction du modèle tout 2D et 1D/2D dans ICM ont été faites pour établir un modèle hydraulique stable et exploitable.

- **Les hypothèses prises pour définir la crue de référence.** Dans le cas des cartes des aléas hydrauliques 2004 ou les carte multi-aléas ultérieures, aucun débit de référence n'est avancé pour justifier l'enveloppe inondable de l'aléa crues rapides des rivières, liée à l'Ainan. La crue de 2002 a semble-t-il fournit de nombreux éléments tangibles pour étudier les différents aléas hydrauliques étudiés (crues rapide des rivières, inondation en pied de versant, zone marécageuse, crues des torrents et des ruisseaux torrentiels...). Les différents profils en travers testés montrent que les enveloppes inondables de 2004 liées uniquement aux « crues rapides des rivières » de l'Ainan représentent a priori des crues de l'Ainan supra-centennales dans de nombreux secteurs.

Or, dans le contexte de PPRI dans lequel l'étude de l'aléa de 2020 se situe, l'événement de référence doit être défini selon les principes nationaux, comme la crue historique de l'Ainan la

plus importante connue ou une crue centennale modélisée si cette dernière est supérieure. La crue historique la plus importante connue (et documentée – sauf pour les débits) est bien la crue de 2002. Cette crue est cependant très particulière du point de vue hydrologique car elle n'a pas été homogène de l'amont vers l'aval du fait d'une pluviométrie exceptionnelle, centennale à l'échelle du bassin versant aval et d'une pluie localisée très violente plus que centennale sur le territoire de St-Geoire-en-Valdaine (BURGEAP, 2007). Les affluents, en particulier les affluents rive gauche sur la commune de St-Geoire (Gorge, Verderet, Cascade), ont ainsi connu des crues beaucoup plus rares que celles sur le cours d'eau principal de l'Ainan. Par ailleurs, au-delà du phénomène météorologique, les très nombreux embâcles (apports massifs de matériaux et de bois par les affluents) ont aggravé et considérablement modifié les trajectoires des écoulements.

Le cas de l'Ainan illustre toute la difficulté d'attribuer une période de retour à une crue en contexte torrentiel pour s'adapter à la doctrine PPRi de l'époque (Q_{100} = crue liquide).

Pour toutes ces raisons, et malgré toute l'attention et le soin apportés afin de réduire au mieux les incertitudes, la cartographie de l'aléa inondation pour les crues de l'Ainan reste une modélisation de la réalité, quelle que soit la méthode utilisée.

A titre d'illustration les figures suivantes présentent les différentes limites d'inondation sur un même secteur (ST-ALBIN et VOISSANT) et un profil en travers type.

La coupe A-A' illustre bien que les limites de la zone inondable du fait des débordements de l'Ainan issues de certaines cartes anciennes prennent en compte l'encaissement fluvial correspondant à une crue extrême largement plus que centennale (le niveau d'eau en limite rive gauche est à plus de 4 mètres au-dessus de ma 1^{ère} terrasse alluviale). La différence de source de donnée topographique entraîne en outre un fort décalage sur les limites maximales.

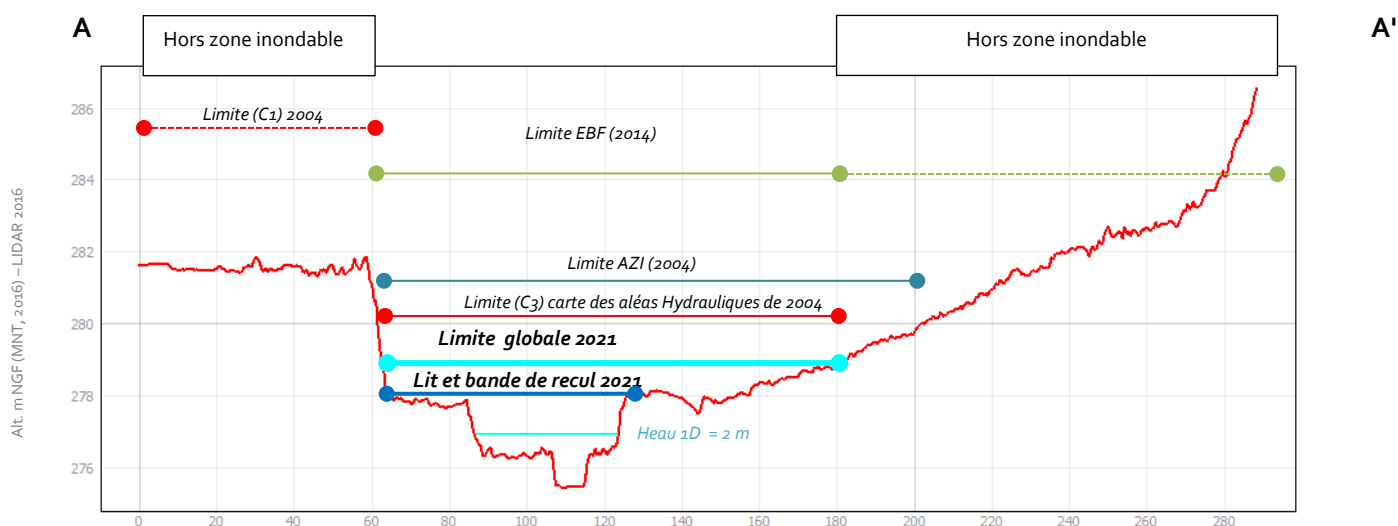
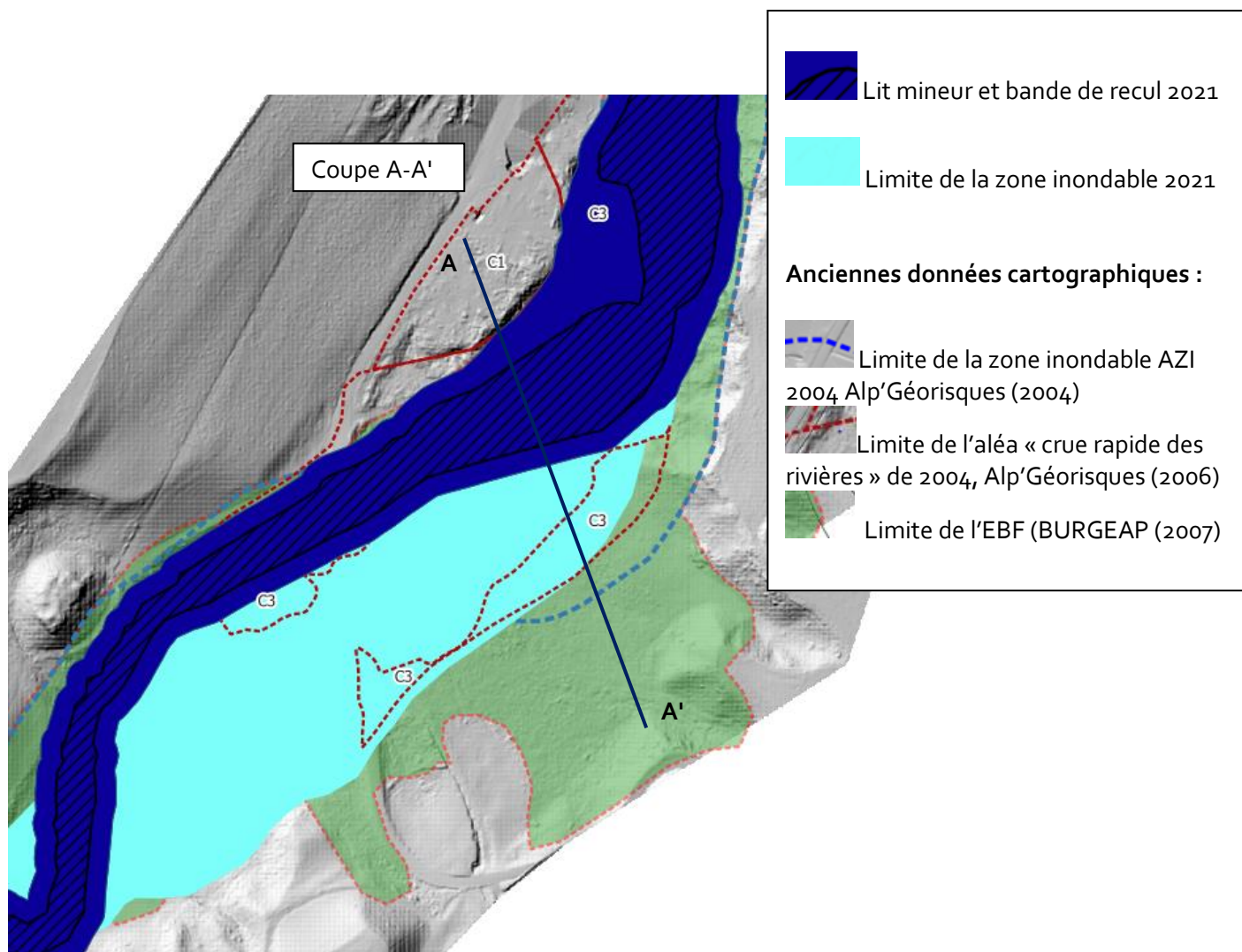


Figure 55 : Illustration des différences de limite de zonage de l'aléa crue rapide des rivières entre les différentes cartographies pour l'Ainan (données issues du LIDAR 2016 pour le profil en travers)