



Direction départementale des territoires de l'Ain
23 rue Bourgmayer – CS 90410
01012 BOURG-EN-BRESSE Cedex
www.ain.gouv.fr

Etude hydraulique et cartographie de l'aléa inondation de l'Ain entre le barrage d'Allement et le Rhône

Rapport de phase 1 : Enquête et phénomènes naturels

CONSULTING

Hydraulique fluviale

Nanterre

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'Île - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safege.com

Version 7
Avril 2018
16DHF017



Sommaire

1.....	Préambule.....	1
1.1	Contexte et objectifs de l'étude.....	1
1.2	Zone d'étude.....	3
1.3	Déroulement de l'étude.....	6
2.....	Enquête auprès des communes.....	7
2.1	Démarche adoptée.....	7
2.2	Réponses au questionnaire.....	7
2.3	Entretien avec les communes.....	8
2.4	Données collectées auprès des communes.....	12
3.....	Collecte de données auprès des partenaires de l'étude.....	13
3.1	Démarche adoptée.....	13
3.2	Données collectées.....	13
4.....	Levés bathymétriques et topographiques.....	20
4.1	Levés bathymétriques terrestres.....	20
4.2	Levés LIDAR aérien.....	23
4.3	Levés complémentaires.....	26
5.....	Hydrologie.....	29
5.1	Crues historiques.....	29
5.2	Caractérisation des sous bassins versants.....	30
5.3	Analyse pluviométrique.....	32
5.4	Analyse hydrologique.....	39
5.5	Influence du barrage de Vouglans sur les débits.....	51
5.6	Débits de référence pour notre zone d'étude.....	53
5.7	Hydrogrammes synthétiques.....	55

Tables des illustrations

Figure 1. Couverture actuelle en plans de prévention des risques naturels sur la zone d'étude (PPRn) - Source DDT 012	
Figure 2. Carte des communes de la zone d'étude	5
Figure 3. Carte des communes rencontrées en entretien	8
Figure 4. Carte des arrêtés de catastrophe naturelle du 16/03/1990 pour la crue de février 1990	16
Figure 5. Carte des arrêtés de catastrophe naturelle recensés par commune et leurs dates respectives pour le risque « inondations et coulées de boue »	17
Figure 6. Localisation des levés terrestres réalisés par HYDROTOPO.....	21
Figure 7. Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druillat (Confluence Suran).....	23
Figure 8. Visualisation 3D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druillat (Confluence Suran).....	24
Figure 9. Visualisation 2D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine).....	24
Figure 10. Visualisation 3D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine).....	25
Figure 11. Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain.....	25
Figure 12. Localisation des laisses de crue et des ouvrages levés par HYDROTOPO	27
Figure 13. Exemple de coupes des ouvrages levés sur l'Ain	28
Figure 14. Bassins versants de la zone d'étude	31
Figure 15. Stations pluviométriques Météo France exploitées dans l'étude	32
Figure 16. Courbe hauteur d'eau-durée-fréquence pour le bassin versant de l'Ain à Chazey-sur-Ain pour sa durée caractéristique.....	35
Figure 17. Stations hydrométriques de la Banque Hydro exploitées dans l'étude	40
Figure 18. Calcul des débits naturels de l'Ain par une loi de Gumbel	43
Figure 19. Calcul des débits influencés de l'Ain par une loi de Gumbel	43
Figure 20. Extrapolation par la méthode du Gradex	45
Figure 21. Méthode de transposition par la formule de Myer	50
Figure 22. Hydrogramme HSMF de l'Ain au droit de la station de Chazey-sur-Ain - Débits influencés calculés par la méthode du gradex progressif pour 1 jour	55
Figure 23. Hydrogramme analytique de l'Ain à Chazey-sur-Ain et transposé en entrée du modèle - Débits influencés calculés par la méthode du gradex progressif pour 1 jour sauf pour Q100	57
Figure 24. Comparaison des hydrogrammes HSMF et SOCOSE pour l'Ain	58
Figure 25. Hydrogramme analytique du Suran à la station de Pont d'Ain	59
Figure 26. Hydrogramme analytique de l'Albarine à la station de Saint-Denis-en-Bugey	60
Figure 27. Hydrogramme analytique du Veyron	61
Figure 28. Hydrogramme analytique du Toison à la station de Rignieux-le-Franc	62

Table des tableaux

Tableau 1. Communes de la zone d'étude	3
Tableau 2. Arrêtés de catastrophes naturelles - Source : Base de données GASPAR	14
Tableau 3. Récapitulatif des levés terrestres réalisés par HYDROTOPO	20
Tableau 4. Caractéristiques des laisses de crue relevées	26
Tableau 5. Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude	30
Tableau 6. Lame d'eau pour une pluie de 1 jour pour la station de Cerdon et de Chatillon-la-Palud – méthode du renouvellement – Source : Météo France	33
Tableau 7. Gradex des lames d'eau aux 2 stations pour une pluie de 1 jour	33
Tableau 8. Coefficients de Montana à Ambérieu pour 2 gammes de durée de pluies – Source : Météo France	34
Tableau 9. Calcul des lames d'eau pour une pluie de durée 24h, 40h et 48h à Ambérieu	34
Tableau 10. Gradex des pluies du bassin versant de l'Ain – Source : Etude globale du Rhône – Volet hydrologie, SAFEGE, IRS, 2000.....	35
Tableau 11. Lame d'eau maximale sur 1 jour et sur 2 jours par année pour 4 bassins versants – Source : SPC, données Météo France.....	36
Tableau 12. Gradex des lames d'eau pour 4 bassins versants de la zone d'étude déterminés à partir d'une loi Gumbel – Source : données SPC et Météo France	37

Tableau 13. Gradex des pluies des bassins versants des affluents.....	38
Tableau 14. Gradex des pluies des bassins versants des affluents.....	38
Tableau 15. Récapitulatif des gradex des pluies des bassins versants de l'Ain et des affluents	38
Tableau 16. Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude	39
Tableau 17. Débits de pointe maximaux annuels - Source : étude SOGREAH 1998.....	41
Tableau 18. Gradex des débits naturels et influencés de l'Ain à Chazey-sur-Ain déterminés par une loi Gumbel.....	42
Tableau 19. Débits naturels calculés au droit de la station de Chazey-sur-Ain	42
Tableau 20. Détermination des débits naturels de crue de l'Ain par la méthode du Gradex à la station de Chazey-sur-Ain	46
Tableau 21. Détermination des débits influencés de crue de l'Ain par la méthode du Gradex à la station de Chazey-sur-Ain	47
Tableau 22. Détermination des débits de crue du Suran par la méthode du Gradex à la station de Pont d'Ain	49
Tableau 23. Détermination des débits de crue de l'Albarine par la méthode du Gradex à la station de Saint-Denis-en-Bugey	49
Tableau 24. Détermination des débits de crue du Toison par la méthode du Gradex à la station de Rignieux-le-Franc 50	
Tableau 25. Détermination des débits de crue du Toison par la méthode du Gradex à la station de Rignieux-le-Franc par transposition du bassin versant du Toison et de l'Albarine	51
Tableau 26. Récapitulatif des débits calculés pour les affluents	53
Tableau 27. Débits de l'Albarine et du Surand dans la bibliographie	53
Tableau 28. Récapitulatif des débits calculés pour l'Ain	54
Tableau 29. Débits de référence pris en compte	54
Tableau 30. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – L'Ain	56
Tableau 31. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – Le Suran.....	59
Tableau 32. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – L'Albarine	59
Tableau 33. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – Le Veyron.....	60
Tableau 34. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – Le Toison	61

Table des annexes

Annexe 1 Questionnaire envoyé aux communes

Annexe 2 Compte-rendu des entretiens avec les communes

1 PREAMBULE

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

La présente étude a pour objet de réaliser la cartographie de l'aléa inondation de l'Ain dans le cadre du Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRi) de l'Ain. SAFEGE a été mandaté par la Direction Départementale des Territoires (DDT) de l'Ain pour cette étude.

La zone d'étude est déjà couverte par des PPR naturels (inondation, inondation et crue torrentielle, inondation, crue torrentielle et glissement de terrain, chute de blocs). La Figure 1 page suivante permet d'identifier les PPR actuels.

Les études existantes de 1980 et 1988 sur les inondations d'une crue centennale de l'Ain ont été mise à jour en 1999. Cette étude date de 16 ans et les progrès effectués depuis en termes de caractérisation du terrain (topographie) et de modélisation hydraulique invitent à actualiser les études existantes.

La DDT souhaite donc faire évoluer les PPR existants en se basant sur un aléa de référence plus fiable et en réadaptant les règlements qui correspondent à la première génération de PPR nécessitant une mise à jour.

De plus, dans le cadre de la mission référent départemental inondation (RDI), il est nécessaire d'étudier des crues plus fréquentes que la crue centennale et de disposer des cartographies d'enveloppe d'inondation associées à ces occurrences de crue.

Comité de suivi de l'étude d'aléa inondation de l'Ain et de ses affluents
Couverture actuelle en plans de prévention des risques naturels (PPRn)

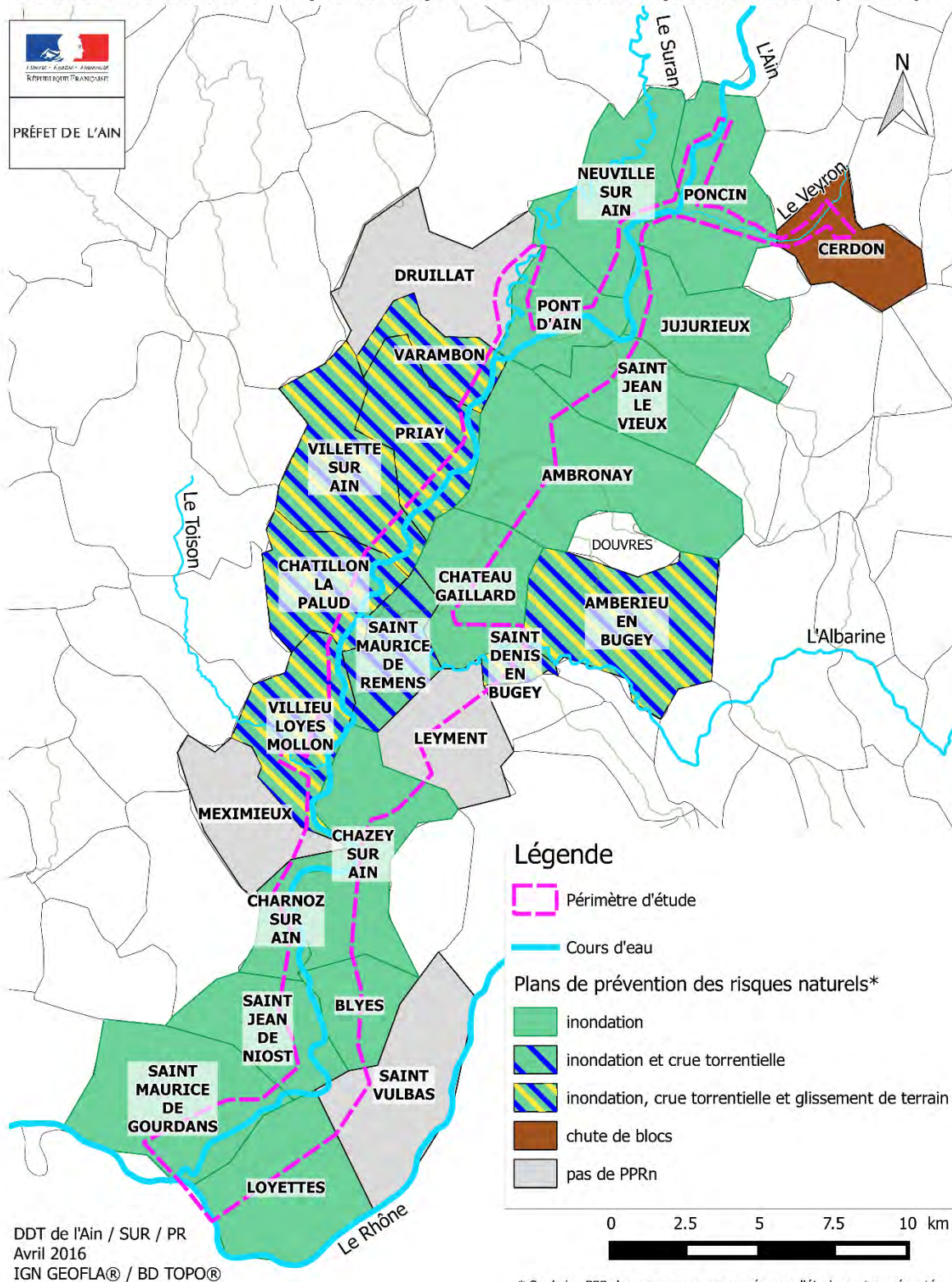


Figure 1. Couverture actuelle en plans de prévention des risques naturels sur la zone d'étude (PPRn) - Source DDT 01

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- **Acquérir, dans le cadre du volet topographique, les données nécessaires à la mise en œuvre d'une modélisation hydraulique de la vallée de l'Ain et du débouché des quatre affluents** présents sur le secteur d'étude (Veyron, Suran, Albarine, Toison) en distinguant :
 - Les levés en lit majeur réalisés en technologie LIDAR,
 - Les levés terrestres, destinés à recueillir les informations manquantes en lit mineur des affluents,
- **Réaliser une enquête de terrain et auprès des communes** de façon à recueillir l'information disponible sur les crues historiques et à comprendre en détail le fonctionnement hydraulique du secteur d'étude,
- **Réaliser une étude hydrologique** destinée à caractériser les crues fréquentes à exceptionnelles,
- **Développer, caler et valider un modèle hydraulique du secteur d'étude**, qui permette de mener de façon réaliste le volet cartographique de l'étude,
- **Elaborer les cartographies des zones inondables et des hauteurs correspondantes** pour chacune des crues étudiées,
- **Elaborer les cartographies des vitesses d'écoulement et de l'aléa inondation** pour la crue de référence,
- **Modifier localement les cartes obtenues** pour tenir compte en particulier des phénomènes de remous ou des zones protégées par les digues,
- **Disposer en définitive de documents cartographiques** qui vous permettent de passer au stade de l'enquête publique en vue de la réalisation du PPRi.

1.2 Zone d'étude

Le périmètre d'étude concerne les 26 communes riveraines de l'Ain ou de l'un de ces 4 affluents le Veyron, le Suran, l'Albarine et le Toison. Ce secteur correspond au linéaire de l'Ain compris entre le barrage d'Allement et le Rhône. Les communes sont listées dans le tableau ci-dessous, et leur localisation est présentée sur la carte ci-après.

Tableau 1. Communes de la zone d'étude

Code INSEE	Nom de la commune	Superficie (km ²)	Population (INSEE 2013)
01004	Amberieu-en-Bugey	2451	14888
01007	Ambronay	3364	2618
39058	Blyes	929	170
1068	Cerdon	1201	762
01088	Charnoz-sur-Ain	653	943
01089	Château-Gaillard	1612	1994
01092	Chatillon-la-Palud	1410	1657
01099	Chazey-sur-Ain	2222	1581
01151	Druillat	2083	1174
01199	Jujurieux	1553	2212
01213	Leyment	1433	1265
01224	Loyettes	2135	3142

Code INSEE	Nom de la commune	Superficie (km ²)	Population (INSEE 2013)
1244	Meximieux	1363	7589
01273	Neuville-sur-Ain	1994	1665
01303	Poncin	1986	1730
1304	Pont-d'Ain	1125	2783
01314	Priay	1574	1626
1345	Saint-Denis-en-Bugey	260	2243
01361	Saint-Jean-de-Nios	1411	1461
01363	Saint-Jean-le-Vieux	1520	1747
01378	Saint-Maurice-de-Gourdans	2555	2508
01379	Saint-Maurice-de-Rémens	1039	747
01390	Saint-Vulbas	2162	1082
01430	Varambon	798	538
01449	Villette-sur-Ain	1985	701
01450	Villieu-Loyes-Mollon	1585	3415



Figure 2. Carte des communes de la zone d'étude

1.3 Déroutement de l'étude

L'étude se divise en 2 parties :

- 1^{ère} partie :
 - ▷ phase 1 : Levés topographiques LIDAR
 - ▷ phase 2 : Levés bathymétriques des cours d'eau
 - ▷ phase 3 : Recherche de données existantes sur les crues, visite terrain
 - ▷ phase 4 : Hydrologie
- 2^{ème} partie :
 - ▷ phase 5 : Modèle hydraulique
 - ▷ phase 6 : Cartographie

Le présent document constitue le rapport de la 1^{ère} partie de l'étude et porte sur la collecte des données, aux levés topographiques et à l'analyse hydrologique.

L'élaboration de cette 1^{ère} partie repose sur les étapes suivantes :

- **Collecte des données disponibles sur les crues auprès des différents acteurs sur le territoire, notamment les communes et les partenaires institutionnels : ces données incluent des repères et laisses de crues, des contours représentant la limite des inondations passées, des photos des crues, des témoignages de riverains des rivières ou de toute autre personne ayant une connaissance historique sur les crues,...** ;
- **Visite de terrain permettant de vérifier ou de compléter les données collectées ;**
- **Levés topographiques et bathymétriques ;**
- **Caractérisation de l'hydrologie de crue de l'Ain entre le barrage d'Allement et le Rhône et des 4 affluents (Suran, Albarine, Toison et Veyron).**

2 ENQUETE AUPRES DES COMMUNES

2.1 Démarche adoptée

- **Comité de suivi associant les collectivités (communes, communautés de communes, SCoT), les syndicats de rivières et EDF (qui s'est réuni le 11/04/2017) ;**

Au démarrage de l'étude, une réunion associant les collectivités (communes, communautés de communes, SCoT), les syndicats de rivières et EDF s'est tenue à Pont d'Ain le 11 avril 2016 pour exposer le déroulement de l'étude

- **Réunion publique de présentation du PPRi aux communes de la zone d'étude**

A la suite de la réunion de lancement, une réunion publique s'est tenue à Pont d'Ain le 01/06/16.

- **Envoi d'un questionnaire à l'ensemble des communes**

Un questionnaire d'enquête relatif aux problèmes d'inondation sur le territoire a été transmis par courrier à l'ensemble des communes le 25 avril 2016. Ce questionnaire, après avoir confirmé ou non l'existence de problèmes liés aux inondations par débordement de la rivière sur le territoire communal, s'attache à identifier auprès des communes l'existence de données historiques relatives à ces phénomènes. Le questionnaire est présenté en Annexe 1 du rapport.

A la suite de l'envoi du questionnaire, un certain nombre de relances téléphoniques ou par courrier électronique a été réalisé au cours du mois de mai de manière à maximiser la probabilité de réponse.

- **Entretien sur site avec les communes**

Les communes ont ensuite été contactées par téléphone, qu'elles aient ou non retourné le questionnaire, pour organiser un entretien sur site. Certaines communes ont alors indiqué qu'elles ne souhaitaient pas réaliser de visite sur site car elles ne disposaient pas d'informations supplémentaires à celles données dans le questionnaire et/ou à montrer sur site. Pour 9 communes de la zone d'étude, un entretien s'est tenu avec un ou plusieurs représentant(s) au cours du mois de juin 2016.

L'objectif de ces entretiens était de mieux cerner les problématiques d'inondation sur le territoire communal et notamment de collecter des informations précises quant aux zones ayant subi des inondations (sous la forme de témoignages, de photos ou d'articles de presse par exemple). Ces entretiens se sont accompagnés de visites de terrain généralement avec le(s) représentant(s) des communes.

- **Envoi d'un compte-rendu de l'entretien réalisé pour validation à chaque commune**

À la suite de ces entretiens, des comptes-rendus ont été rédigés présentant les différents points abordés lors des rencontres sur site avec les communes. Ces comptes-rendus ont ensuite été transmis par courrier électronique et soumis aux communes pour avis et validation. Ils sont consultables en Annexe 2 du présent rapport.

Les parties suivantes présentent les différents retours des communes aux sollicitations de SAFEGE.

2.2 Réponses au questionnaire

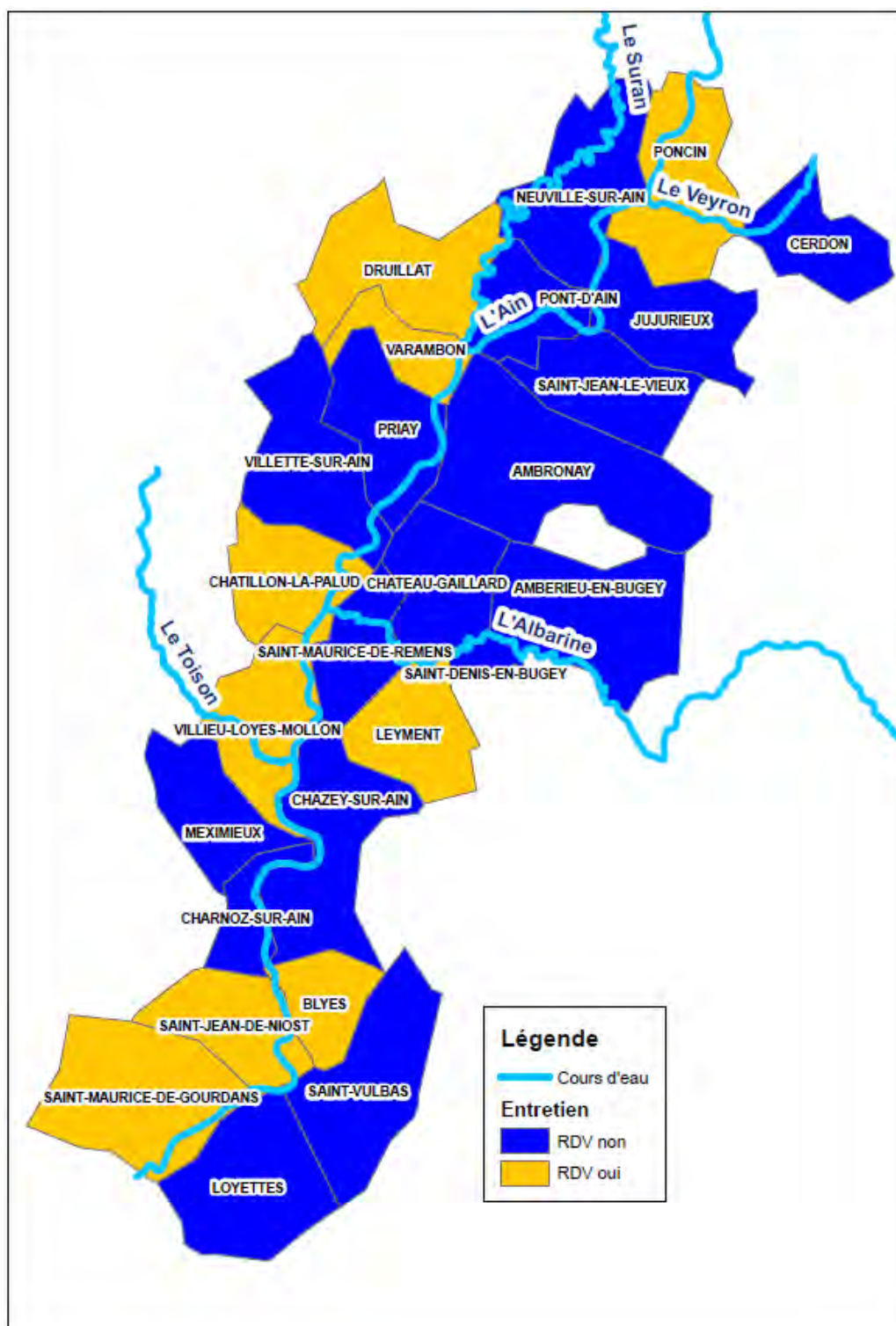
L'ensemble des 26 communes de la zone d'étude ont effectué un retour à SAFEGE concernant le questionnaire.

Lorsque le questionnaire historique n'a pas été renvoyé à SAFEGE, certaines communes ont effectué un retour de connaissance par courrier électronique ou lors des relances téléphoniques. Une demande d'entretien sur site a également été effectuée pour l'ensemble des communes. L'entretien a permis de discuter des réponses apportées ou à apporter au questionnaire et de mieux cerner les problématiques d'inondation sur leur territoire.

2.3 Entretien avec les communes

Cette partie résume les retours des communes concernant leur connaissance du territoire et des événements historiques d'inondations par débordement de cours d'eau. La carte page suivante localise les communes rencontrées en entretien.

Figure 3. Carte des communes rencontrées en entretien



2.3.1 Vulnérabilité des communes aux inondations par débordements de l'Ain et de ses affluents

Les observations fréquentes formulées par les communes, les discussions et visites terrain réalisées, permettent d'envisager une vulnérabilité, en termes d'enjeux, relativement faible aux inondations par débordement de l'Ain et ce, en particulier depuis la création du barrage de Vouglans en 1968-1969.

Il apparaît que les enjeux inondés qui reviennent le plus fréquemment dans le retour des communes sont les terrains de sport, des caves voire des voiries et ne présentent donc pas particulièrement de vulnérabilité.



Néanmoins, il faut noter que la dernière crue ayant entraîné des dommages importants sur les enjeux est celle de 1957. Cette crue peut être comparée à une crue cinquantennale et elle constitue la dernière crue de période de retour relativement élevée (les crues de 1983 et 1990 peuvent être comparées à des crues de période de retour respective 15 et 30 ans. De plus, le barrage de Vouglans était en service lors de ces événements). La mémoire de cette crue et des dégâts qu'elle a pu générer tend à se perdre.

Plusieurs communes ont également parlé des « brotteaux » de l'Ain comme premiers secteurs inondés puisque situés dans la plaine de mobilité latérale du cours d'eau. Les brotteaux étaient aupa avant des zones de prairies (où les vaches pouvaient paître) avec de nombreuses îlons.

La basse vallée de l'Ain, confluence Ain-Rhône (soit 48km de linéaire de cours d'eau) a été classée en zone spéciale de conservation en novembre 2014. Ce site est classé Natura 2000.

Des inondations dues aux affluents ont été rapportées par plusieurs communes. Les communes de Leyment et de Saint-Maurice-de-Rémens sont touchées par les inondations de l'Albarine, Druillat par le Suran et Villieu-Loyes-Mollon par le Toison. La commune de Saint-Maurice-de-Gourdans est également touchée par les inondations du Rhône.

Les crues qui sont le plus souvent citées par les communes sont celles des années suivantes : 1954, 1957, 1984, 1990 et 1991.

2.3.2 Divagation de l'Ain et de ses affluents

De nombreuses remarques ont été formulées par les communes sur des désordres liés à la divagation de l'Ain et de l'érosion des berges que cela peut générer.

De nombreux ouvrages (ou berges) ont dû être repris ou renforcés du fait de l'érosion de l'Ain (le problème du pont de Port Galland à Saint-Maurice-de-Gourdans a été évoqué par exemple).

La commune de Saint-Maurice-de-Gourdans a noté que les habitants de la commune ont une bonne connaissance de l'Ain et ne se sentent pas menacés par ses inondations. L'Ain est, pour cette commune, plus dangereux du fait de ses déplacements que de ses crues.

La commune de Varambon a indiqué que les îles étaient plus végétalisées depuis la création des barrages. Avant leur création, ces îles étaient des bancs de sable découverts uniquement en été.



On peut noter 2 phénomènes de dynamique fluviale de l'Ain :

- Perte de la capacité de la rivière à régénérer d'elle-même les milieux alluviaux (dynamique fluviale), par un déficit de transport solide bloqué en amont par les barrages,*
- Enfouissement de la nappe phréatique, qui s'accompagne d'un assèchement des annexes fluviales, en lien avec l'enfoncement de la rivière et l'utilisation croissante de cette ressource pour les activités humaines,*

Source : Document d'objectifs Natura 2000 des sites n°FR8201645 et FR8201653 « Milieux alluviaux de la basse vallée de l'Ain » - Conservatoire Rhône-Alpes des espaces naturels et Syndicat de la Basse vallée de l'Ain - Juillet 2005

2.3.3 Ouvrages de protection (digue) et inondation par infiltration ou remontée de nappe

Trois communes ont indiqué disposer d'un ouvrage de protection contre les crues sur leur territoire. Il s'agit des communes de Jujurieux (digue de la Bottières), de Pont d'Ain et de Varambon (digue et déversoir de crue en rive gauche de l'Ain).

La commune de Varambon a également observé que des inondations par remontée de nappe ou infiltrations de la digue pouvaient apparaître lors des crues de l'Ain à l'aval de la digue.

La commune de Saint-Maurice-de-Gourdans a également noté des infiltrations par remontée de nappe dans le secteur de l'ancien marais du « Bois de Careys ».

2.3.4 Intégration des zones inondables dans les documents d'urbanisme communaux

Plusieurs communes ont indiqué que les zones inondables du PPRi actuel ont été intégrées dans leurs documents d'urbanisme en tant que zone agricole et/ou zone naturelle.

2.3.5 Remarques des communes sur l'enveloppe du PPRi actuel

Deux communes ont indiqué qu'elles avaient été en désaccord avec les enveloppes de zones inondables du PPRi existant. La commune de Blyes a mentionné que le maire de l'époque avait contesté les enveloppes. Le maire de Saint-Jean-de-Niost s'interroge sur la représentativité du débit de 3000m³/s pris en compte pour la réalisation de ce PPRi, débit qu'il trouve élevé.

Les autres communes rencontrées en entretien sont globalement d'accord avec l'enveloppe du PPRi existant. Plusieurs communes ont complété les cartographies jointes en annexe du questionnaire pour identifier les zones fréquemment inondées ou préciser l'enveloppe des inondations de la crue de 1990 et 1957 majoritairement.

2.4 Données collectées auprès des communes

Lors des entretiens ou via des retours par courrier électronique, les communes nous ont fourni les documents suivants :

- **Blyes** : L'ancien maire M. Bailly a transmis des notes de calculs sur les lignes d'eau réalisées pour le PPRI existant ;
- **Châtillon-la-Palud** : Rapport papier de janvier 2000 « rivière Ain – Diagnostic d'écoulement et aménagement dans la traversée de Châtillon-la-Palud » réalisé par SOGREAH ;
- **Chazey-sur-Ain** : Photos des inondations de l'Albarine en 1999 ;
- **Jujurieux** : Photos et article de journal des inondations de l'Ain en 1999 ;
- **Poncin** : Document relatif à leur PPRI ;
- **Priay** : De nombreux documents ont été transmis (arrêté de catastrophe naturelle, articles de journaux, courriers, photos) à propos du russeau de l'écotay affluent de l'Ain ;
- **Saint-Maurice-de-Rémens** : Un document sur les inondations historiques de la région, des photos des inondations lors de 2 crues de l'Albarine (avril 2008 et février 1990) ;
- **Villieu-Loyes-Mollon** : un extrait de dossier de catastrophe naturelle de décembre 1991 (inondation par l'Ain et le Toison), une note manuscrite de relevés de débits de 1961 à 2016, photos des inondations de 1991 et de 1980.

3 COLLECTE DE DONNEES AUPRES DES PARTENAIRES DE L'ETUDE

3.1 Démarche adoptée

Le 11 avril 2016, une première réunion de comité de suivi de la présente étude s'est tenue à Pont d'Ain. Cette réunion avait notamment pour objectif de récapituler les études et éléments de connaissance qui pourront être mis à disposition et fournir des informations supplémentaires.

De façon générale, les différents partenaires associés à cette étude ont ensuite été contactés par SAFEGE pour récupérer des informations concernant notamment :

- Les données topographiques et bathymétriques disponibles de profils en travers des ouvrages d'art et du lit (mineur et majeur) de la Marne ;
- Toutes informations concernant les crues passées (laises de crue, niveau d'eau,...).

3.2 Données collectées

3.2.1 Arrêtés de catastrophe naturelle

La base de données GASPARD permet de recenser l'ensemble des arrêtés de catastrophes naturelles (arrêtés CATNAT) qui ont été déclarés sur la zone d'étude. Ceux-ci sont présentés dans le tableau 2 par ordre chronologique. Les arrêtés de catastrophes naturelles relatifs aux inondations peuvent concerner 3 types de risque :

- Inondations et coulées de boue ;
- Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain ;
- Inondations par remontées de nappe phréatique.

L'ensemble des arrêtés de catastrophe naturelle relatif aux inondations existants sur la zone d'étude fait référence au risque « inondation et coulées de boue ».

Les coulées de boue sont des risques qui sont généralement associés à des orages et à un phénomène de ruissellement conséquent. Les arrêtés d'inondations et coulées de boue peuvent donc correspondre à des débordements de cours d'eau ou à un événement pluvieux local uniquement. Néanmoins, Il semble probable que les arrêtés concernant un phénomène estival soient liés à des phénomènes de ruissellement et de coulées d'eaux boueuses associés aux orages d'été.

Il est également important de noter que cette base de données ne nous permet pas d'identifier le cours d'eau à l'origine des inondations déclarées en catastrophe naturelle. Ainsi, ces inondations peuvent aussi bien être dues à des débordements de l'Ain ou de ses affluents ou de plusieurs cours d'eau simultanément.

Tableau 2. Arrêtés de catastrophes naturelles - Source : Base de données GASPAP

Commune	Risque	Date de début	Date de fin
Saint-Jean-le-Vieux	Inondations et coulées de boue	24/04/1983	31/05/1983
Blyes	Inondations et coulées de boue	30/04/1983	01/05/1983
Cerdon			
Chazey-sur-Ain			
Jujurieux			
Leyment			
Loyettes	Inondations et coulées de boue	16/05/1983	16/05/1983
Poncin			
Saint-Jean-le-Vieux			
Saint-Vulbas			
Ambronay			
Cerdon	Inondations et coulées de boue	07/05/1985	16/05/1985
Druillat			
Meximieux			
Priay			
Saint-Maurice-de-Gourdans			
Saint-Maurice-de-Rémens	Inondations et coulées de boue	13/02/1990	18/02/1990
Ambérieu-en-Bugey			
Ambronay			
Blyes			
Cerdon			
Charnoz-sur-Ain			
Château-Gaillard			
Chazey-sur-Ain			
Jujurieux			
Leyment			
Loyettes			
Neuville-sur-Ain			
Poncin			
Pont-d'Ain			
Priay			
Saint-Denis-en-Bugey			
Saint-Jean-de-Niost			
Saint-Jean-le-Vieux			
Saint-Maurice-de-Gourdans			
Saint-Maurice-de-Rémens			

Commune	Risque	Date de début	Date de fin
Saint-Vulbas			
Villette-sur-Ain			
Villieu-Loyes-Mollon			
Châtillon-la-Palud			
Ambérieu-en-Bugey	Inondations et coulées de boue	21/12/1991	24/12/1991
Blyes			
Château-Gaillard			
Meximieux			
Poncin			
Saint-Denis-en-Bugey			
Saint-Jean-le-Vieux			
Saint-Maurice-de-Rémens			
Villieu-Loyes-Mollon			
Pont-d'Ain	Inondations et coulées de boue	01/07/1993	01/07/1993
Varambon	Inondations et coulées de boue	05/07/1993	06/07/1993
Meximieux			
Priay			
Varambon	Inondations et coulées de boue	05/10/1993	10/10/1993
Chazey-sur-Ain			
Jujurieux			
Loyettes			
Meximieux			
Villieu-Loyes-Mollon	Inondations et coulées de boue	14/06/2000	14/06/2000
Jujurieux			
Charnoz-sur-Ain	Inondations et coulées de boue	13/07/2006	13/07/2006
Ambronay	Inondations et coulées de boue	10/06/2008	10/06/2008
Jujurieux			
Saint-Jean-le-Vieux			

On peut comparer les événements historiques avec les arrêtés de catastrophe naturelle. Les événements ayant entraîné un nombre conséquent d'arrêtés de catastrophe naturel par communes ont été les plus dommageables pour cette période (1983-2008).

Ainsi, **la crue de février 1990 de l'Ain a entraîné 22 déclarations de catastrophe naturelle soit 85% de l'ensemble de la zone d'étude** (Cf. Figure 4 page suivante). Cette crue est également citée par les communes comme une des crues récentes ayant entraîné le plus de dégâts sur les enjeux.

De la même façon, on peut noter **l'année 1983**, avec 3 épisodes ayant entraîné des arrêtés de catastrophe naturelle (avec 1, 9 et 5 communes ayant un arrêté) et l'année 1991 avec 9 communes.

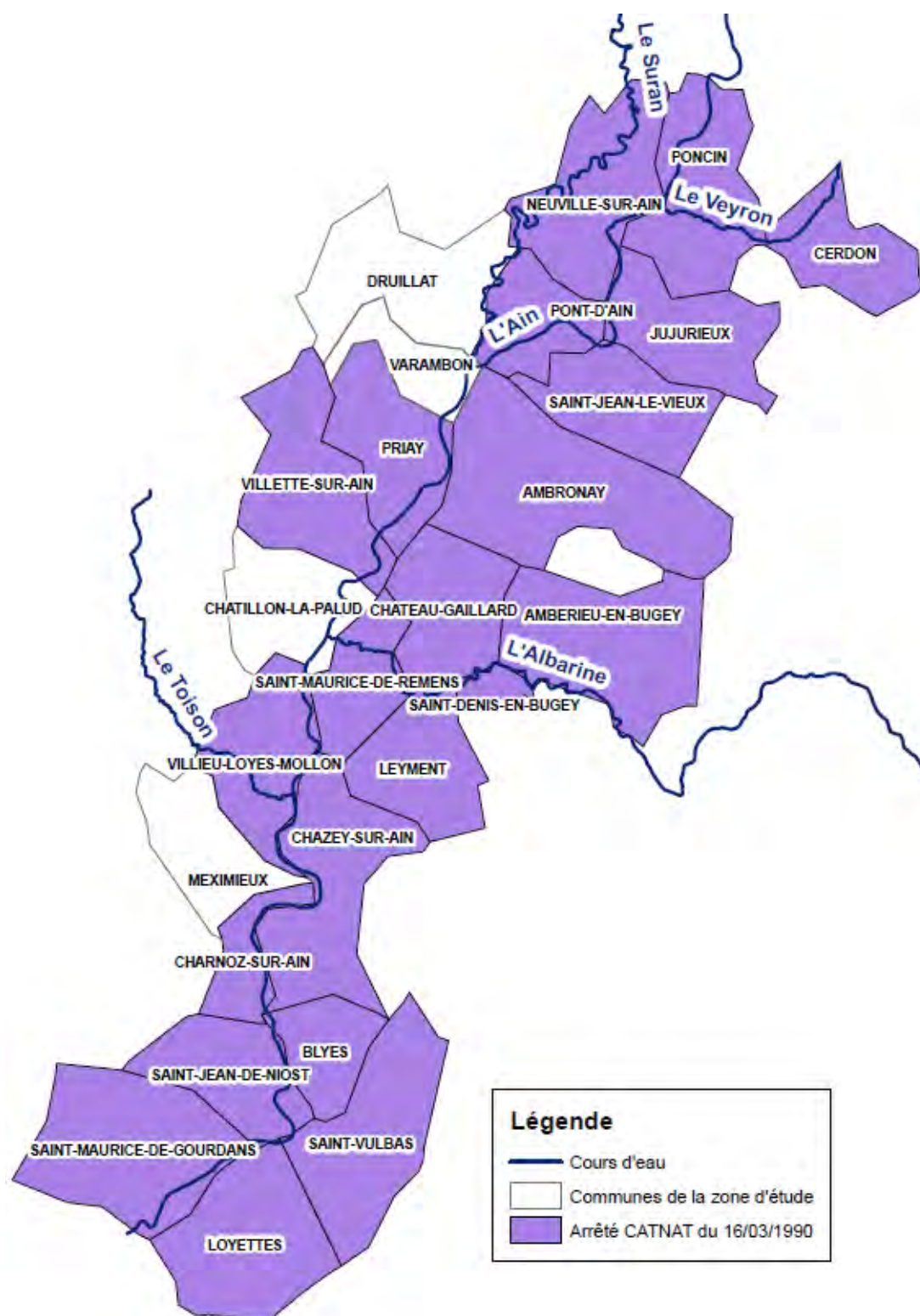


Figure 4. Carte des arrêtés de catastrophe naturelle du 16/03/1990 pour la crue de février 1990

La carte suivante présente par commune le nombre de catastrophes naturelles d'inondations et coulées de boue recensées et leurs dates respectives.

Il apparaît que la commune de Saint-Jean-le-Vieux avec 6 arrêtés « inondations et coulées de boue » et la commune de Jujurieux avec 5 arrêtés ont été les plus touchées par des événements historiques.

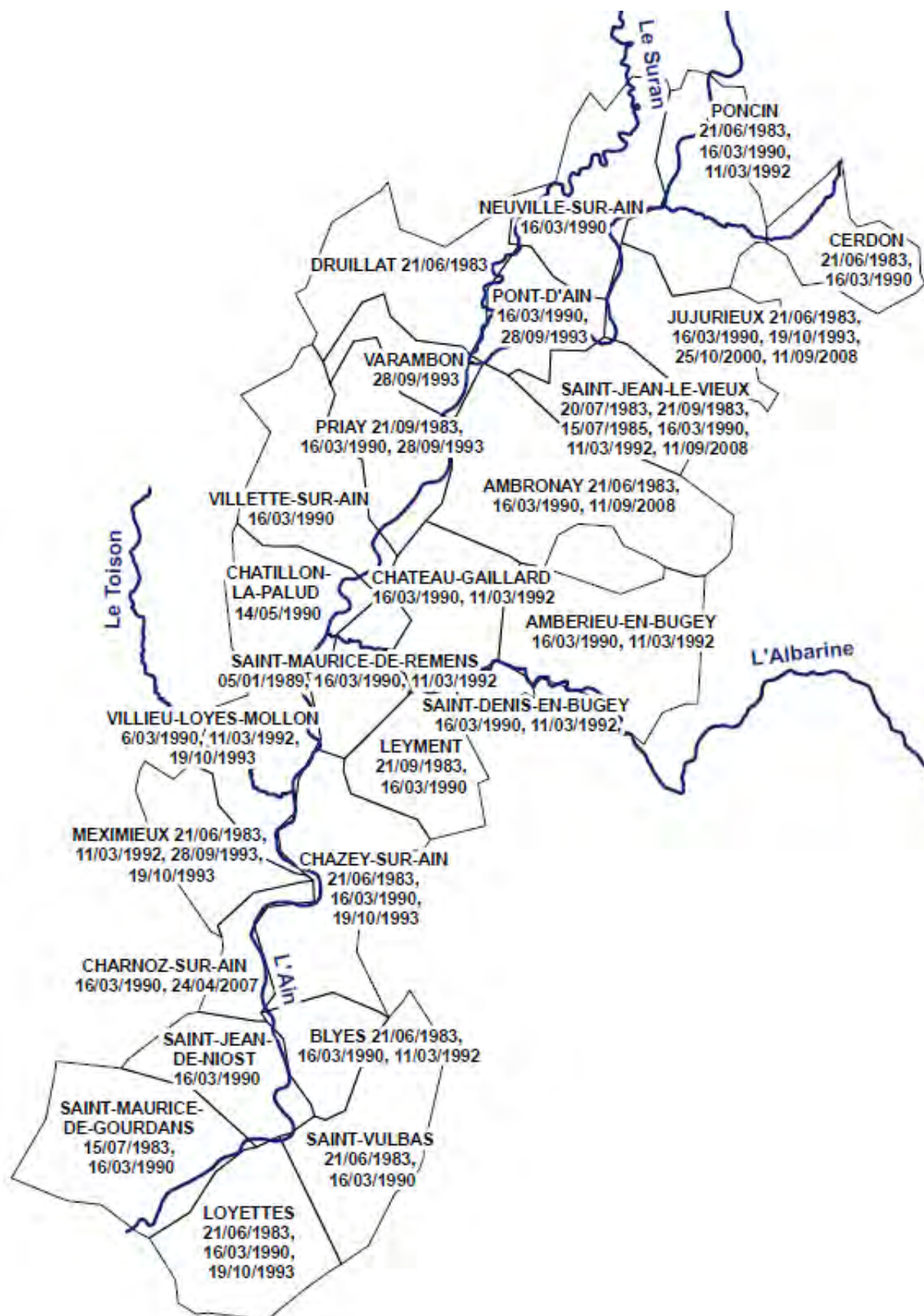


Figure 5. Carte des arrêts de catastrophe naturelle recensés par commune et leurs dates respectives pour le risque « inondations et coulées de boue »

3.2.2 Données collectées aux archives

Le 28 juillet 2016, une visite des archives départementales à Bourg-en-Bresse a été réalisée pour collecter les données disponibles sur les événements historiques de crue, l'hydrologie de l'Ain et ses affluents et les levés topographiques des ouvrages de franchissements de l'Ain.

Des données ont été recueillies concernant des reprises, consolidation du pont de Chazey, du pont de Blyes et de pont de Loyettes. Les coupes d'ouvrage ne présentaient pas ou très peu de cotes altimétriques.

Différents rapports ont été trouvés :

- Etude hydrologique de la rivière d'Ain et de ses affluents – aménagement hydroélectrique de R. Curtet de 1951 : l'analyse hydrologique est principalement orientée vers le module et les débits mensuels. Les débits de crue relevés sont anciennes (1935 par exemple) ;
- Chronique Rhodanienne – météorologie et hydrométrie – la crue de l'Ain et de la Valsérine en octobre 1935 ;
- Etude hydraulique de la traversée de l'Ain par la voie desserte de la zone industrielle de la plaine de l'Ain, 1973, SOGREAH : une étude hydrologique sommaire permet d'analyser la courbe de tarage de la station de Chazey, modélisation de la crue centennale de 3000 m³/s avec l'aménagement ;
- Courbe des débits de 1913, jaugeage de l'Ain en 1906 (hauteur d'eau et vitesses), hauteurs d'eau et débits journaliers en 1919.



Conclusion

Ces données sont particulièrement anciennes (hydrologie et rapport) ou incomplètes en termes de données (coupe des ouvrages de franchissement) pour être pleinement valorisables dans la présente étude.

3.2.3 Données collectées auprès de la DDT 01

Les données qui ont été communiquées par la DDT sont les suivantes :

- Etude hydraulique de l'Ain, DDT01, SOGREAH, 1999, [Réf.1] ;
- Zones submersibles de l'Ain entre le barrage d'Allement et Priay, DDT 01, SOGREAH, 1980 ;
- Zones submersibles de l'Ain entre Priay et Port-Galland, DDT 01, SOGREAH, 1988 ;
- Etude globale des érosions entre Poncin et Saint-Maurice de Gourdans – Profils en travers, DDT 01, 1976 ;
- Etude hydraulique de confortement de berge, Commune de Poncin, Hydrétudes, 2004 ;
- Etude hydraulique de l'Albarine, DDT 01, SILENE et HTV, 2009, [Réf.2].

3.2.4 Données collectées auprès des autres partenaires

Les données collectées auprès des partenaires sont les suivantes :

- **EDF** : Consigne d'exploitation en crue du barrage d'Allement et de Vouglans et consigne générale d'évacuation des crues du barrage d'Allement et de Vouglans ;
- **Syndicat intercommunal d'Aménagement du bassin versant de l'Albarine (SIABVA)** : l'étude citée dans le chapitre précédent réalisée par SILENE et des levés LIDAR réalisés en 2014 sur l'Albarine ;

- **Syndicat de la Basse Vallée de l'Ain (SBVA)** : le syndicat nous a transmis de nombreuses données listées dans le tableau suivant :

Titre de la donnée	Nature de donnée	Producteur des données	Date
LesImages_Crués	Photographies de zones inondées lors d'événements historiques	-	
Projet Lidar	Levé topographique LIDAR entre la confluence du Suran avec l'Ain et du Toison	-	2008
Rapport évolution Ain	Evolution latérale et verticale de la rivière d'Ain dans sa basse vallée entre 2000 et 2010 (diagnostic et recommandations en matière de gestion géomorphologique)	SBVA, EVS, CNRS	1999-2010
repere_crués_villette (photos)	Photographies des repères de crue sur la commune de Villette	-	
SAGE_BVA_approuve_2014	SAGE de la Basse Vallée de l'Ain	Commission locale de l'eau de la Basse Vallée de l'Ain	2014
Etude de deux seuils sur le Toison : continuité écologique et géomorphologie	Etude de deux seuils sur le Toison : continuité écologique et géomorphologie	SBVA, Agence de l'eau, Région Rhône-Alpes, Fédération départementale de pêche, Eau&Territoires	nov-14
Topographie_confluence	Profil en long et profils en travers au niveau de la confluence de l'Ain avec le Rhône	-	nov-10
Vol_Lidar_IGN_Confluence	Enveloppe du LIDAR disponible au niveau de la confluence de l'Ain avec le Rhône	IGN	2009
R0014-01 Phase 1 FINAL(Veyron).pdf	Etude des pertes, de la gestion géomorphologique et de la gestion hydrauliques de l'Oiselon, du Riez, du Veyron et leurs affluents (01) – Rapport de Phase 1 – Eta des lieux, diagnostic, recherché des causes de dysfonctionnement, impacts sur le milieu et les usages	SBVA, PROGEO environnement	2012
Rapport d'expertise VF confluence.pdf	Suivi morphologique de la Rivière d'Ain à Saint Maurice de Gourdans – Rapport d'Analyse	SBVA, Dynamique Hydro	2014
RapportPhase3_VolPreAin.pdf	Etudes d'estimation des volumes prélevables globaux – Rapport de Phase 3 – Quantification des ressources existantes	SBVA, Epteau	2012
RIVERAIN n°13.pdf	Journal de la basse Vallée de l'Ain – Riverain n°13	SBVA	2012

4 LEVES BATHYMETRIQUES ET TOPOGRAPHIQUES

Ce chapitre décrit les méthodologies mises en œuvre pour les levés topographiques nécessaires à l'étude en distinguant :

- Les levés LIDAR, mis en œuvre par FIT-Conseil,
- Les levés bathymétriques terrestres, mis en œuvre par HYDROTOPO.

Pour réaliser une modélisation hydraulique précise et de qualité, une connaissance minimale des lits mineurs des différents cours d'eau à modéliser est nécessaire. La démarche concernant les levés bathymétriques et topographiques est la suivante :

<p>Sur l'Ain</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Le lit majeur est intégralement couvert par les levés LIDAR prévus. ○ Le lit mineur est couvert à environ 80% par les levés LIDAR déjà effectués par FIT-Conseil pour EDF. Nous comptons réutiliser ces levés dont la précision est suffisante (15±cm). ○ Les secteurs de lit mineur non couverts par les levés LIDAR (environ 400 mètres en aval immédiat du barrage d'Allement) sont acquis par levés terrestres (réalisation de 2 profils). Remarque : un linéaire de 8500 mètre environ en aval du périmètre d'étude doit être couvert par FIT-Conseil pour EDF en février ou Mars 2016 (zone P9).
<p>Sur les affluents : Albarine, Suran, Toison, Veyron</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Le lit majeur est intégralement couvert par les levés LIDAR prévus ○ Le lit mineur est relevé par HYDROTOPO dans le cadre du marché (avec une densité moyenne de 1 profil / 250m), ainsi que les ouvrages hydrauliques.

4.1 Levés bathymétriques terrestres

Les levés topographiques détaillés ici concernent exclusivement les lits mineurs et les ouvrages hydrauliques des cours d'eau du périmètre d'étude :

- L'**Ain**, sur la partie non couverte par les levés LIDAR en aval du barrage d'Allement, sur un linéaire de **400 mètres** environ (réalisation de deux profils en travers « terrestres »),
- La partie terminale du **Veyron**, sur un linéaire de **9300 mètres** environ,
- La partie terminale du **Suran**, sur un linéaire de **5500 mètres** environ,
- La partie terminale de l'**Albarine** sur un linéaire de **8900 mètres** environ,
- La partie terminale de la **Toison**, sur un linéaire de **2200 mètres** environ.

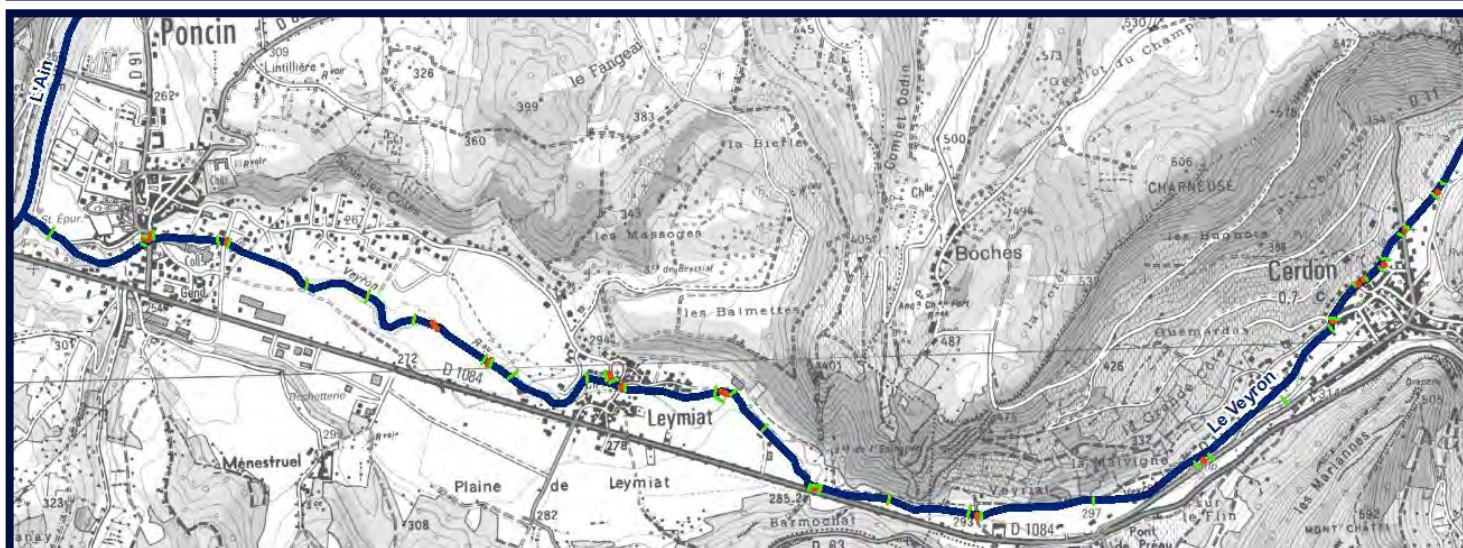
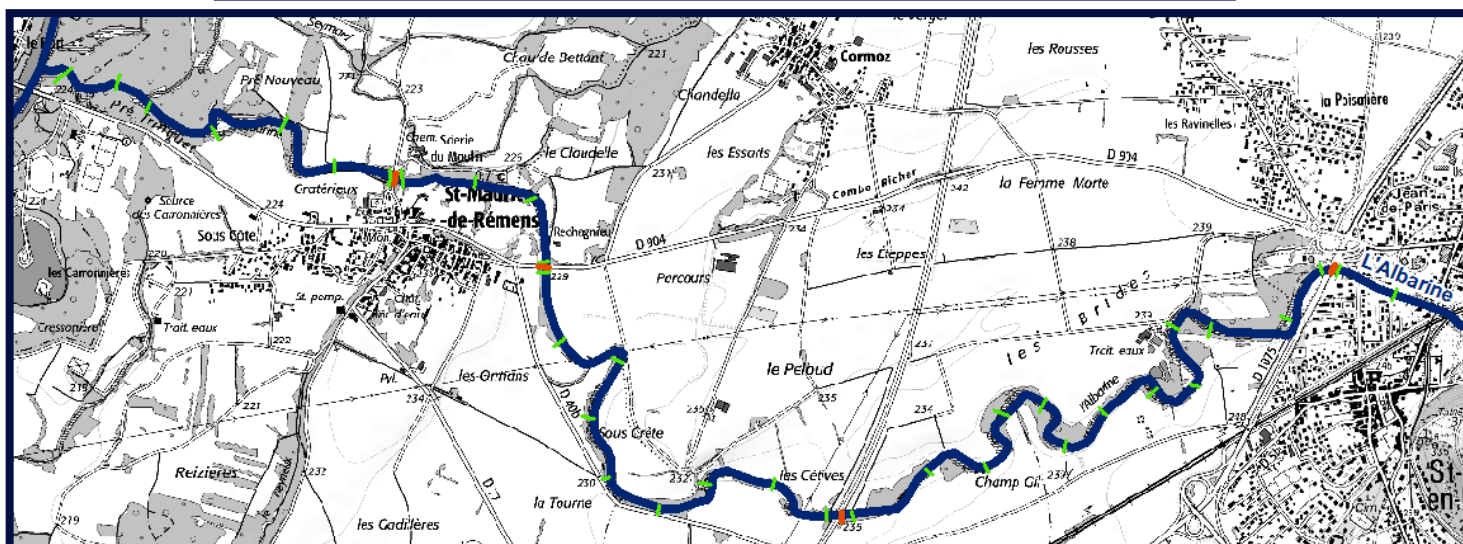
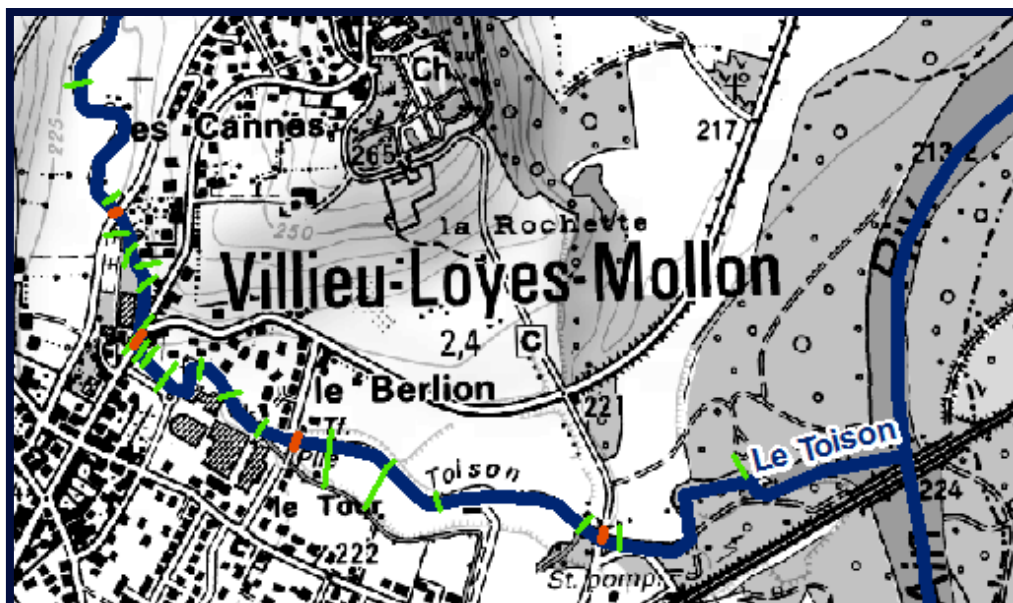
Sur l'Ain, **2 profils en travers sont relevés** en aval du barrage d'Allement. Sur les affluents, la densité est de **4 profils au kilomètre** en moyenne, plus un profil au voisinage de chaque ouvrage. Les levés réalisés sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

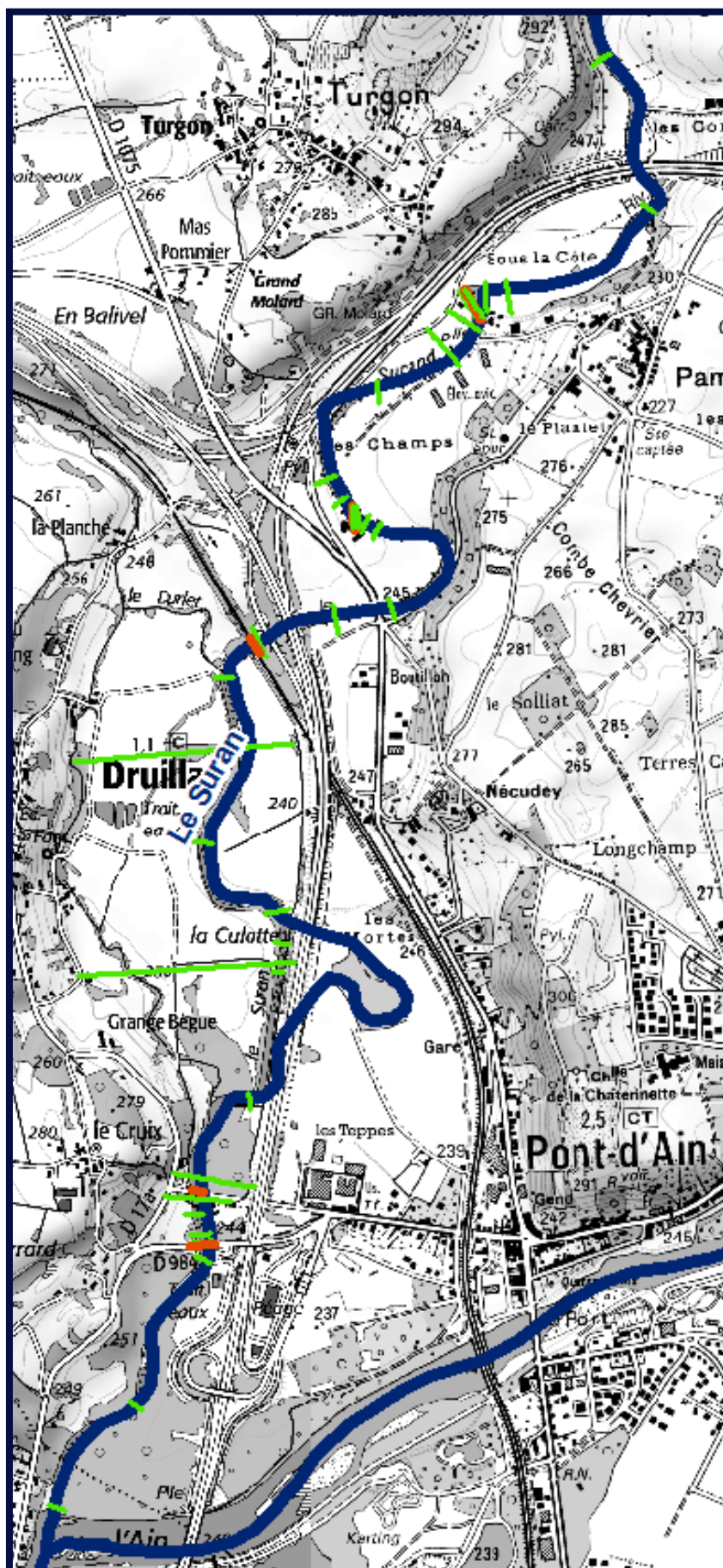
Tableau 3. Récapitulatif des levés terrestres réalisés par HYDROTOPO

	Cours d'eau	Toison	Albarine	Suran	Veyron
Nombre de levés	Profil en travers	19	35	34	38 + 2 sur des bras
	Ouvrage hydraulique	4	4	5	17 +2 sur des bras

La localisation des levés est représentée par la carte de la page suivante. Les ouvrages sont indiqués en orange et les profils en travers en vert clair.

Figure 6. Localisation des levés terrestres réalisés par HYDROTOPO





4.2 Levés LIDAR aérien

Les mauvaises conditions météorologiques de mars à mai 2016 n'ont pas permis au prestataire chargé de la topographie de réaliser les levés aériens avant que les feuilles de la végétation n'aient complètement repoussé.

Une fois que le feuillage est développé, les conditions pour acquérir le minimum de points au sol (et donc une bonne qualité de levés) ne sont plus réunies sur l'ensemble du périmètre d'étude.

L'acquisition des données LIDAR a donc été réalisée en Novembre 2016, en absence de végétation.

Les données ont été traitées par le prestataire et sont actuellement en cours de validation par les services de l'IGN.

Les visualisations pages suivantes sont des extraits du LIDAR réalisé.

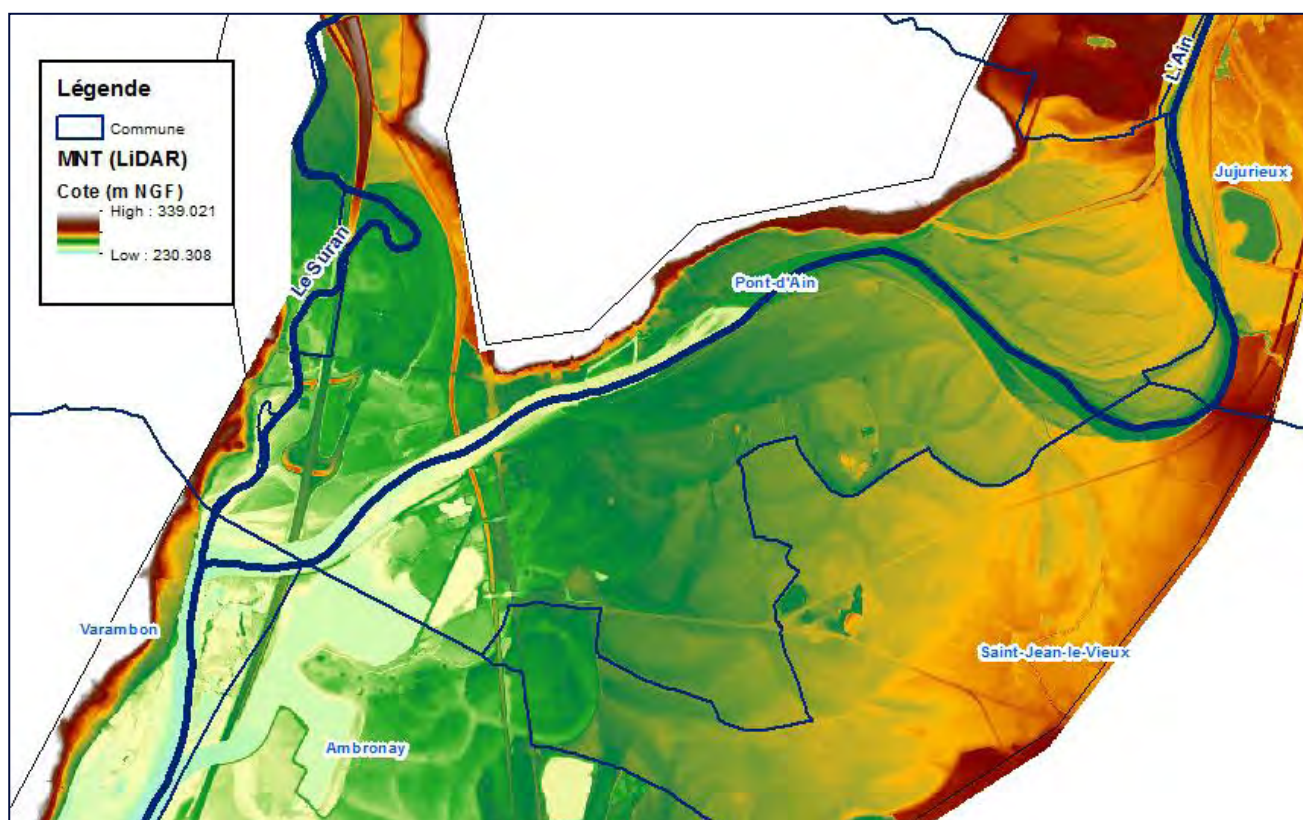


Figure 7. Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druilat (Confluence Suran)

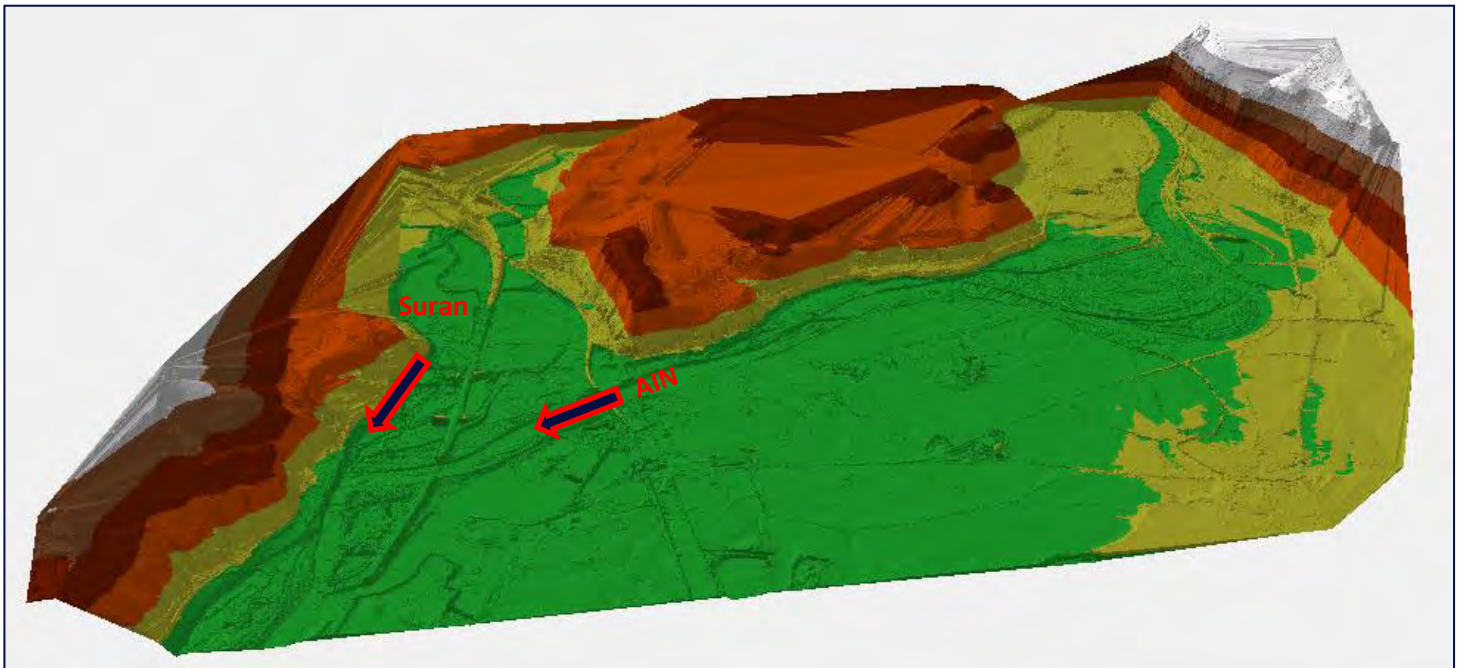


Figure 8. Visualisation 3D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druillat (Confluence Suran)

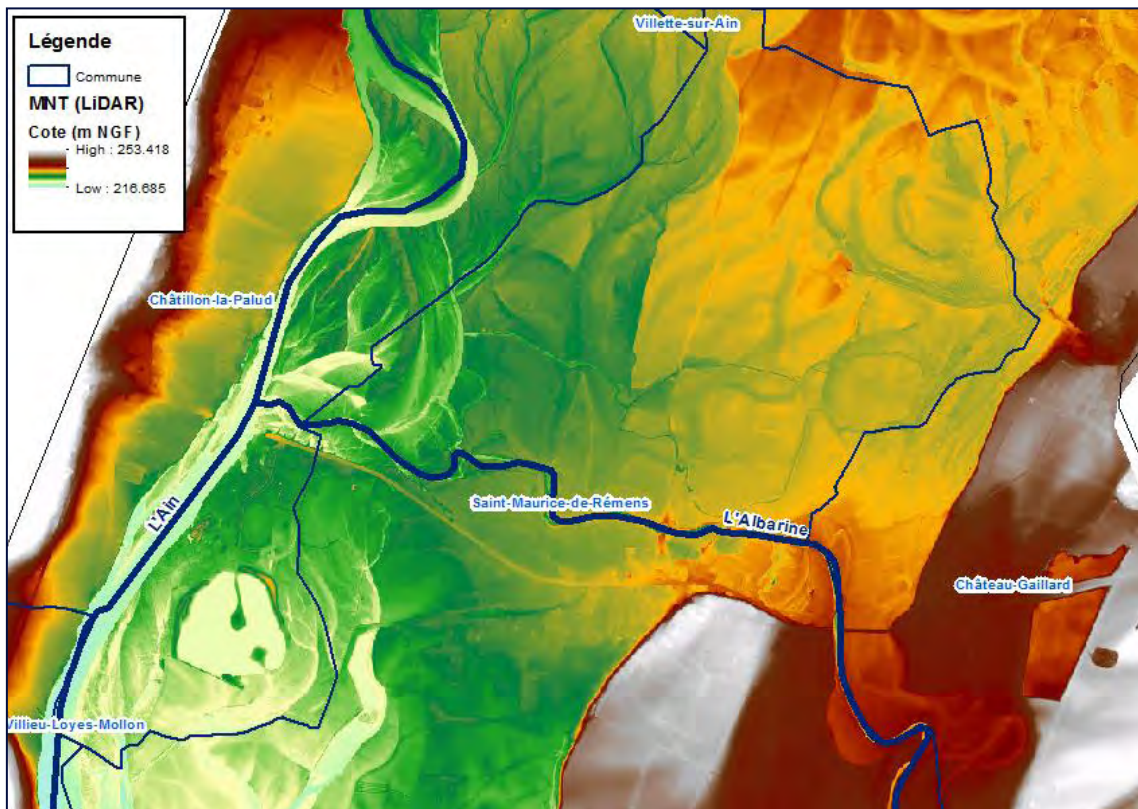


Figure 9. Visualisation 2D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine)

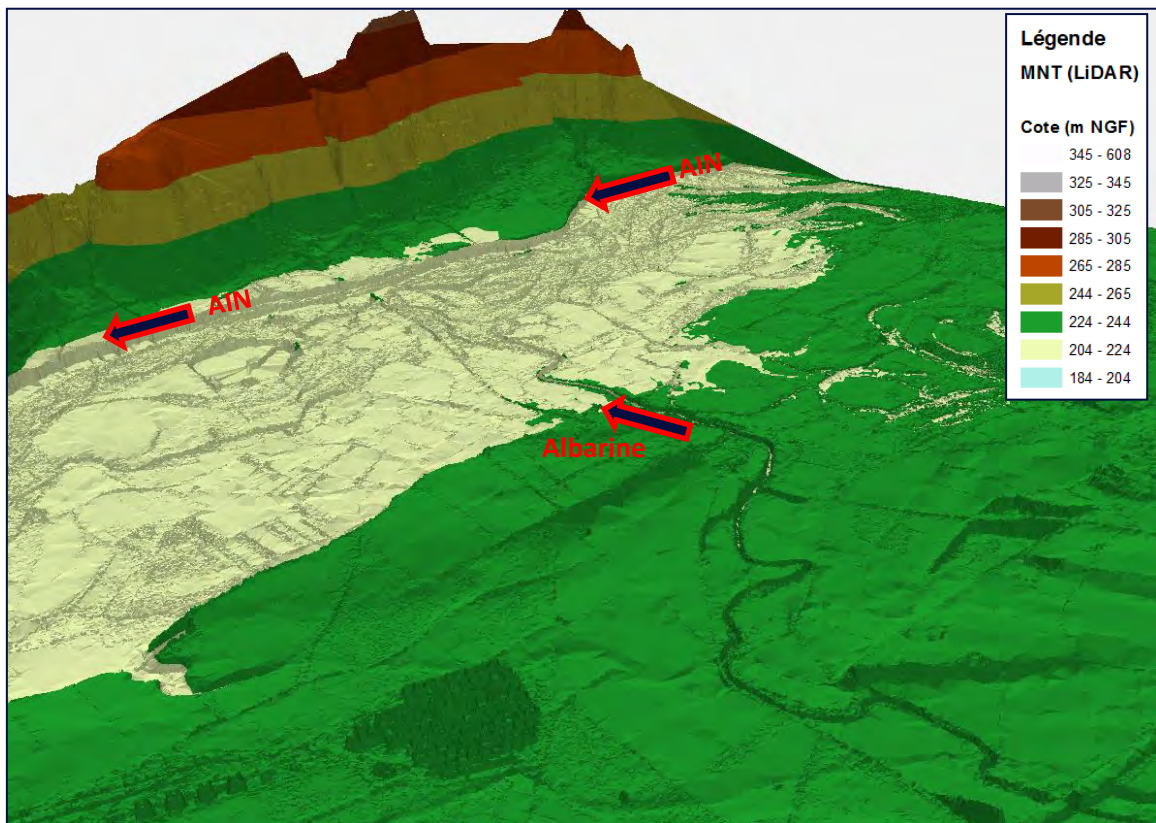


Figure 10. Visualisation 3D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine)

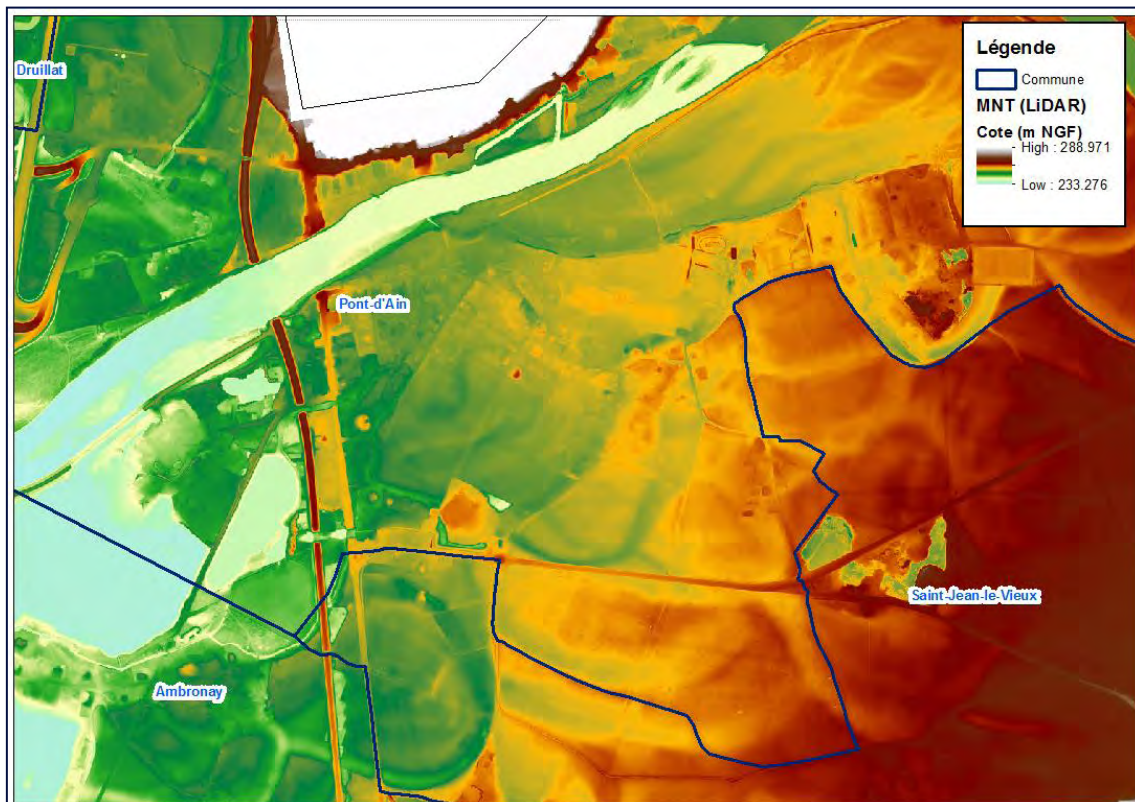


Figure 11. Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain

4.3 Levés complémentaires

A la suite de la collecte de données, il est apparu qu'il n'existe quasiment aucun plan précis des ouvrages de franchissement de l'Ain. Or, ces données sont importantes au regard des objectifs de modélisation l'étude. En effet, les ouvrages peuvent avoir une influence notable sur les hauteurs d'eau car ils peuvent générer des pertes de charge qui rehaussent localement la ligne d'eau.

Des laisses de crue ont également été identifiées lors de l'enquête auprès des communes et des partenaires de l'étude.

Des levés complémentaires ont donc réalisés par HYDROTOPO pour combler ces lacunes.

Le tableau ci-dessous récapitule les laisses de crue levées et la carte page suivante les localise.

Tableau 4. Caractéristiques des laisses de crue relevées

Communes	X (Lambert 93)	Y (Lambert 93)	Z (NGF)	Date des laisses de crues
Varambon	879174.42	6551526.58	236.30	14-02-1990
Varambon	879176.92	6551525.84	236.06	21-03-1978
Villette-sur-Ain	876101.12	6546166.05	227.90	1944
Villette-sur-Ain	876099.61	6546142.97	226.78	1979.1982
Villette-sur-Ain	876099.62	6546142.96	226.83	1980.2001
Villette-sur-Ain	876099.62	6546142.97	226.93	1978
Villette-sur-Ain	876099.60	6546142.97	227.05	1977
Villette-sur-Ain	876099.58	6546142.99	227.14	1983.1999
Villette-sur-Ain	876099.55	6546142.99	227.26	1990.1991
Villette-sur-Ain	876099.58	6546143.00	227.46	1950.1945.1935
Villette-sur-Ain	876099.57	6546142.97	227.50	1957.1882
Villette-sur-Ain	876099.57	6546143.00	227.95	1944
Neuville sur Ain	883688.21	6555834.63	247.83	22.12.1991

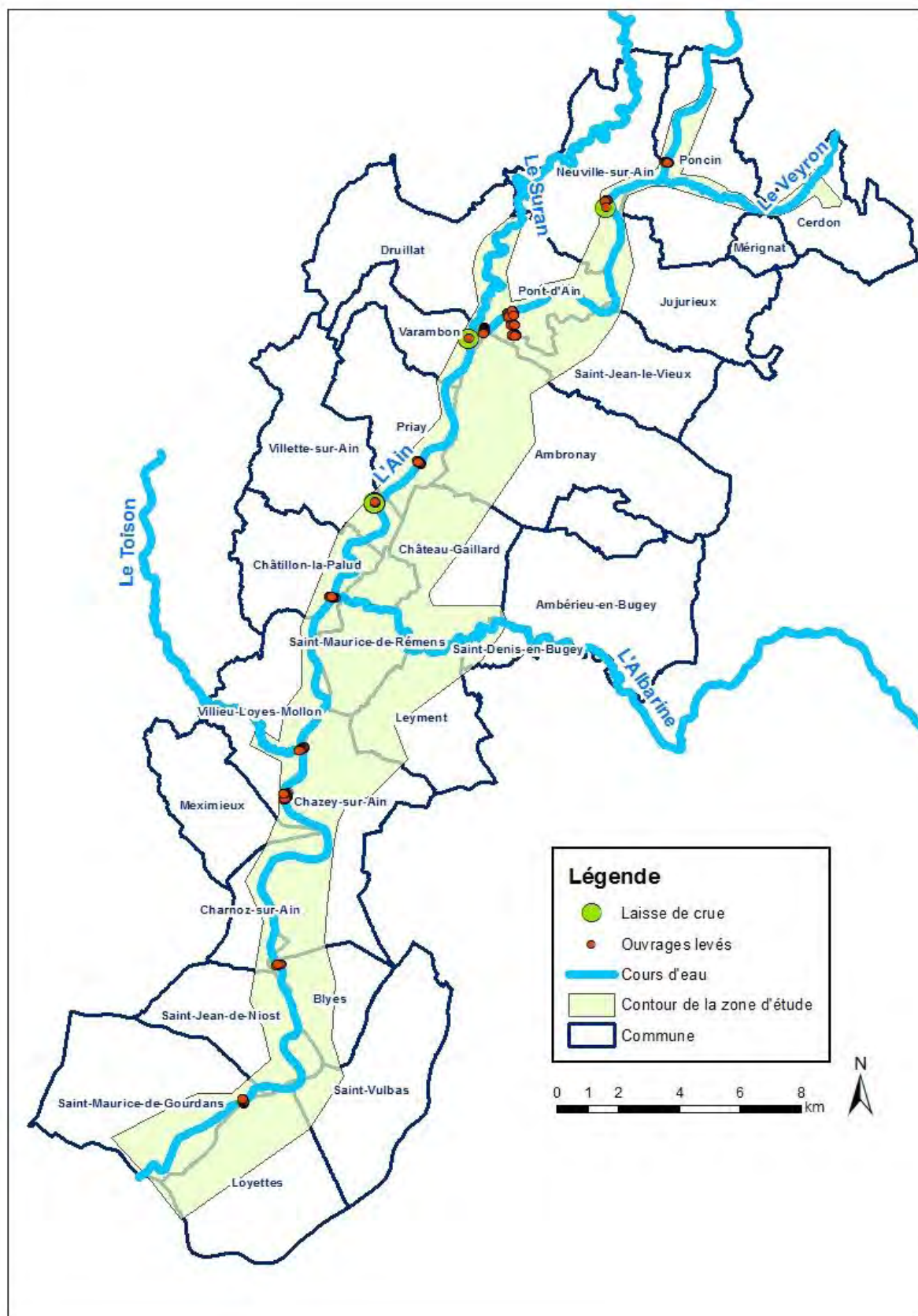


Figure 12. Localisation des laisses de crue et des ouvrages levés par HYDROTOPO

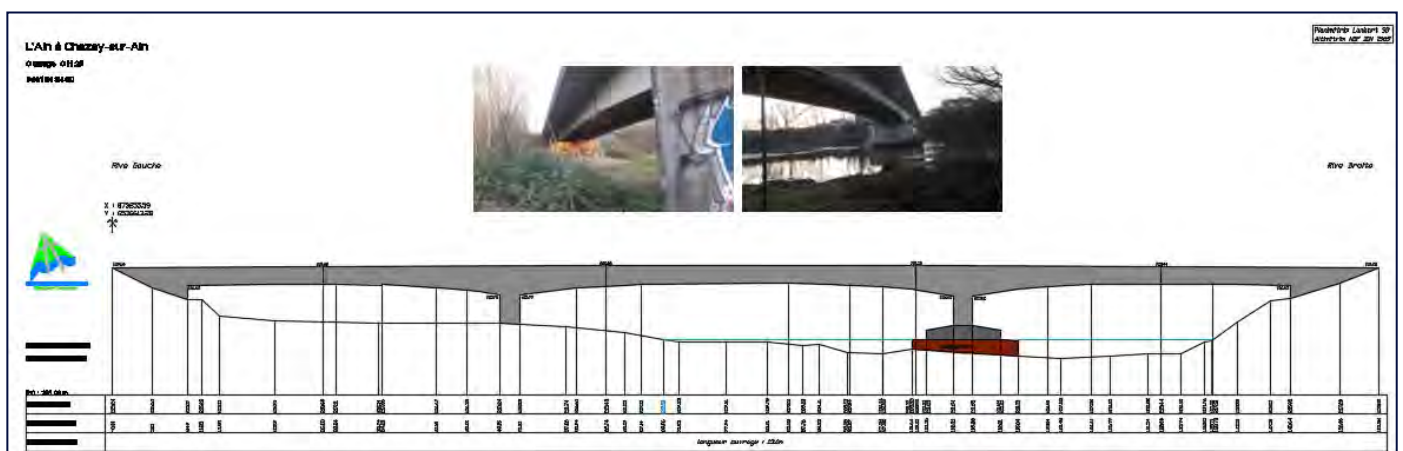
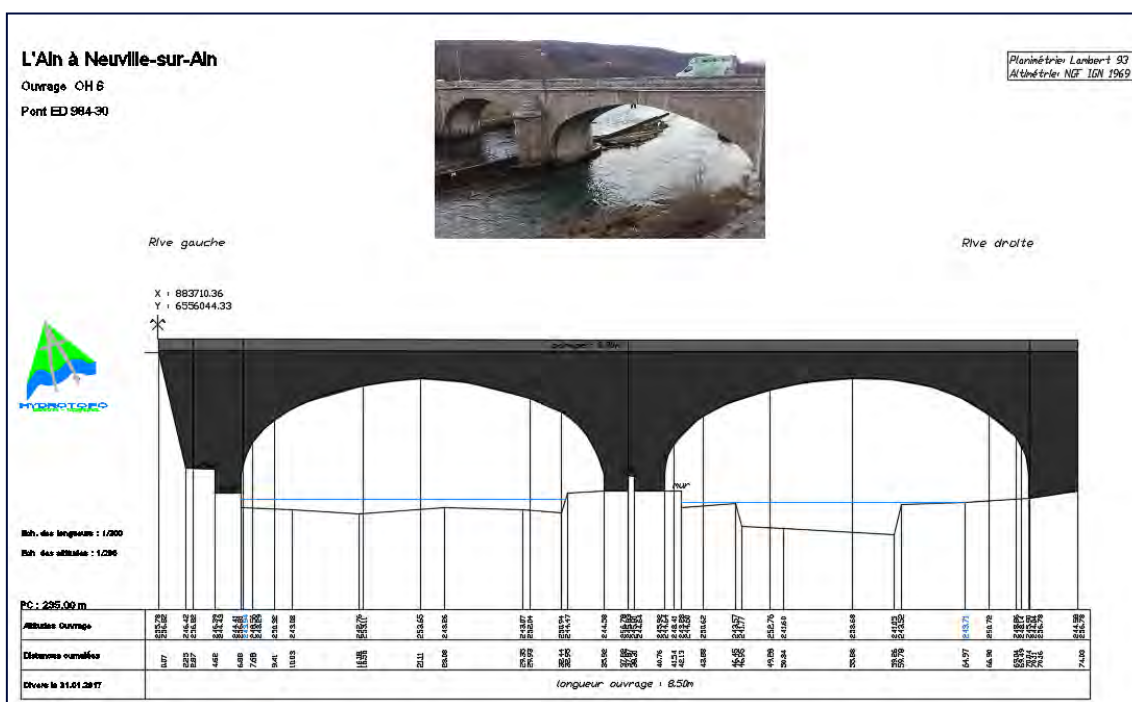
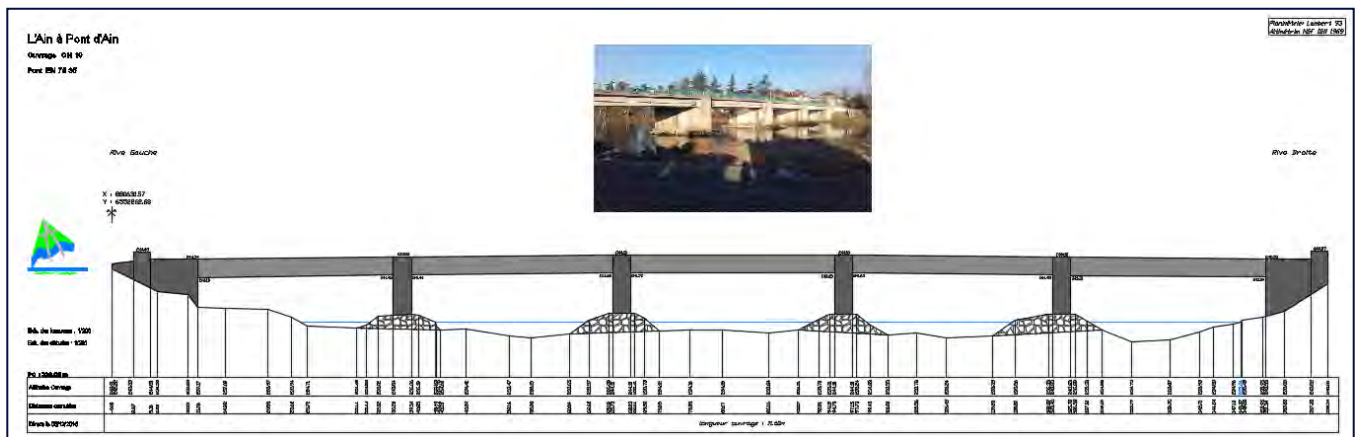


Figure 13. Exemple de coupes des ouvrages levés sur l'Ain

5 HYDROLOGIE

5.1 Crues historiques

Au niveau de Pont D'ain : l'étude PPRi existante ([Réf.1]) analyse les données de la station de Pont d'Ain et signale que les crues ont principalement lieu dans la période hivernale. Les évènements significatifs suivants sont relevés pour cette station :

Date de la crue	Débit de pointe (m ³ /s)
Décembre 1961	1900
Mai 1983	1470
Septembre 1965	1340
Janvier 1983	1290

On peut noter également que pour le PPRi existant, le calage du modèle a été réalisé à l'aide de la crue de 1977 dont le débit de pointe a été évalué à 1340 m³/s au pont de Priay. L'apport de l'Albarine a été évalué à 80 m³/s.

Au niveau de Chazey-sur-Ain : les données de la station de Chazey-sur-Ain sont disponibles dans la Banque Hydro depuis 1958. L'étude PPRi existante utilise cependant une chronique de maxima historiques reconstitués à partir de 1918.

La crue récente la plus importante relevée est celle de février 1990 avec un pic de crue le 15 février de 1860 m³/s.

Les épisodes significatifs survenus depuis un siècle sont détaillés ci-dessous.

Année	Débit (m ³ /s)
1918	2230
1957	2230
1928	2100
1950	2050
1944	1970
1990	1860
1935	1900
1991	1730

On peut noter que ces débits sont tous inférieurs à une crue centennale.

5.2 Caractérisation des sous bassins versants

La zone d'étude est le bassin versant de l'Ain ainsi que les quatre affluents suivants : l'Albarine, le Suran, le Toison et le Veyron.

Ces bassins versants (BV) sont cartographiés page suivante (Cf. Figure 14) et caractérisés dans le Tableau 5 par leur superficie et leur durée caractéristiques.

Tableau 5. Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude

Bassin versant		Ain Amont	Suran Confluence	Albarine Confluence	Veyron Confluence	Toison Confluence
Surface BV	(Km2)	2686	356	308	44	40
Périmètre BV	(km)	321	140	129	32	32
Point haut	m	1185	606	1165	957	308
Point bas	m	261	233	220	247	214
Chemin hydraulique	m	149100	78400	61600	10800	15400
Pente	%	0.6	0.5	1.5	6.6	0.6

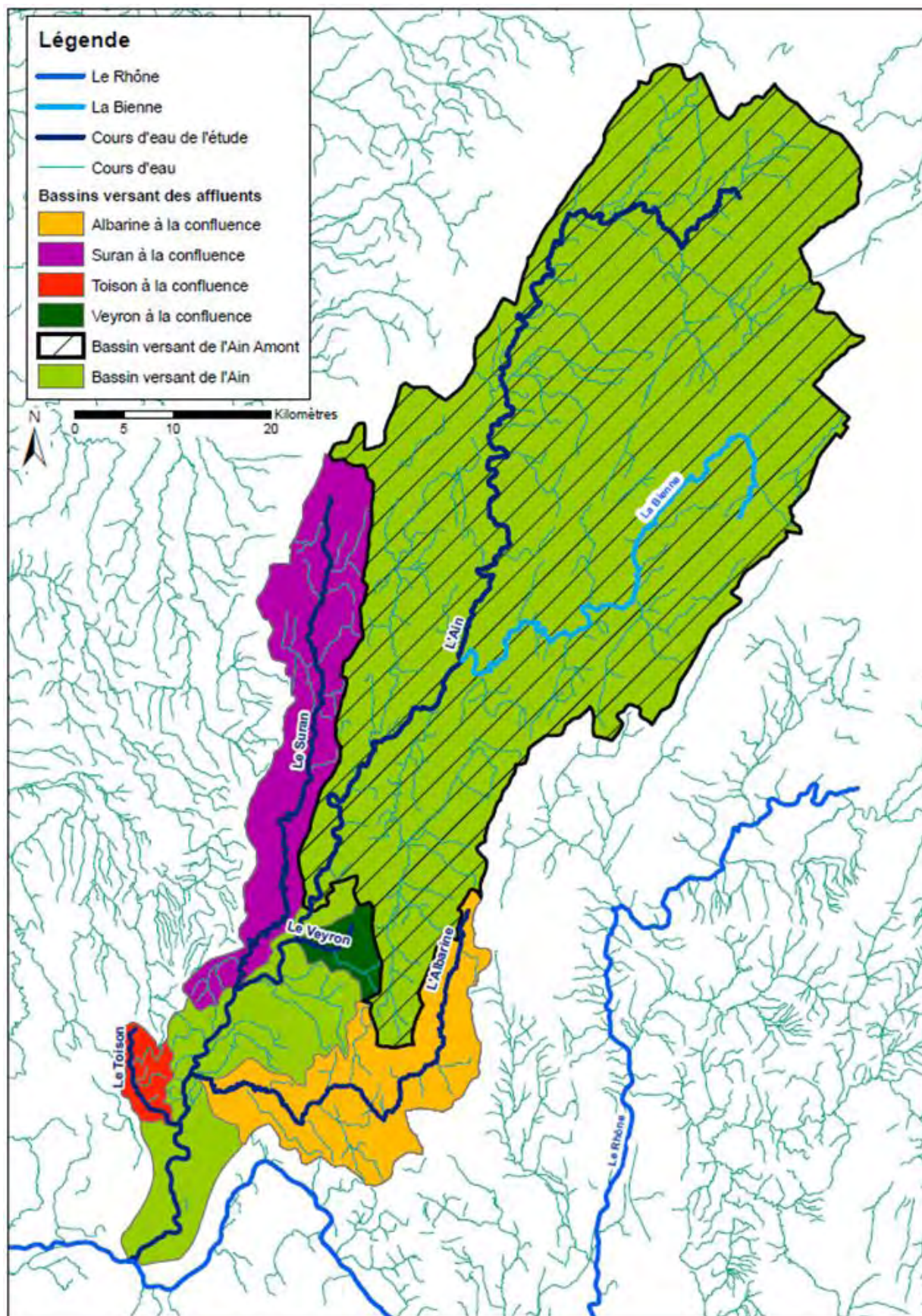


Figure 14. Bassins versants de la zone d'étude

5.3 Analyse pluviométrique

5.3.1 Stations pluviométriques Météo France disponibles

La carte ci-dessous localise les 3 stations pluviométriques de Météo France dont les données ont été exploitées dans l'étude.

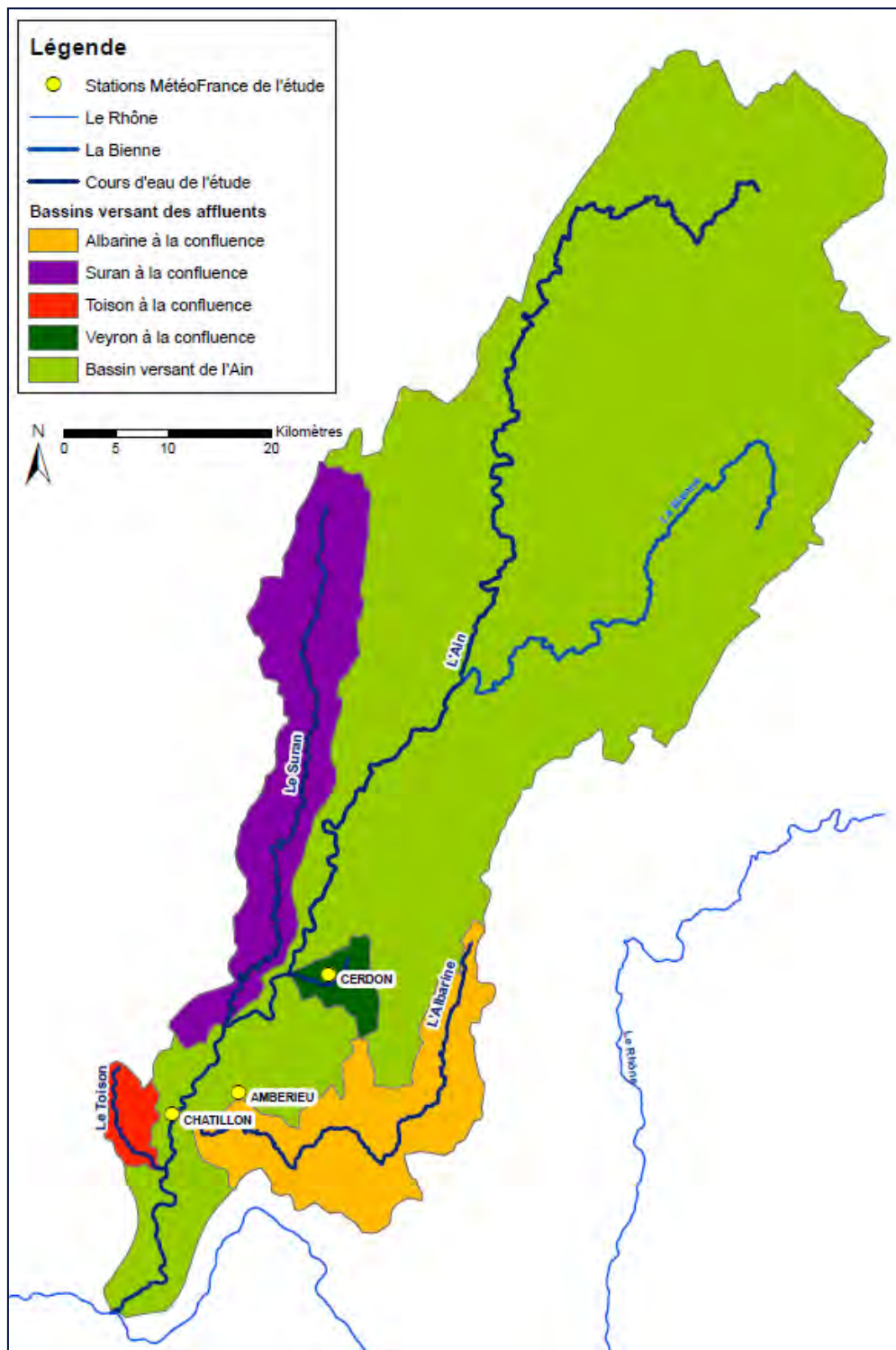


Figure 15. Stations pluviométriques Météo France exploitées dans l'étude

La station d'Ambérieu est une station de suivi horaire (type 0). Ceci permet notamment de déterminer des coefficients de Montana (Cf. paragraphe suivant 0).

Les stations de Cerdon et de Châtillon-la-Palud sont de type 4 et fournissent des données journalières. Les lames d'eau pour une pluie de 1 jour de différentes périodes de retour sont disponibles à ces stations ainsi que les gradex associés. Ces données sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6. Lame d'eau pour une pluie de 1 jour pour la station de Cerdon et de Chatillon-la-Palud – méthode du renouvellement – Source : Météo France

Période de retour	Lame d'eau pour une pluie de 1 jour (mm) - méthode du renouvellement	
	Période des données : 1983-2012	Période des données : 1960-2012
	Station de Cerdon	Station de Châtillon-la-Palud
5	83.2	73.0
10	94.3	82.6
20	105.7	92.4
30	112.4	98.2
50	121.1	105.6
100	133.1	115.8

Tableau 7. Gradex des lames d'eau aux 2 stations pour une pluie de 1 jour

Gradex des lames d'eau pour une durée de 1 jour (mm)	
Station de Cerdon	Station de Châtillon-la-Palud
14.32	12.60

5.3.2 Courbes Intensité-Durée-Fréquence – Station d'Ambérieu

Les coefficients de Montana permettent de relier une quantité de pluie $h(t)$ (en mm) au cours d'un épisode pluvieux avec sa durée t (min) via la formule suivante :

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

Les coefficients de Montana sont calculés par un ajustement statistique par Météo France. Ils sont récapitulés dans le Tableau 8 pour 2 gammes de durées de pluies.

**Tableau 8. Coefficients de Montana à Ambérieu pour 2 gammes de durée de pluies – Source :
 Météo France**

Période de retour	Coefficient de Montana à Ambérieu			
	Pour des pluies de 3h à 24h		Pour des pluies de 24h à 96h	
	a	b	a	b
5 ans	7.043	0.675	7.190	0.681
10 ans	8.628	0.693	6.580	0.658
20 ans	10.635	0.714	5.887	0.634
30 ans	11.942	0.726	5.543	0.622
50 ans	13.935	0.743	5.067	0.604

Tableau 9. Calcul des lames d'eau pour une pluie de durée 24h, 40h et 48h à Ambérieu

Période de retour	Lame d'eau (mm) pour une pluie de durée		
	24 h	40h	48 h
5 ans	74.9	86.1	91.3
10 ans	80.5	94.2	100.3
20 ans	85.1	101.6	108.7
30 ans	87.6	105.1	112.6
50 ans	90.3	110.5	118.8
100 ans	93.2	116.7	126.0

La durée caractéristique au droit des stations hydrométriques a pu être déterminée à l'aide d'une analyse statistique réalisée sur la forme des hydrogrammes de crues par la méthode de SOCOSE. La durée caractéristique du bassin versant de l'Ain à Chazey-sur-Ain est donc calculée à 40h.

L'intérêt des coefficients de Montana est de pouvoir calculer les lames d'eau pour une durée de pluie souhaitée. Ainsi, une courbe hauteur d'eau – durée – fréquence peut être déterminée pour une durée de pluie de 40h soit le temps caractéristique. Cette courbe est représentée Figure 16.

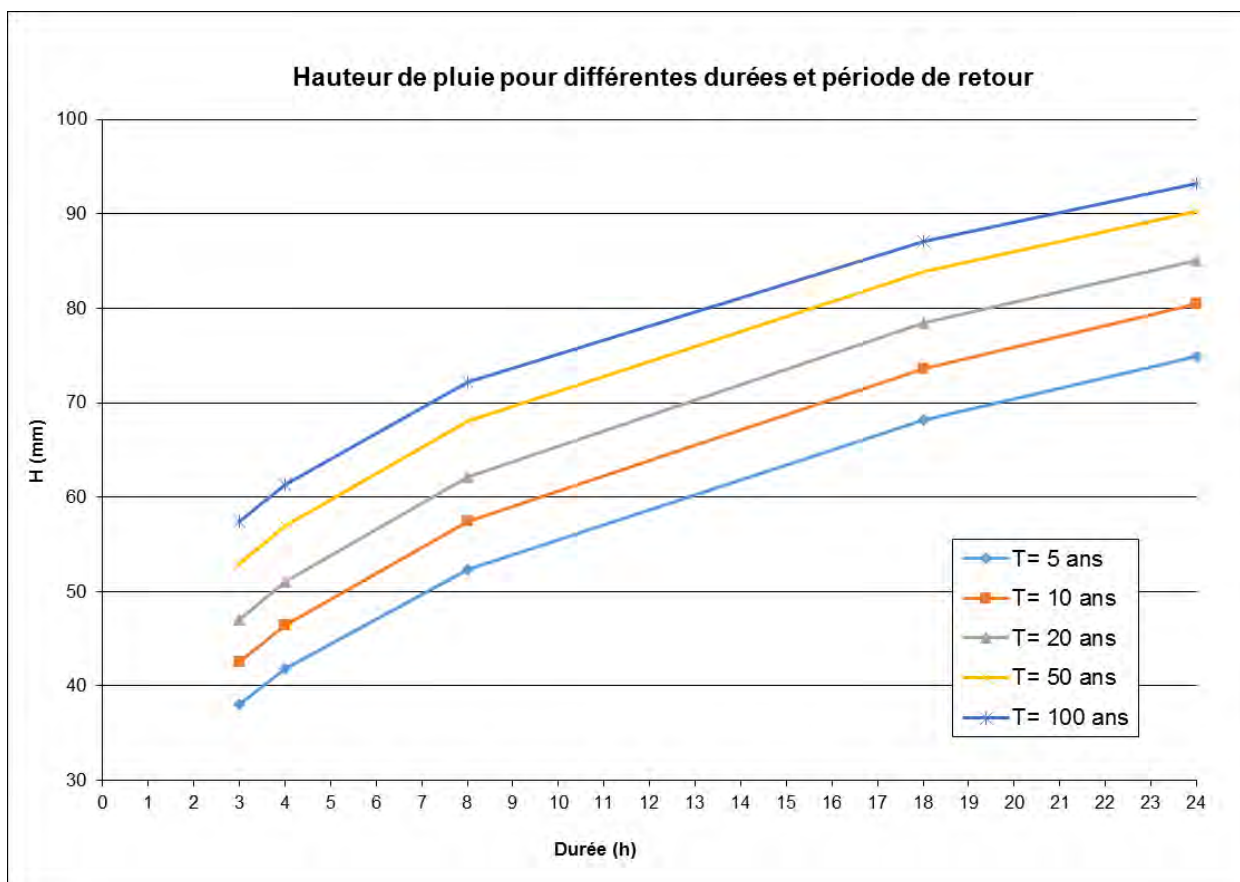


Figure 16. Courbe hauteur d'eau-durée-fréquence pour le bassin versant de l'Ain à Chazey-sur-Ain pour sa durée caractéristique

5.3.3 Détermination des pluies de bassins

5.3.3.1 Données bibliographiques sur les gradex de bassin de l'Ain

Une étude réalisée par SAFEGE en 2000 a permis de déterminer le gradex des pluies du bassin de l'Ain. Le gradex des pluies de bassin a été composé localement à partir des données d'une dizaine de stations pluviométriques. Les différentes méthodes d'échantillonnage des données pour calculer le gradex et les valeurs associées sont récapitulées dans le Tableau 10.

Tableau 10. Gradex des pluies du bassin versant de l'Ain – Source : Etude globale du Rhône – Volet hydrologie, SAFEGE, IRS, 2000

Bassin	Echantillonnage	1 jour	2 jours	3 jours	4 jours	5 jours	6 jours	7 jours
Versant de l'Ain (1961-1998)	max annuel	11.1	15.1	16.9	17.2	16.7	16.2	17.3
	1 év./ an	12.1	12.9	18	17.9	19	19.9	17.9
	2 év./ an	11	14.1	15.4	18.3	18.4	19.3	21.2
	3 év./ an	10.8	13.6	14.6	16.1	16.7	19.2	20.8
	Totalité pluies journalières	10.5						

Dans la suite de l'étude, les valeurs correspondant à la méthode d'échantillonnage du « maximum annuel » ont été considérées pour caractériser les pluies de bassin de l'Ain.

La durée caractéristique du bassin versant de l'Ain à Chazey-sur-Ain étant de 40h, la durée de pluie à prendre en compte est proche de celle de 2 jours (48h).

5.3.3.2 Données de lames d'eau moyennées fournies par le SPC

Les données fournies par le SPC sont des lames d'eau radar au pas de temps journalier moyennées sur le bassin versant drainé aux stations hydrométriques (Cf. Figure 17) pour :

- l'Ain à Chazey-sur-Ain ;
- l'Ain à Pont d'Ain ;
- l'Albarine à Pont-Saint-Denis (Saint-Denis-en-Bugey) ;
- le Suran à Pont d'Ain.

Ces données nous ont permis de déterminer les lames d'eau maximales annuelles sur 1 jour et sur 2 jours (Cf. Tableau 11).

Tableau 11. Lame d'eau maximale sur 1 jour et sur 2 jours par année pour 4 bassins versants – Source : SPC, données Météo France

Année	Lame d'eau maximale par année							
	Ain à Chazey-sur-Ain		Ain à Pont d'Ain		Suran à Pont d'Ain		Albarine à Pont Saint-Denis	
	1 jour	2 jours	1 jour	2 jours	1 jour	2 jours	1 jour	2 jours
1997	73	89.3	75.1	90.9	76	90.7	65.7	88.3
1998	41.6	59.7	42.5	57.5	39.2	54.5	71.5	93.6
1999	57	83.1	58.2	87.4	51.6	80.7	55.8	71.6
2000	46.4	72.5	46.9	72.5	42.2	70	58.7	86.2
2001	55	60	56.6	64.7	48.1	62.1	54.9	58.4
2002	54.1	85	57.1	86.1	50.1	84.7	53.5	82
2003	39.6	56.1	41.8	60.4	42	52.4	42.4	56.2
2004	60.7	89	62.9	91.2	52.4	75.5	93.2	95.2
2005	42.1	75.9	42	74.6	51.1	81.5	43	74.9
2006	43.4	80.5	47.6	85.3	43.8	67	54	73.7
2007	48.8	60.4	48.2	60.4	55.1	72.2	51	59.8
2008	53.5	70.8	54.7	70.5	51.8	68.5	52.8	95.1
2009	40.8	57.4	39	56.3	41.7	57	47	60.2
2010	59.2	60.3	54.4	55.4	98.2	99	45.6	55.4
2011	44.8	46.5	45.2	48.1	38.5	39.9	47.8	59.2
2012	62.6	71.6	63	69.4	62.7	75.5	79.7	86.8
2013	53.1	66.6	52.2	66.5	61.8	72.2	52.4	72.3
2014	50.1	68.4	48.3	65	56.2	75.3	64.9	82.8
2015	55	66	56.7	71.7	58.9	82.5	51.5	66.4
2016	43.1	51.5	44	52.9	46.9	47.8	41.5	56

Ces échantillons nous ont ensuite permis de déterminer, à l'aide d'une loi Gumbel, les gradex de lames d'eau pour une pluie de 1 jour et de 2 jours récapitulés dans le Tableau 12.

Tableau 12. Gradex des lames d'eau pour 4 bassins versants de la zone d'étude déterminés à partir d'une loi Gumbel – Source : données SPC et Météo France

Bassin	Gradex des lames d'eau de 1 jour (mm)	Gradex des lames d'eau de 2 jours (mm)
L'Ain à Pont d'Ain	7.0	10.3
L'Ain à Chazey-sur-Ain	6.8	9.7
L'Albarine à Pont-Saint-Denis	10.2	11.1
Le Suran à Pont d'Ain	10.9	11.6

Remarque

On constate que les gradex des lames d'eau radar sur l'Ain sont nettement inférieurs aux gradex de bassin de l'étude de 2000 (7 et 6.8 mm contre 11.1 mm pour 1 jour par exemple). Ces valeurs anormalement basses pourraient traduire un problème dans la fiabilité de la donnée d'entrée.

Dans la suite de l'étude les gradex de bassin tels que calculés par Safège dans l'étude de 2000 sont conservés pour l'Ain. Pour les affluents, les gradex des lames d'eau radars semblent plus fiables et sont donc valorisés.

Les données mesurées par radar disponibles correspondent à 25 années pendant lesquelles l'installation de radars s'est progressivement déployée. Les données plus anciennes sont donc moins robustes que les récentes. De plus, les données de 1996 à Juin 2006 correspondent au calcul d'une lame d'eau COMEPHORE de qualité moindre. Depuis 2006, les lames d'eau calculées sont de meilleure qualité (type ANTILOPE). Les données sont donc fiables sur un échantillon de 10 ans, période qui s'avère courte pour être bien représentative du bassin versant de l'Ain.

5.3.3.3 Gradex de bassin des affluents de l'Ain

Pour réaliser une analyse hydrologique à l'aide du gradex, les gradex des pluies de durée égale au temps caractéristique des bassins versants sont nécessaires. Les bassins versants des affluents présentent une morphologie très variée en superficie, topographie, compacité, etc. et donc des durées caractéristiques très variables également. Le Tableau 5 de la partie 5.4.1 suivante récapitule les durées caractéristiques des bassins versants drainés par les stations hydrométriques de la Banque Hydro.

Pour déterminer les gradex de pluies des affluents, la démarche suivante a été mise en œuvre :

- Détermination du rapport entre le gradex des pluies journalières entre la station d'Ambérieu et celles de Cerdon et Châtillon-la-Palud ;
- Calcul des gradex de pluies de durée égale au temps caractéristiques des bassins versants à l'aide des coefficients de Montana de la station d'Ambérieu ;
- Transposition des gradex de pluie aux stations de Cerdon et de Châtillon-la-Palud ;
- Abattement des gradex « ponctuels » en gradex moyenné sur le bassin versant à l'aide du

facteur suivant :
$$K = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{S}}{30 \sqrt[3]{t}}}$$

avec S la superficie du bassin en km²
 et t la durée de la pluie en h

Cette démarche nous permet donc d'obtenir les gradex des bassins versants pour les affluents suivants :

Tableau 13. Gradex des pluies des bassins versants des affluents

	Suran	Veyron	Albarine	Toison
Station pluviométrique de référence	Cerdon	Cerdon	Châtillon-la-Palud	Châtillon-la-Palud
Superficie des bassins versants (km ²)	349	44	288	33
Durée caractéristique (h)	47	8	18	8
Gradex pluie (mm)	22.62	13.87	10.72	12.36

Pour le bassin versant du Suran et de l'Albarine, deux sources de données pluviométriques sont disponibles (les lames d'eau radar fournies par le SPC et les données ponctuelles aux stations). Le tableau suivant permet de comparer le gradex calculé à partir de ces deux sources de données.

Tableau 14. Gradex des pluies des bassins versants des affluents

	Suran	Albarine
S (km ²)	358	308
K	0.82	0.83
Gradex abattus Cerdon (mm)	11.7	11.9
Gradex abattus Chatillon (mm)	10.3	10.5
Gradex Lames d'eau radar (mm)	10.9	10.2

Les gradex des pluies ponctuelles abattues sont très proches des gradex des lames d'eau radar. Pour rester cohérent avec le gradex pris en compte pour l'Ain, il a été choisi d'utiliser les postes pluviométriques pour les affluents. Cette hypothèse permet également d'être sécuritaire.

5.3.4 Conclusion sur les gradex de bassin

Les tableaux suivants permettent de récapituler les caractéristiques pluviométriques prises en compte pour chaque bassin versant.

Tableau 15. Récapitulatif des gradex des pluies des bassins versants de l'Ain et des affluents

Bassin Versant de l'Ain (1961-1998)	Echantillonnage	1 jour	2 jours
	max annuel		11.1

	Suran	Veyron	Albarine	Toison
Station pluviométrique de référence	Cerdon	Cerdon	Châtillon-la-Palud	Châtillon-la-Palud
Superficie des bassins versants (km ²)	349	44	288	33
Durée caractéristique (h)	47	8	18	8
Gradex pluie (mm)	22.62	13.87	10.72	12.36

5.4 Analyse hydrologique

5.4.1 Stations hydrométriques de la Banque Hydro

Les stations hydrométriques de la Banque Hydro comprises dans la zone d'étude sont localisées sur la carte de la Figure 17 (page suivante). On peut constater que le Veyron n'est pas jaugé. Parmi l'ensemble de ces stations, 7 ont été exploitées pour réaliser l'analyse hydrologique. Ces stations sont caractérisées dans le Tableau 16.

Tableau 16. Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude

Numéro de station	Nom de la station	Rivière	Superficie du bassin versant (km ²)	Période de données disponibles	Durée caractéristique (h)
V2942010	Chazey-sur-Ain	Ain	3630	1959-1968	34
V2942010	Chazey-sur-Ain	Ain	3630	1968-2016	40
V2712010	Pont d'Ain	Ain	2760	1981-2016	37
V2934010	Saint-Denis-en-Bugey	Albarine	288	1980-2016	18
V2924010	Saint-Rambert-en-Bugey	Albarine	232	1970-2016	21
V2814040	Germagnat	Suran	193	1973-2016	33
V2814030	Pont d'Ain	Suran	349	1973-2016	47
V2945210	Rignieux-le-Franc	Toison	33	2005-2016	8

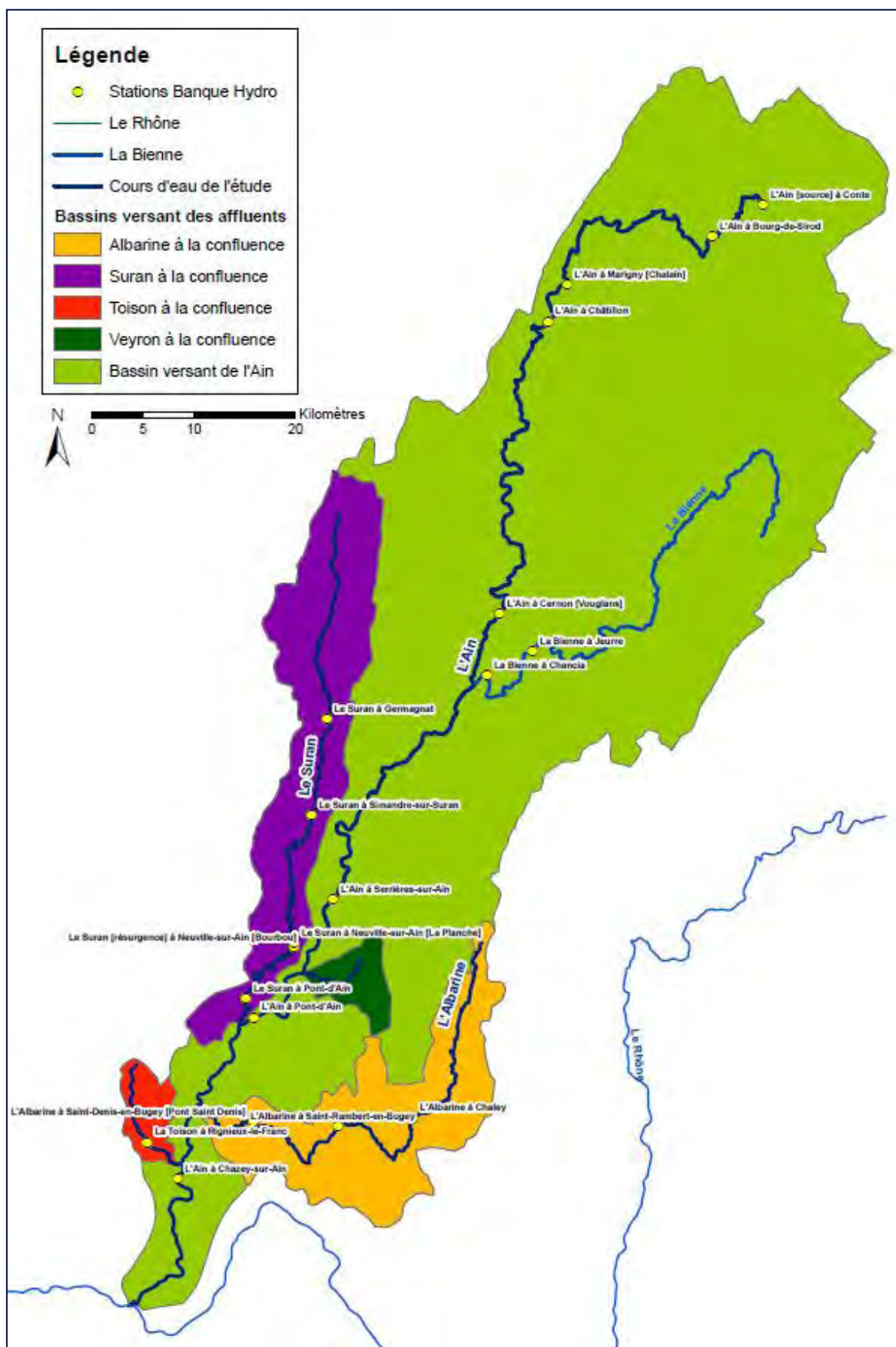


Figure 17. Stations hydrométriques de la Banque Hydro exploitées dans l'étude

5.4.2 Débits maximaux annuels à Chazey-sur-Ain

Le rapport du PPRi réalisé par SOGREAH en 1998 exploite une chronique historique de débits maximaux annuels reconstitués sur la période (1913-1998), dont une partie n'est pas disponible sur la Banque Hydro.

Ces données supplémentaires permettent donc d'améliorer la connaissance de l'hydrologie naturelle de l'Ain. Elles ont donc été valorisées.

Le barrage de Vouglans ayant été construit en 1968-1969, nous considérerons dans la suite que l'hydrologie est :

- « **Naturelle** » (non influencée par le barrage) pour la période antérieure à 1968,*
- « **Influencée** » pour la période postérieure.

Les données reconstituées par SOGREAH sur la période 1918-1958 sont récapitulées dans le Tableau 17.

Tableau 17. Débits de pointe maximaux annuels - Source : étude SOGREAH 1998

Avant la création du barrage de Vouglans				Après création de Vouglans	
Année	Débit maximal annuel (m3/s)	Année	Débit maximal annuel (m3/s)	Année	Débit maximal annuel (m3/s)
1913	1380	1941	670	1968	1020
1914	1476	1942	690	1969	548
1915	872	1944	1970	1970	1000
1916	1200	1943	440	1970	815
1917	702	1945	1240	1972	386
1918	2230	1946	1150	1972	438
1919	1150	1947	925	1973	486
1920	792	1948	520	1974	710
1921	290	1949	750	1975	615
1922	1630	1950	2050	1976	516
1923	1300	1951	880	1977	1390
1924	940	1952	1120	1978	1160
1925	1690	1953	1070	1979	990
1926	670	1954	1620	1980	1180
1927	935	1955	1500	1981	969
1928	2100	1956	1468	1982	1220
1929	496	1957	2230	1983	1470
1930	872	1958	750	1984	1080
1931	1060	1959	766	1985	1150
1932	662	1960	970	1986	844
1933	834	1961	1330	1987	946
1934	353	1962	1430	1988	571
1935	1900	1963	883	1988	923

Avant la création du barrage de Vouglans				Après création de Vouglans	
Année	Débit maximal annuel (m3/s)	Année	Débit maximal annuel (m3/s)	Année	Débit maximal annuel (m3/s)
1936	930	1964	527	1990	1910
1937	853	1965	970	1991	467
1938	496	1965	1190	1991	1730
1939	1294	1966	960	1992	1150
1940	1180	1967	945	1993	1180
				1995	1050
				1996	994
				1996	712
				1997	591

L'ensemble de ces données a été découpé en 2 échantillons : un échantillon « **naturel** » et un échantillon « **influencé** ».

Une loi de Gumbel a ensuite été appliquée à ces 2 échantillons pour déterminer un **gradex des débits naturels et un gradex des débits influencés** (Cf ; Tableau 18).

Tableau 18. Gradex des débits naturels et influencés de l'Ain à Chazey-sur-Ain déterminés par une loi Gumbel

Bassin	Gradex de Débit (m3/s)
L'Ain à Chazey-sur-Ain naturel (1913 -1967)	372
L'Ain à Chazey-sur-Ain influencé (1968 -1997)	289

L'ajustement de Gumbel par la méthode des moments nous permet d'estimer les quantiles **des débits naturels et influencés** (Cf. Tableau 19). Ces valeurs ont par la suite été utilisées pour calculer l'hydrologie naturelle de l'Ain par la méthode du gradex (Cf. partie suivante 5.4.3).

Tableau 19. Débits naturels calculés au droit de la station de Chazey-sur-Ain

Période de retour	Débit naturel (m3/s)	Débit influencé (m3/s)
2 ans	1017	912
5 ans	1438	1152
10 ans	1717	1334

L'ajustement réalisé pour calculer ces débits est représenté par les graphes de la Figure 18 (débits naturels) et de la Figure 19 (débits influencés).

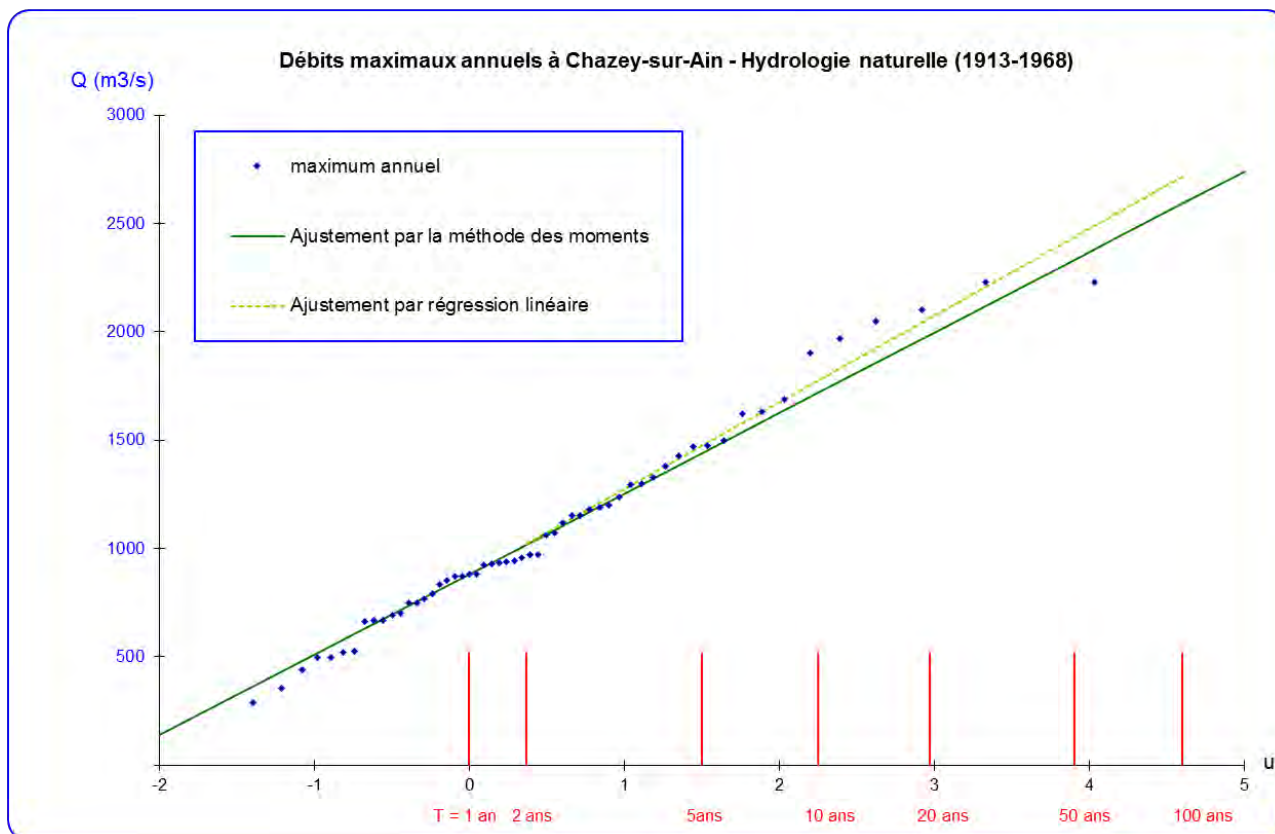


Figure 18. Calcul des débits naturels de l'Ain par une loi de Gumbel

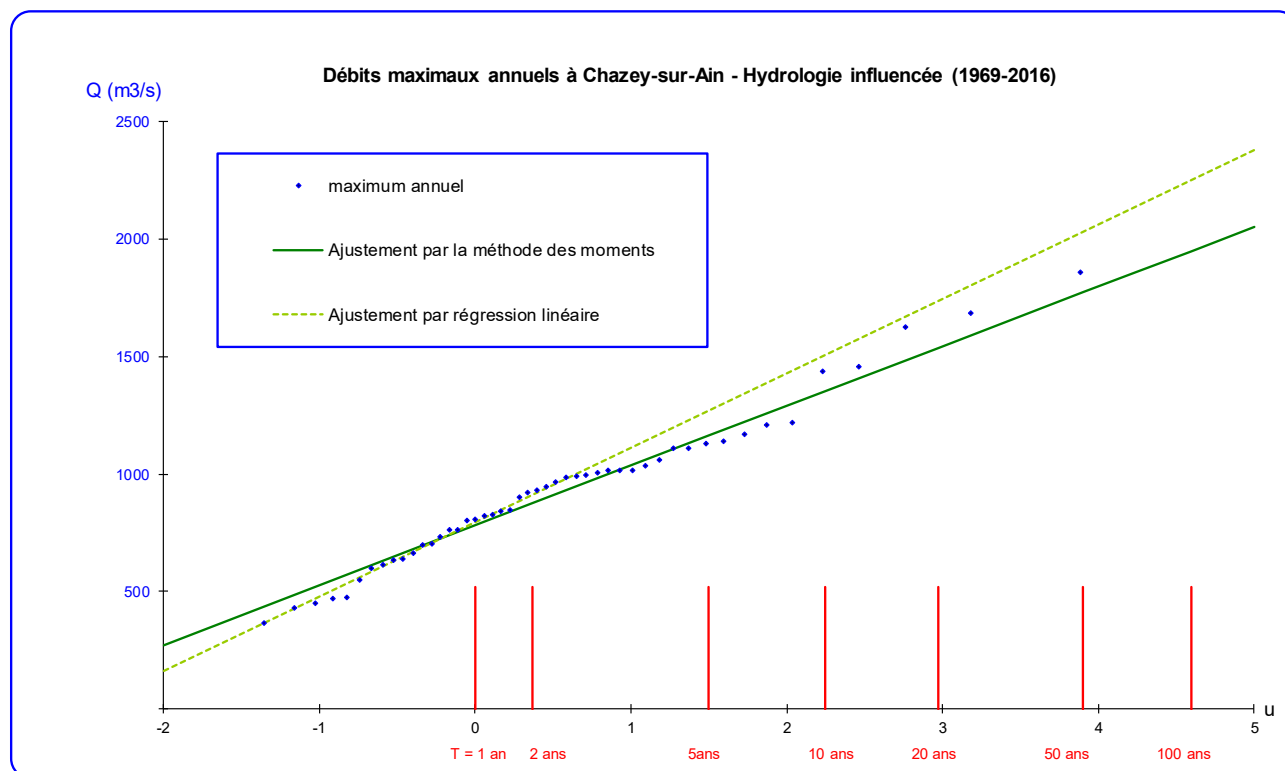


Figure 19. Calcul des débits influencés de l'Ain par une loi de Gumbel

5.4.3 Calcul des débits de crues aux stations par la méthode du GRADEX

5.4.3.1 Généralités sur la méthode du GRADEX

La méthode du Gradex est depuis une trentaine d'année la méthode de référence pour l'estimation des débits de crue rares et extrêmes. Elle repose sur l'« extrapolation des débits par les pluies » dès lors que le bassin versant est saturé. Le principe général et les différentes variantes de cette méthode sont rappelés dans les parties suivantes.

5.4.3.1.1 Une hypothèse forte

La méthode du Gradex repose sur une hypothèse forte : **lorsque le bassin versant est saturé, tout accroissement de précipitation ruisselle en intégralité et produit un accroissement de débit en conséquence.**

On considère que le bassin versant est saturé au-delà d'une période de retour « pivot », généralement prise à 10 ou 20 ans. Au-delà de cette période et selon l'hypothèse mentionnée plus haut, le comportement asymptotique des débits est donc similaire à celui des pluies. Sur un graphe de Gumbel, et après prise en compte de la surface du bassin versant, cela se traduit par le fait que la pente d'extrapolation (Gradex) des débits est identique à la pente d'extrapolation des pluies. La Figure 20 illustre ce point : elle montre une cassure de la droite d'ajustement des débits au-delà de la période de retour 10 ans.

5.4.3.1.2 Deux variantes pour la partie extrapolée

Pour la partie extrapolée, deux variantes sont possibles :

Mise en œuvre de la méthode du Gradex Brut : il s'agit de la méthode originelle, qui a l'inconvénient de présenter une cassure dans la formulation des débits au droit de la période de retour pivot. Sa formulation est la suivante :

Avec :

T	période de retour
V	débit ou volume
a_p	Gradex des pluies

$$V_d(T) = V_d(T_g) + a_p \ln(T/T_g)$$

Mise en œuvre de la méthode du Gradex esthétique : cette formulation plus progressive a été proposée par la suite pour palier à l'inconvénient du Gradex brut.

Sa formulation est la suivante :

$$V_d(T) = V_d(T_g) + [a_p]_d \ln \left(1 + \frac{[a_q]_d (T - T_g)}{[a_p]_d T_g} \right)$$

Avec : notations idem précédemment et a_q Gradex des faibles débits

La figure suivante permet d'apprécier la différence d'extrapolation générée par les deux méthodes (courbe bleue : extrapolation par le Gradex brut / courbe rouge : extrapolation par le Gradex esthétique).

Dans le cadre de la présente étude, une comparaison systématique des deux types d'extrapolations sera réalisée. Une discussion sera engagée pour déterminer quelles valeurs

retenir en définitive. L'extrapolation par le Gradex esthétique s'impose cependant aujourd'hui comme plus fiable du fait de son caractère progressif.

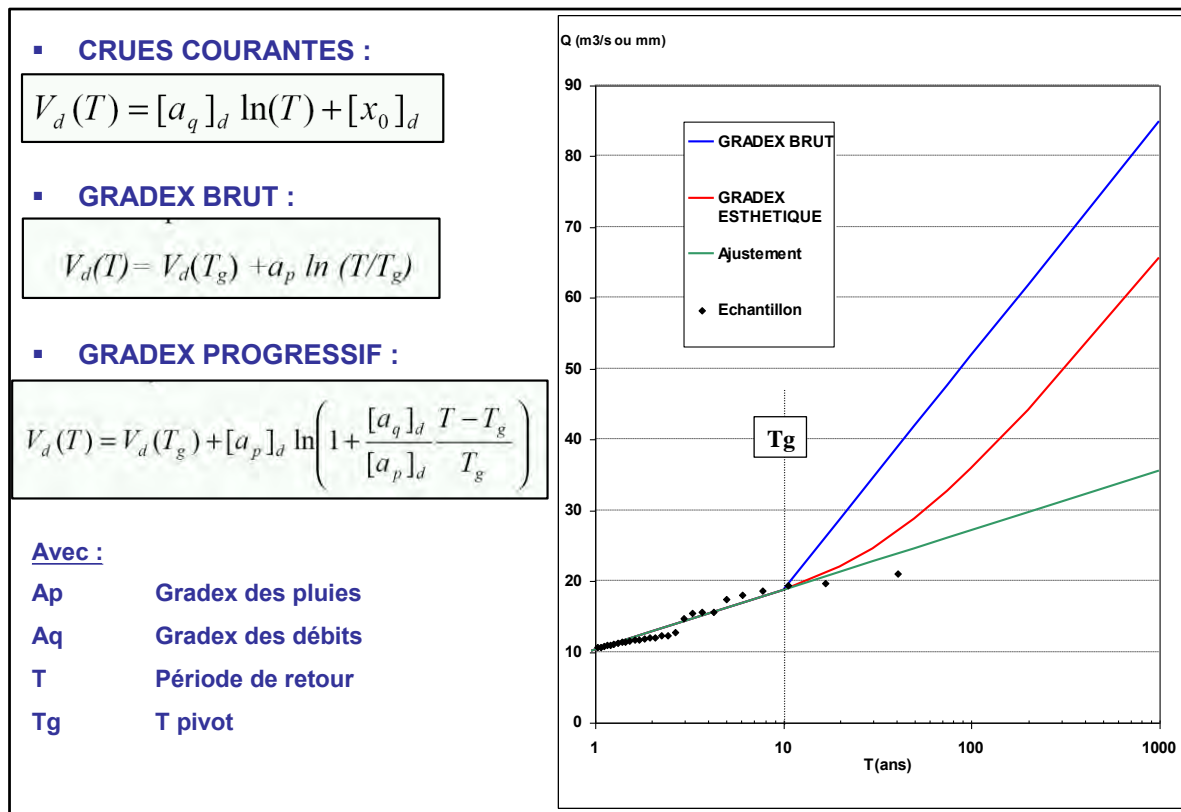


Figure 20. Extrapolation par la méthode du Gradex

5.4.3.2 Bassin versant de l'Ain

5.4.3.2.1 Calculs des débits naturels et influencés

La particularité du bassin versant de l'Ain est que son hydrologie est influencée par la présence d'un barrage EDF situé en amont de la zone d'étude. Ce barrage de Vouglans a pour rôle la production d'électricité mais il régule également les crues par le stockage réalisé dans son réservoir.



On rappelle que l'hydrologie de l'Ain antérieure à la construction du barrage (1968) est qualifiée de naturelle tandis que celle postérieure à sa création est influencée par le barrage.

Une double analyse doit donc être effectuée en distinguant ces 2 périodes.

Les données d'hydrologie naturelle disponibles via la Banque Hydro concernent la période 1959-1968 soit moins de 10 ans. Les données issues de la bibliographie ont donc été valorisées au maximum car elles permettent d'étendre l'analyse à une période plus grande de 55 ans (Cf. partie 5.4.2).

L'application de la méthode du GRADEX sur l'échantillon des débits naturels de l'Ain a donc permis d'obtenir les Qix et Vcxd suivants, en pratiquant une analyse de sensibilité sur :

- **La méthode (Gradex Brut / Gradex Progressif),**
- **La durée de base de l'extrapolation (1 jour / 40 heures / 2 jours).**

Tableau 20. Détermination des débits naturels de crue de l'Ain par la méthode du Gradex à la station de Chazey-sur-Ain

40 h – max annuel		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.367	1017	828	1017	828
5	1.500	1438	1180	1438	1180
10	2.250	1717	1414	1717	1414
20	2.970	2026	1668	1988	1636
50	3.902	2425	1996	2364	1946
70	4.241	2571	2116	2505	2062
100	4.600	2725	2243	2656	2186

1 jour – max annuel		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	1017	903	1017	903
5	1.500	1438	1277	1438	1277
10	2.250	1717	1524	1717	1524
20	2.970	2096	1860	2042	1812
50	3.902	2585	2294	2498	2217
70	4.241	2763	2453	2670	2370
100	4.600	2952	2620	2854	2533

2 jours – max annuel		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.367	1017	792	1017	792
5	1.500	1438	1124	1438	1124
10	2.250	1717	1344	1717	1344
20	2.970	2009	1572	1983	1552
50	3.902	2387	1868	2344	1835
70	4.241	2524	1976	2479	1940
100	4.600	2670	2089	2622	2052



A noter

Une hypothèse de conservation des rapports Qix/Vcxd a été considérée pour appliquer la méthode du gradex. La méthode des maximaux annuels ayant été appliquée sur les données disponibles, la méthode de calcul du gradex progressif est difficilement applicable car biaisé pour l'hydrologie naturelle de l'Ain.

L'application de la méthode du GRADEX sur l'échantillon des débits influencés de l'Ain a donc permis d'obtenir les Qix et Vcxd suivants, toujours en pratiquant une analyse de sensibilité sur :

- La méthode (Gradex Brut / Gradex Progressif),
- La durée de base de l'extrapolation (1 jour / 40 heures / 2 jours).

Tableau 21. Détermination des débits influencés de crue de l'Ain par la méthode du Gradex à la station de Chazey-sur-Ain

40 h – sup seuil		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	912	743	912	743
5	1.609	1152	945	1152	945
10	2.303	1334	1098	1334	1098
20	2.996	1631	1343	1500	1235
50	3.912	2024	1666	1790	1473
70	4.248	2168	1785	1911	1573
100	4.605	2321	1911	2046	1684

1 jour – sup seuil		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	912	810	912	810
5	1.609	1152	1023	1152	1023
10	2.303	1334	1184	1334	1184
20	2.996	1698	1507	1547	1373
50	3.912	2180	1935	1911	1696
70	4.248	2356	2091	2062	1830
100	4.605	2544	2258	2229	1979

2 jours – sup seuil		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	912	710	912	710
5	1.609	1152	900	1152	900
10	2.303	1334	1044	1334	1044
20	2.996	1615	1264	1483	1161
50	3.912	1986	1555	1748	1368
70	4.248	2123	1661	1860	1456
100	4.605	2267	1774	1986	1554

5.4.3.2.2 Discussion sur les débits de référence à considérer

Dans le cadre de cette étude, une double analyse a été réalisée sur l'hydrologie de l'Ain en prenant en compte la période « influencée » et « naturelle » du cours d'eau.

Dans le cadre de l'étude, il est proposé de considérer les débits de référence suivants :

- **Pour les périodes de retour de 2 à 20 ans** : les débits de l'Ain proposés sont les **débits influencés**. Pour ces périodes de retour, seul Q20 est extrapolé par la méthode du gradex. On propose donc de considérer :

- **Q2 = 912 m³/s**
- **Q5 = 1152 m³/s**
- **Q10 = 1334 m³/s**
- **Q20 = 1547 m³/s**

(pour Q20, on retient la valeur issue du gradex progressif pour une durée de 1 jour)

- **Pour les périodes de retour de 50 à 70 ans** : 3 alternatives sont possibles :

- Considérer l'hydrologie « naturelle » de l'Ain soit :
 - Q50 = 2425 m³/s
 - Q70 = 2571 m³/s(gradex brut pour une durée de 40h)
- **Considérer une extrapolation par la méthode du gradex en partant de la crue décennale influencée mais sans considérer de stockage dans le barrage Vouglans** :
 - **Q50 = 1911 m³/s**
 - **Q70 = 2062 m³/s**(gradex progressif pour une durée de 1 jour)
- Considérer une extrapolation par la méthode du gradex en partant de Q10 influencé mais en considérant le stockage du barrage de Vouglans.



Après discussion avec EDF, la probabilité que le barrage atténue peu ou pas ces deux crues, il est proposé de retenir les valeurs intermédiaires en gras ci-dessus.

- **Pour la période de retour de 100 ans** : le débit centennal proposé est le **débit naturel**. Il s'agit d'un choix dicté par la réglementation sur les PPRi, qui impose à ne pas considérer les ouvrages de stockage pour la crue de référence.

La gamme de débits obtenue par la méthode du gradex progressif et du gradex brut est comprise entre 2622 et 2952 m³/s selon la durée de pluie retenue (1 jour, 40h et 2 jours) et la méthode utilisée. Par critère sécuritaire, on propose de prendre en compte la méthode du gradex brut de durée 1 jour :

- **Q100 = 2952 m³/s**



Cette valeur est cohérente avec celle retenue par SOGREAH lors de l'élaboration des PPRi en 1999 de 3000m³/s à Chazey-sur-Ain.

5.4.3.3 Bassins versants des affluents

Les bassins versants des affluents de l'Ain considérés dans la présente étude ne sont pas influencés par le barrage de Vouglans. Leur hydrologie est naturelle et une double analyse n'est donc pas nécessaire.

5.4.3.3.1 Le Suran

L'application de la méthode du GRADEX sur l'échantillon des débits naturels du Suran a permis d'obtenir les Qix et Vcxd suivants :

Tableau 22. Détermination des débits de crue du Suran par la méthode du Gradex à la station de Pont d'Ain

47h - sup seuil		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	90	67	90	67
5	1.609	108	83	108	83
10	2.303	122	94	122	94
20	2.996	164	126	140	108
50	3.912	219	169	175	135
70	4.248	240	185	191	147
100	4.605	261	201	209	161

5.4.3.3.2 L'Albarine

L'application de la méthode du GRADEX sur l'échantillon des débits naturels de l'Albarine a permis d'obtenir les Qix et Vcxd suivants :

Tableau 23. Détermination des débits de crue de l'Albarine par la méthode du Gradex à la station de Saint-Denis-en-Bugey

18h - sup seuil		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	114	96	114	96
5	1.609	145	122	145	122
10	2.303	169	141	169	141
20	2.996	209	174	195	163
50	3.912	261	218	238	199
70	4.248	280	234	255	213
100	4.605	300	251	274	229

5.4.3.3.3 Le Toison

L'application de la méthode du GRADEX sur l'échantillon des débits naturels du Toison a donc permis d'obtenir les Qix et Vcxd suivants :



Les données hydrométriques disponibles sur la Banque Hydro correspondent à la période de 2005-2016. Cette période peut s'avérer courte pour la représentativité des données.

Tableau 24. Détermination des débits de crue du Toison par la méthode du Gradex à la station de Rignieux-le-Franc

8h - sup seuil		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	15	12	15	12
5	1.609	21	15	21	15
10	2.303	25	18	25	18
20	2.996	39	28	31	22
50	3.912	57	41	41	30
70	4.248	63	46	46	33
100	4.605	70	51	51	37

5.4.3.3.4 Le Veyron

Le bassin versant du Veyron n'est pas jaugé. Pour déterminer l'hydrologie de ce bassin versant, une méthode alternative de reconstruction des débits par transposition depuis un bassin versant similaire et jaugé a été appliquée.

Les valeurs de débits de crue ont été transposées en considérant le rapport des surfaces des bassins versants à la puissance 0,8 (formule de Myer). Cette méthode de transposition est illustrée par la Figure 21 ci-après.

Bassin de référence jaugé

Bassin d'application

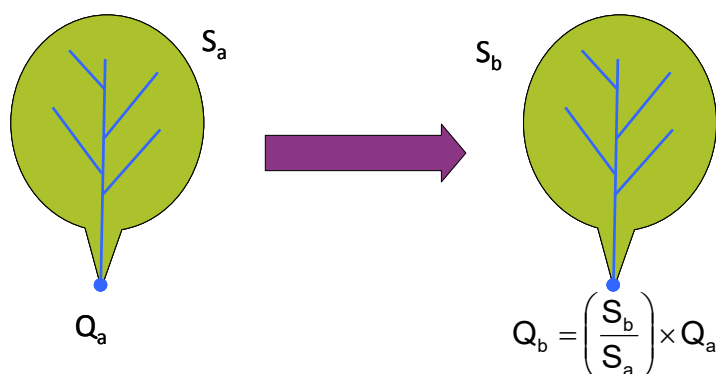


Figure 21. Méthode de transposition par la formule de Myer

Une transposition à partir du bassin versant du Toison et une à partir de l'Albarine ont été réalisées. Les débits calculés sur le Toison par la méthode du gradex à partir des données de ces deux bassins sont récapitulées dans le Tableau 24. On peut noter que les débits résultant de ces deux transpositions sont équivalents.

Dans la suite de l'étude, la transposition du bassin de l'Albarine est retenue pour la détermination des débits du Veyron. En effet, cette transposition est sécuritaire et la plus appropriée compte tenu de contexte géographique et topographique similaire des bassins versants.

Tableau 25. Détermination des débits de crue du Toison par la méthode du Gradex à la station de Rignieux-le-Franc par transposition du bassin versant du Toison et de l'Albarine

8h - sup seuil transposé à partir du Toison		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	19	15	19	15
5	1.609	27	20	27	20
10	2.303	32	23	32	23
20	2.996	52	38	39	28
50	3.912	79	57	53	38
70	4.248	89	65	59	43
100	4.605	99	72	67	49

8h - sup seuil – transposé à partir de l'Albarine		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)	Qix (m3/s)	VCXd (m3/s)
2	0.693	25	21	25	21
5	1.609	32	27	32	27
10	2.303	38	31	38	31
20	2.996	55	46	44	37
50	3.912	79	66	57	48
70	4.248	87	73	63	53
100	4.605	96	80	70	59

5.5 Influence du barrage de Vouglans sur les débits

EDF nous a fourni des données sur le barrage de Vouglans et sur sa gestion. Le tableau suivant définit les caractéristiques principales du barrage.

Cours d'eau	Ain
Mise en service	Décret du 8 août 1969
Surface du bassin versant	1120 km ²
Débit moyen naturel	38 m3/s
Débit maximal turbinable	323 m3/s
Plus grande crue connue	1957 - 1100 m3/s
Débit de pointe décennal	660 m3/s
Débit de pointe centennal	1150 m3/s
Débit de pointe millénale	1625 m3/s
Débit de pointe décennal	2100 m3/s
Volume total de la retenue	599 842 000 m3 à la cote 429.00 m NGF

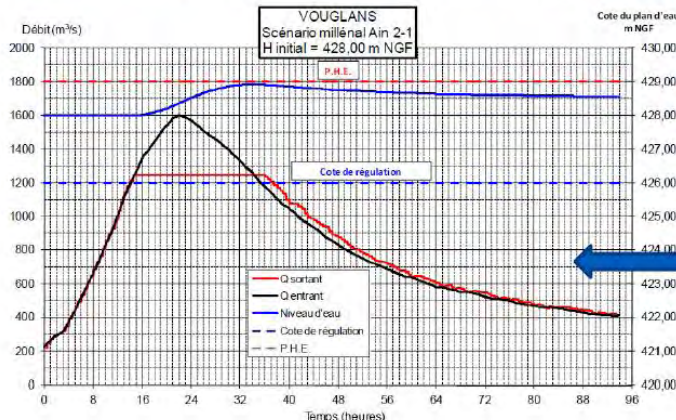
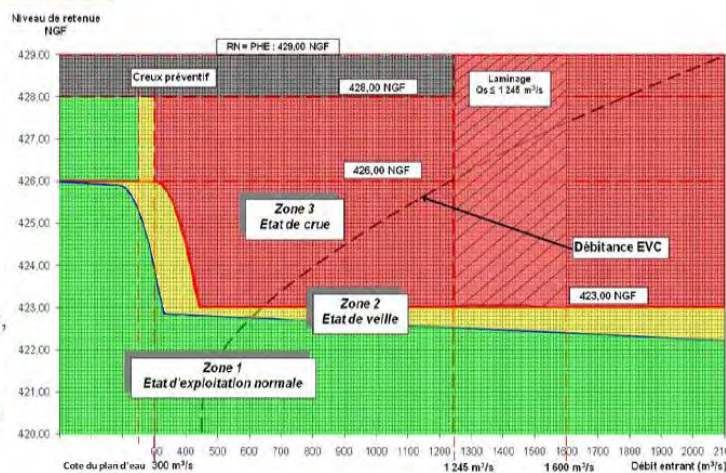
Volume de la tranche utile	419 467 000 m ³ à la cote 429.00 m NGF
Cote minimale en exploitation	395.00 m NGF
cote de RN	429.00 m NGF
Cote des PHE	429.00 m NGF

EDF nous a également transmis le document suivant qui définit l'exploitation du barrage de Vouglans.

Mode d'exploitation du barrage

En contexte de crue :

- Déclaration d'état : Veille / Crue**
 ⇒ fonction (H, débit entrant).
- Présence permanente de l'exploitant à l'état de crue**
- Deux modes de conduite :**
 - $H < 426,00$ ⇒ Mode « Dordogne »,
 - $H > 426,00$ ⇒ Egalité $Q_s = Q_e$.
- Laminage à partir de 1.245 m³/s (*)**



(*) ⇒ sollicitation du creux préventif (1,00 m) à 428,00 pour couvrir le déficit de débitance à la Q_{1000} d'Allement et Cize.

Simulation d'une crue millénale au départ 428,00 : $Q_s = Q_e$ jusqu'à 1245 m³/s puis laminage avec sollicitation du creux préventif.



Lors d'une réunion qui s'est tenue avec les services d'EDF, l'influence potentielle du barrage sur les crues a été synthétisée comme suit :

- Pour les crues jusqu'à la crue décennale, le barrage joue pleinement son rôle et est capable de stocker une part importante de la crue,
- Au-delà, cet effet s'estompe rapidement, et peut même souvent ne pas être perceptible.

Les valeurs de référence pour l'hydrologie de l'Ain présentées précédemment tiennent compte de ce constat.

5.6 Débits de référence pour notre zone d'étude

Pour rappel, les différents débits qui ont été calculés pour les affluents au droit des stations hydrométriques sont rappelés dans le tableau suivant :

Tableau 26. Récapitulatif des débits calculés pour les affluents

	Suran		Albarine		Toison		Veyron	
	356 km2		308 km2		40 km2		40 km2	
	Gr.Brut	Gr. Progressif	Gr.Brut	Gr. Progressif	Gr.Brut	Gr. Progressif	Gr.Brut	Gr. Progressif
Q2		90		114		15		25
Q5		108		145		21		32
Q10		122		169		25		38
Q20	164	140	209	195	39	31	55	44
Q50	219	175	261	238	57	41	79	57
Q70	240	191	280	255	63	46	87	63
Q100	261	209	300	274	70	51	96	70

Si l'on compare ces débits avec ceux de la bibliographie récapitulés dans le tableau ci-dessous, on constate que :

- Le débit de l'Albarine calculé dans la présente étude (274 m³/s) est **équivalent** au débit calculé par SOGREAH (280 m³/s) mais **inférieur** au débit calculé dans l'étude HTV (306-325 m³/s) ;
- Le débit du Suran calculé dans la présente étude (209 m³/s) est **supérieur** au débit calculé par SOGREAH (160 m³/s), mais inférieur au débit centennal retenu dans le cadre de l'étude PPRi sur la commune de Pont d'Ain (250 m³/s). Cette dernière valeur de 250 m³/s semble cependant surestimée, en particulier au regard du rapport Q100/Q10, ici égal à 2.

Tableau 27. Débits de l'Albarine et du Suran dans la bibliographie

			Q10	Q100	Q100 retenue pour la présente étude
Etude HTV sur l'Albarine [Réf.2]	Etude de 1993	Albarine (Saint-Denis-en-Bugey)	204	306	-
	Débits proposés	Albarine (Saint-Denis-en-Bugey)	183	325	-
Etude SOGREAH réactualisée [Réf.1]		Albarine (Saint-Denis-en-Bugey)	185	280	320
		Suran (Pont d'Ain)	115	160	209



Dans la suite de l'étude, pour être sécuritaire et en cohérence avec le PPRi de l'Albarine, le débit considéré pour le PPRi a été conservé pour la crue centennale (soit 325 m³/s).

Pour le débit centennal du Suran à Pont d'Ain, il semble préférable de conserver pour la suite la valeur issue de la présente étude (209 m³/s), sécuritaire par rapport à aux estimations de Sogreah (160 – 180 m³/s) mais plus réaliste que celle retenue dans le cadre de l'étude PPRi sur la commune de Pont d'Ain (250 m³/s), qui apparaît surestimée.

Un tableau récapitulatif de l'ensemble des débits calculés pour l'Ain a également été réalisé (Cf. Tableau 28).

Tableau 28. Récapitulatif des débits calculés pour l'Ain

		Amont étude 2686 km2	Pont d'Ain 2760 km2	Chazey-sur-Ain 3630 km2
Q2	données influencées 1969-2016	825	843	910
Q5	données influencées 1969-2016	1043	1058	1150
Q10	données influencées 1969-2016	1210	1221	1335
Q20	données influencées 1969-2016	1402	1414	1546
Q2	données naturelles Chazey 1913-1968	/	/	1017
Q5	données naturelles Chazey 1913-1968	/	/	1438
Q10	données naturelles Chazey 1913-1968	/	/	1717
Q20	données naturelles Chazey 1913-1968	/	/	2096
Q50	données influencées 1969-2016 extrapolées / Gradex sans intégrer Vouglans	1732	1748	1911
Q70	données influencées 1969-2016 extrapolées / Gradex sans intégrer Vouglans	1869	1886	2062
Q50	données influencées 1969-2016 extrapolées / Gradex en intégrant Vouglans	?	?	? (<1911)
Q70	données influencées 1969-2016 extrapolées / Gradex en intégrant Vouglans	?	?	? (<2062)
Q100	données influencées 1969-2016 extrapolées / Gradex sans intégrer Vouglans	2021	2039	2229
Q100	données influencées 1969-2016 extrapolées / Gradex en intégrant Vouglans	?	?	? (<2229)
Q100	données naturelles Chazey 1913-1968	2674	2698	2950

On retient les valeurs obtenues avec le gradex progressif pour la durée 24 heures (plus sécuritaires que celles obtenues avec 40h, durée sur laquelle le gradex des pluies de bassin est incertain)

On retient les valeurs obtenues avec le gradex brut sur la durée 1 jour (point de vue sécuritaire)

En conclusion, les débits de référence qui sont exploités dans la présente étude sont résumés dans le tableau ci-dessous pour chaque cours d'eau.

 **A noter**

*En ce qui concerne l'Ain, la méthode choisie est la suivante ; une **extrapolation par la méthode du gradex en partant de Q10 influencé mais sans considérer de stockage dans le barrage Vouglans (gradex progressif pour une durée de 1 jour).***

Tableau 29. Débits de référence pris en compte

	Ain (entrée du modèle)	Ain (Pont d'Ain)	Ain (Chazey-sur-Ain)	Suran	Albarine	Toison	Veyron
Q2	825	843	910	90	114	15	25
Q5	1043	1058	1150	108	145	21	32
Q10	1210	1221	1335	122	169	25	38
Q20	1402	1414	1546	140	195	31	44
Q50	1732	1748	1911	175	238	41	57
Q70	1869	1886	2062	191	255	46	63
Q100	2674	2698	2950	209	325	51	70

5.7 Hydrogrammes synthétiques

5.7.1 Bassin versant de l'Ain

5.7.1.1 Hydrogramme synthétique HSMF

Pour le bassin versant de l'Ain, l'hydrogramme synthétique utilisé est un Hydrogramme Synthétique Monofréquence (HSMF). Ces hydrogrammes sont construits à partir des résultats issus des étapes précédentes (Qix et VCXd pour les périodes de retour 2 à 100 ans).

Ces hydrogrammes, dont la construction respecte les volumes (VCXd) évalués quelle que soit la durée considérée, résument toute l'information hydrologique disponible à une station hydrométrique donnée :

- Ils sont « synthétiques » par opposition à « naturels ». La confrontation des HSMF obtenus avec les épisodes observés doit néanmoins être réalisée.
- Ils sont « monofréquence » puisque leur période de retour est unique (exemple : 10 ans, 100 ans...) quelle que soit la durée sur laquelle on les considère. Cela en fait des outils très pertinents dans les études de dimensionnement ou de gestion d'aménagements.



Les hydrogrammes HSMF sont ici construits à partir des Qcxd. Pour chaque période de retour, la relation Qcxd/Vcx est considérée comme constante. Pour construire ces hydrogrammes synthétiques, le temps de montée a été pris égal au temps de durée caractéristiques des bassins versants.

Les hydrogrammes au droit de la station de Chazey-sur-Ain ont ainsi été déterminés et sont représentés Figure 22.

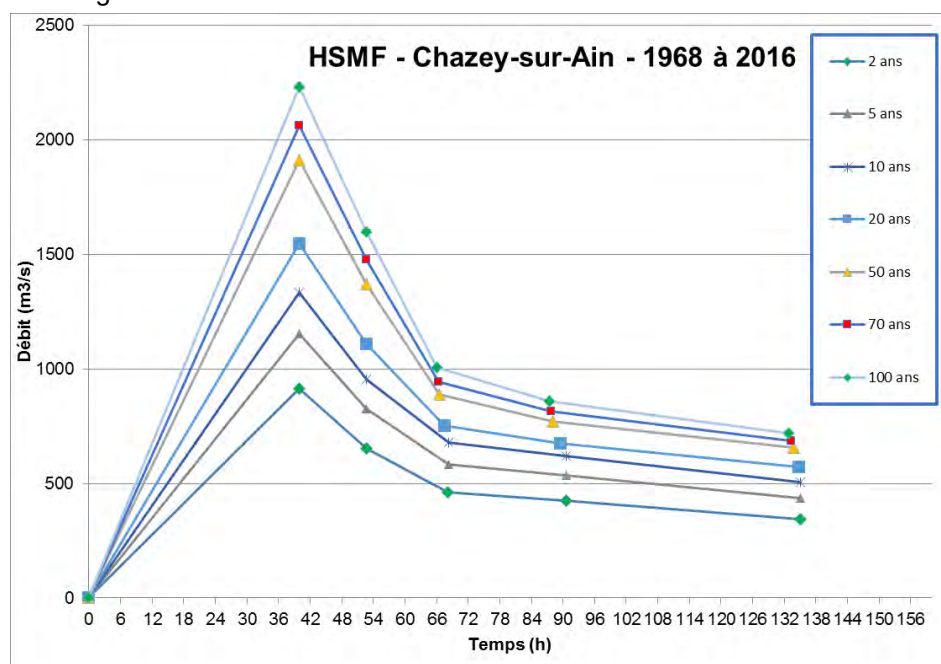


Figure 22. Hydrogramme HSMF de l'Ain au droit de la station de Chazey-sur-Ain - Débits influencés calculés par la méthode du gradex progressif pour 1 jour

5.7.1.2 Hydrogramme par formule analytique

Les hydrogrammes synthétiques peuvent également être construits sur la base de la formulation analytique à l'aide de la formule suivante :

Avec :

$$Q(t) = Q_{\max} \frac{2 \left(\frac{t}{t_m} \right)^a}{1 + \left(\frac{t}{t_m} \right)^{2a}}$$

Q(t) : le débit au pas de temps t,

t : pas de temps,

Qmax : débit de pointe,

tm : temps de montée de la crue,

a : paramètre d'ajustement.

Les hydrogrammes au droit de la station des affluents de l'Ain ont ainsi été déterminés à partir de cette méthode et sont représentés page suivante.



A noter

Pour construire ces hydrogrammes synthétiques, le temps de montée a été pris égal au temps de durée caractéristiques des bassins versants.

Une fois le temps de montée déterminé, le paramètre « a » doit être ajusté de manière à respecter exactement le volume écoulé (soit le Vcx) pour les différentes périodes de retour étudiées.

Un tableau pour chaque bassin versant récapitule la correspondance entre les Vcx calculés par la méthode du gradex et les Vcx des hydrogrammes synthétiques. Les hydrogrammes synthétiques pour chaque bassin versant sont représentés par des graphes dans les parties suivantes.

Des hydrogrammes ont été construits à partir des valeurs de débits influencés obtenus par la méthode du gradex progressif pour les pluies d'une durée de 1 jour, sauf pour la crue centennale pour laquelle le gradex brut est considéré.

Le paramètre d'ajustement a a été déterminé égal à 4.4. On obtient ainsi la correspondance suivante avec les volumes :

Tableau 30. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – L'Ain

Méthode	Vcx - 2ans	Vcx - 5ans	Vcx - 10ans	Vcx - 20ans	Vcx - 50ans	Vcx - 70ans	Vcx - 100ans
Hydrogramme synthétique	809.28	1022.25	1183.75	1372.69	1695.75	1829.86	2617.75
Gradex	810.00	1023.00	1184.00	1372.97	1696.11	1830.24	2620

Pour obtenir les hydrogrammes qui seront imposés en entrée de modèle, soit au droit du barrage d'Allement (à l'amont de la station de Chazey), une transposition a été réalisée à l'aide de la formule de Myer (Cf. partie précédente 5.4.3.3.4).

Les hydrogrammes qui résultent de cette transposition sont représentés Figure 23 page suivante.

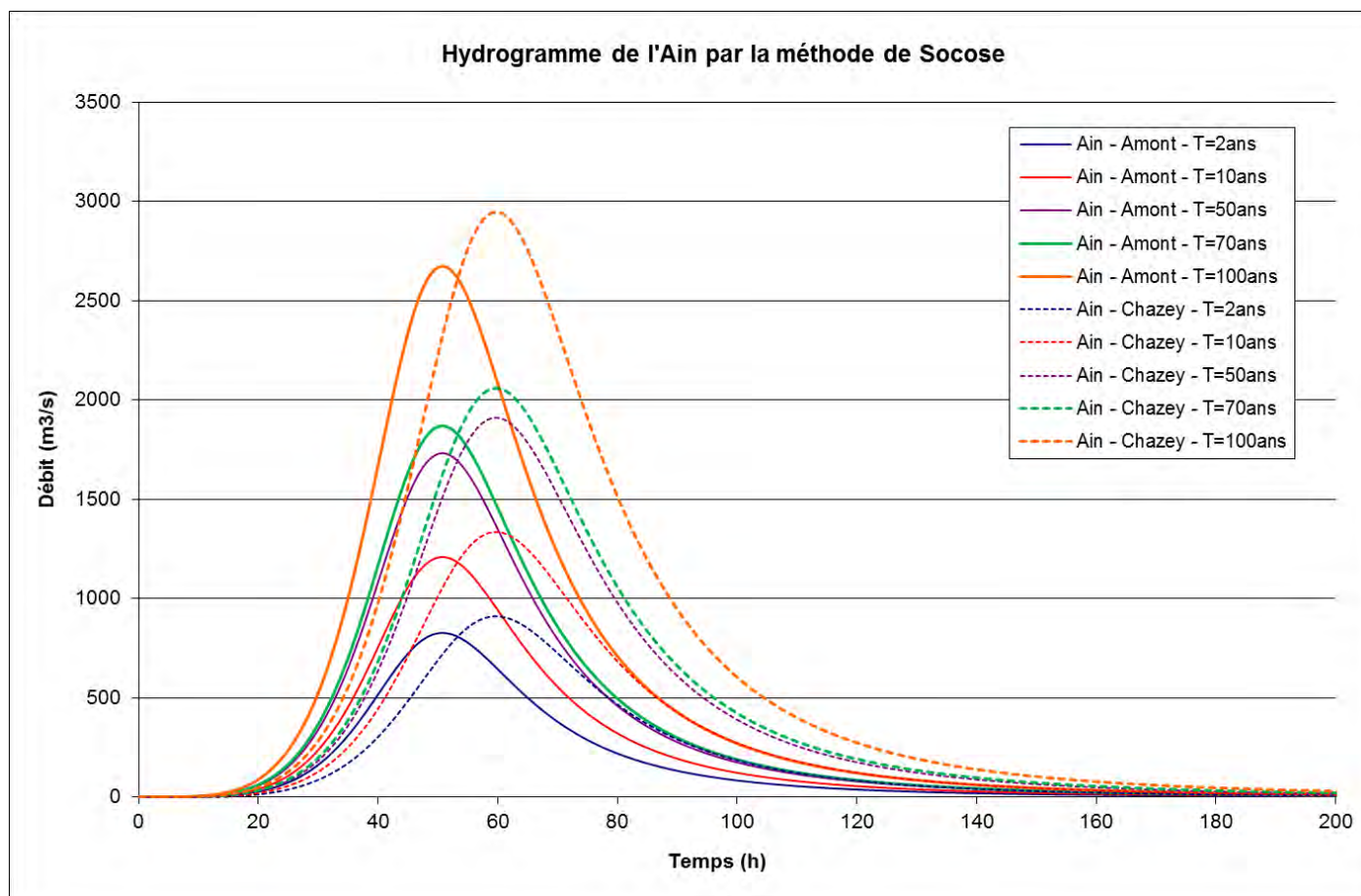


Figure 23. Hydrogramme analytique de l'Ain à Chazey-sur-Ain et transposé en entrée du modèle - Débits influencés calculés par la méthode du gradex progressif pour 1 jour sauf pour Q100

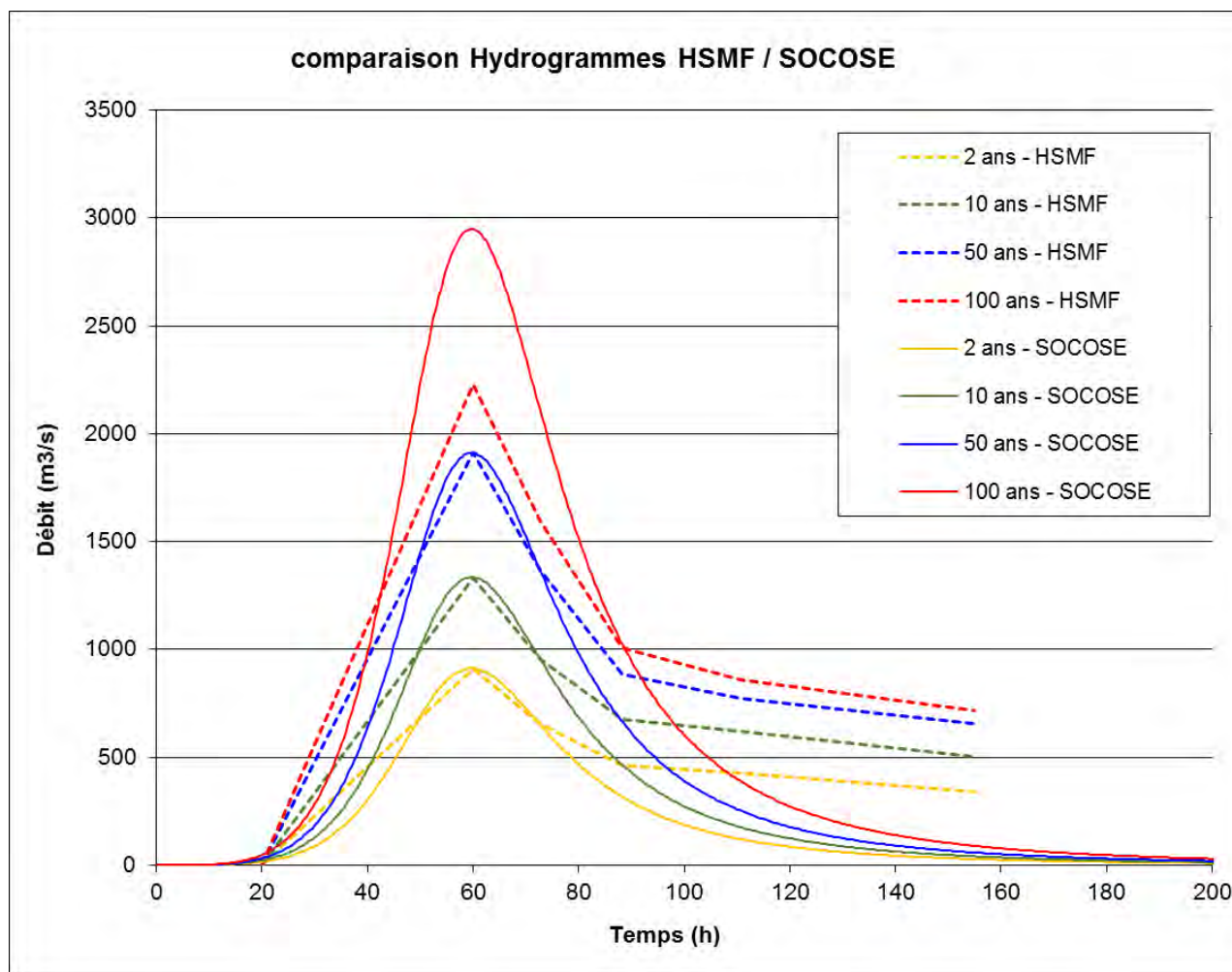


Figure 24. Comparaison des hydrogrammes HSMF et SOCOSE pour l'Ain



Dans la suite de l'étude, les hydrogrammes pris en compte sont ceux de la méthode analytique (SOCOSE). En effet, leur forme est plus représentative d'une crue théorique.

5.7.2 Bassins versants des affluents

Pour les bassins versants des affluents, la méthode par la formule analytique a été utilisée pour déterminer les hydrogrammes synthétiques.

5.7.2.1 Le Suran

Le paramètre d'ajustement a a été déterminé égal à 4.3. On obtient ainsi la correspondance suivante avec les volumes :

Tableau 31. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – Le Suran

Méthode	Vcx - 2ans	Vcx - 5ans	Vcx - 10ans	Vcx - 20ans	Vcx - 50ans	Vcx - 70ans	Vcx - 100ans
Hydrogramme synthétique	69.29	82.87	93.61	107.71	134.63	146.57	160.17
Gradex	67.35	82.51	93.97	108.13	135.15	147.14	160.79

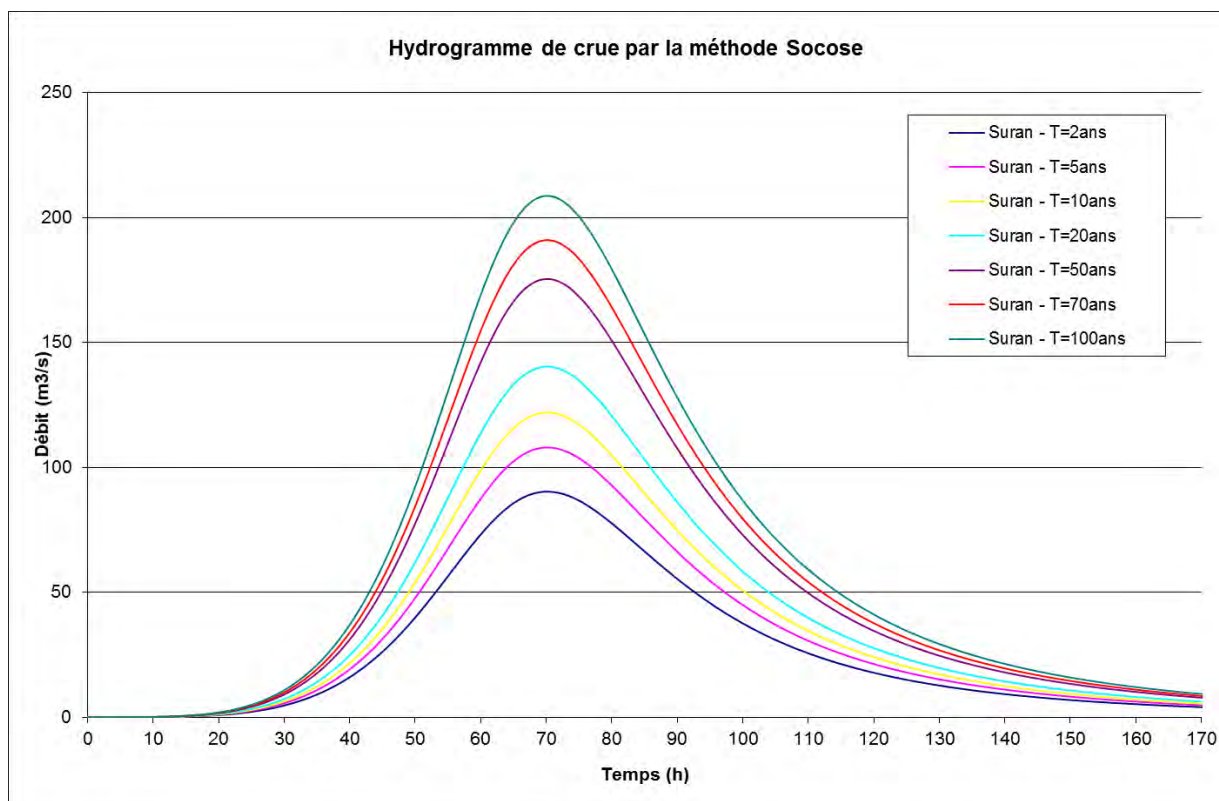


Figure 25. Hydrogramme analytique du Suran à la station de Pont d'Ain

5.7.2.2 L'Albarine

Pour rappel, le débit centennal du PPRi a été considéré également dans cette étude pour être cohérent et sécuritaire. L'hydrogramme a donc été construit par une affinité entre le débit du PPRi (325 m³/s) et celui calculé précédemment par le gradex (274 m³/s).

Le paramètre d'ajustement α a été déterminé égal à 3.3. On obtient ainsi la correspondance suivante avec les volumes :

Tableau 32. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – L'Albarine

Méthode	Vcx - 2ans	Vcx - 5ans	Vcx - 10ans	Vcx - 20ans	Vcx - 50ans	Vcx - 70ans	Vcx - 100ans
Hydrogramme synthétique	95.57	121.56	141.68	163.79	199.53	213.92	291.63
Gradex	95.97	122.00	141.00	163.00	198.57	212.89	228.56

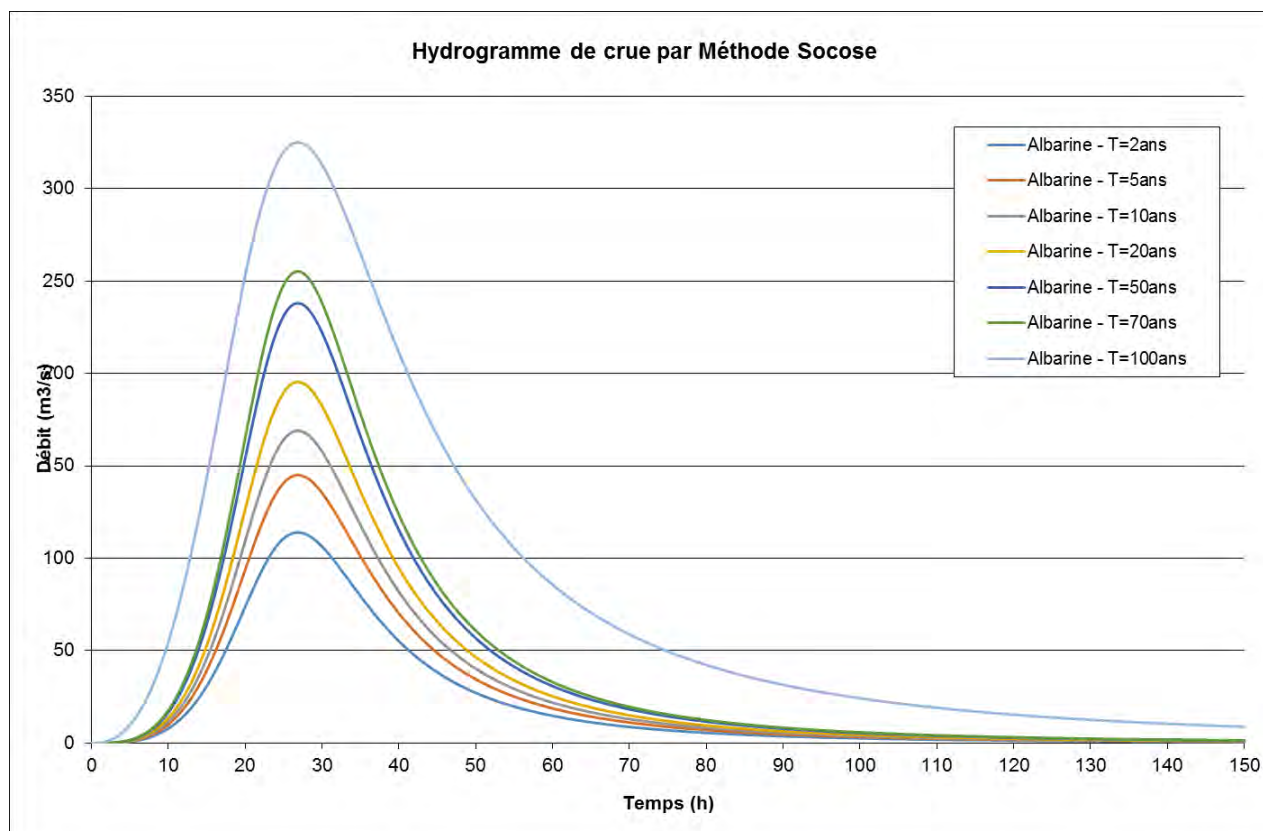


Figure 26. Hydrogramme analytique de l'Albarine à la station de Saint-Denis-en-Bugey

5.7.2.3 Le Veyron

Le paramètre d'ajustement a a été déterminé égal à 3.2. On obtient ainsi la correspondance suivante avec les volumes :

Tableau 33. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – Le Veyron

Méthode	Vcx - 2ans	Vcx - 5ans	Vcx - 10ans	Vcx - 20ans	Vcx - 50ans	Vcx - 70ans	Vcx - 100ans
Hydrogramme synthétique	21.24	27.02	31.49	36.97	48.03	53.12	59.02
Gradex	21.35	27.14	31.37	36.82	47.84	52.91	58.78

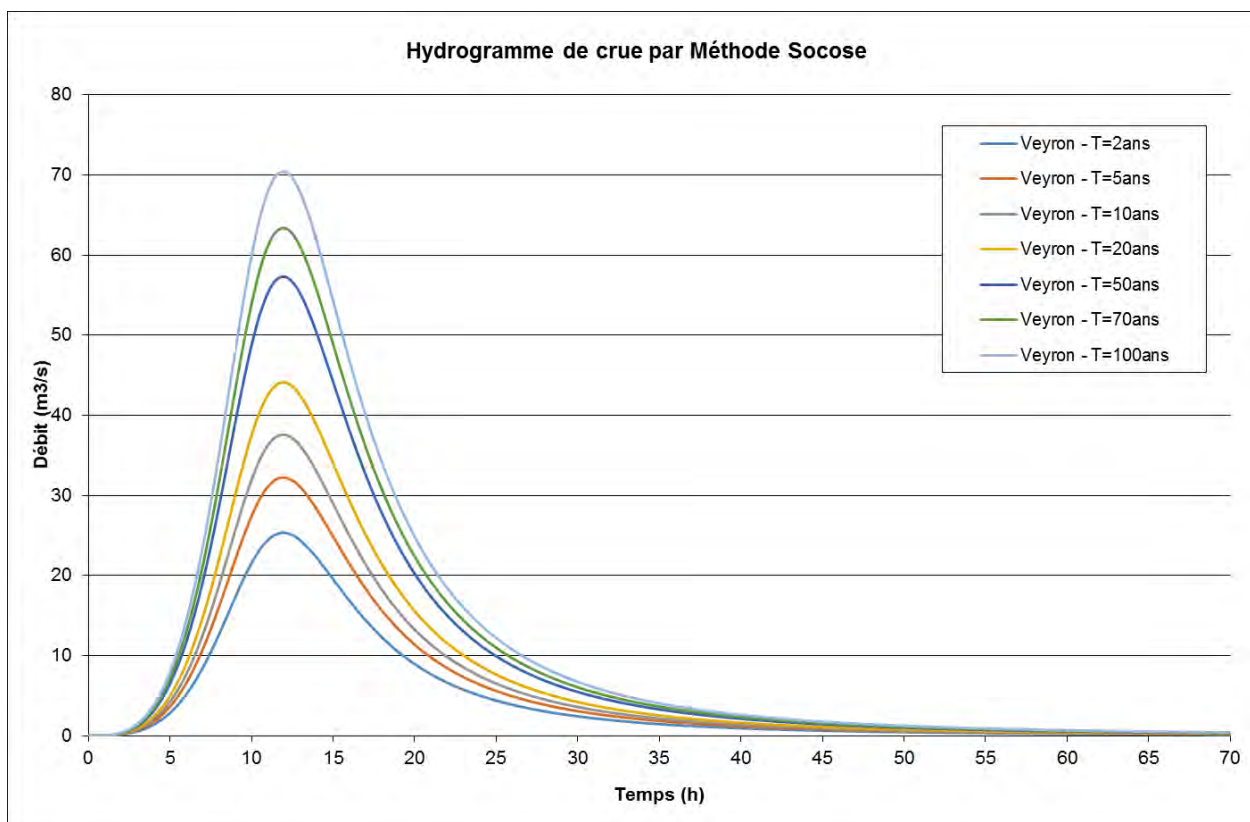


Figure 27. Hydrogramme analytique du Veyron

5.7.2.4 Le Toison

Le paramètre d'ajustement a a été déterminé égal à 4.6. On obtient ainsi la correspondance suivante avec les volumes :

Tableau 34. Correspondance entre les volumes calculés par la méthode du gradex et l'hydrogramme – Le Toison

Méthode	Vcx - 2ans	Vcx - 5ans	Vcx - 10ans	Vcx - 20ans	Vcx - 50ans	Vcx - 70ans	Vcx - 100ans
Hydrogramme synthétique	11.26	15.36	18.53	22.31	29.85	33.30	37.27
Gradex	11.54	15.50	18.49	22.26	29.78	33.22	37.19

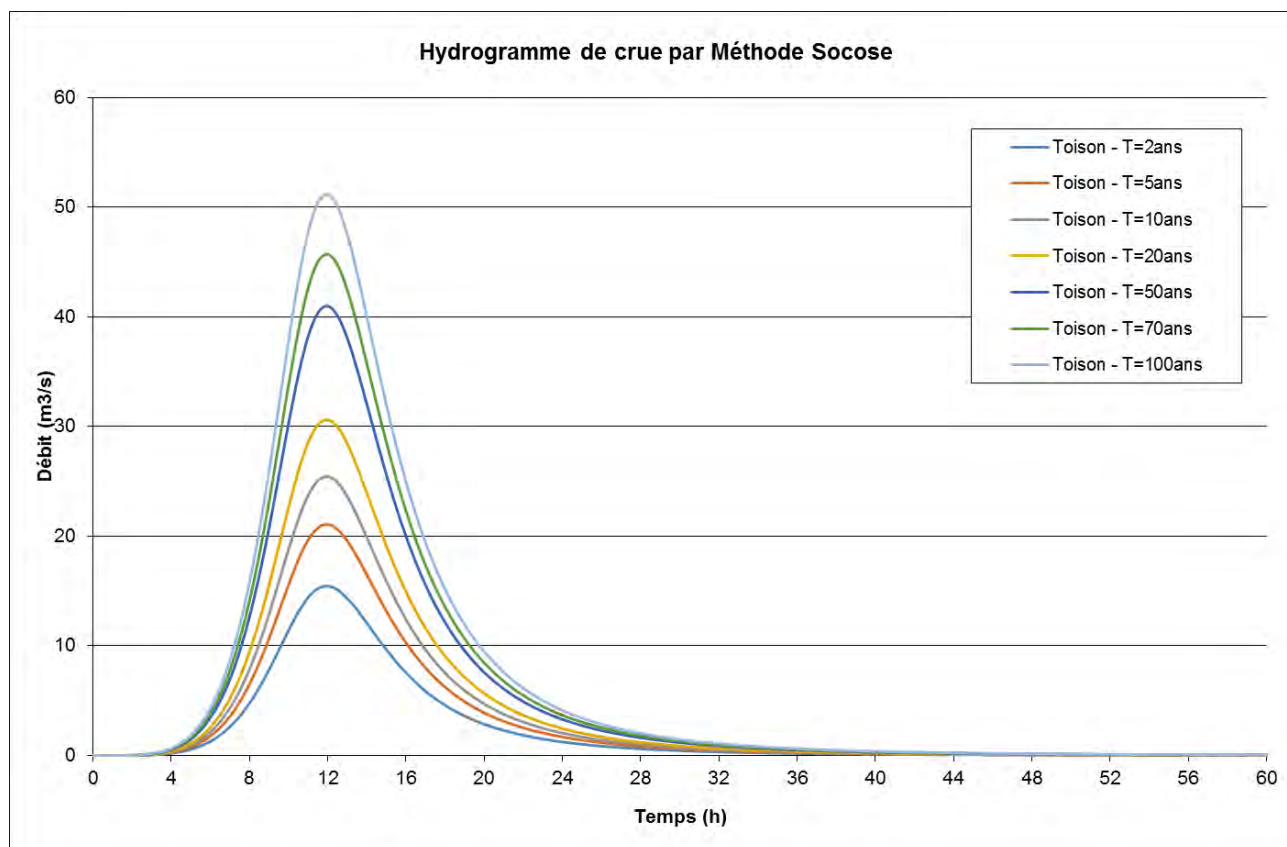


Figure 28. Hydrogramme analytique du Toison à la station de Rignieux-le-Franc

ANNEXE 1

PROFILS EN LONGS ILLUSTRANT LE CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE ET L'ANALYSE DE SENSIBILITE

