



Direction Départementale des Territoires De l'Ain

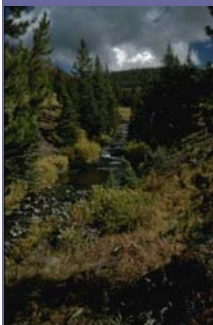
Plan de prévention des risques naturels liés aux inondations de la Reyssouze

Etude hydraulique de la Reyssouze

Hydrologie et hydraulique

Rapport d'étude

D272-09-09 - Ind 0 - Mai 2011



HTV
32 chemin de Bier
38110 SAINTE-BLANDINE
Tél/Fax : 04.74.83.39.12
Port. : 06.08.41.65.62
Email : contact.htv@orange.fr

TABLE DES MATIERES

Chapitre 1	Préambule.....	5
Chapitre 2	Analyse hydrologique	6
2.1	Analyse des études antérieures.....	7
2.1.1	Pluviométrie	7
2.1.2	Etude statistique des débits.....	8
2.1.3	Modélisation pluie-débit	9
2.2	Pluviométrie	13
2.2.1	Aperçu régional.....	13
2.2.2	Estimation de la pluviométrie à l'échelle du bassin versant.....	14
2.2.3	Evénements pluvieux historiques majeurs.....	16
2.3	Analyse statistique des débits des stations hydrométriques.....	19
2.3.1	Critique des données disponibles	19
2.3.2	Analyse statistique.....	21
2.4	Modélisation pluie-débit	22
2.4.1	Méthode	22
2.4.2	Pluie de référence.....	25
2.4.3	Calage	25
2.4.4	Comparaison des résultats obtenus avec les études antérieures.....	26
2.5	Débits retenus.....	30
Chapitre 3	Analyse hydraulique.....	31
3.1	Choix du modèle numérique de simulation	31
3.2	Construction du modèle numérique	32
3.3	Calage du modèle numérique.....	32
3.4	Conditions aux limites du modèle numérique	32
3.5	Simulation de la crue de référence	33
3.5.1	Description du fonctionnement hydraulique	33
3.5.2	Résultats de simulation	39

Chapitre 4	Cartographie	40
4.1	Cartographie par analyse hydraulique.....	40
4.1.1	Hauteurs de submersion et vitesses d'écoulement.....	40
4.1.2	Aléas	42
4.2	Cartographie par analyse hydrogéomorphologique	42
4.2.1	Définition des secteurs.....	42
4.2.2	Méthodologie	43
4.2.3	Résultats	44
4.3	Enjeux.....	44

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 2-1 :	Pluviométrie journalière (BURGEAP)	7
Tableau 2-2 :	Débits de crue aux stations hydrométriques (SOGREAH – BURGEAP) 8	
Tableau 2-3 :	Station hydrométrique du bassin versant de la Reyssouze....	19
Tableau 2-4 :	Qualité des stations hydrométriques	20
Tableau 2-5 :	Estimation des débits aux stations hydrométriques.....	21
Tableau 2-6 :	Cumuls de pluie en fonction de la durée.....	25
Tableau 2-7 :	Comparaison des résultats hydrologiques	27
Tableau 2-8 :	Débit retenus - Crue de type octobre 1935	30
Figure 2-1 :	Pluviométrie journalière décennale réalisée par Météo- France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques	13
Figure 2-2 :	Pluviométrie journalière centennale réalisée par Météo- France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques	14
Figure 2-3 :	Pluviométrie journalière à proximité du bassin versant de la Reyssouze 15	
Figure 2-4 :	Carte de l'averse des 3 & 4 octobre 1935 (selon Maurice Pardé) 17	
Figure 2-5 :	Profil en long des débits pour la crue décennale.....	28
Figure 2-6 :	Profil en long des débits pour la crue centennale.....	29
Figure 4-1 :	Exemple de champ de vitesse des écoulements.....	40
Figure 4-2 :	Grille des aléas	42

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 Cartographie du bassin versant de la Reyssouze

Annexe 2 Cartes des hauteurs d'eau

Annexe 3 Cartes des vitesses d'écoulement

Annexe 4 Cartes des aléas

Annexe 5 Cartes des enjeux

Annexe 6 Résultats de simulation

Chapitre 1 Préambule

L'Etat souhaite procéder à l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation sur le bassin versant de la Reyssouze. L'objet de ce rapport est la présentation, préalable à ces PPR, de l'étude hydraulique de la Reyssouze et la cartographie des aléas, de la vulnérabilité et des enjeux.

L'aire d'étude est donc le bassin versant de la Reyssouze.

Les aléas à étudier sont les risques d'inondation liés à la Reyssouze et aux apports de ses affluents (La Léchère, Le Clairtant, La Vallière, Le Dévora, le bief de Lavours, Le Jugnon, Le Salençon, le bief de la Gravière, Le Reyssouzet, le bief des Traines, le bief de l'Enfer, le bief d'Ouche, le bief de Rollin).

Au regard des études existantes (SOGREAH 1995 et BURGEAP 2006), il s'agit de confronter les résultats présentés avec les évolutions du territoire (bassin versant) et des caractéristiques du lit mineur de la Reyssouze, puis de déterminer les aléas sur l'ensemble de bassin versant après avoir modélisé les écoulements sur les zones ayant évolué et plus particulièrement les secteurs à enjeux. La condition aval est la crue type 1840 retenue pour la Saône.

Le présent rapport provisoire présente l'analyse hydrologique du bassin versant de la Reyssouze dans la perspective de déterminer les débits de référence retenus pour l'estimation du risque inondation. Pour rappel, ces débits seront soit la crue centennale, soit la crue la plus forte vécue si celle-ci est plus forte que la crue centennale.

Chapitre 2 Analyse hydrologique

L'hydrologie de la Reyssouze a été étudiée précédemment de manière approfondie par deux fois : en 1995 par le cabinet SOGREAH dans le cadre d'une étude hydraulique et géomorphologique et en 2006 par le cabinet BURGEAP dans le cadre d'une étude hydraulique pour la protection de Cras-sur-Reyssouze contre les inondations, toutes deux sous maîtrise d'ouvrage du Syndicat Intercommunal d'Aménagement et d'Entretien de la Reyssouze et de ses Affluents.

Ces deux études ont dû mettre en œuvre des méthodologies complexes pour estimer les débits et les hydrogrammes de crue de la Reyssouze. En effet, le bassin versant de la Reyssouze a ceci de particulier que son suivi hydrométrique n'est effectué que sur le premier quart amont du bassin au travers des stations de Montagnat (84 km²) et Majornas (136 km²) en aval de Bourg-en-Bresse. Il existe bien un point de suivi à St-Julien-sur-Reyssouze (320 km²) depuis 1987 mais l'influence des moulins et la faible pente du lit ne permet pas a priori d'avoir une courbe de tarage suffisamment fiable. Ainsi à cette station, seules les mesures limnimétriques sont diffusées par son gestionnaire (DREAL Bourgogne). Aucune des deux études n'a d'ailleurs exploité les données de St-Julien-sur-Reyssouze, SOGREAH faisant néanmoins remarquer qu'il eut été intéressant d'utiliser cette station. Ainsi, et quelque soit la méthode employée, les débits de la Reyssouze en aval de Bourg-en-Bresse et ce jusqu'à la Saône (à ce niveau la Reyssouze a un bassin versant de 496 km² environ) sont extrapolés.

Finalement, ces deux études aboutissent à des résultats, somme toute, assez proches, BURGEAP adoptant finalement les débits proposés par SOGREAH.

L'étude hydraulique du PPRI de la Reyssouze aurait pu se baser sur ces résultats sans autre forme d'analyse. Cependant, l'extrapolation en aval de Bourg-en-Bresse sur près des $\frac{3}{4}$ du bassin versant sans aucune possibilité de calage nous paraît trop porteuse d'incertitude pour fonder une étude de risque inondation.

Il est bien entendu que nous ne pourrions pas non plus « inventer » des données là où il n'y en a pas (*ie* en aval de Bourg-en-Bresse) à ceci près qu'il nous semble indispensable d'utiliser les données topographiques pour justifier en partie les extrapolations en aval de Majornas et notamment les phénomènes d'amortissement de l'onde de crue.

Nous proposons la méthodologie suivante :

- ❑ Une analyse critique des études antérieures mettant en évidence les points forts et les faiblesses de chaque méthode et de conclure sur les investigations à approfondir ;
- ❑ La construction d'un modèle hydrologique ;
- ❑ Une proposition de débits de référence fondés sur la comparaison des différentes estimations.

2.1 Analyse des études antérieures

2.1.1 Pluviométrie

SOGREAH a procédé à l'ajustement statistique de la pluviométrie journalière maximale annuelle du poste de Bourg-en-Bresse sur la période 1946 – 1994, soit sur 49 années. Cependant, Météo-France précise que la station de Bourg-en-Bresse (n°01053001) a été fermée en décembre 1992 soit une disponibilité de 47 années seulement. L'ajustement statistique figurant en annexe 2a de l'étude SOGREAH montre en effet seulement 47 points de mesures.

Les valeurs de précipitation journalière de référence sont de 78 mm en décennale et de 113 mm en centennale.

L'étude BURGEAP a étudié les postes de Bourg-en-Bresse, d'Ambérieu-en-Bugey, de St-Julien-sur-Reyssouze et de Vonnas comme le montre le tableau ci-dessous.

Stations	Bourg-en-Bresse	Ambérieu	Saint-Julien	Vonnas
P10	73	82	65	70
P100	101	111	90	99

Tableau 2-1 : Pluviométrie journalière (BURGEAP)

BURGEAP fait état d'un ajustement statistique sur la station de Bourg-en-Bresse sur la période 1946-2005. Cependant, comme nous l'avons signalé au préalable cette station a été fermée en 1992. Après discussion avec Météo France, un poste météo a été installé à partir de 1995 à Ceyzeriat (n°01072001). Il est possible que BURGEAP ait étendu la série de données de la station de Bourg-en-Bresse avec les données de Ceyzeriat. Toutefois ce poste est situé à plus de 5 km de celui de Bourg-en-Bresse et dans un environnement totalement différent.

Dans tous les cas, BURGEAP obtient une pluviométrie journalière à Bourg-en-Bresse inférieure à celle proposée par SOGREAH. Ceci paraît alors discutable compte tenu que Météo France observe d'une manière générale une hausse de la pluviométrie journalière maximale ces 15 dernières années !

Sans autre explication, les résultats proposés par BURGEAP paraissent très discutables pour le poste de Bourg-en-Bresse.

Autre point, le poste de St-Julien-sur-Reyssouze présente une période d'observation interrompue et un déplacement : un premier poste de 1928 à 1982 puis un second poste de 1991 à nos jours. La pluviométrie nous paraît assez faible par rapport aux valeurs régionales.

Ces deux études ne développent pas d'argumentaire sur la répartition spatiale de la pluie sur le bassin versant.

↳ En conclusion, il est indispensable d'examiner la pluie d'une manière un peu plus large géographiquement de manière à pouvoir porter une analyse fiable sur une pluviométrie spatialisée du bassin versant de la Reyssouze (Définition des gradients pluviométriques).

2.1.2 Etude statistique des débits

Les deux études ont proposé des estimations des débits de référence (Q_{10} et Q_{100}) aux stations de Montagnat (84 km²) et de Majornas (136 km²).

Pour ce faire, SOGREAH a effectué un ajustement statistique à la loi de Gumbel de la racine carrée des débits instantanés maximum annuels.

BURGEAP a simplement extrait les valeurs proposées par la banque HYDRO (qui utilise également un ajustement à la loi de Gumbel mais celle des débits instantanés maximum annuels).

Les valeurs obtenues sont les suivantes :

	SOGREAH		BURGEAP	
	Montagnat	Majornas	Montagnat	Majornas
Q_{10} (m ³ /s)	16	38	15	32
Q_{100} (m ³ /s)	32	-	-	-

Tableau 2-2 : Débits de crue aux stations hydrométriques (SOGREAH – BURGEAP)

BURGEAP conclut à la diminution des débits de références et notamment pour les temps de retour élevés, et l'explique par l'augmentation de la taille de l'échantillon statistique.

Cependant, SOGREAH a effectué un changement de variable avec une transformation en racine carrée de débits pour réaliser l'ajustement statistique. Ce changement de variable est souvent effectué en hydrologie afin de mieux coller à la distribution empirique et permet notamment une meilleure estimation des débits centennaux. Par comparaison à un ajustement classique des débits, cette méthode aboutit à des valeurs de débits supérieurs, notamment pour les temps de retour élevés. Ainsi, la diminution des débits constatée par BURGEAP est simplement due à une méthode d'ajustement statistique différente.

↳ Il est nécessaire de refaire les ajustements statistiques avec chaque méthode et de comparer les valeurs obtenues.

2.1.3 Modélisation pluie-débit

Comme nous l'avons déjà évoqué en tête de chapitre, l'absence de données hydrométriques en aval de Bourg-en-Bresse nécessite de faire une extrapolation sur près des $\frac{3}{4}$ du bassin versant. Pour être au plus proche de la réalité hydrologique, SOGREAH et BURGEAP ont choisi de construire un modèle hydrologique pluie-débit.

Avant de commenter les modélisations réalisées, un petit rappel des éléments constitutifs d'un modèle pluie-débit :

- ❑ Tout d'abord, il y a la donnée de pluie ;
- ❑ Ensuite, pour chaque bassin versant élémentaire, la pluie est transformée en débit selon une fonction de production et une fonction de transfert :
 - La fonction de production estime la pluie nette, c'est-à-dire la pluie qui ruisselle et qui contribue au débit ;
 - La fonction de transfert convertit la pluie nette en débit (hydrogramme) selon un temps de réponse du bassin versant ;
- ❑ Enfin, une fonction de propagation permet de faire « voyager » les hydrogrammes d'un nœud à un autre selon les lois de propagation.

Modèle SOGREAH

La modélisation a été élaborée sur un modèle interne nommé Pluton avec un découpage en 21 sous-bassins versants correspondants aux principaux affluents.

En termes de pluviométrie décennale, ont été retenues les lois intensité-durée-fréquence du poste d'Ambérieu-en-Bugey ajustées à la pluie décennale de Bourg-en-Bresse. Il n'est pas mention de la pluie centennale.

$$T < 12 \text{ h} \quad I = 4,94 t^{-0,609} \quad / \quad T > 12 \text{ h} \quad I = 6,82 t^{-0,663}$$

La forme de la pluie n'est pas indiquée explicitement dans le rapport. Dans les annexes relatives à la modélisation hydrologique, on semble comprendre qu'une pluie d'une durée totale de 1440 min (24 heures) centrée autour d'un pic d'une durée de 180 min (3 heures) a été retenue.

La fonction de production retenue est l'hydrogramme unitaire pour le bassin versant rural et Muskingum pour le bassin versant urbain de Bourg-en-Bresse. SOGREAH indique que ce choix a été fait en comparant les hydrogrammes simulés à ceux observés aux stations hydrométriques de Montagnat et Majornas.

Les temps de réponse ont été estimés par la formule de Passini pour les bassins versants ruraux et Debordes pour les bassins versants urbains.

La fonction de propagation d'un nœud à un autre n'est pas mentionnée ; pourtant, les résultats obtenus montrent les effets d'amortissement de l'onde de crue. On peut toutefois supposer que la méthode de Muskingum a été employée.

Le modèle a ensuite été testé sur plusieurs crues afin de déterminer le coefficient de ruissellement adéquat. SOGREAH converge vers un coefficient de ruissellement pour le temps de retour décennal de 0,28 pour les bassins versants ruraux et 0,4 pour la zone urbaine de Bourg-en-Bresse. Au vu des tableaux de valeurs présentés dans l'étude, ces valeurs sont parfaitement cohérentes. Cependant, le coefficient de ruissellement des bassins versants ruraux est établi sur la base des données de la station de Montagnat située sur l'amont du bassin versant et il est ensuite appliqué à l'ensemble du bassin versant à l'aval de Bourg-en-Bresse, sans aucune forme de justification.

Les débits décennaux sont ensuite simulés et SOGREAH fait les constats suivants :

- ❑ Le modèle reproduit correctement les débits issus de l'analyse statistique à Montagnat et à Majornas.
- ❑ En aval de Bourg-en-Bresse, on constate un pic de crue induit par la zone urbaine qui s'amortit ensuite assez vite puisqu'à Montrevel il est totalement amorti.
- ❑ Il y a un amortissement de l'onde de crue assez fort entre Majornas et la confluence avec le Salençon.
- ❑ Il aurait été intéressant de pouvoir caler la propagation de l'onde de crue et son amortissement en aval de Bourg-en-Bresse grâce aux observations de la station hydrométrique de St-Julien-sur-Reyssouze.

Concernant la crue centennale, une réflexion est portée sur le choix du coefficient de ruissellement. Par analogie à la méthode du Gradex, SOGREAH émet l'assertion suivante :

« On peut considérer qu'au-delà d'un certain temps de retour, tout excédent de pluie ruisselle intégralement. »

En suivant cette réflexion, SOGREAH expose une méthode analytique permettant d'estimer le coefficient de ruissellement centennal et propose pour le cas de la Reyssouze une valeur de 0,50 pour les bassins versants ruraux. SOGREAH conclut que cette valeur n'a pas de réalité physique pour le bassin versant de la Reyssouze et propose une valeur de 0,35 en zone rurale et 0,5 en zone urbaine. On notera en effet que les échantillons de débits aux stations de Montagnat et de Majornas ne montrent pas de cassure au-delà d'un certain temps de retour ; cela nous incite à supposer que le ruissellement du bassin versant croît progressivement et ne présente pas d'effet de seuil de saturation. La valeur de 0,35 est justifiée par le fait que le modèle donne un débit de pointe conforme à l'estimation de l'analyse statistique à la station de Montagnat.

Les débits centennaux obtenus témoignent également d'un amortissement prononcé de l'onde de crue entre Majornas et la confluence avec le Salençon.

↳ Les débits de crue en aval de Bourg-en-Bresse sont fortement influencés par la capacité d'amortissement de l'onde de crue et aucun calage n'est effectué sur ce vaste linéaire. N'ayant aucun élément sur la formule retenue et les paramètres de la fonction de transfert, il est délicat de juger de la pertinence de ces résultats, ne serait-ce du niveau d'incertitude attendu.

Modèle BURGEAP

Le modèle a été construit sous le code de calcul HEC-HMS. La description du bassin versant de la Reyssouze est plus synthétique que celle de SOGREAH puisque le modèle ne comporte que 9 bassins versants élémentaires.

La fonction de production est la méthode de Clark et la fonction de propagation est la méthode de Muskingum.

Concernant les temps de réponse, ce sont les mêmes hypothèses que SOGREAH.

Ensuite, le calage du modèle est effectué avec les crues d'avril 1989 et de novembre 2002. La comparaison des hydrogrammes de crues réels et simulés mettent en évidence un calage relativement efficace.

Le calage permet d'établir une vitesse de propagation constante de l'onde de crue de 0,42 m/s environ. En fonction des crues, BURGEAP adapte les coefficients de ruissellement pour coller au mieux à l'hydrogramme réel. Pour simuler une crue décennale, les coefficients suivants sont adoptés : 0,36 en zone rurale et 0,8 en zone urbaine. Les résultats obtenus pour la crue décennale conduisent à un débit décennal à Montagnat inférieur à l'estimation statistique, le débit à Majornas étant lui identique à l'estimation à la station hydrométrique. Les débits obtenus sont inférieurs aux résultats de SOGREAH.

Pour la simulation d'une crue centennale, BURGEAP reprend le raisonnement proposé par SOGREAH à propos des coefficients de ruissellement et obtient les valeurs de 0,53 en zone rurale et 0,9 en zone urbaine. BURGEAP signale que pour la zone urbaine de Bourg-en-Bresse, le temps de concentration et la capacité de stockage (?) ont été modifiés, sans justification par ailleurs.

Les débits obtenus restent largement inférieurs à ceux obtenus par SOGREAH. BURGEAP conclut plus ou moins habilement que les débits retenus dans la suite de leur étude sont ceux estimés par SOGREAH. Au niveau de la simulation des crues décennale et centennale, l'étude BURGEAP n'apporte pas d'élément de connaissance supplémentaire par rapport au travail réalisé par SOGREAH en 1995.

Par contre, BURGEAP réalise ensuite la monographie des crues du 17 avril 2008, du 2 septembre 1956 et surtout celle du 3 octobre 1935.

Si les crues de septembre 1956 et d'avril 2005 sont de fréquence décennale et présentent un intérêt modeste, la crue d'octobre 1935 reste dans les annales climatologiques comme étant un phénomène extrême a priori jamais rencontré auparavant. La pluie journalière du 3 octobre 1935 à Bourg-en-Bresse (138 mm) présente une période de retour de 580 ans ! Maurice Pardé, fondateur de la potamologie (Etude des fleuves et rivière, de leurs régimes et de leurs lits) et grand hydrologue à l'origine de nombreuses analyses et archives qui font toujours autorité aujourd'hui a analysé cet épisode hydro-climatique particulier dont une synthèse a été publiée dans la revue de géographie alpine de 1936 Tome 24 n°1 pp 217-233 sous le titre « L'orage du 3 et 4 octobre 1935 dans le bassin du Rhône ». Dans ce document, Maurice Pardé retrace l'origine météorologique et la chronologie de l'événement, il propose une carte spatialisée de la pluviométrie et les conséquences sur les cours d'eau. Quoiqu'il en soit, cet événement constitue à l'échelle historique la plus forte crue vécue dont les témoignages soient encore très présents. Par ailleurs, BURGEAP a proposé une simulation hydrologique de cet événement et conclut que la crue alors générée est largement plus forte que la crue centennale.

↳ La connaissance de l'hydrologie de la Reyssouze en aval de Bourg-en-Bresse n'est accessible aujourd'hui qu'au travers d'un outil de modélisation hydrologique. Cet outil peut être calé correctement sur le premier quart amont du bassin versant, sur la base des observations aux stations hydrométriques de Montagnat et de Majornas. SOGREAH et BURGEAP l'ont correctement démontré. Cependant, le comportement aval, sur donc $\frac{3}{4}$ du bassin versant, ne peut être approché qu'au travers de conjectures et de suppositions. Ceci est d'autant plus délicat qu'en aval de Bourg-en-Bresse, la vallée de la Reyssouze permet l'amortissement des crues.

Nous proposons de construire un modèle hydrologique sur la base du travail de SOGREAH et de BURGEAP, mais de prendre en compte les effets de la propagation et de l'amortissement des crues en fonction de la topographie réelle de la vallée de la Reyssouze. Il s'en suivra alors une discussion sur les débits qui seront finalement retenus.

Enfin, la simulation de la pluviométrie exceptionnelle du 3 octobre 1935 rendra compte des débits supposés de cette crue. Cette crue constitue de fait la plus forte crue vécue, supérieure à la crue centennale.

2.2 Pluviométrie

2.2.1 Aperçu régional

Les figures ci-après représentent la pluviométrie régionale qui a été établie par Météo France sur l'examen de 3 000 postes pluviométriques en 1999.

Ces figures mettent en évidence un léger gradient décroissant de la pluviométrie à l'Est de Bourg-en-Bresse.

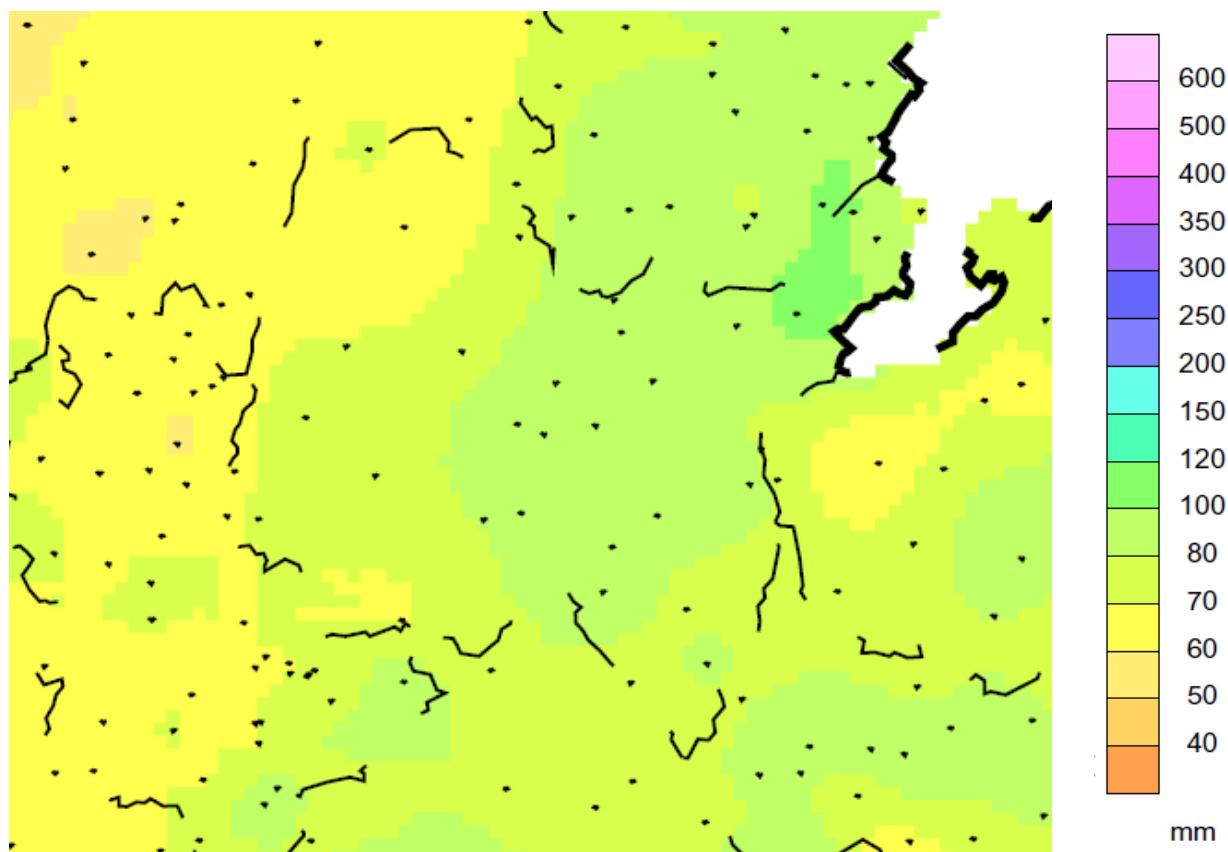


Figure 2-1 : Pluviométrie journalière décennale réalisée par Météo-France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques

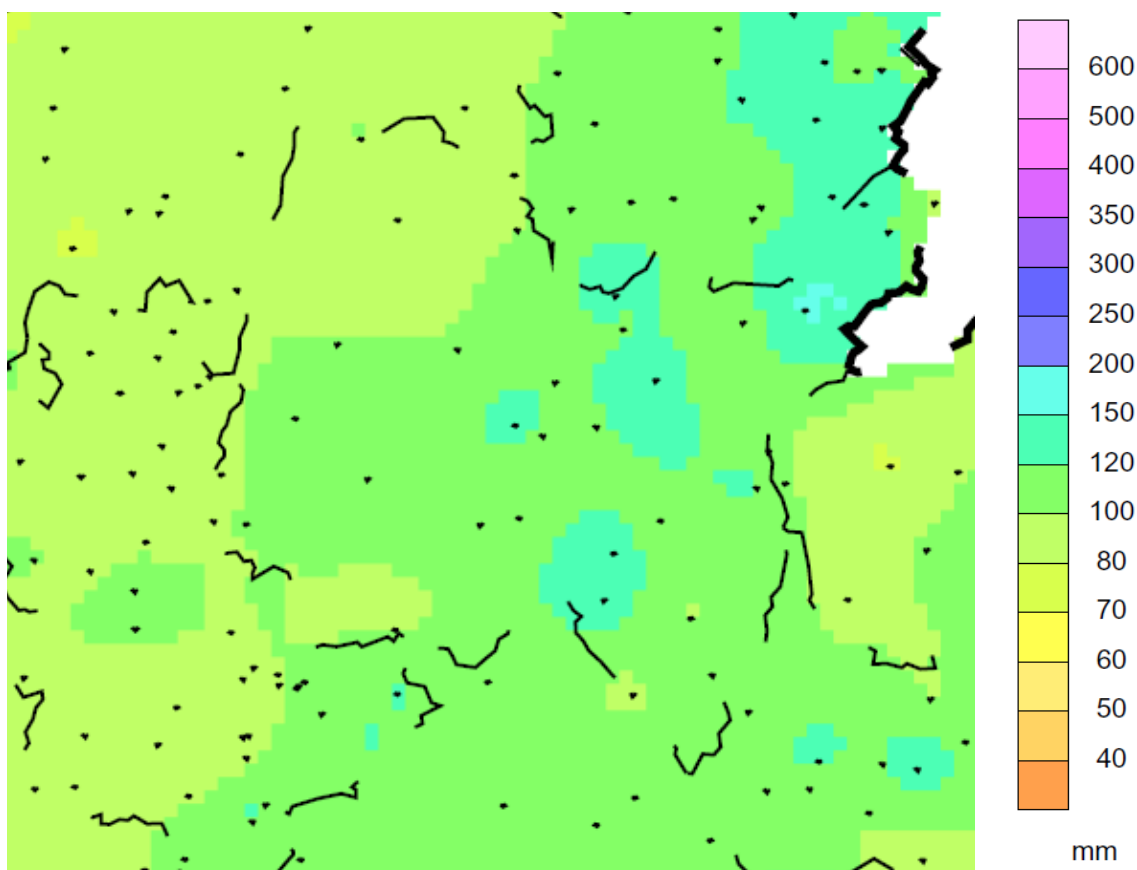


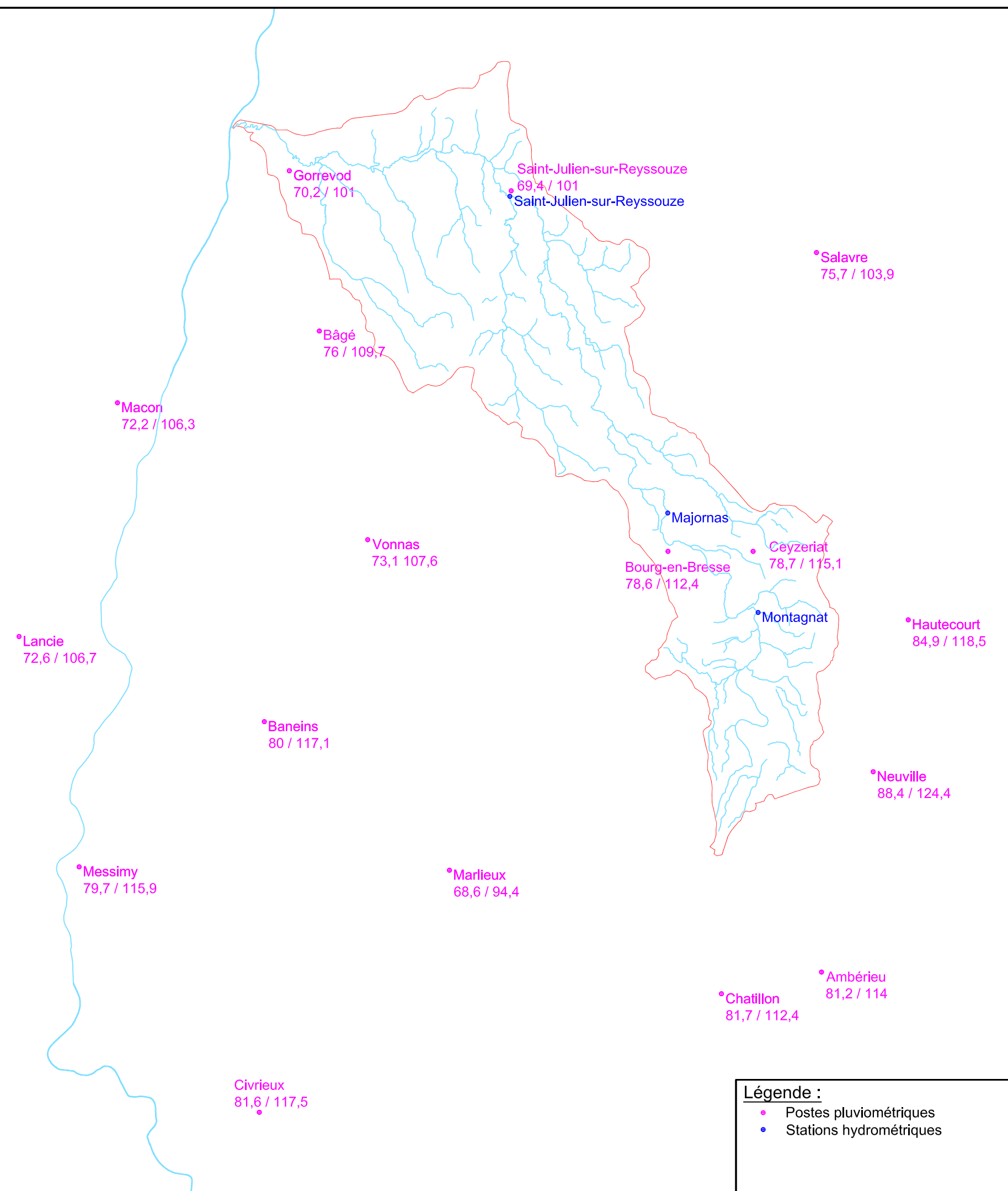
Figure 2-2 : Pluviométrie journalière centennale réalisée par Météo-France en 1999 sur 3 000 postes pluviométriques


2.2.2 Estimation de la pluviométrie à l'échelle du bassin versant

Afin d'apprécier plus finement ce gradient pluviométrique, nous avons interrogé la banque de données Climathèque (Météo-France) et avons collecté les séries chronologiques des pluies des postes pluviométriques environnant la zone d'étude. Nous avons dénombré 17 postes dans un rayon de 40 km. Les données de pluie de ces stations ont été traitées statistiquement par une analyse de leur distribution fréquentielle selon la loi de Gumbel par la méthode des moments. La figure en page suivante présente les pluies journalières décennale et centennale.

Au niveau du bassin versant de la Reyssouze, on distingue une pluviométrie un peu plus forte sur l'amont du bassin versant (en amont de Bourg-en-Bresse). C'est pourquoi nous proposons de distinguer deux zones géographiques pour lesquelles la pluviométrie est légèrement différente. En se basant sur une moyenne pondérée des valeurs de pluie, nous proposons :

- ❑ En amont d'Attignat, $P_{10} = 79$ mm (pluie journalière décennale) et $P_{100} = 113$ mm (en centennale)
- ❑ En aval d'Attignat, $P_{10} = 73$ mm et $P_{100} = 104$ mm



Légende : • Postes pluviométriques • Stations hydrométriques		PPRI de la Reyssouze				
		Figure 2-3 : Pluviométrie journalière à proximité du bassin versant de la Reyssouze				
Indice	Date	Etabli	Vérifié	Echelle		
Ind 0	13/06/11	PGR	HTV	1/250000		

2.2.3 Événements pluvieux historiques majeurs

Les archives plus ou moins récentes font état des événements suivants ayant donné lieu à une montée en crue de la Reyssouze.

Crue des 3 & 4 octobre 1935

Le début du mois d'octobre 1935 se caractérise par des orages méditerranéens intenses du Haut Vivarais jusqu'au Jura méridional et central. Maurice Pardé, célèbre hydrologue, en fait le bilan suivant dans la revue géographique alpine de 1936 (Tome 24 N°1. pp. 217-233) :

« Le jeudi 3 octobre, à 7 heures, une dépression occupait par son centre l'Irlande et la Grande-Bretagne occidentale avec 980 mbars. Dans son secteur méridional, une zone de baisse progressait vers le Sud-Est, englobant le Sud-Ouest de la France, avec -10 mb, depuis 12 heures vers Toulouse et du Berry à la Haute-Seine. Par son effet, les isobares commençaient à dessiner un V pointant vers le golfe du Lion, avec axe du N.N.O. au S.S.E. En même temps, un gradient isobarique orienté de l'E.S.E. à l'O.N.O. tendait à se former sur l'Italie malgré la fuite d'une faible dépression précédente (1005 mb) sur le Nord de l'Adriatique. A 18h, le même jour, la baisse avait gagné vers le Sud, car elle intéressait toute l'Espagne ; mais, du côté de l'Est, elle progressait peu ; la zone de pressions, relativement élevées, tenait bon sur l'Italie. Le V isobarique se faisant plus creux et plus aigu à travers la France et la Méditerranée occidentale.

La pluie méditerranéenne devenait imminente. Il en est de même chaque fois qu'un anticyclone au moins relatif avec gradient vers l'O. ou le N.O. empiète sur l'Italie et qu'une dépression envahit le Sud de la France. Les vents du Sud-Est soufflent l'anticyclone vers la dépression et, chargés d'air humide méditerranéen, viennent se heurter aux reliefs de Provence et du rebord du Massif Central ; d'où ascension des vapeurs, refroidissement, chutes d'eau abondantes ; maintes fois, cet automne, j'ai pu vérifier la quasi-infaillibilité de cette règle. Mais il est bien plus difficile d'expliquer pourquoi la pluie tantôt se concentre sur la muraille cévenole, tantôt s'étend à tout le bassin rhodanien inférieur, et tantôt atteint son paroxysme dans les dépressions, ou tout au moins se conforme mal ou pas aux exigences du relief, ce qui devait arriver cette fois.

La zone de pluie torrentielle s'allonge du S.S.O. au N.N.E. entre l'Ardèche supérieure, seulement effleurée, et le Doubs au Nord-Est de Besançon. Elle s'élargit au Sud pour englober la vallée rhodanienne et ses abords orientaux entre Pierrelatte et le confluent de l'Isère. Au Nord, elle se dilate aussi, entre le Doubs inférieur et l'Ain supérieur, sur le Jura central. La bande frappée de plus de 150 mm est étroite. De l'Erieux supérieur à la hauteur de Saint-Rambert-d'Albon, elle s'accroche au rebord oriental du Massif Central. Puis elle s'en détache, traverse le couloir Saône-Rhône entre Condrieu et Saint-Rambert-l'Île-Barbe ou Collonges, au Nord de Lyon ; plus loin, elle couvre le Sud-Est de la Dombes, une partie de la Bresse et empiète sur le Revermont ou même plus à l'intérieur du Jura.

Selon toute évidence, insistons là-dessus, cette distribution ne se modèle en rien sur le relief, sauf peut-être sur le Vivarais septentrional et sur le rebord Sud-Est de la Côte de Dombes. Elle ne dénote aucun des types ordinaires de pluie dans le bassin rhodanien. [...]

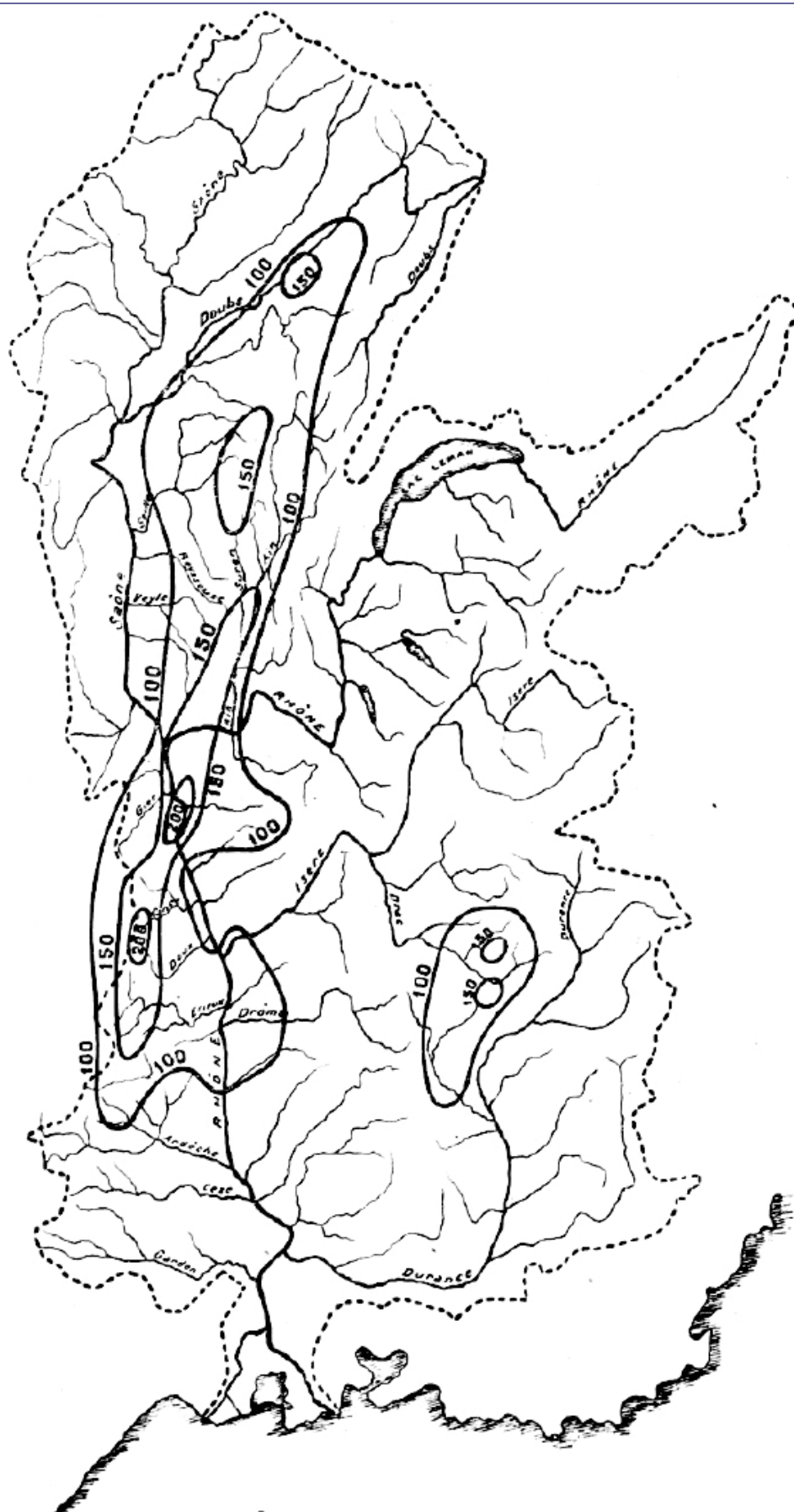


Figure 2-4 : Carte de l'averse des 3 & 4 octobre 1935 (selon Maurice Pardé)

On peut donc admettre qu'il s'agit d'une averse méditerranéenne d'un type spécial, au cours de laquelle une véritable muraille d'air frais se substitua au relief du sol, entre la région de Vienne et le Nord de Besançon ; contre cet obstacle atmosphérique, les vapeurs chaudes du Midi vinrent obstinément se condenser.

Dans le passé d'ailleurs abondent les cas plus ou moins semblables, avec bande de plus fortes pluies se détachant des Cévennes à partir d'une certaine latitude, et envahissant la vallée du Rhône et de la Saône, ou la traversant pour se diriger vers le Nord-Est ».

La figure ci-avant illustre bien la violence de cet épisode pluvieux. A Bourg-en-Bresse, le 3 octobre 1935, il est tombé 138 mm (nettement plus que la pluie centennale). De mémoire d'homme, il s'agit de la plus forte crue de la Reyssouze.

Crue du 2 septembre 1956

Liée à nouveau à des pluies méditerranéennes remontées du Sud-Est de la France pour lesquelles nous n'avons pas obtenu plus d'informations, la crue du 2 septembre 1956 a été engendrée par de fortes pluviométries : avec 123 mm à Bourg-en-Bresse.

Crue des 15 & 16 mai 1983

Le contexte pluvio-orageux d'avril – mai 1983 a trouvé un paroxysme entre les 12 et 16 mai, et s'établissant dans un contexte hydrologique défavorable (sol préalablement saturé en eau par la pluviométrie abondante des semaines précédentes, 3 fois plus de pluie que la normale), la Reyssouze est montée en crue.

Les cumuls de pluie sont de 113,7 mm du 12 au 16 mai et de 124,9 mm du 12 au 17 mai.

Cet épisode ne s'illustre pas par des intensités pluvieuses extraordinaires comme les deux événements décrits précédemment mais la situation hydrologique antérieure et l'abondance de précipitations sur plusieurs jours ont également provoqué une crue.

Crue du 8 mai 1985

Pour cet épisode, les cumuls de pluie sont de 85,6 mm du 7 au 8 mai et de 120,5 mm du 6 au 10 mai à Bourg-en-Bresse.

Crue du 17 avril 2005

Sous l'influence dépressionnaire centrée sur le golfe du Lion, des précipitations intenses se focalisent dans le Centre-Est de la France. Le cumul de pluie est de 107,8 mm du 15 au 17 avril à Ceyzériat.

Crue du 6 février 2009

Dans un contexte de flux perturbé de Sud-Ouest, des remontées méditerranéennes touchent le Sud-Est et Rhône-Alpes avant de gagner le Nord-Est. Précédant cette perturbation, un froid constant avait affecté la région avec de nombreuses gelées. Le cumul de pluie est de 71,6 mm du 5 au 7 février à Ceyzériat.

2.3 Analyse statistique des débits des stations hydrométriques

Le tableau ci-dessous rend compte des stations hydrométriques existantes sur le bassin versant de la Reyssouze.

Tableau 2-3 : Station hydrométrique du bassin versant de la Reyssouze

Stations	Superficie (km ²)	Altitude (m)	Période d'observation	Gestionnaire
La Reyssouze à Montagnat	84.4	237	1967-2009	DREAL RA
La Reyssouze à Majornas	130	218	1983-2009	DREAL RA

Les données de la station de St-Julien-sur-Reyssouze ne sont définitivement pas exploitables.

2.3.1 Critique des données disponibles

Rappel des notions de jaugeage et de courbe de tarage

Pour rappel, les débits de crue sont déterminés au droit d'une station hydrométrique à l'aide :

- ❑ D'un enregistrement continu des hauteurs d'eau atteintes appelé limnigramme,
- ❑ D'une transformation des hauteurs en débits par une courbe de tarage. La courbe de tarage est déterminée à partir de jaugeages, opération qui consiste à mesurer simultanément une hauteur d'eau et le débit associé. Généralement, le débit est estimé par exploration du champ de vitesses. Les valeurs de débits des jaugeages présentent une incertitude de l'ordre de 5% pour les débits faible à moyen et environ 10% pour les débits de crue.

Les dysfonctionnements des limnimètres sont relativement faciles à détecter. La principale indétermination réside dans l'évaluation des débits à l'aide de la courbe de tarage. Les deux principales sources d'incertitude associées aux courbes de tarage sont rappelées ci-après :

- ❑ Pour la partie de la courbe de tarage qui est définie par des jaugeages, les conditions d'écoulement peuvent évoluer (abaissement des fonds, végétalisation du lit,...). La courbe de tarage n'est alors plus représentative : on dit qu'il y a détarage. Une nouvelle courbe de tarage est alors reconstruite. Lorsqu'une courbe de tarage change peu au cours du temps, on parle de « stabilité » de la courbe de tarage ; la qualité des mesures est alors plutôt bonne. A l'inverse, lorsqu'il est nécessaire de reprendre régulièrement la courbe de tarage, on parle « d'instabilité » de la courbe de tarage ; la qualité des débits estimés est réduite.
- ❑ Au-delà du plus fort jaugeage, la courbe de tarage doit être extrapolée. Dans cette partie de la courbe de tarage, l'estimation du débit ne repose plus sur des mesures. En conséquence, l'incertitude est d'autant plus grande que l'extrapolation couvre une plage de débit importante.

Analyse de la qualité

Une enquête a été menée auprès des services hydrométriques de la DREAL Rhône-Alpes pour établir une analyse critique qualitative des données enregistrées à ces postes de mesures. Du point de vue de la stabilité, la DREAL considère ces deux stations comme stables dans le temps au vu de la très faible évolution historique des courbes de tarage.

Ensuite, pour juger de la qualité des données de crue, nous avons examiné : la date d'établissement de la première courbe de tarage, le nombre de courbes de tarage établies à ce jour, le débit maximum jaugé et le débit maximum estimé.

Le tableau suivant rend compte de l'analyse des données fournies par la DREAL Rhône-Alpes.

Tableau 2-4 : Qualité des stations hydrométriques

Stations	Qualité de la courbe de tarage	Débit maximum jaugé (m ³ /s)	Temps de retour du débit maximum jaugé
La Reyssouze à Montagnat	Bonne	20	Supérieur à 10 ans
La Reyssouze à Majornas	Bonne	20.4	Inférieur à 2 ans

Ainsi pour la station de Montagnat, le débit maximum jaugé étant supérieur à la crue décennale, ce poste d'observation présente une bonne pertinence pour l'estimation des crues. A l'inverse, les données de crue de la station de Majornas sont plus sujettes à caution puisque le maximum jaugé est inférieur à la crue biennale.

2.3.2 Analyse statistique

Nous avons collecté auprès de la DIREN Rhône-Alpes les données hydrométriques à ces stations. Nous avons ensuite procédé à l'ajustement statistique (variable brute et racine carrée de la variable) selon la loi de Gumbel par la méthode des moments.

Les résultats graphiques démontrent un bon ajustement statistique à la loi de Gumbel et ce même pour les parties asymptotiques. Il ne semble pas se dégager de comportement hydrologique particulier nécessitant l'application d'une autre méthode d'extrapolation de type Gradex par exemple.

Les débits décennaux et centennaux obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs sont globalement cohérentes avec les estimations des études précédentes.

Tableau 2-5 : Estimation des débits aux stations hydrométriques

Stations	Montagnat		Majornas	
	Variable brute	Racine carrée	Variable brute	Racine carrée
QIX ₁₀	16,4	16,6	34,5	34,8
QIX ₁₀₀	25,66	30,4	48,2	52,5

Comme évoqué dans le paragraphe 2.3.1 à propos de la qualité des stations hydrométriques, la station de Majornas ne propose pas une bonne estimation des crues. Ainsi, nous retiendrons pour cette station uniquement l'estimation de la valeur du débit de pointe de crue décennale.

En outre, par précaution, nous proposons de retenir les estimations réalisées par l'ajustement statistique de la variable à la racine carrée puisque cela conduit aux valeurs les plus fortes (marge sécuritaire pour la prise en compte du risque inondation).

En conséquence, les débits retenus à l'issue de l'analyse statistique sont les suivants :

□ A Montagnat : Q₁₀ = 17 m³/s [15 – 18] / Q₁₀₀ = 31 m³/s [28 – 34]

□ A Majornas : Q₁₀ = 35 m³/s [31.5 – 38.5]

(Compte tenu des incertitudes, les débits sont arrondis à la valeur supérieure ; en encadré, nous avons reporté la fourchette d'incertitude à 10%)

2.4 Modélisation pluie-débit

L'approche statistique ne permettant ni l'estimation des débits pour des fréquences supérieures à la décennale, ni la prise en compte de l'amortissement des crues dans la vaste plaine inondable entre Bourg-en-Bresse et St-Julien-sur-Reyssouze, nous proposons de représenter le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Reyssouze par une modélisation pluie-débit. Les sous-bassins versants élémentaires ont été cartographiés sur fond IGN au 1/25 000^e à partir de la base de données Carthage.

2.4.1 Méthode

Le principe d'un modèle pluie-débit est d'estimer la réponse d'un bassin versant, en termes de débit et de volume, à un événement pluvieux donné.

La spatialisation du modèle consiste à diviser le bassin versant global en sous-unités (sous-bassins) tenant compte ainsi de l'évolution des caractéristiques d'un sous-bassin versant à l'autre.

Le passage des données de pluies aux débits se fait en deux étapes principales, appelées fonctions de production et de transfert décrites ci-après.

Fonction de production

Cette première étape du modèle a pour but d'estimer la part de la pluie qui se transformera en écoulement dans le réseau.

Cette partie de la pluie qui participe à la genèse des crues est appelée "pluie nette" et constitue un certain pourcentage de la pluie totale précipitée sur le bassin versant, appelée "pluie brute".

L'autre partie de la pluie brute qui ne ruisselle pas est retenue sur le bassin versant par la végétation, la nature des sols et du sous-sol et le relief.

Le rapport entre la pluie brute et la pluie nette est appelé "coefficient de ruissellement".

Pour l'estimation de la pluie nette, il existe plusieurs méthodes couramment appliquées.

Pour l'étude, nous avons retenu la méthode du département agricole des Etats-Unis (Soil Conservation Service, SCS) développée en 1972. Elle a été utilisée pour déterminer la quantité d'eau ruisselée sur les bassins versants.

Cette méthode est relativement complète puisqu'elle tient compte, pour l'estimation de la pluie nette, des caractéristiques des sols, du couvert végétal et de l'état de l'humidité du bassin versant avant la pluie.

Formulation analytique de base

Cette méthode prend en compte la variation spatiale des caractéristiques moyennes du bassin versant. La méthode SCS dépend d'abord d'un complexe hydrologique CN (Curve Number) appelé "*potentiel de ruissellement*" qui est fonction de plusieurs facteurs dont la végétation, le type et l'occupation du sol, la topographie, les techniques culturales, l'aménagement des terres, les conditions antécédentes d'humidité, etc ... La méthode SCS dépend également des précipitations et des pertes non considérées dans la hauteur totale de pluie, c'est-à-dire l'interception par la végétation, l'infiltration dans le sol et l'évapotranspiration.

Les hypothèses de la méthode SCS sont les suivantes :

- ❑ L'évapotranspiration est négligeable pendant l'événement pluvieux
- ❑ L'infiltration tend vers 0 quand t tend vers l'infini

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

On suppose la relation suivante :

Avec :

F_a : Volume infiltré

S : Infiltration potentielle maximum

P_e : Pluie nette cumulée

P : Pluie brute cumulée

I_a : Pertes initiales (avant ruissellement)

D'après le principe de conservation :

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Pluie brute

En combinant les équations précédentes, on obtient :
$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

A partir de nombreuses études expérimentales, la relation empirique suivante est adoptée :
$$I_a = 0.2S$$

On obtient finalement la formule de la pluie nette cumulée :
$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$
 avec comme unité le mm.

L'infiltration potentielle maximale S est évaluée à partir du Curve Number (CN) via la relation :

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4$$

avec S en mm.

Ces équations doivent être traitées et résolues en plusieurs étapes :

- ❑ Calcul de la pluie brute cumulée P
- ❑ Si P est inférieure aux pertes initiales avant ruissellement (I_a), toute la précipitation est absorbée avant ruissellement et la pluie nette cumulée est nulle : $P_e=0$
- ❑ Si P est supérieure aux pertes initiales avant ruissellement (I_a), les pertes par infiltration (F_a) sont estimées via la formule :

$$F_a = \frac{S(P - I_a)}{P - I_a + S}$$

- ❑ La pluie nette cumulée est déduite alors de l'équation de continuité :

$$P_e = P - I_a - F_a$$

- ❑ Finalement, les valeurs de la pluie brute à l'instant t sont déduites de la différence des différentes valeurs de P_e .

Estimation du CN

Le paramètre CN a été calé en fonction de la typologie d'occupation des sols du bassin versant et en fonction des valeurs de débits des crues observées.

Le calage à partir de l'observation des crues réelles et de l'estimation de la crue décennale, proposé au paragraphe 2.3.2, nous a conduit à estimer une valeur moyenne de CN à 64 pour la bassin versant naturel et un CN de 70 associé à un taux d'imperméabilité de 15 % pour l'agglomération de Bourg-en-Bresse.

Fonction de transfert

Cette deuxième et dernière étape du modèle a pour but de générer, pour chaque nœud, un hydrogramme de crue à partir de la pluie nette estimée préalablement.

Cette fonction de transfert se décompose en deux phases : une première phase au cours de laquelle les hydrogrammes sont calculés pour chacun des sous-bassins (hydrogrammes d'apport), et une deuxième phase où ces hydrogrammes d'apport sont injectés dans le réseau étudié afin de former l'hydrogramme de crue résultant.

Les hydrogrammes d'apport sont calculés par la méthode du double réservoir linéaire, basée sur le principe de la vidange de deux réservoirs. Ils sont ensuite injectés dans le réseau en différents points, correspondant aux regards de jonction, pour progressivement se sommer tout au long du parcours. Le temps de concentration du bassin versant est estimé par la formule de Passini.

Modèle de propagation

Cette partie du modèle s'intéresse au routage et à la propagation des écoulements entre chaque nœud de calcul.

Le routage consiste à faire le cumul arithmétique des hydrogrammes de crue convergents en chaque nœud de calcul.

En termes de propagation des écoulements, la méthode employée est le modèle de Muskingum-Cunge. Ce modèle construit sur la base des informations topographiques de la vallée (profils en travers) et des paramètres de rugosité consiste à simuler la propagation des écoulements de façon déterministe et permet de quantifier les volumes de crue stockés entre chaque nœud de calcul.

Le modèle a été renseigné topographiquement sur la base de profils en travers relevés pour le modèle hydraulique.

2.4.2 Pluie de référence

La pluie centennale synthétique a été établie avec les hypothèses suivantes :

- Durée totale : 1 jour
- Durée du pic intense : 3 heures
- Position du pic intense : centré
- Cumul des pluies monofréquences synthétiques suivant les valeurs du tableau ci-dessous :

Tableau 2-6 : Cumuls de pluie en fonction de la durée

Durée	3 h	6 h	12 h	1 jour
Pluie décennale (mm)	39	49	65	79
Pluie centennale (mm)	53	65	91	113

2.4.3 Calage

Le modèle a été calé pour représenter fidèlement les estimations des débits décennaux estimés au droit des stations hydrométriques de Montagnat et de Majornas. En aval de Majornas, l'amortissement des crues a été simulé en appliquant la méthode Muskingum-Cunge à la topographie réelle de la vallée de la Reyssouze.

2.4.4 Comparaison des résultats obtenus avec les études antérieures

Le tableau 2-7 compare les estimations de débits des études précédentes avec les résultats de la modélisation hydrologique de la présente étude.

Puis les figures 2-5 et 2-6 représentent la comparaison des débits selon un profil en long des débits suivant la superficie cumulée du bassin versant.

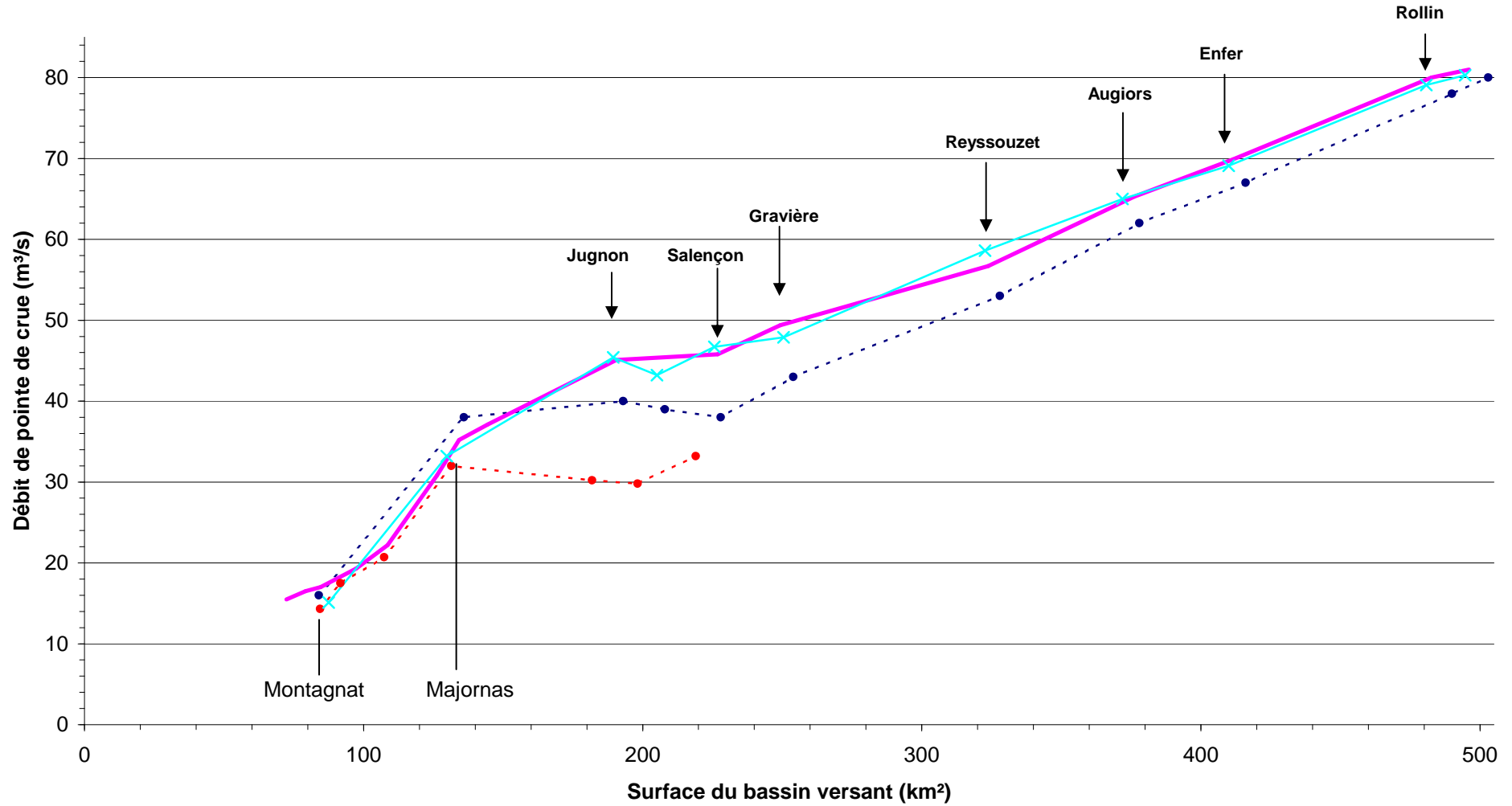
Les résultats obtenus appellent les commentaires suivants :

- ❑ Le modèle permet de reproduire fidèlement les estimations statistiques des débits décennaux au droit des stations hydrométriques de Montagnat et de Majornas.
- ❑ Pour la crue centennale, on obtient à la station de Montagnat un débit légèrement supérieur à l'estimation statistique.
- ❑ Le modèle reproduit correctement l'apport hydrologique induit par la zone urbaine de l'agglomération de Bourg-en-Bresse.
- ❑ Le modèle représente correctement l'amortissement de l'onde de crue en aval de Majornas, notamment au niveau de Montrevel-en-Bresse.
- ❑ On notera que les résultats obtenus par les différentes études sont approximativement similaires dans un champ d'incertitude de l'ordre de 10 à 15 %.
- ❑ Pour la crue décennale, les résultats sont très similaires avec l'étude BURGEAP de 2010 (dans une fourchette d'incertitude de 5 % environ).
- ❑ Pour la crue centennale, les débits obtenus en aval de Majornas sont légèrement supérieurs aux estimations précédentes. On reste dans une marge d'incertitude de 10 % vis-à-vis des résultats de l'étude BURGEAP de 2010.
- ❑ Finalement, les résultats pour la crue centennale sont majorant par rapport aux études antérieures. Compte tenu des incertitudes de l'hydrologie et de la modélisation, cela va dans le sens d'une marge sécuritaire pour la prise en compte du risque inondation.

Tableau 2-7 : Comparaison des résultats hydrologiques

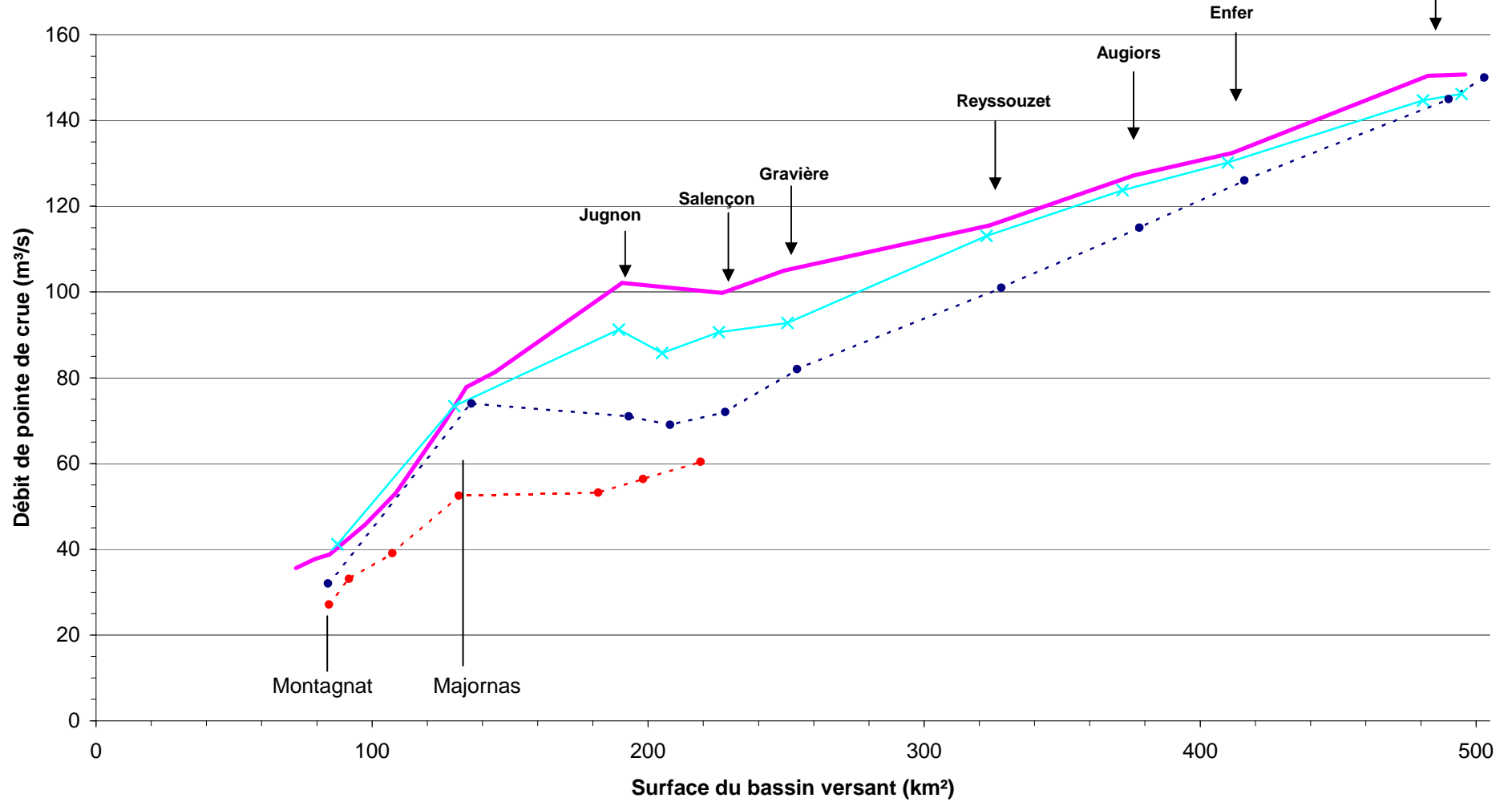
Localisation	Crue décennale		Crue centennale		
	Etude antérieure		Modélisation HTV	Etude antérieure	Modélisation HTV
Montagnat	SOGREAH 95	16	17	32	35
	BURGEAP 06	14		27	
	BURGEAP 10	15		41	
Confluence Vallière	BURGEAP 06	17	19	33	46
Bouvent	BURGEAP 06	21	22	39	53
Majornas	SOGREAH 95	38	35	74	78
	BURGEAP 06	32		52	
	BURGEAP 10	33		73	
Confluence Jugnon	SOGREAH 95	40	45	71	102
	BURGEAP 06	30		53	
	BURGEAP 10	45		91	
Montrevel	SOGREAH 95	39	41	69	90
	BURGEAP 06	30		56	
	BURGEAP 10	43		86	
Confluence Salençon	SOGREAH 95	38	49	72	100
	BURGEAP 10	47		91	
Confluence Gravière	SOGREAH 95	43	53	82	105
	BURGEAP 10	48		93	
Confluence Reyssouzet	SOGREAH 95	53	56	101	116
	BURGEAP 10	59		113	
Confluence Augjors	SOGREAH 95	62	65	115	127
	BURGEAP 10	65		124	
Confluence Enfer	SOGREAH 95	67	70	126	132
	BURGEAP 10	69		130	
Confluence Rollin	SOGREAH 95	78	80	145	150
	BURGEAP 10	79		145	
Pont de Vaux	SOGREAH 95	80	81	150	151
	BURGEAP 10	80		146	

Simulation d'une crue décennale



---●--- Sogreah 1995 -.-.-●-.-.- Burgeap 2006 ——— HTV Pluie synthétique ———x—— Burgeap 2010

Simulation d'une crue centennale



---●--- Sogreah 1995 -.-.-●-.-.- Burgeap 2006 ———— HTV Pluie synthétique ————x——— Burgeap 2010

2.5 Débits retenus

Le chapitre précédent conclut que les résultats de la simulation hydrologique sont comparables aux résultats des études précédentes en étant toutefois majorant et donc plutôt sécuritaire vis-à-vis du risque inondation.

Le tableau suivant présente les débits retenus pour la crue décennale et la centennale ainsi que la simulation de la crue d'octobre 1935 basée sur une pluie d'un cumul journalier de 138 mm sur l'ensemble du bassin versant et présentant un pic de 3 h.

Tableau 2-8 : Débits retenus

Station	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Octobre 1935
Montagnat	17	39	58
Confluence Vallière	19	46	62
Majornas	35	78	84
Confluence Jugnon	45	102	116
Confluence Salençon	46	100	118
Confluence Gravière	49	105	121
Confluence Reyssouzet	57	116	143
Confluence Augiors	65	127	149
Confluence Enfer	70	132	151
Confluence Rollin	80	150	176
Pont de Vaux	81	151	178

Chapitre 3 Analyse hydraulique

L'objectif de l'analyse hydraulique est d'établir les conditions d'écoulement en crue de la Reyssouze afin de les traduire ensuite en termes de risques inondation. Seuls, les secteurs à enjeux ont fait l'objet d'une analyse hydraulique calculatoire (modélisation numérique des écoulements), les autres secteurs étant étudiés par la méthode hydrogéomorphologique.

3.1 *Choix du modèle numérique de simulation*

Dans le cadre de l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation, la crue de référence retenue est soit la crue centennale soit la plus forte crue vécue si celle-ci est supérieure à la crue centennale.

La Reyssouze ayant connu une crue supérieure à la crue centennale en octobre 1935, ce sont les débits de cette crue qui ont été pris comme référence pour l'élaboration des zones inondables (Cf. chapitre 2).

Pour ce faire, nous avons construit un modèle numérique de simulation des écoulements. Il s'agit en quelque sorte d'une maquette virtuelle (puisque réalisée sous forme informatique) de la vallée et du lit de la Reyssouze dans laquelle nous injectons le débit d'une crue type octobre 1935 et qui nous permet de simuler les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement.

Dans cette étude, le code de calcul retenu est HEC-RAS 4.1. Ce code de calcul mis au point par l'Hydrologic Engineering Center de l'U.S. Army Corps of Engineers permet de simuler tous types de configurations habituellement rencontrées en rivière : confluence, défluence, seuil, pont, buse, rétention, stockage, déversoir... Les lignes d'eau sont calculées en régime fluvial, critique, torrentiel ou mixte dans les lits mineur et majeur et en régime dynamique (c'est-à-dire en tenant compte des phénomènes transitoires) si nécessaire. Le calcul de base est établi à partir de l'équation de l'énergie. Les pertes d'énergie sont évaluées par frottement (Equation de Manning) et par convergence et divergence des écoulements. L'équation des moments est utilisée dans les situations où le profil de la ligne d'eau varie brusquement. Ces situations incluent les régimes d'écoulement mixte (ressaut hydraulique), les écoulements sous les ponts et les confluences entre plusieurs biefs. Les effets des différentes obstructions comme les ponts, les buses, les seuils ainsi que tous les obstacles présents dans le lit sont considérés dans le calcul.

Enfin, nous ajouterons que ce code de calcul est libre de droit, c'est-à-dire qu'il n'est pas payant. Ainsi, au sein des données informatiques livrées avec

cette étude, nous fournissons également le code de calcul HEC-RAS ainsi que toute la modélisation de la Reyssouze. Il sera possible de réutiliser ultérieurement directement ce modèle sans travail supplémentaire.

3.2 Construction du modèle numérique

Un modèle numérique de simulation des écoulements est constitué de 2 éléments fondamentaux :

- ❑ La géométrie de la rivière, représentée par des profils en travers de la vallée et les sections des ouvrages hydrauliques (ponts) ;
- ❑ Les conditions aux limites (débit de crue, contrôle aval...).

La topographie utilisée dans la présente étude a été relevée par le cabinet SAGE Environnement en septembre 2010 et se trouve complétée par un relevé du cabinet HYDROTOPO en février 2011.

3.3 Calage du modèle numérique

En l'absence de crue majeure récente qui aurait permis un calage à partir de laisses de crue, l'étude s'est basée d'une part sur l'observation de terrain et sur les témoignages relatifs aux crues récentes (d'ampleurs modestes) et d'autre part sur la comparaison des lits d'écoulement avec des catalogues de rugosité calibrée (Roughness Characteristics of Natural Channels USGS),

Les coefficients de Strickler retenus varient entre 18 et 40 en lit mineur et 10 et 20 en lit majeur.

3.4 Conditions aux limites du modèle numérique

Les débits de la crue type octobre 1935 injectés dans le modèle sont ceux indiqués dans le tableau 2.8 du chapitre 2.5.

En limite aval du modèle, la condition retenue est le niveau de la Saône à Pont de Vaux pour un débit de crue décennale, soit une cote de 174.73 m NGF.

3.5 Simulation de la crue de référence

3.5.1 Description du fonctionnement hydraulique

Pour une crue type octobre 1935 avec la configuration et la géométrie actuelles du lit de la Reyssouze, le fonctionnement hydraulique de la Reyssouze d'amont à l'aval obtenu par la simulation hydraulique est présenté dans les paragraphes suivants (de l'amont vers l'aval).

3.5.1.1 Commune de Montagnat

- ❑ Au hameau la Ravary : inondation des habitations en amont du franchissement du chemin de la Ravary, voirie submergée entre le hameau et le carrefour avec le chemin de la fruitière.
- ❑ Au hameau la Cra : inondation en lit majeur droit de la 1^{ère} rangée d'habitations (impasse du bief) et en lit majeur gauche du parking des terrains de sport. L'écoulement dans le parking rejoint le thalweg drainant les eaux du bois des Crets. Le chemin de la Craz est inondé ainsi que les deux habitations les plus basses en aval de celui-ci.
- ❑ Au pont de la RD 23, l'écoulement est débordant sur la route au niveau d'un méandre de la rivière. Ce carrefour est également inondable par les eaux du ruisseau le Clartant.
- ❑ Au moulin de Noirefontaine, le remous généré par le pont inonde les habitations du lotissement situées à l'Ouest de l'impasse du bois des Crêt.
- ❑ Le projet de rocade a été intégré : le remous provoqué est inférieur à 10 cm au droit du projet et la zone d'influence s'arrête en aval du pont du chemin du moulin de Noirefontaine.

3.5.1.2 Commune de Bourg en Bresse

- ❑ Au droit de la zone de loisirs de Bouvent : inondation des bâtiments, du chemin et de la partie basse du parking en lit majeur gauche. En lit majeur droit, l'écoulement inonde partiellement un lotissement ainsi que le chemin de Curtrafray.
- ❑ En amont du pont SNCF, inondation des habitations situées en lit majeur droit.
- ❑ En aval du pont SNCF, inondation de la zone d'activité en rive droite et de la rue Auguste Renoir.

Vannes de Penessuy :

- ❑ Au niveau de la diffluence des vannes de Penessuy, le débit de la crue type octobre 1935 est de 75 m³/s. En fonctionnement normal, la gestion du vannage est la suivante (selon le SIAERA) :
 - vanne du canal de l'Oise ouverte,
 - vanne du canal des Moulins fermée.

- ❑ La répartition du débit est la suivante :
 - Canal de l'Oise : 37 m³/s soit 49 % du débit,
 - Canal des Moulins : 38 m³/s soit 51 % du débit.

Le débit dans le canal des Moulins est dû à la hauteur d'eau importante au-dessus des vannes, qui permet à l'écoulement de transiter par le lit majeur gauche, rejoignant le canal en aval de la vanne.

- ❑ Le dysfonctionnement de la vanne des Moulins a été étudié (vannes des Moulins ouverte) avec le résultat suivant, en terme de répartition des débits :
 - Canal de l'Oise : 40 m³/s soit 53 % du débit.
 - Canal des Moulins : 35 m³/s soit 47 % du débit.

En cas de dysfonctionnement, la répartition du débit varie faiblement avec seulement 3 m³/s en supplément pour le canal des Moulins : en aval le niveau d'eau est rehaussé au maximum de 5 cm jusqu'au parc des Baudières.

Canal des Moulins

- ❑ Le débordement en lit majeur gauche effleure la digue protégeant les habitations situées sous la rue des sources.
- ❑ Le centre commercial Carrefour est inondé avec une hauteur d'eau comprise entre 0,5 et 1 m d'eau.
- ❑ Au parc des Baudières, les ouvrages situés sous le collège et sous le boulevard Charles de Gaulle sont saturés, ayant pour conséquence un remous en amont qui inonde le Parc des Baudières.
 - L'écoulement débordant se diffuse en direction du Nord et inonde les lotissements rue du Dr Touillon et rue des Baudières puis traverse la rue Amédée Mercier.
 - L'écoulement se diffuse ensuite en direction du carrefour de l'avenue des sports et du boulevard John Kennedy (L'écoulement rejoint principalement le canal de l'Oise par le centre commercial Casino situé en point bas).

- ❑ En aval du collège, inondation du quai Henri Groboz en lit majeur gauche et des zones loties en lit majeur droit qui forment une zone de stockage.
- ❑ Au pont de la rue Charles Robin, inondation de la rue Charles Robin et l'allée de Challes. L'écoulement de la rue Charles Robin se dirige ensuite dans la rue Bernard au Nord jusqu'en direction du Champ de Foire.
- ❑ En aval du moulin des Halles, inondation de l'allée de Challes puis du Champ de Foire en aval. En aval, la confluence avec le canal de l'Oise provoque un débordement généralisé en lit majeur gauche sur le Champ de Foire.
- ❑ L'écoulement traversant le Champ de Foire rejoint le carrefour entre le boulevard André Lévrier et l'avenue Maginot puis inonde la zone lotie située entre le rue Gabriel Vicaire et le boulevard Edouard Herriot ainsi que la zone lotie au Nord de la rue Edouard Herriot.

Canal de l'Oise

- ❑ En aval de la vanne, inondation en rive gauche du tènement industriel, et en rive droite de l'aire des gens du voyage et du bâtiment d'Emmaüs.
- ❑ La rue des Prés de Brou est inondée ainsi que le lotissement en rive droite un peu plus en aval. En rive gauche, le tènement industriel ainsi que le parking du centre commercial Leclerc sont inondés. A noter la présence d'un écoulement diffus passant par l'avenue Pablo Picasso au niveau du parking du centre commercial Leclerc.
- ❑ La rue Croix Blanche est inondée ainsi que la mosquée en rive droite et le parc en rive gauche (parc protégé par une digue, submergée par l'aval). En aval, le lit majeur droit est inondé par une forte hauteur d'eau (supérieure à 1 m par endroits) occasionnée par la mise en charge du pont de la rue des Dimes recevant également les eaux provenant du Dévora.
- ❑ Le pont de l'avenue de Challes est mis en charge, inondant la rue ainsi que les terrains de sport en lit majeur droit.

Vannage des deux saules

- ❑ Le vannage des deux saules, du fait du débordement à travers le Champ de Foire, ne reçoit pas la totalité du débit de crue de la Reyssouze : 60 m³/s environ.
- ❑ En fonctionnement normal, la gestion du vannage est la suivante :
 - vanne du bras de Challes ouverte.
 - vanne du canal des Moulins fermée.
- ❑ La répartition du débit est la suivante :
 - Bras de Challes : 39 m³/s soit 65 % du débit.
 - Canal des Moulins : 21 m³/s soit 35 % du débit.

- ❑ Le dysfonctionnement de la vanne des Moulins a été étudié (vannes des Moulins ouverte) mais sur ce site, la gestion de cette vanne n'a pas d'influence sur le débit de crue. En crue, le débit dans le canal des Moulins est limité par le pont de l'avenue Maginot.

Canal des Moulins

- ❑ Le pont de l'avenue Maginot est limitant pour le débit du canal des Moulins, provoquant une inondation des habitations situées en rive droite et en rive gauche en amont de l'avenue. Un écoulement débordant emprunte l'avenue en direction du Nord où il est rejoint par un écoulement débordant du bras de Challes.
- ❑ Un écoulement inonde également la rue des Blanchisseurs jusqu'en direction du passage sous la voie SNCF.
- ❑ En aval du pont du boulevard Edouard Herriot, inondation du boulevard et de la rue du Pont des Chèvres en direction du passage sous la voie SNCF : inondation des terrains à l'Ouest de la rue des Chèvres et des terrains situés entre la rue Auguste Perrodin et le remblai SNCF.
- ❑ En aval de la voie SCNF : inondation du tènement Renault par retour des eaux dans la Reyssouze, issues du passage sous la voie SNCF.

Bras de Challes

- ❑ Un débordement se produit en amont du pont SCNF (ouvrage limitant par la présence des passerelles) dans le lit majeur gauche : des habitations ainsi qu'un tènement industriel sont inondés. L'écoulement rejoint les eaux de l'avenue Maginot puis passe sous la voie SNCF pour se diffuser ensuite dans toute la zone industrielle dans laquelle se produit un écoulement diffus.
- ❑ En aval du pont SNCF, quelques bâtiments industriels situés en contrebas du canal (présence de digue) sont inondés.

3.5.1.3 Commune de Viriat

- ❑ Un écoulement débordant se produit à travers les lotissements situés entre la rue de Majornas et la Reyssouze qui alimente le bief du Navon.
- ❑ **Vannage de Fleyriat** : En fonctionnement normal la vanne est abaissée (dispositif anti-crue, source SIAERA). Le dysfonctionnement de la vanne a été étudié (vanne levée à la cote 219.20 m. Le résultat est la rehausse du niveau d'eau à l'amont de la vanne de l'ordre de 10 à 15 cm.
- ❑ Au droit de la vanne, un débordement inonde le lotissement situé en rive gauche puis le lit majeur gauche en aval (lieu-dit Majornas).
- ❑ En amont du pont de la rocade Nord, inondation de la station d'épuration et des zones loties en lit majeur gauche.

- ❑ A l'aval du pont de la rocade, un bras se crée dans le lit majeur gauche et rejoint le lit de la Reyssouze entre le Moulin de Champagne et le Moulin de Riondaz.
- ❑ Le pont du chemin du Moulin de Champagne est en charge, provoquant l'inondation de la voirie.
- ❑ Le pont du chemin du Moulin de Riondaz est en charge, inondant la voirie et la casse automobile. L'écoulement débordant en lit majeur droit crée un bras secondaire qui inonde la zone industrielle et les terrains de sport du lieu-dit « les Baisses ».
- ❑ Le pont du chemin du Moulin Peloux est en charge, provoquant l'inondation de la voirie en lit majeur droit.

3.5.1.4 Commune d'Attignat

- ❑ Le pont du chemin du Bret est en charge, provoquant l'inondation de la voirie en lit majeur droit : la limite de la zone inondable remonte jusqu'en limite du hameau des Cordiers.
- ❑ Le pont de la route de Viriat est en charge : inondation de la voirie et du hameau les Bois Blancs en amont.

3.5.1.5 Commune de Cras sur Reyssouze

- ❑ La zone inondable remonte jusqu'à la route des Puthods en rive droite. Un débordement se crée au hameau des Puthods ; l'écoulement contourne ensuite les habitations en bord de route, traverse le chemin des lacs et la route de Villeneuve avant de rejoindre la Reyssouze en traversant le bourg par la rue Bernard.
- ❑ Les habitations situées en bordure de la Reyssouze sont généralement hors d'eau sauf pour les anciennes habitations dont le terrain n'a pas été surélevé. Le hameau « les Ponthus » est inondé.
- ❑ Dans le lit majeur droit, la zone inondable du Barton et du Salençon sont très étendues compte tenu de la topographie peu marquée de la vallée à cet endroit.

3.5.1.6 Commune de Malafretaz

- ❑ La digue formée par la RD 28 crée une large zone inondable en amont. La présence de nombreux ouvrages en rive droite génère un écoulement important dans le lit majeur droit dissocié du lit mineur en aval de la route.
- ❑ La RD 28 est inondée ainsi que le hameau la Citerne et les terrains de sport à l'amont.

- ❑ A l'aval de la RD 28, le hameau les basses Vavres est situé en zone inondable ainsi que le parking et les logements situés en aval du Moulin Neuf. Le camping, dont l'accès est coupé, est situé hors zone inondable.

3.5.1.7 Commune de Montrevel

- ❑ La digue formée par la RD 1a crée une large zone inondable en amont. La présence de nombreux ouvrages en rive droite génère un écoulement important dans le lit majeur droit dissocié du lit mineur en aval de la route.
- ❑ La RD 1a est inondée ainsi que la station d'épuration à l'aval du Moulin de Césille.

3.5.1.8 Commune de St-Julien-sur-Reyssouze

- ❑ La présence de plusieurs ouvrages (pont de la RD 975 et digue en amont) crée un remous qui inonde l'allée de Montmerle en lit majeur gauche.
- ❑ A l'aval du pont de la RD 975, la 1^{ère} rangée d'habitations, située en rive droite, est inondée.
- ❑ Les ouvrages de la RD 975 et de la RD 1 ne sont pas en charge. A l'aval du pont de la RD 1, l'écoulement inonde des jardins en lit majeur droit ainsi que la station d'épuration.

3.5.1.9 Commune de Mantenay-Montlin

- ❑ Les ouvrages de la route du moulin de Mantenay sont en charge, provoquant l'inondation de la voirie en lit majeur droit. En amont, les habitations les plus basses du hameau les Rentes sont inondées.

3.5.1.10 Commune de Pont de Vaux

- ❑ Les ouvrages de la RD 25 en aval du Moulin de Corcelles permettent le transit de la crue sans mise en charge.
- ❑ En aval, la limite de zone inondable borde les habitations situées sous la RD 25.
- ❑ Le pont de la RD 933 n'est pas en charge malgré la condition aval de la Saône prise en compte (cote 174.73 m). En amont du pont, les enjeux inondés sont :
 - Le lotissement en lit majeur droit (impasse le Grand Pré),
 - Les terrains situés entre la RD 28 et la Reyssouze à l'amont immédiat du pont,

- Les bâtiments situés entre la Reyssouze et la RD 933 en lit majeur gauche.
- Un écoulement diffus peut se produire à travers l'accès à l'hôtel, sur la RD 933.

3.5.2 Résultats de simulation

Les résultats de simulation sont fournis en annexe 6.

Sont représentés :

- Les tableaux de résultats,
- Les profils en long,
- Les profils en travers.

Chapitre 4 Cartographie

La cartographie des zones inondables de la Reyssouze regroupe deux approches distinctes :

- ❑ Sur les secteurs à enjeux, la zone inondable a été définie par l'analyse hydraulique décrite dans le chapitre précédent.
- ❑ Sur les secteurs sans enjeu majeur, la zone inondable a été définie par analyse hydrogéomorphologique.

4.1 Cartographie par analyse hydraulique

4.1.1 Hauteurs de submersion et vitesses d'écoulement

Les résultats de simulation ont été traduits sous forme cartographique pour représenter le risque inondation.

La simulation hydraulique de la crue de la Reyssouze fournit à chaque profil en travers le niveau d'eau atteint par la crue ainsi que le champ de vitesse des écoulements.

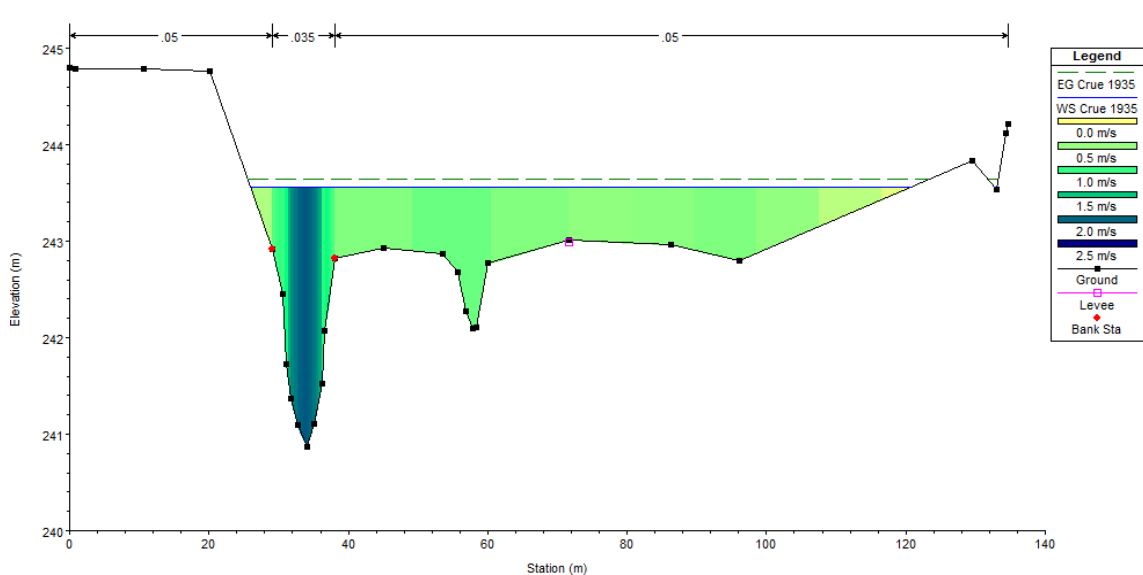


Figure 4-1 : Exemple de champ de vitesse des écoulements

La cartographie des hauteurs de submersion est obtenue en croisant l'information hydraulique (hauteur d'eau à chaque profil en travers) avec l'information topographique, de manière à reporter en vue en plan le contour des différentes classes de hauteurs de submersion.

De même pour les vitesses d'écoulement, à travers l'examen du champ de vitesse, le profil en travers est décomposé en zones, en fonction des classes de vitesses d'écoulement. Les résultats sont ensuite extrapolés entre chaque profil en travers afin d'obtenir une vue en plan des différentes classes de vitesses d'écoulement.

Les classes retenues sont les suivantes :

□ Pour les hauteurs de submersion :

- ✓ $H < 0,5$ m : hauteur faible
- ✓ $0,5$ m $< H < 1$ m : hauteur moyenne
- ✓ $H > 1$ m : hauteur forte

□ Pour les vitesses d'écoulement :

- ✓ $V < 0,2$ m/s : vitesse faible
- ✓ $0,2$ m/s $< V < 0.5$ m/s : vitesse moyenne
- ✓ $V > 0.5$ m/s : vitesse forte

La cartographie (cf. annexe 2 pour les hauteurs et annexe 3 pour les vitesses) a été établie sur fond cadastral au 1/5 000^e sur les zones modélisées (cartes 1 à 9) et au 1/10 000^e sur les zones définies par hydrogéomorphologie (carte 0).

4.1.2 Aléas

La cartographie des aléas de la Reyssouze a été obtenue par croisement des informations hydrauliques de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement selon la grille présentée ci-dessous.

Vitesse \ Hauteur (H)	0 < V < 0.2 m/s Faible (stockage)	0.2 m/s < V < 0.5 m/s Moyenne (écoulement)	V > 0.5 m/s Forte (grand écoulement)
H < 0.50 m	Faible	Moyen	Fort
0.5 < H < 1 m	Moyen	Moyen	Fort
H > 1 m	Fort	Fort	Fort

Figure 4-2 : Grille des aléas

La cartographie (cf. annexe 4) a été établie sur fond cadastral au 1/5 000^e sur les zones modélisées (cartes 1 à 9) et au 1/10 000^e sur les zones définies par hydrogéomorphologie (carte 0).

4.2 Cartographie par analyse hydrogéomorphologique

4.2.1 Définition des secteurs

Les secteurs où la zone inondable a été définie par analyse hydrogéomorphologique sont les suivants :

□ Cartographie de la zone inondable de la Reyssouze

- ✓ secteur amont depuis la source (commune de Tossiat) jusqu'à la confluence avec la Leschère.
- ✓ secteur entre le Moulin de la Vavre (commune de Jayat) et « le Charret » (commune de St-Julien-sur-Reyssouze).
- ✓ secteur entre le Moulin de Mantenay (commune de Mantenay-Montlin) et le Moulin de Corcelles (commune de Gorrevod).

□ Cartographie des affluents :

- ✓ La Leschère
- ✓ La Vallière

- ✓ Le bief du Navon
- ✓ Le Jugnon
- ✓ Le Barton
- ✓ Le Salençon
- ✓ Le bief de la Gravière
- ✓ Le Reyssouzet
- ✓ Le bief de Rouillet
- ✓ Le bief d'Augiors
- ✓ Le bief de l'Enfer
- ✓ Le bief d'Ouche
- ✓ Le bief de Rollin

4.2.2 *Méthodologie*

L'analyse hydrogéomorphologique de la Reyssouze s'est appuyée sur :

- ❑ l'étude des cartes IGN et géologique
- ❑ l'étude des photos aériennes
- ❑ une reconnaissance de terrain

Compte tenu de la forte anthropisation de la vallée de la Reyssouze, la reconnaissance de terrain a été prépondérante pour la délimitation de la zone inondable par hydrogéomorphologie.

Une analyse préalable a été menée sur les cartes IGN et géologique afin de visualiser l'emprise maximale du lit majeur inondable, ensuite affinée sur le terrain.

Les différents éléments qui ont été relevés sont les suivants :

- ❑ **Lit mineur** : lit mineur de la Reyssouze anthropisé qui a été dévié par endroits (tronçons canalisés) afin de diriger l'écoulement de la Reyssouze vers les moulins.
- ❑ **Ancien lit mineur** : lit mineur naturel de la Reyssouze situé en fond de vallée où subsistent des écoulements issus du drainage de la vallée.
- ❑ **Bras de décharge** : canaux secondaires créés afin de décharger la Reyssouze en crue.
- ❑ **Bras secondaire** : zone d'écoulement préférentiel en crue identifiée sur le terrain lors de la crue du 07/01/2011.
- ❑ **Lit majeur inondable** : zone inondable de la Reyssouze défini par analyse hydrogéomorphologique.

- ❑ **Talus net** : Talus marqué entre le fond de vallée et le versant servant de délimitation de zone inondable.
- ❑ **Talus peu net** : Talus peu marqué (pente faible) servant de délimitation de zone inondable.
- ❑ **Digue** : Digue située dans la zone inondable de la Reyssouze (route surélevée, digues des tronçons canalisés).
- ❑ **Pont**
- ❑ **Seuil**
- ❑ **Moulin**

4.2.3 Résultats

La cartographie des zones inondables relevées par hydrogéomorphologie est présentée sur les cartes 0, 6, 8 et 9.

4.3 Enjeux

La cartographie des différents enjeux présents en zone inondable distingue les éléments suivants :

- ❑ **Les zones urbanisées,**
- ❑ **Les zones d'équipements / infrastructures** (routes, station d'épuration, camping),
- ❑ **Les zones agricoles / naturelles,**
- ❑ **Les zones de loisirs** (Zone de Bouvent, terrains de sports).

La cartographie des enjeux a été établie sur fond cadastral à l'échelle du 1/5 000^e (cf. annexe 5).