



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 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

CONSULTING

Hydraulique fluviale

Nanterre

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

Version 3
Avril 2018
16DHF017



Sommaire

.....	0
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.....	Données d'entrée pour la modélisation 7
2.1	Données bathymétriques et topographiques 7
2.2	Données d'entrée hydrologiques..... 32
2.3	Données de calage du modèle 34
3.....	Construction du modèle hydraulique 40
3.1	Stratégie de modélisation 40
3.2	Description du modèle hydraulique 1D 40
3.3	Description du modèle hydraulique 2D 46
3.4	Liens entre le modèle 2D et le modèle 1D 54
3.5	Paramètres de calcul 55
4.....	Calage et validation du modèle 56
4.1	Principe du calage du modèle 56
4.2	Choix des crues de calage et de validation 56
4.3	Calage du modèle 56
4.4	Validation du modèle..... 63
5.....	Tests de sensibilité du modèle 67
5.1	Conditions aux limites..... 67
5.2	Profil en long 67
5.3	Conclusions 72
6.....	Exploitation du modèle hydraulique 73

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



6.1	Détermination de la condition aval	73
6.2	Modélisation de la crue de référence de l'Ain	76
6.1	Modélisation de la crue de référence de l'Albarine	83
6.2	Modélisation de la crue de référence des affluents	90
6.3	Modélisation des crues intermédiaires de l'Ain	94
7.....	Cartographie de l'aléa	97
7.1	Définition de l'aléa	97
7.2	Réalisation de la cartographie.....	97
7.3	Données représentées sur l'atlas cartographique	98
7.4	Exemple de planche cartographique	99

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. Visualisation 2D de la zone d'étude, LIDAR	8
Figure 4: Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druilat (Confluence Suran).....	9
Figure 5: Visualisation 3D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druilat (Confluence Suran).....	9
Figure 6: Visualisation 2D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine).....	10
Figure 7: Visualisation 3D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine).....	10
Figure 8: Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain.....	11
Figure 9. Localisation des levés terrestres réalisés sur les affluents par HYDROTOPO	12
Figure 10: Exemple de profil levé sur un des affluent	15
Figure 11 : Exemple de coupes des ouvrages levés sur l'Ain	16
Figure 12: Localisation des ouvrages levés par HYDROTOPO	17
Figure 13 : Profils en travers au niveau du barrage de l'Allement relevés par HYDROTOPO	18
Figure 14 : Impact des lacunes sur les profils du modèle 1D sous Mike11	19
Figure 15 : Carte de localisation des sept profils présentant des lacunes de donnée	20
Figure 16 : Carte des nouveaux profils relevés par HYDROTOPO en juillet 2017	21
Figure 17 : Exemple de localisation de laisses de crue à Villette-sur-Ain (Source : HYDROTOPO).....	22
Figure 18 : Carte du chemin de déversement de l'Albarine dans l'Ain	23
Figure 19 : Localisation des ouvrages de décharges relevés par HYDROTOPO	24
Figure 20 : Levé d'un ouvrage de décharge de l'Ain à Pont d'Ain	24
Figure 21 : Carte de localisation des ouvrages de décharge de l'Ain	25
Figure 22: Localisation des trois centrales sur l'Ain	26
Figure 23: Plan papier cotés pour la centrale de Pont d'Ain (DDT01).....	27
Figure 24 : Plan papier cotés pour la centrale de Neuville (DDT01)	27
Figure 25 : Plan papier cotés pour la centrale d'Oussiat (DDT01)	28
Figure 26. Profil en long de la ligne d'eau de l'Ain - Source : SOGREAH, 1999 (Réf [1])	34
Figure 27. Localisation des résultats hydrauliques de Sogreah en 1988 et 1999 (points de calcul ou profil).....	35
Figure 28. Profil en long de l'Ain pour la crue de 1977 – Résultats de SOGREAH 1999.....	36
Figure 29. Profil en long de l'Ain pour la crue centennale – Résultats de SOGREAH 1999	36
Figure 30. Profil en long de la ligne d'eau de l'Albarine - Source : HTV, 2009 (Réf [2]).....	37
Figure 31. Profil en long de l'Albarine pour la crue de février 1990 – Résultats de HTV 2009.....	38
Figure 32: Topologie du modèle 1D	41
Figure 33 : Structure du modèle hydraulique 1D sous Mike 11 de l'Albarine, avec la localisation des profils en travers (traits rouges) et des ouvrages hydrauliques (OH)	42
Figure 34. Intégration des profils modèle hydraulique 1D sous Mike 11	43
Figure 35. Intégration d'un ouvrage sur Mike11	44
Figure 36. Emprise du modèle 2D.....	46
Figure 37 : Maillage de la zone d'étude sans les zones à enjeux plus fines.....	47
Figure 38 : Zones à enjeux à mailles plus fines.....	48
Figure 39. Localisation des remblais de la zone d'étude	50
Figure 40. Représentation des données Corine Land Cover (2012) sur le secteur modélisé en 2D.....	52
Figure 41. Représentation des données Corine Land Cover (2012) sur le secteur modélisé en 2D.....	53
Figure 42. Illustration des liens de couplage latéraux 1D/2D - Source : MIKE DHI	54
Figure 43. Illustration du modèle couplé.....	55
Figure 44. Comparaison des infrastructures entre 1976 et aujourd'hui sur la commune de Chazey-sur-Ain.....	61
Figure 45. Evolution du tracé du lit mineur de l'Ain entre 1977 et aujourd'hui	62
Figure 46. Carte du « porter à connaissance des zones inondables » du Rhône amont publié en 2013 par la DDT01. 74	
Figure 47 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre l'étude de SOGREAH 1999 et la présente étude – partie amont.....	81
Figure 48 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre l'étude de SOGREAH 1999 et la présente étude – partie intermédiaire	82

Figure 49 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre l'étude de SOGREAH 1999 et la présente étude – partie avale	83
Figure 50 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre le PPRI actuel de l'Albarine et la présente étude – partie amont.....	87
Figure 51 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre le PPRI actuel de l'Albarine et la présente étude – partie intermédiaire	88
Figure 52 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre le PPRI actuel de l'Albarine et la présente étude – partie avale.....	89

Table des tableaux

Tableau 1. Communes de la zone d'étude	3
Tableau 2 : Débits de référence pris en compte (m ³ /s).....	32
Tableau 3. Débits de l'Albarine et du Suran dans la bibliographie	33
Tableau 4. Débit et temps de retour associés pour la crue de 1990 – Source : HTV 2008	37
Tableau 5. Synthèse des données historiques de calage disponibles pour les crues récentes.....	39
Tableau 6. Rappel des débits de l'Ain et de leur temps de retour associé	39
Tableau 7. Récapitulatif des linéaires des cours d'eau modélisés en 1D.....	40
Tableau 8. Récapitulatif des levés terrestres réalisés sur les affluents par HYDROTOPO.....	42
Tableau 9. Tableau récapitulatif des profils sur les affluents.....	43
Tableau 10. Récapitulatif des sources de données des profils sur l'Ain.....	43
Tableau 11 : Occupation des sols et coefficients de rugosité associés sur le secteur modélisé en 2D	51
Tableau 12. Résultats du calage du modèle avec la crue de 1977 - Niveau de l'Ain.....	57
Tableau 13. Résultats du calage du modèle avec la crue de 1990 - Niveau de l'Albarine.....	63
Tableau 14. Débit, temps de retour et cotes associées du Rhône au droit de la confluence de l'Ain – Source : DDT 0173	
Tableau 15. Estimation des probabilités de concomitance de crues entre le Rhône et ses affluents - Source : SAFEGE, 2000.....	74
Tableau 16. Estimation des périodes de retour pour des crues historiques de la Banque Hydro	75
Tableau 17. Condition aval imposée pour les différentes crues simulées de l'Ain.....	76
Tableau 18. Grille de définition de l'aléa.....	97
• Tableau 19. Classes de hauteur des crues intermédiaires	98

Table des annexes

Annexe 1 Atlas cartographique de l'aléa inondation de l'Ain	
Annexe 1 Atlas cartographique de l'aléa inondation de l'Ain	

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.

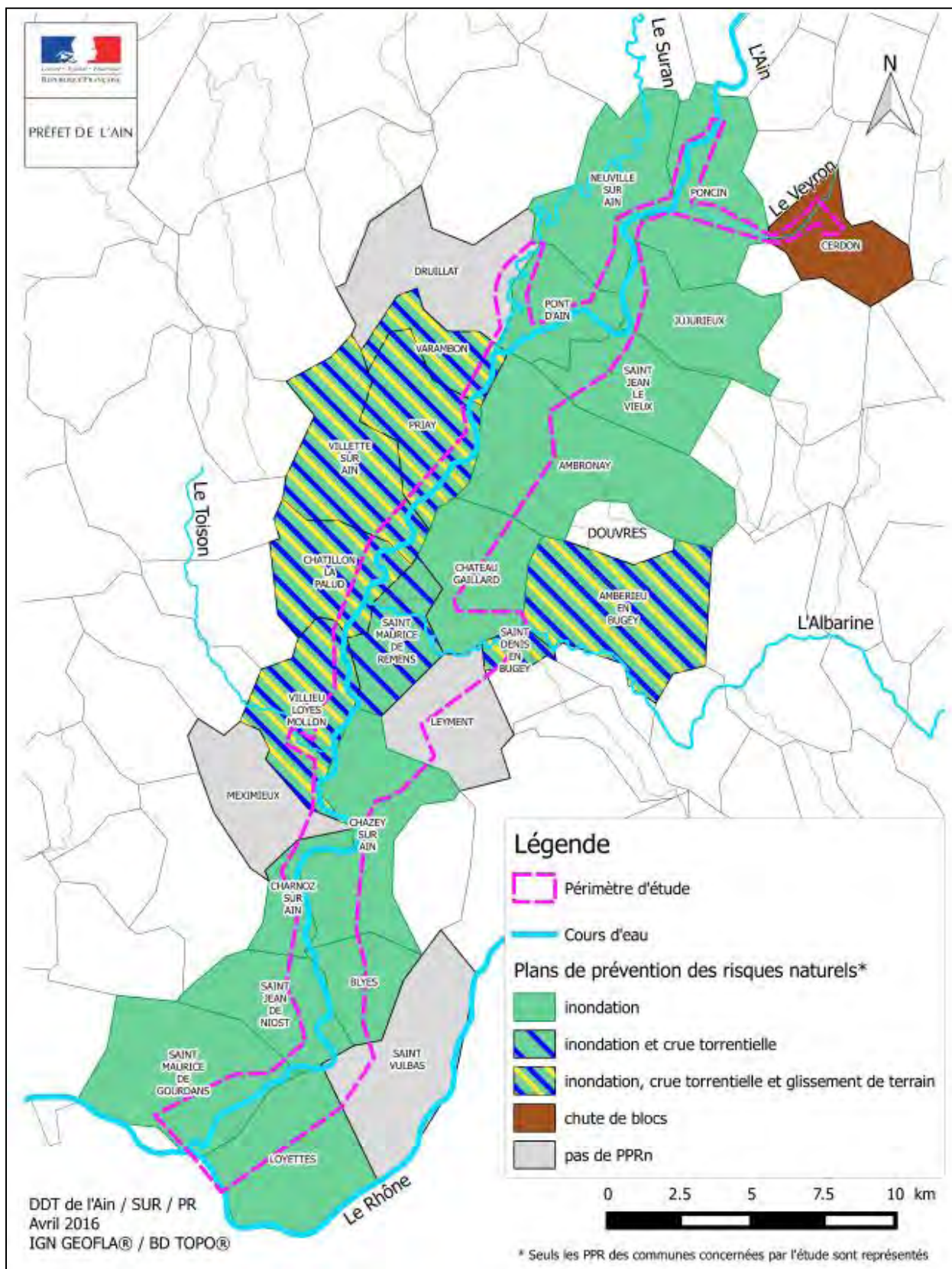


Figure 1. Couverture actuelle en plans de prévention des risques naturels sur la zone d'étude (PPRn) - Source DDT 01

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



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 la confluence du 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

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Code INSEE	Nom de la commune	Superficie (km ²)	Population (INSEE 2013)
01224	Loyettes	2135	3142
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 2^{ème} partie de l'étude, dont les objectifs spécifiques sont les suivants :

- **Construction d'un modèle hydraulique couplant modélisation 1D et 2D** dans la vallée de l'Ain et de ses quatre affluents ;
- **Calage puis validation du modèle** sur la base de crues historiques suffisamment documentées ;
- Simulation de la crue de référence de l'Ain et de ses affluents avec le modèle calé/validé ;
- Simulation des crues intermédiaires de l'Ain ;
- Cartographie de l'aléa, des hauteurs d'eau et des vitesses maximales pour la crue de référence et des hauteurs d'eau maximale pour les crues intermédiaires de l'Ain.

2 DONNEES D'ENTREE POUR LA MODELISATION

2.1 Données bathymétriques et topographiques

Le paragraphe suivant synthétise les différentes sources topographiques qui ont permis la construction du modèle hydraulique et la réalisation des cartographies de l'aléa, en distinguant :

- Les levés LIDAR¹, mis en œuvre par FIT-Conseil,
- Les levés bathymétriques² terrestres, mis en œuvre par HYDROTOPO.

Pour réaliser une modélisation hydraulique précise et de qualité, une connaissance minimale des lits mineurs³ des différents cours d'eau à modéliser est nécessaire. La démarche concernant les levés bathymétriques et topographiques est la suivante :

Sur l'Ain	<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).
Sur les affluents : Albarine, Suran, Toison, Veyron	<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.

2.1.1 Levés LIDAR aérien

Comme précisé sur le tableau précédant, ces levés concernent à la fois le lit majeur de l'Ain (ensemble de la zone d'étude) et 80% de son lit mineur.

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. En effet, 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 avait donc été reportée à Novembre 2016, lorsque la végétation avait à nouveau disparue.

Les données ont été traitées par le prestataire et validées par les services de l'IGN. Les pages suivantes sont des extraits du LIDAR réalisé.

¹ "Light Detection And Ranging" : méthode de mesure aéroportée de la topographie par laser

² Mesure de la profondeur du lit mineur du cours d'eau

³ Espace délimité par les berges du cours d'eau (en opposition au lit majeur qui est l'espace occupé par le cours d'eau lors de ses crues les plus importantes)

Figure 3. Visualisation 2D de la zone d'étude, LIDAR

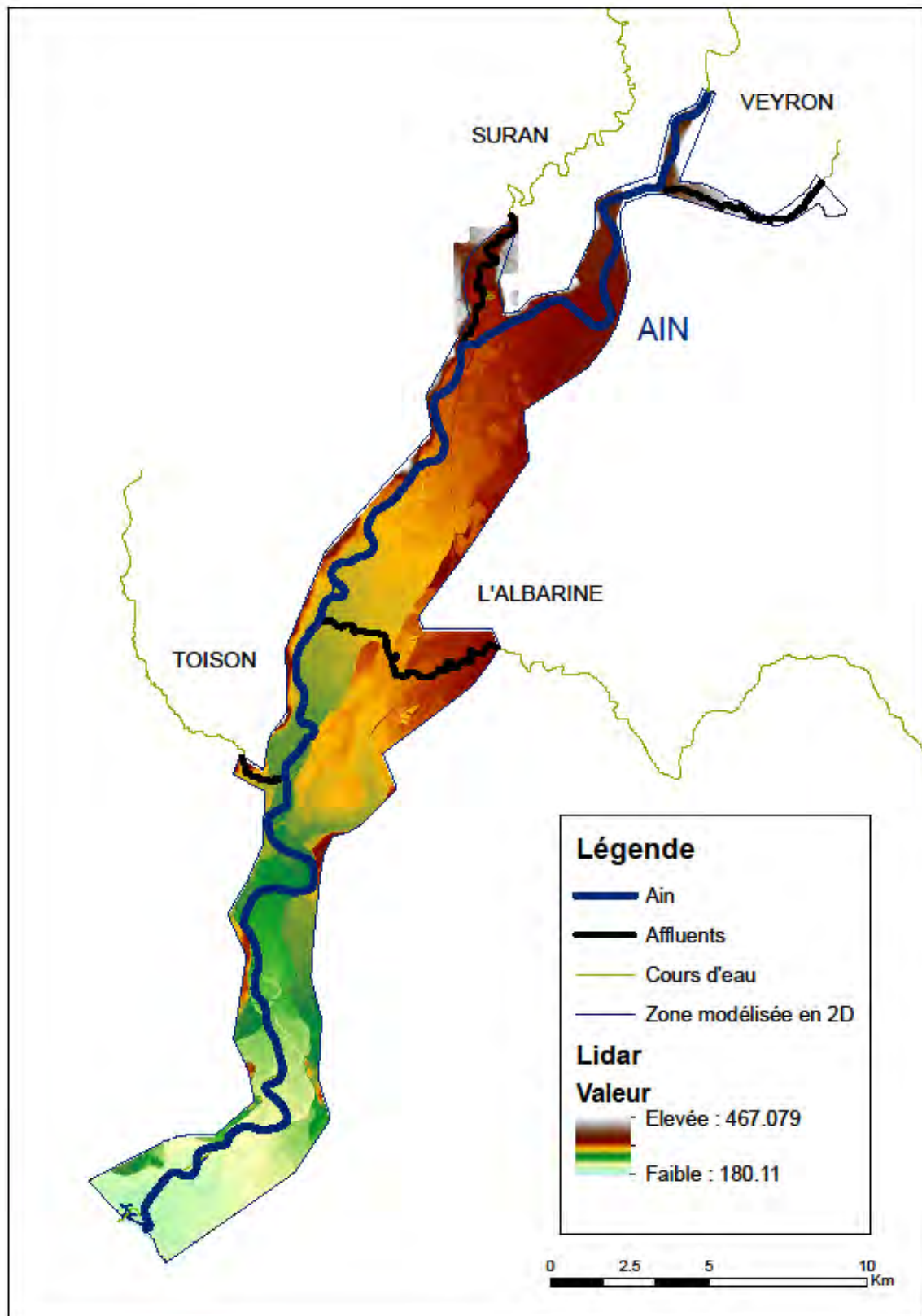


Figure 4: Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druillat (Confluence Suran)

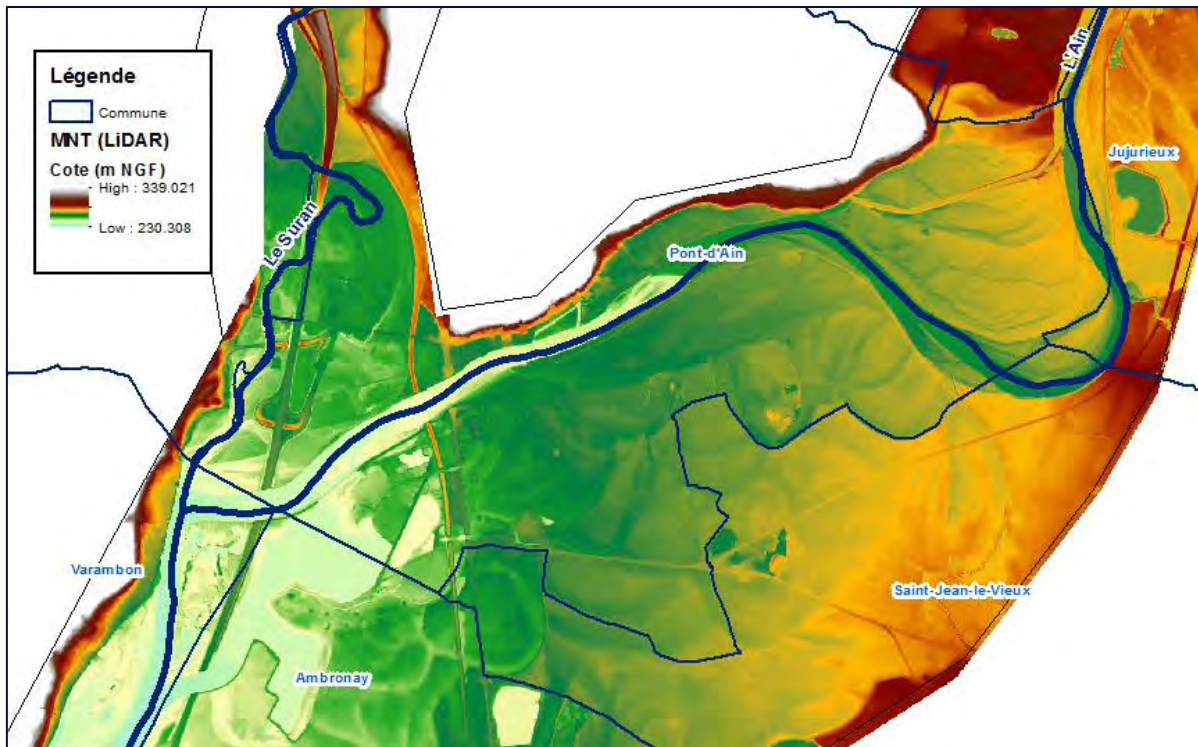


Figure 5: Visualisation 3D dans le secteur de Pont d'Ain et de Druillat (Confluence Suran)

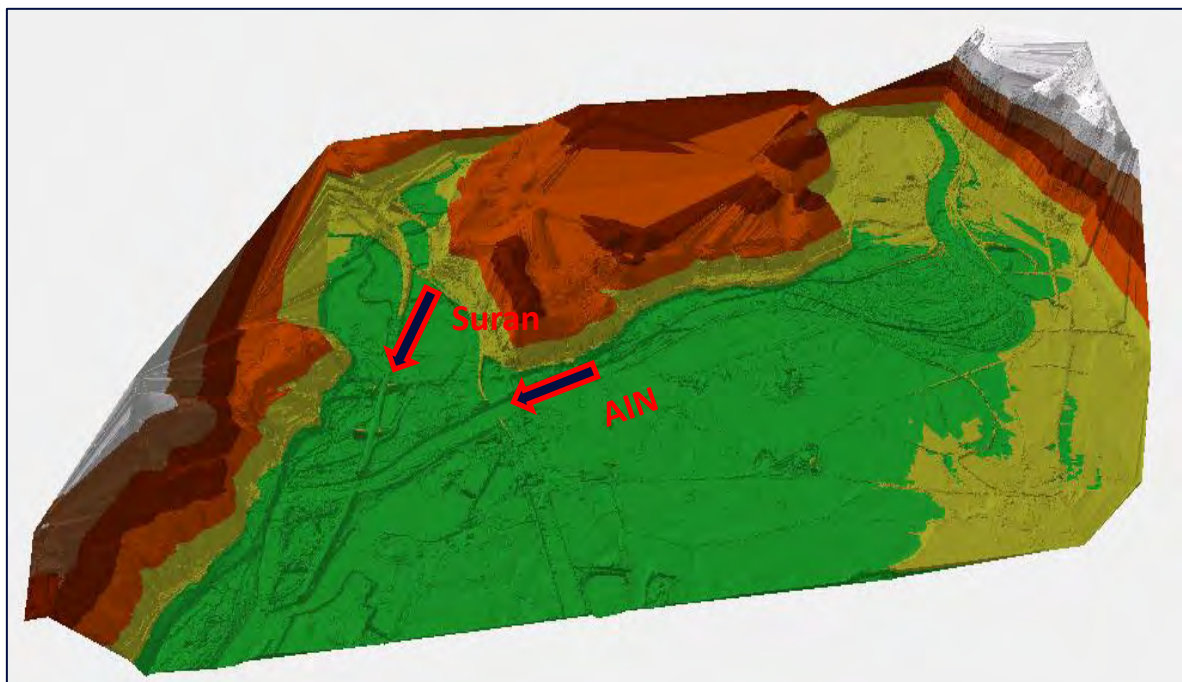


Figure 6: Visualisation 2D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine)

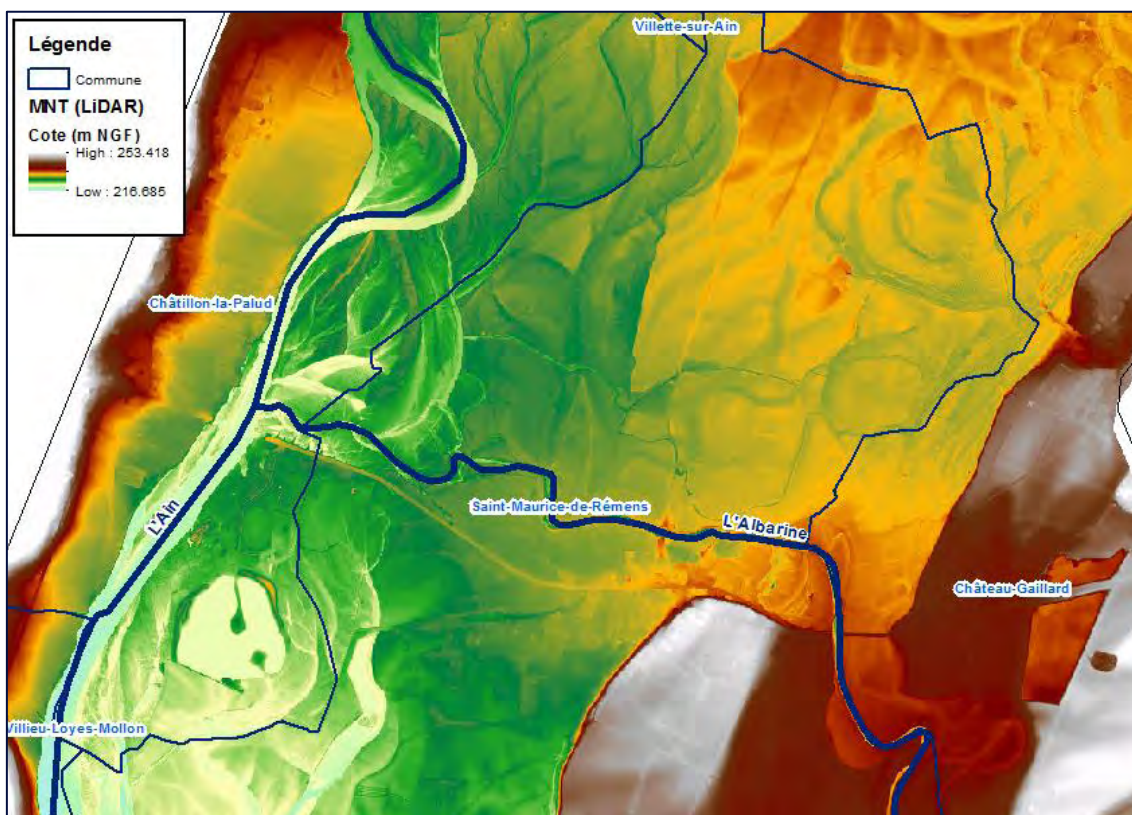


Figure 7: Visualisation 3D dans le secteur de Saint-Maurice-de-Rémens (Confluence Albarine)

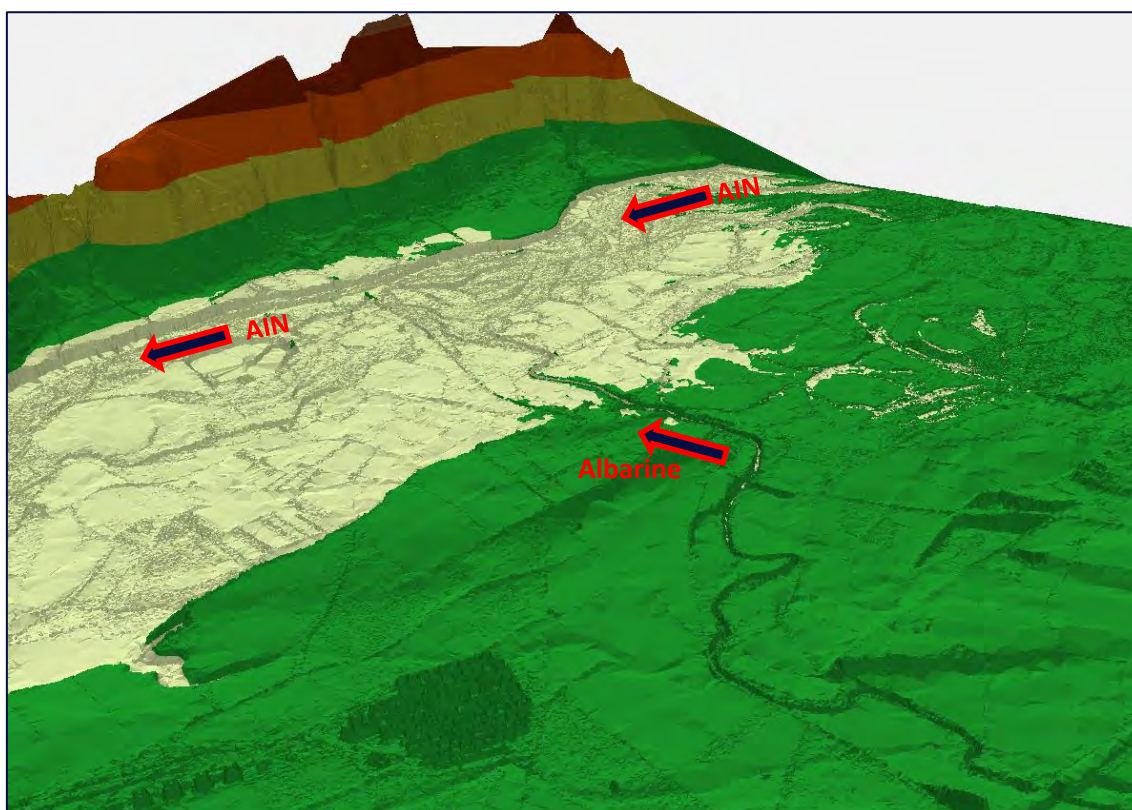
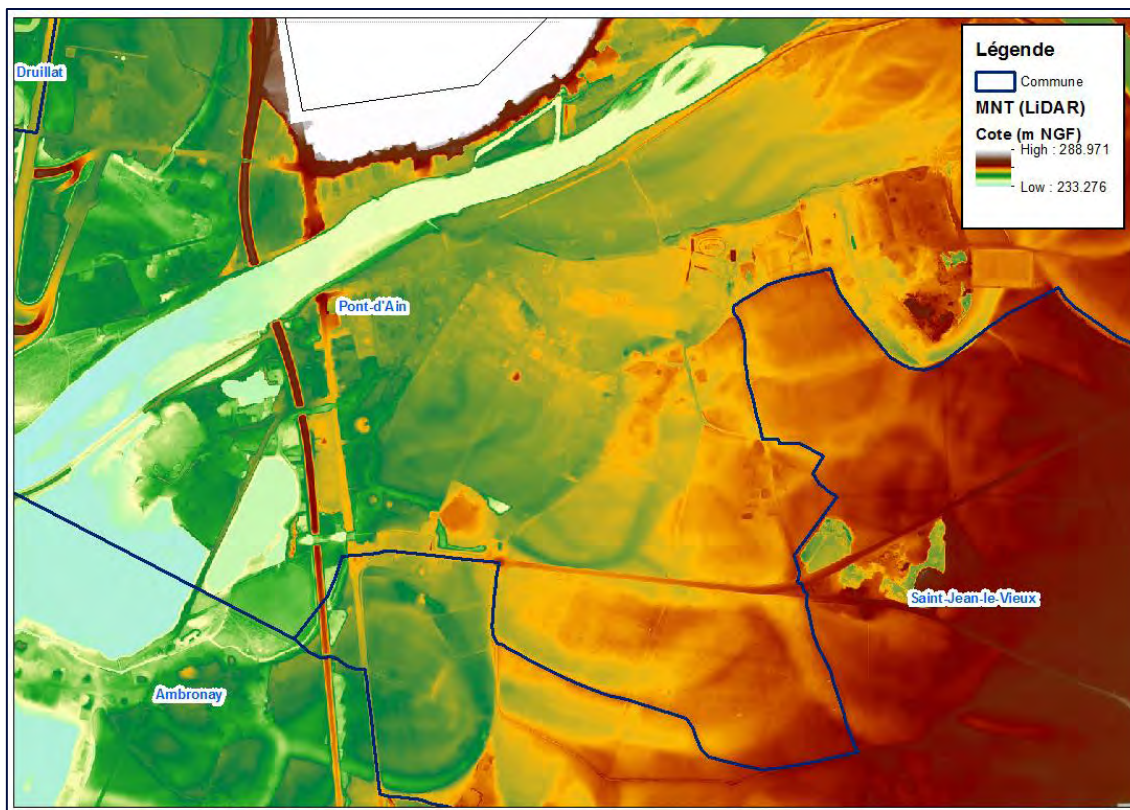


Figure 8: Visualisation 2D dans le secteur de Pont d'Ain



2.1.2 Levés topographiques terrestres réalisés par un géomètre

2.1.2.1 Levés bathymétriques du lit mineur et des ouvrages de franchissement des affluents

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 du **Toison**, sur un linéaire de **2200 mètres** environ.

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 2. Récapitulatif des levés terrestres réalisés sur les affluents par HYDROTOPO

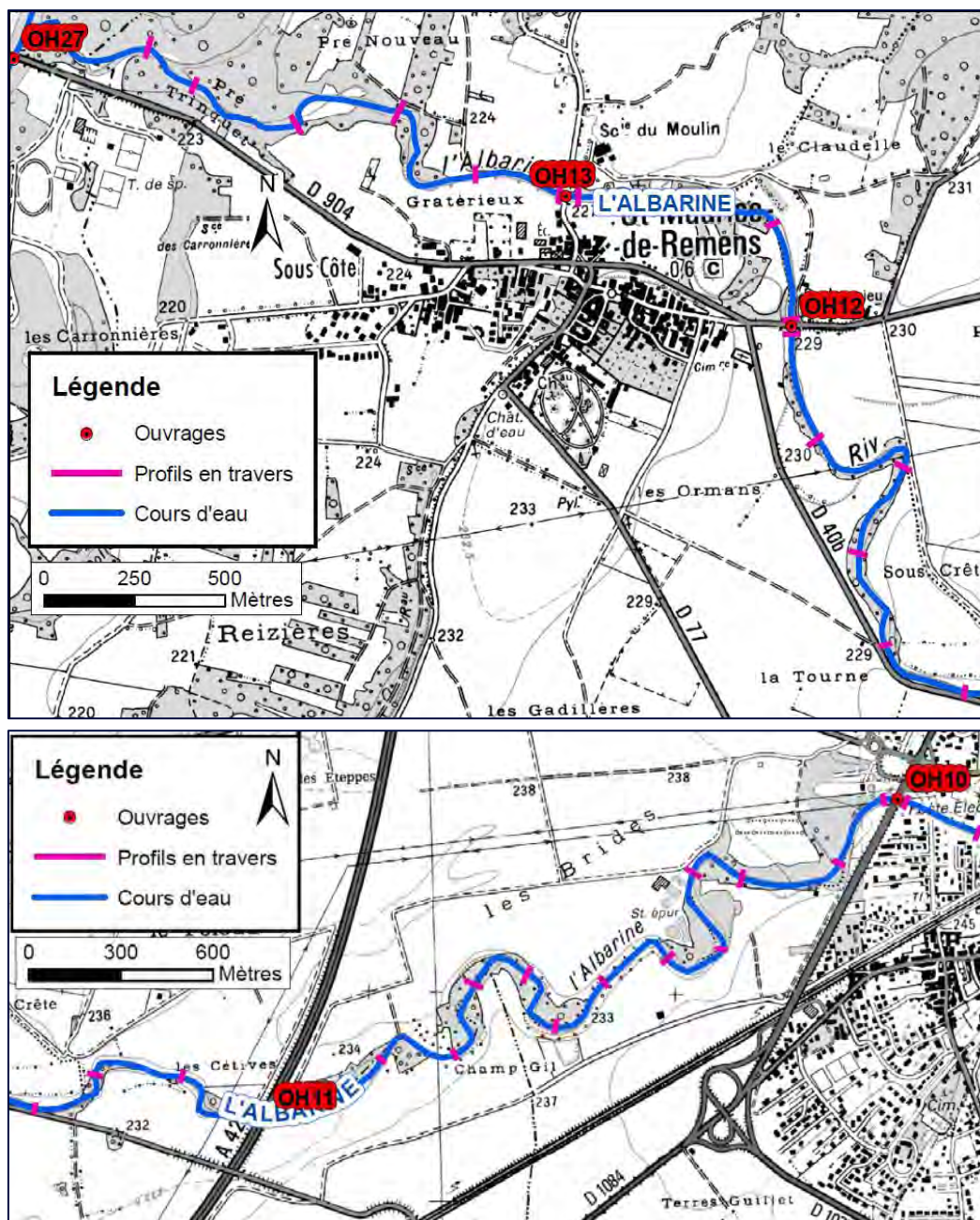
	Cours d'eau	Toison	Albarine	Suran	Veyron
Nombre de levés	Profil en travers	19	35	40	38 + 2 sur des bras
	Ouvrage hydraulique	4	4	9	17 +2 sur des bras

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

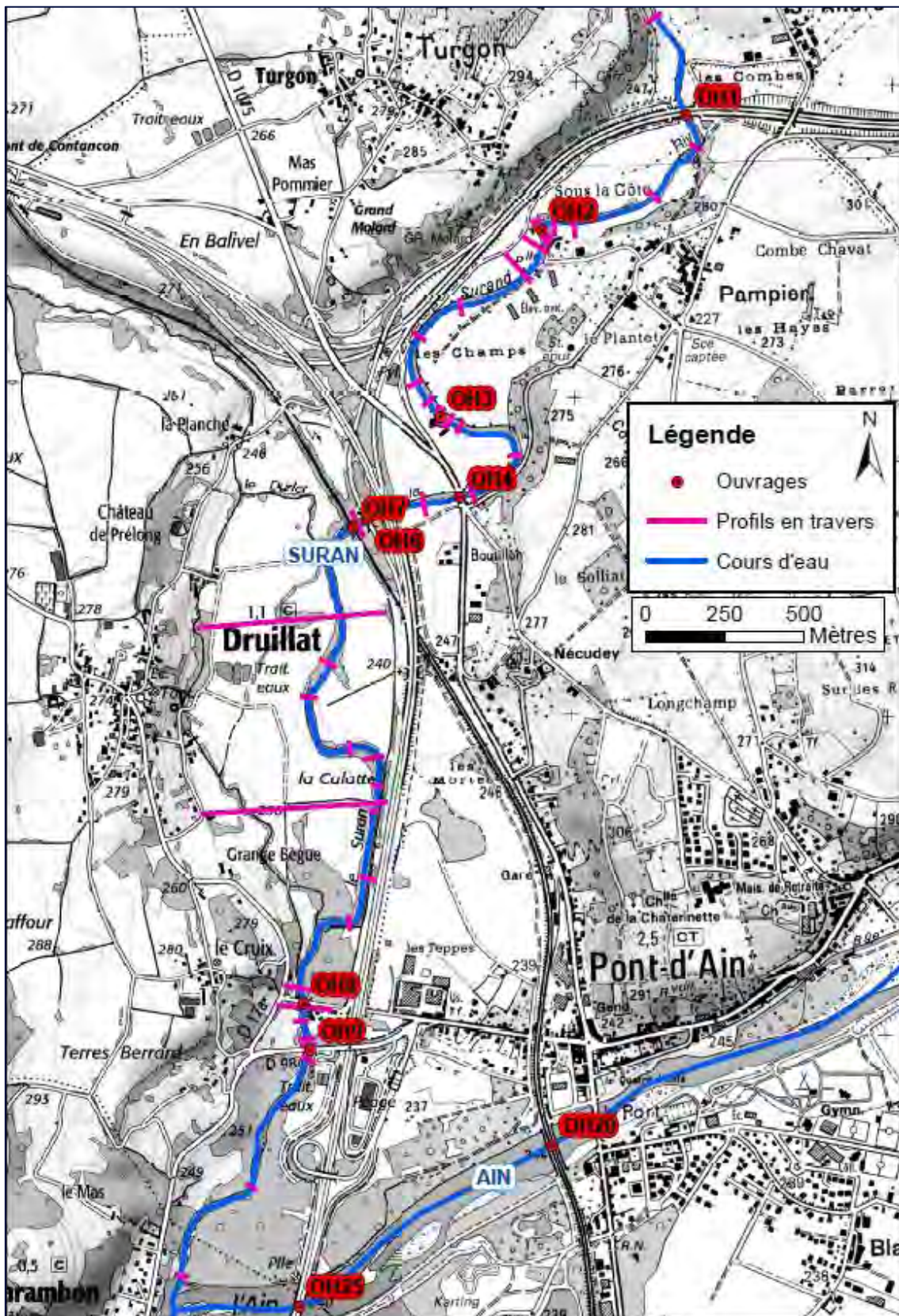
La localisation des levés est représentée par la carte de la page suivante. Les ouvrages sont indiqués en rouge et les profils en travers en rose.

Figure 9. Localisation des levés terrestres réalisés sur les affluents par HYDROTOPO



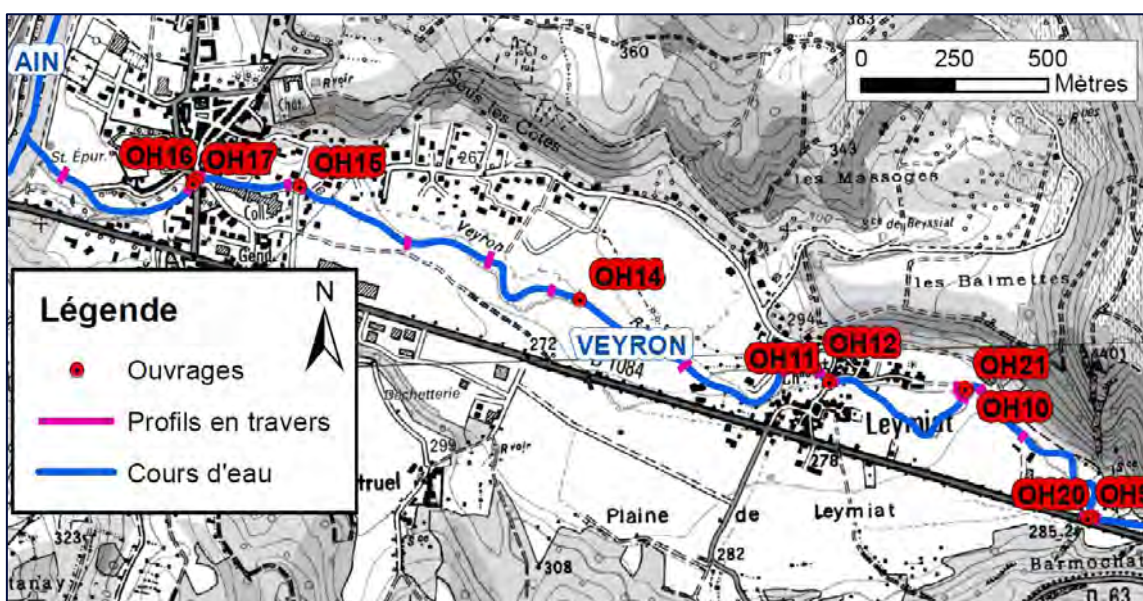
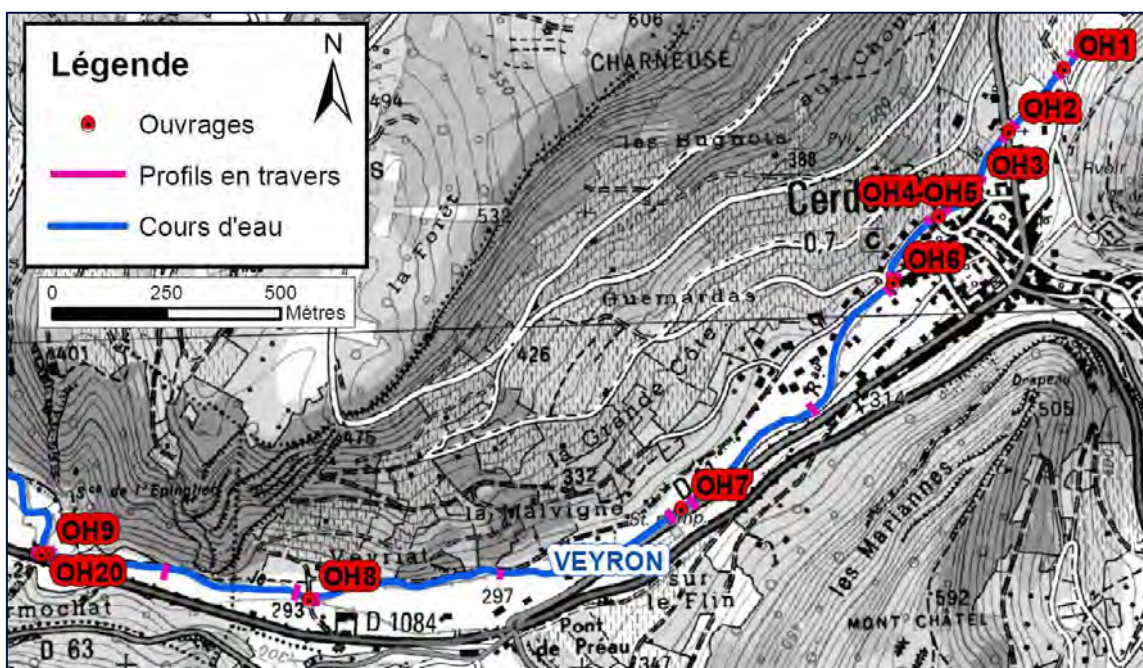
Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



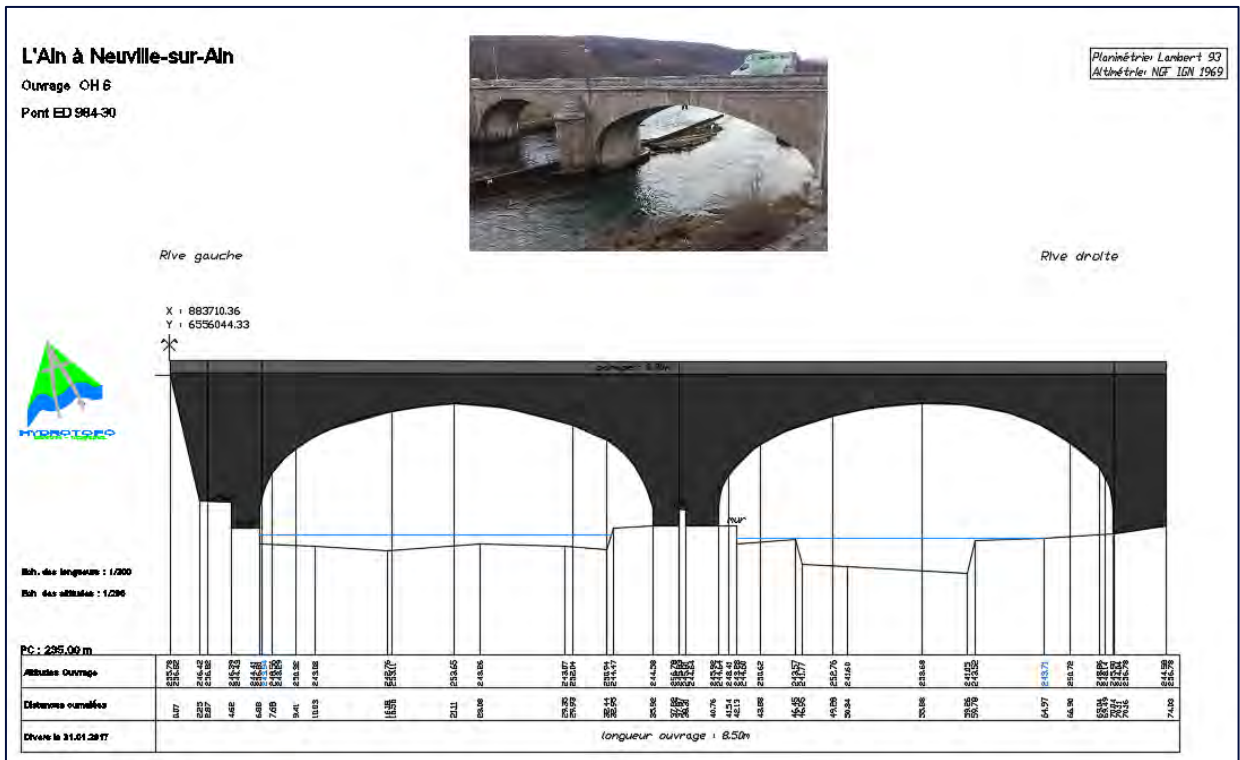
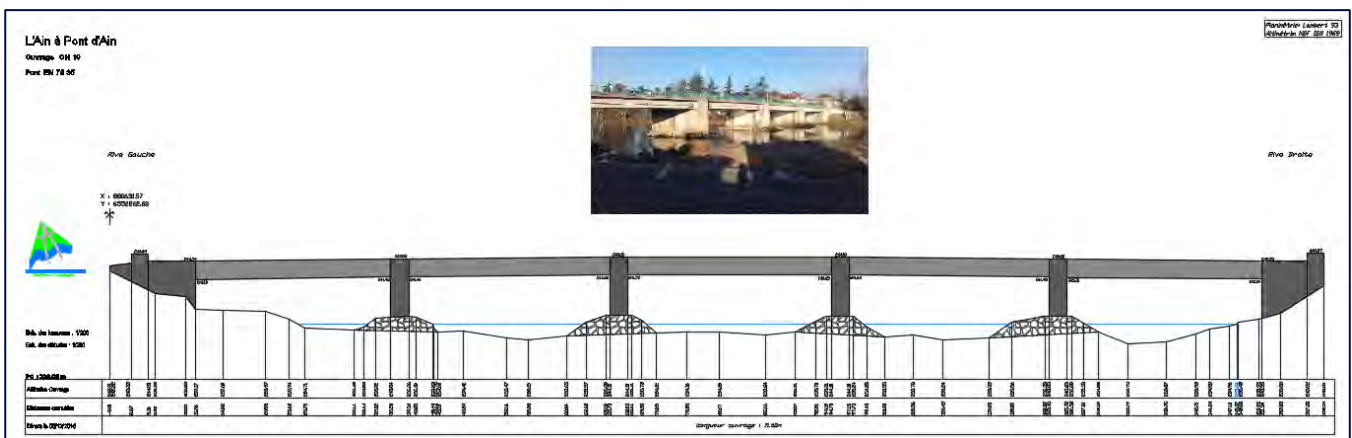
2.1.2.2 Levés complémentaires des ouvrages de franchissement de l'Ain

A la suite de la collecte de données, il avait été relevé dans le premier rapport qu'il n'existait 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 levés complémentaires ont donc été réalisés pour combler ces lacunes au niveau des **16 ouvrages de l'Ain**, dont on peut voir quelques exemples Figure 11 ci-après.

La localisation des levés d'ouvrages est représentée sur la carte Figure 12 page suivante.

Figure 11 : Exemple de coupes des ouvrages levés sur l'Ain



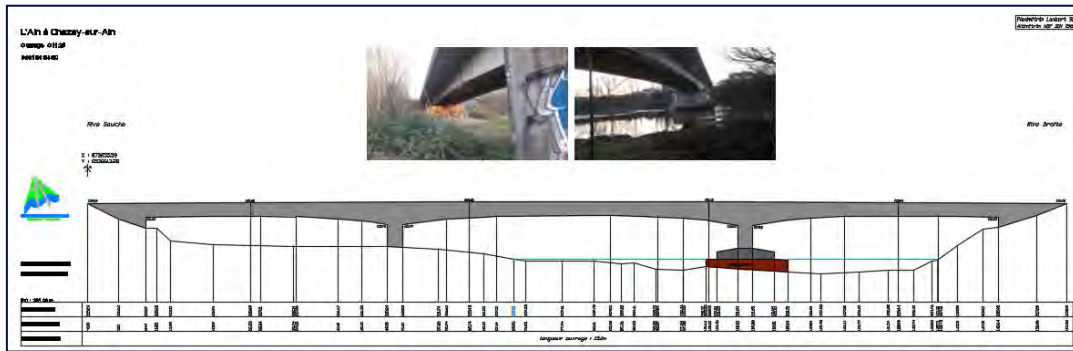
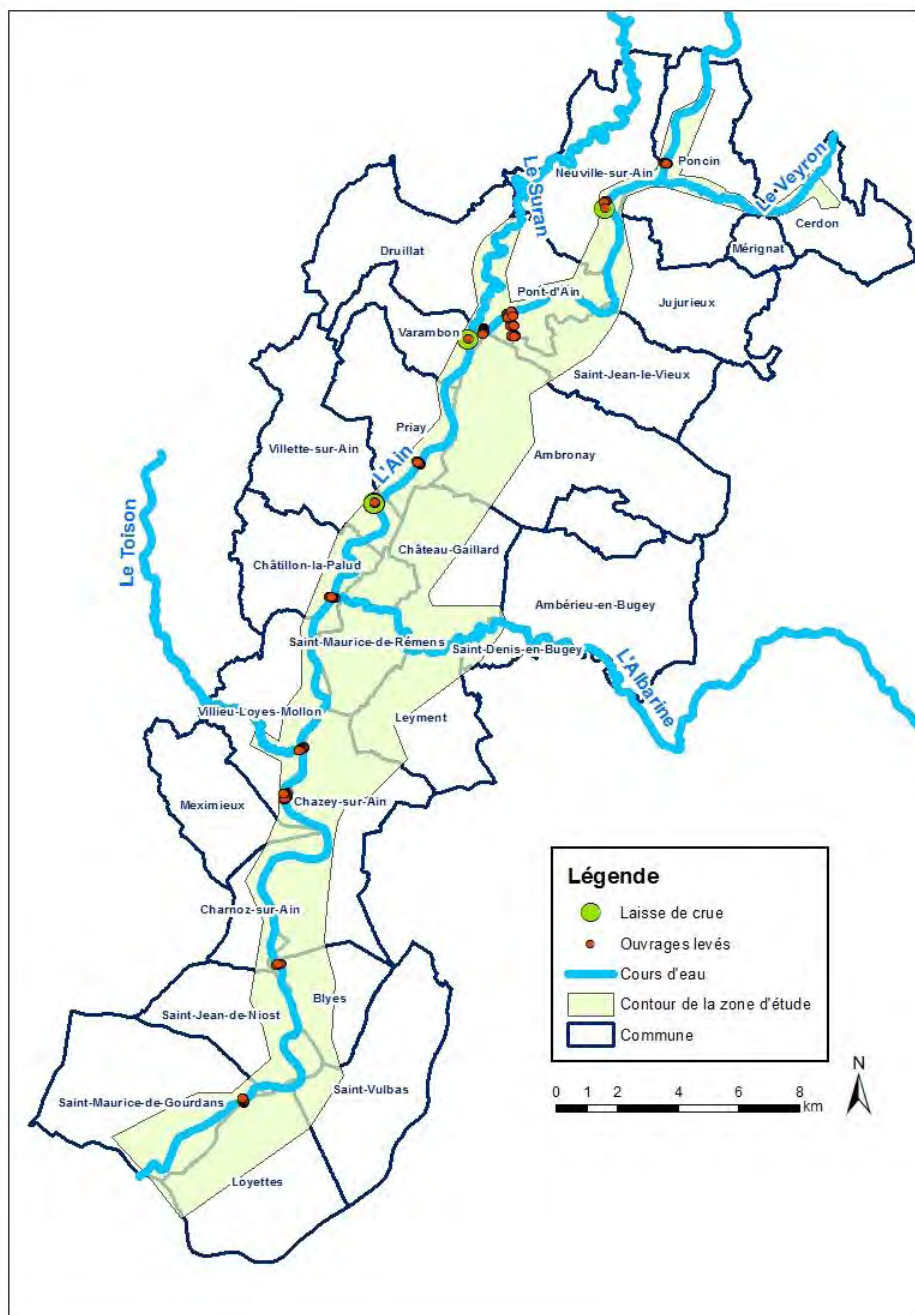


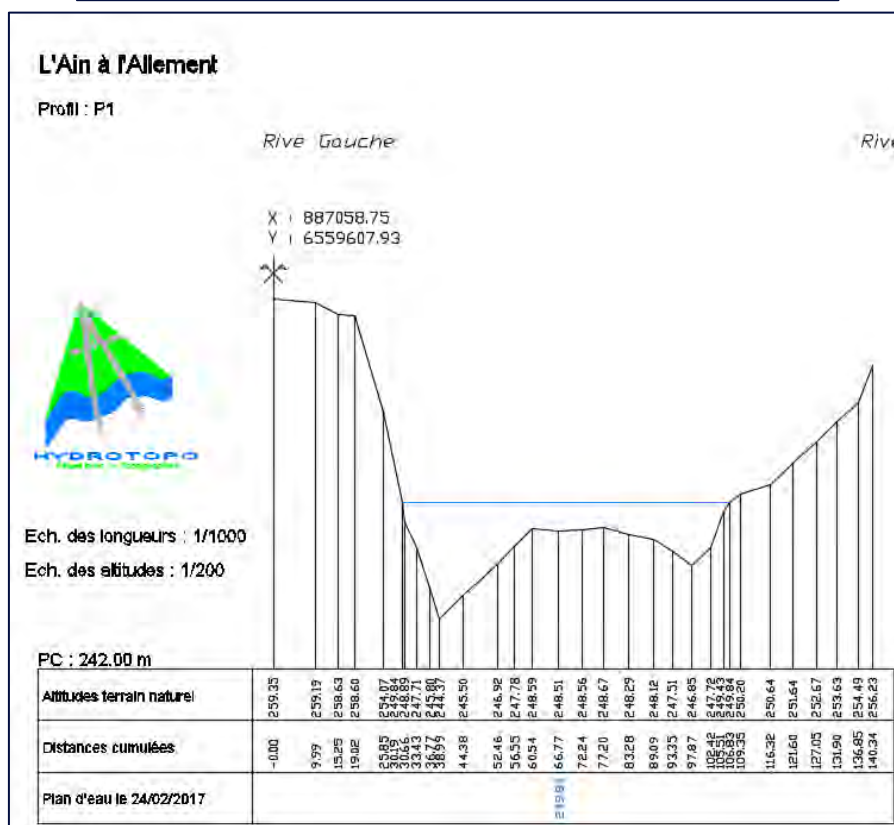
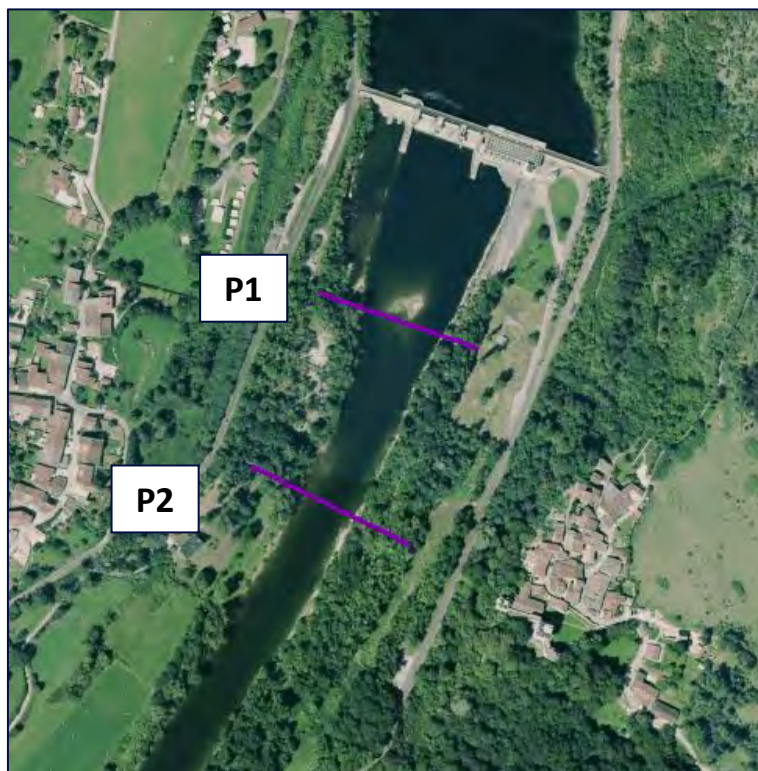
Figure 12: Localisation des ouvrages levés par HYDROTOPO

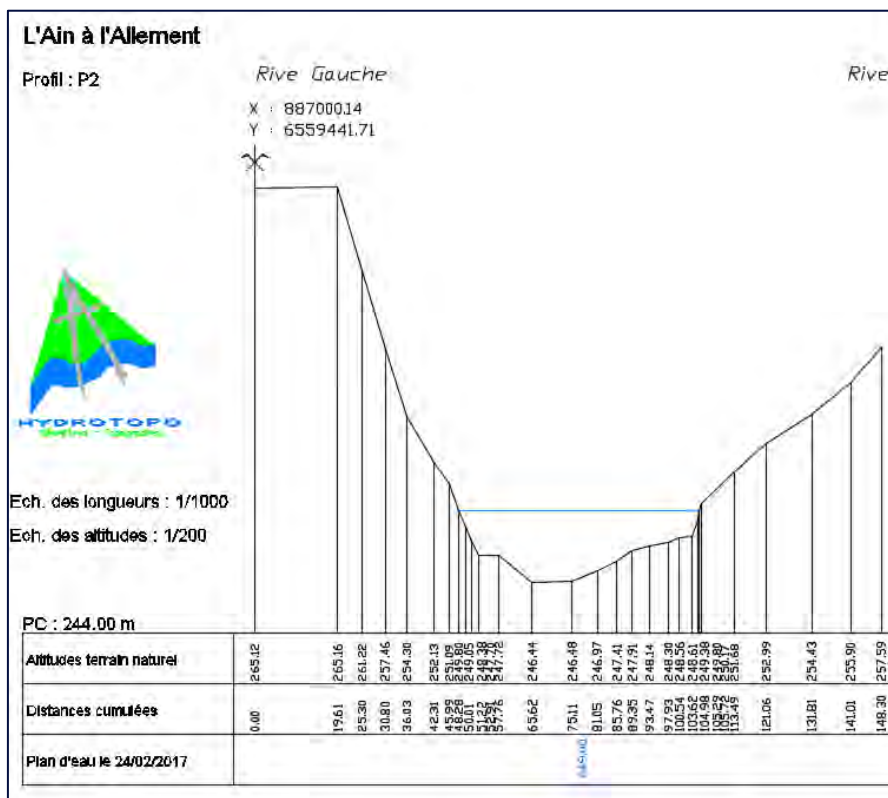


2.1.2.3 Levés bathymétriques complémentaires du lit mineur de l'Ain

Sur l'Ain, **2 profils en travers ont été relevés** en aval du barrage d'Allement par HYDROTOPO. Ces levés ont été réalisés en février 2017.

Figure 13 : Profils en travers au niveau du barrage de l'Allement relevés par HYDROTOPO





De plus, dû à différents facteurs (trop grande profondeur, zones de végétation, turbidité de l'eau trop importante), sur certaines zones du lit mineur l'acquisition de données par le LIDAR n'a pas été possible. Les profils en travers du modèle ont été positionnés pour optimiser la donnée disponible, mais 7 profils sont restés impactés par ces lacunes (voir Figure 14).

Figure 14 : Impact des lacunes sur les profils du modèle 1D sous Mike11

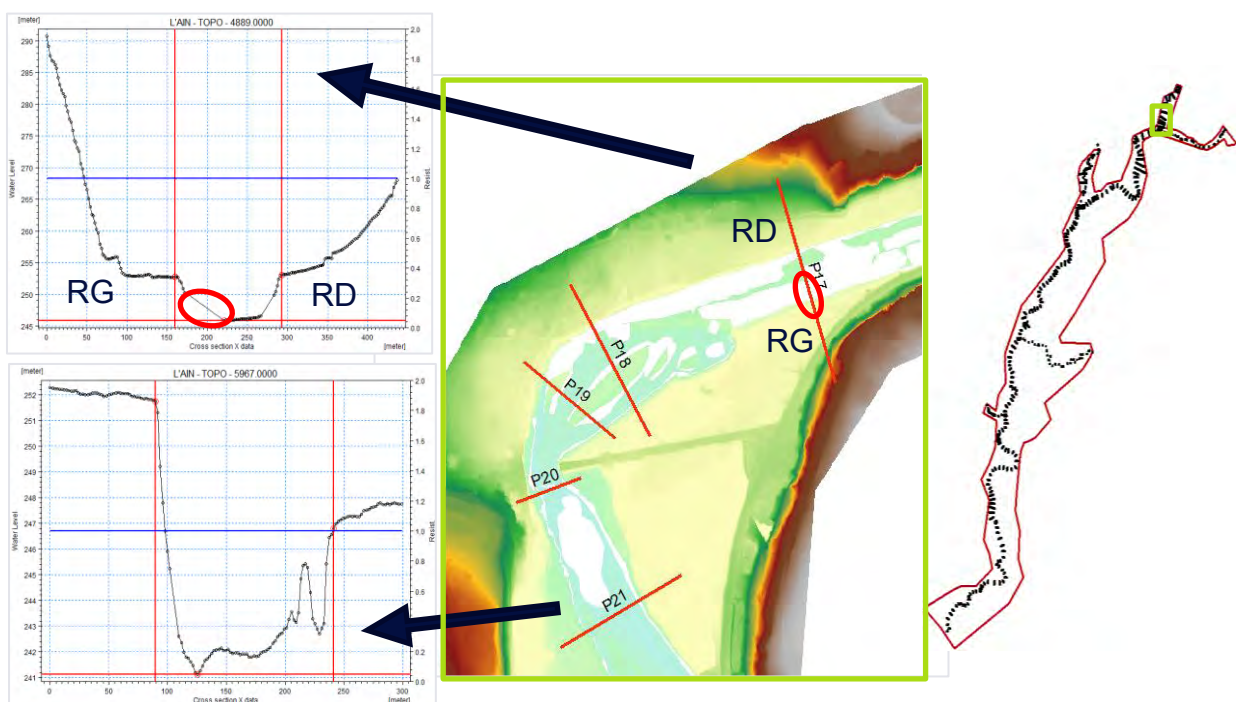
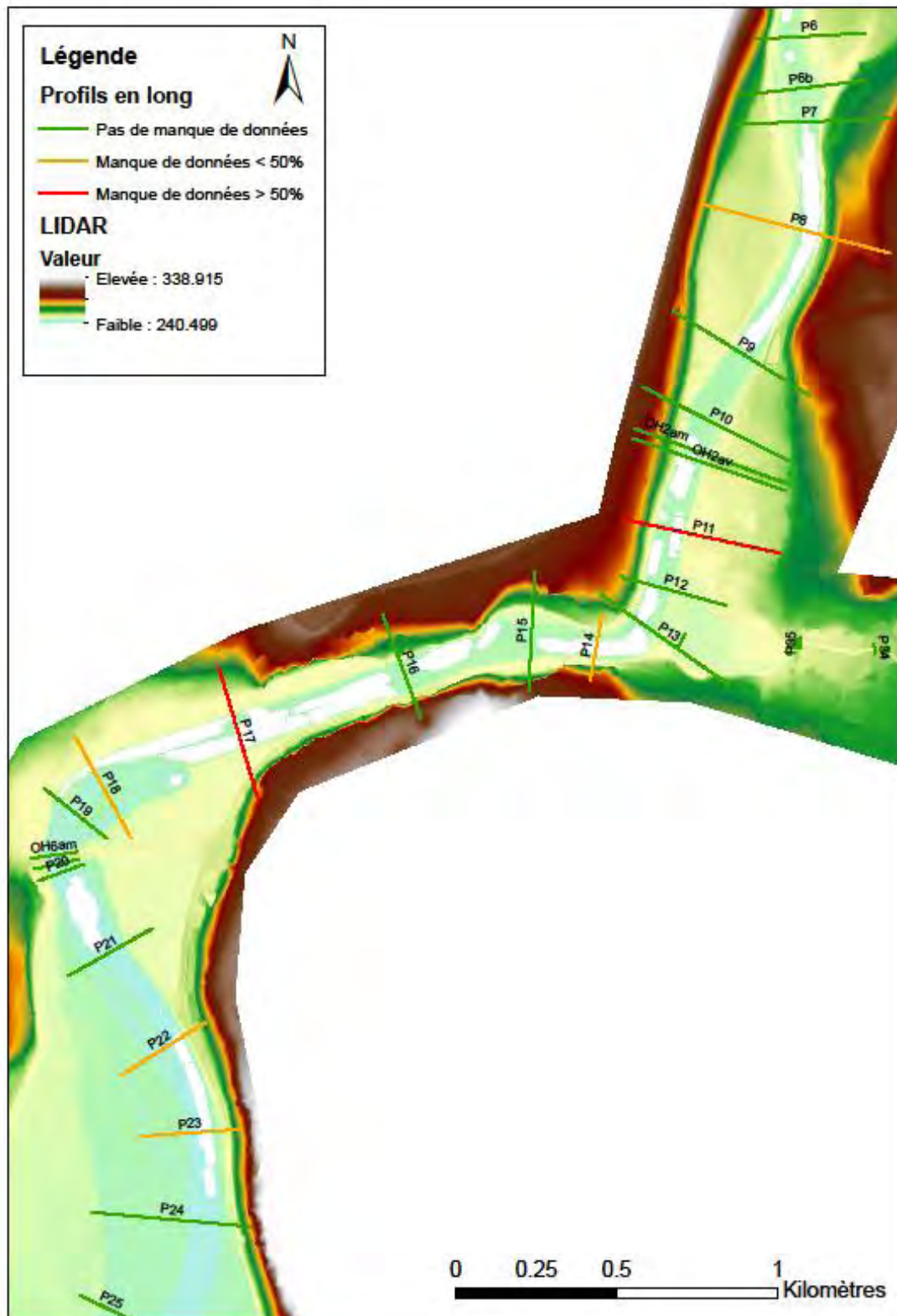
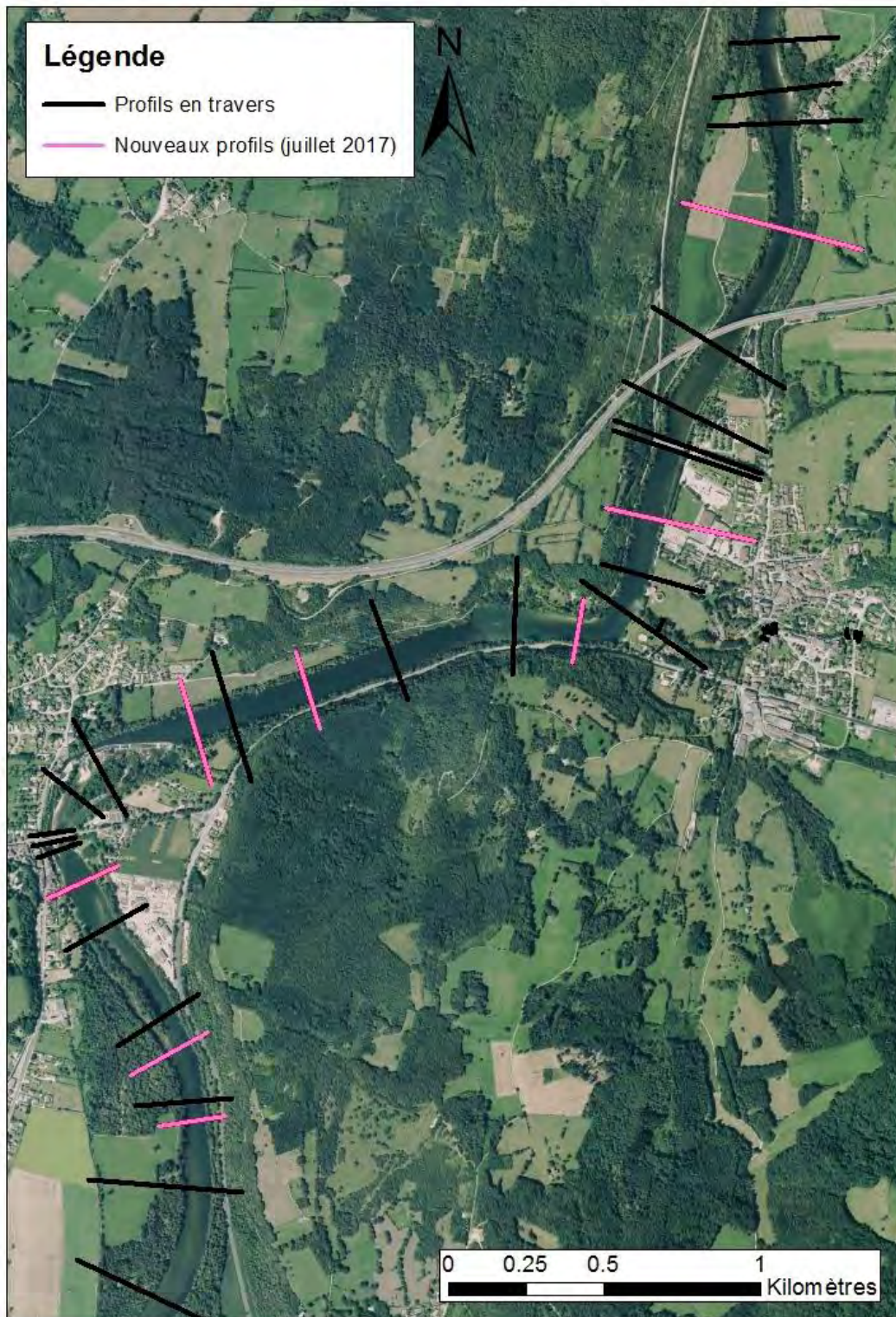


Figure 15 : Carte de localisation des sept profils présentant des lacunes de donnée



Les lacunes étant situées près de zones à enjeux, il a été décidé de réaliser des levés complémentaires. Ces levés complémentaires ont donc été réalisés en Juillet 2017, à la fois pour compléter les lacunes des profils concernés mais aussi préciser certaines zones en ajoutant d'autres profils.

Figure 16 : Carte des nouveaux profils relevés par HYDROTOPO en juillet 2017



2.1.2.4 Levés des laisses de crue

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

Le tableau ci-dessous récapitule les laisses de crue levées par HYDROTOPO et la carte précédente de la Figure 12 localise ces laisses de crue.

Tableau 2. Caractéristiques des laisses de crue relevées

Communes	X (Lambert 93)	Y (Lambert 93)	Z (NGF)	Observations
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 17 : Exemple de localisation de laisses de crue à Villette-sur-Ain (Source : HYDROTOPO)



2.1.2.5 Levés des ouvrages de décharge et/ou de franchissement des remblais dans le lit majeur

Le lit majeur de la vallée de l'Ain présente une topographie particulièrement large.

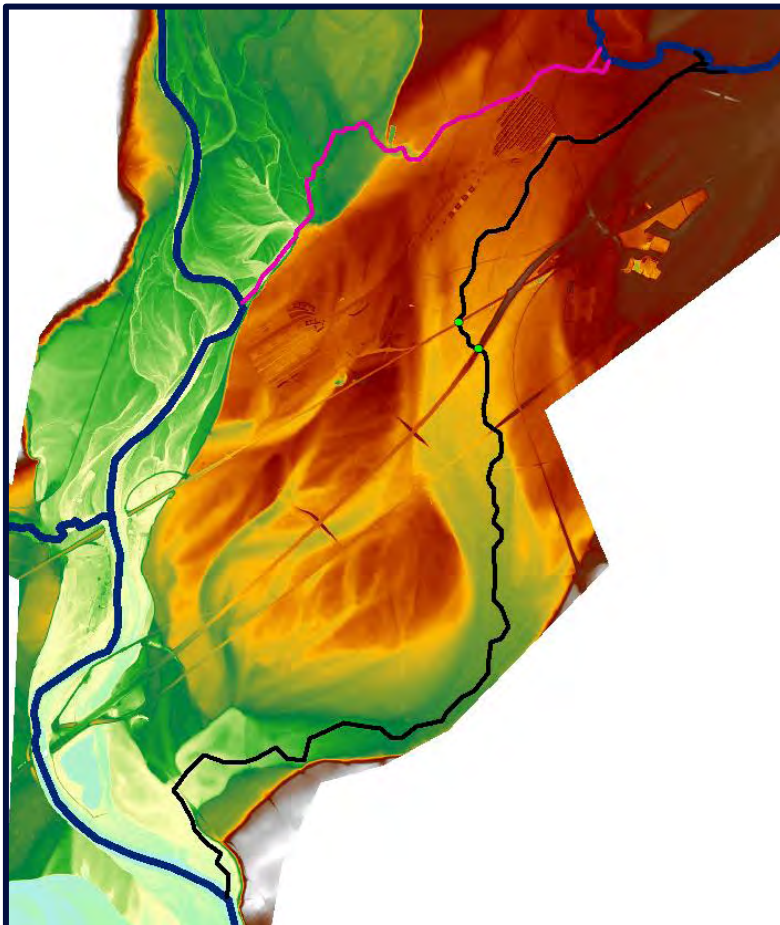
On peut noter que de nombreuses routes ont été remblayées pour réduire leur vulnérabilité aux crues de l'Ain. Ces remblais génèrent des obstacles aux écoulements dans le lit majeur de l'Ain. Pour permettre un passage des eaux d'inondation de l'Ain, des ouvrages de décharge et/ou de franchissement ont été créés sous les remblais.

Ces remblais et les ouvrages de décharge qui leur sont associés influencent les écoulements de l'Ain, il est donc important de les considérer lors de la construction du modèle hydraulique.

Une analyse de la carte LIDAR et de l'ortho-photographie a été effectuée, et des recherches ont été menées auprès des acteurs pour recenser tous les ouvrages connus. Au total **40 ouvrages** ont été identifiés sur le lit majeur de l'Ain (Cf. Figure 21 page 25). Les mesures des cotes, de la longueur et de la largeur de l'ouvrage ont été réalisées majoritairement à partir de du LIDAR.

Le syndicat intercommunal d'aménagement du bassin versant de l'Albarine (SIABVA) nous a transmis des données sur un bras de décharge de l'Albarine dans l'Ain (en noir sur la carte ci-dessous) et sur deux ouvrages de décharge. Ce tracé indique un chemin d'écoulement préférentiel des eaux de débordement de l'Albarine en rive gauche.

Figure 18 : Carte du chemin de déversement de l'Albarine dans l'Ain



L'Albarine parcourt ainsi 10 km avant de rejoindre l'Ain. Un deuxième chemin d'écoulement préférentiel des eaux de débordement de l'Albarine peut être identifié en violet sur la carte ci-dessus de 4 km.

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

Lors des simulations réalisées, ces écoulements seront vérifiés en crue centennale notamment.

Quatre ouvrages de décharge ont également été relevés par HYDROTOPO (voir carte de la Figure 17). Ces mesures ont donc été utilisées pour intégrer ces ouvrages dans le modèle.

Figure 19 : Localisation des ouvrages de décharges relevés par HYDROTOPO



Figure 20 : Levé d'un ouvrage de décharge de l'Ain à Pont d'Ain

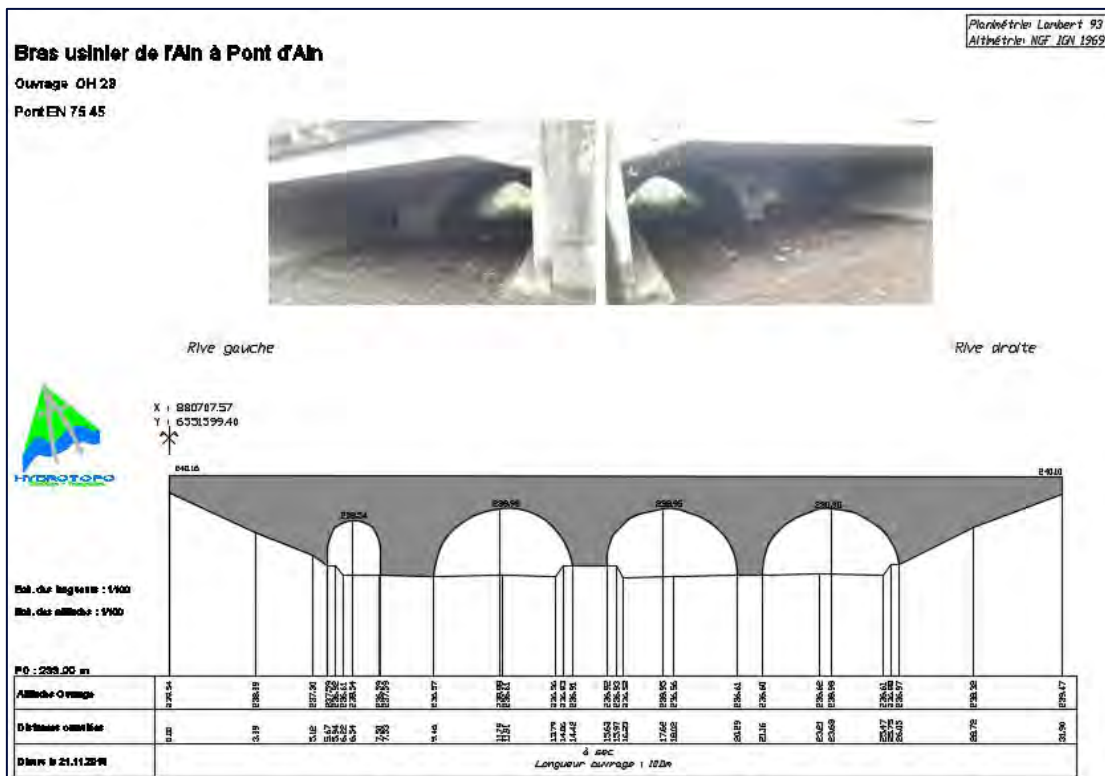
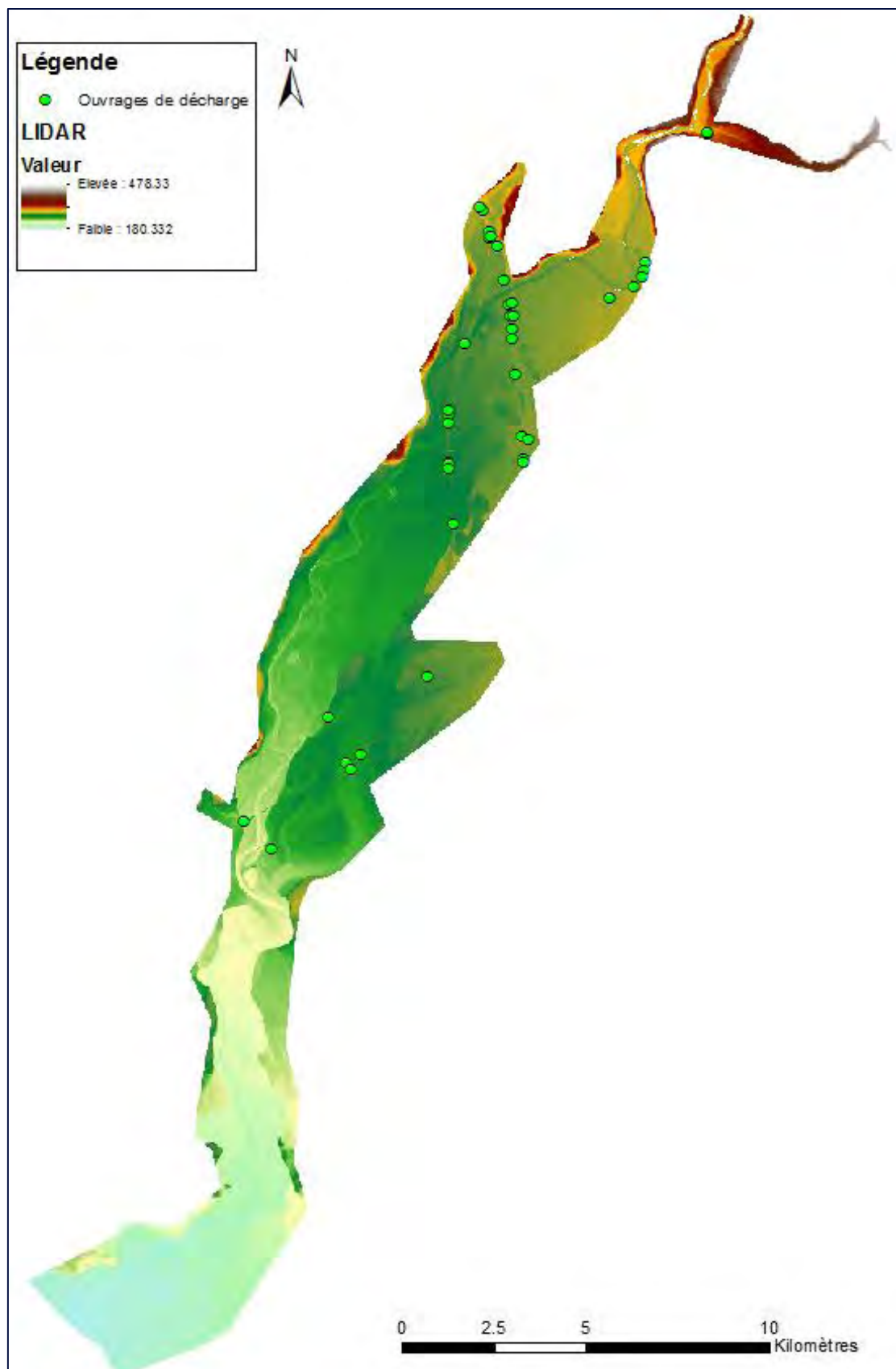


Figure 21 : Carte de localisation des ouvrages de décharge de l'Ain



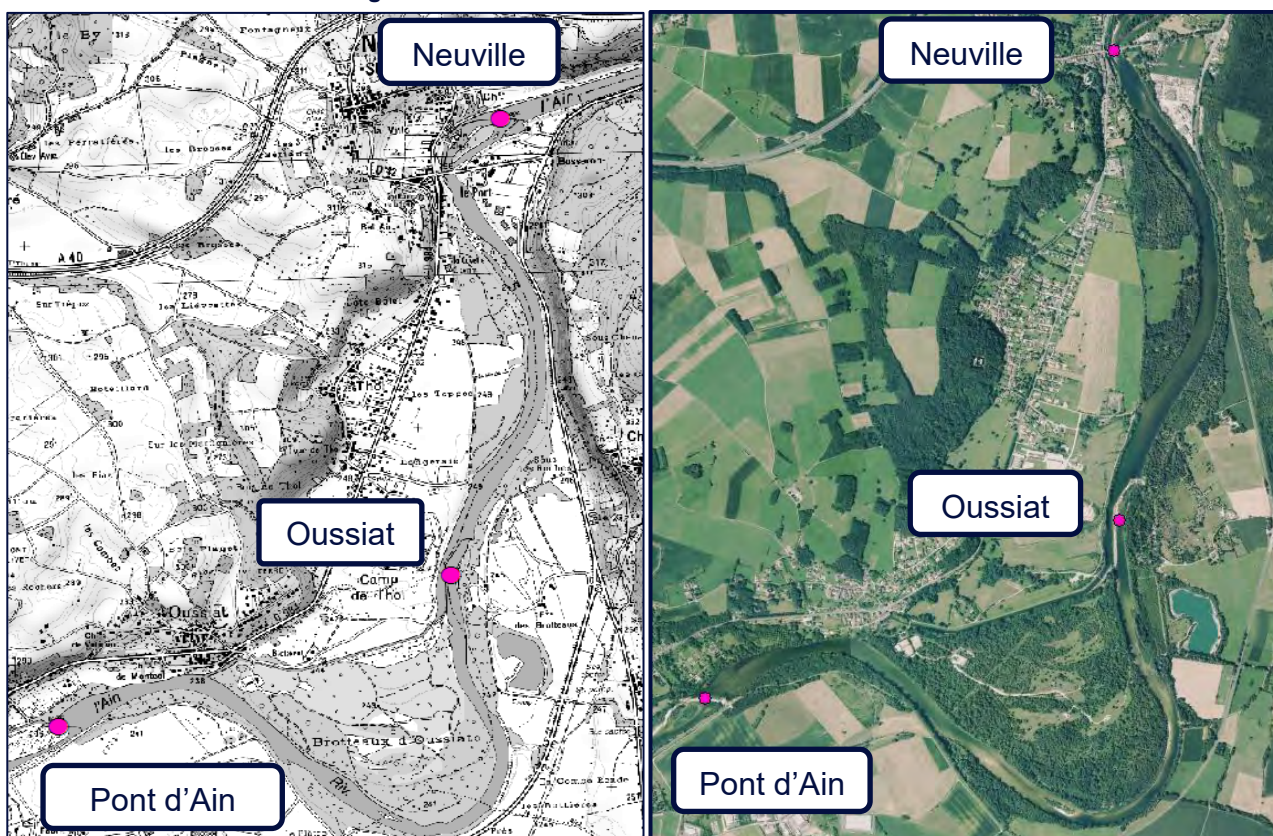
2.1.3 Plans papier cotés des barrages de l'Ain

Dans la zone d'étude, on dénombre 3 barrages permettant la production d'électricité et gérés par différentes entreprises, à savoir les barrages de :

- Neuville ;
- Oussiat ;
- Pont D'Ain.

Ces ouvrages sont localisés sur la carte ci-dessous.

Figure 22: Localisation des trois centrales sur l'Ain



Pour collecter des informations sur les barrages de l'Ain, le service de gestion et protection de l'environnement de la DDT a contacté les exploitants des 3 barrages. Les informations en possession des exploitants (dont les consignes de fonctionnement) ont par la suite été transmises à SAFEGE.

Les services de la DDT ont également transmis des vues en plan en format papier A0 des trois barrages. Les services de la DDT et des gestionnaires des ouvrages n'ont pas connaissance de données supplémentaires sur les coupes de ces ouvrages. Seules les données des plans papiers ont donc été utilisées pour la modélisation des barrages.

Les informations concernant le canal d'aménée vers les turbines et les ouvrages associés (vannes d'entrée notamment) sont très succinctes.

Figure 23: Plan papier cotés pour la centrale de Pont d'Ain (DDT01)

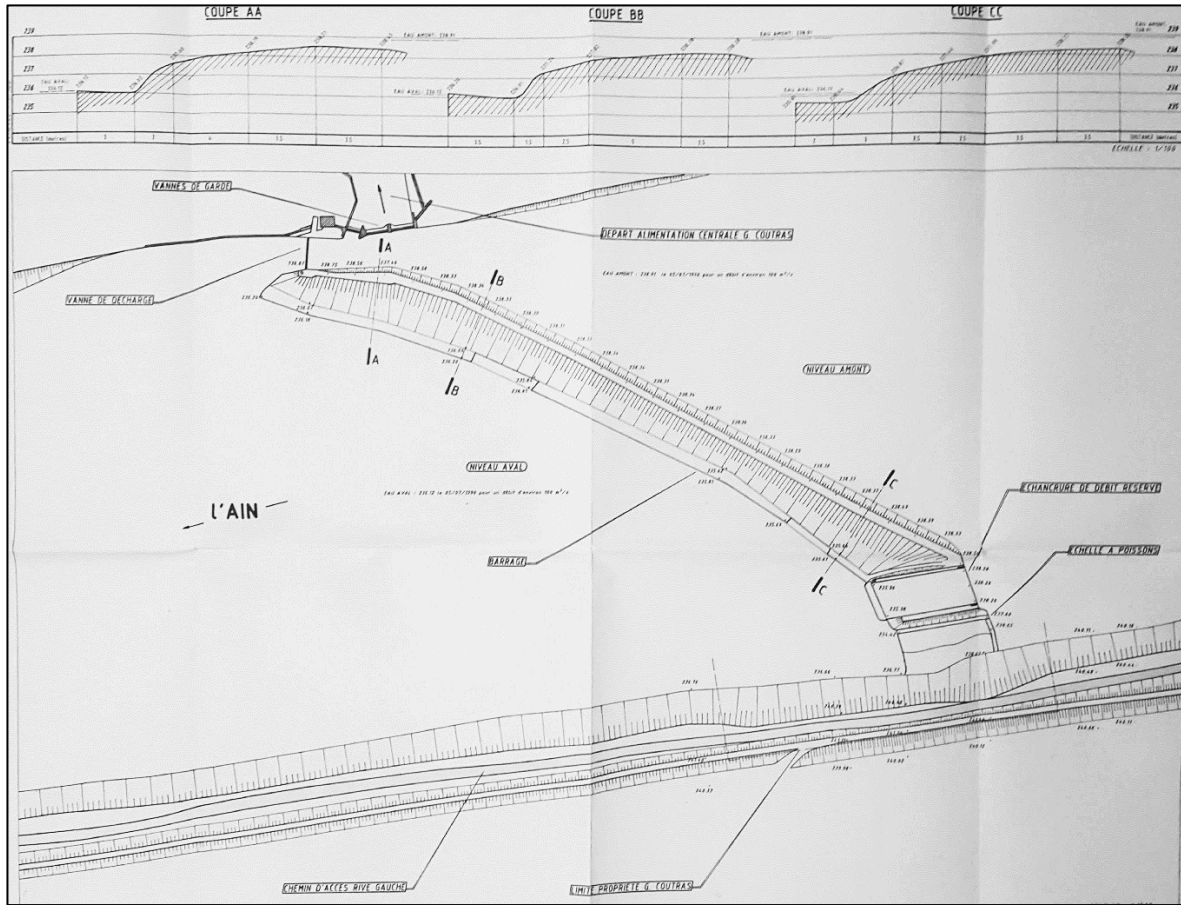


Figure 24 : Plan papier cotés pour la centrale de Neuville (DDT01)

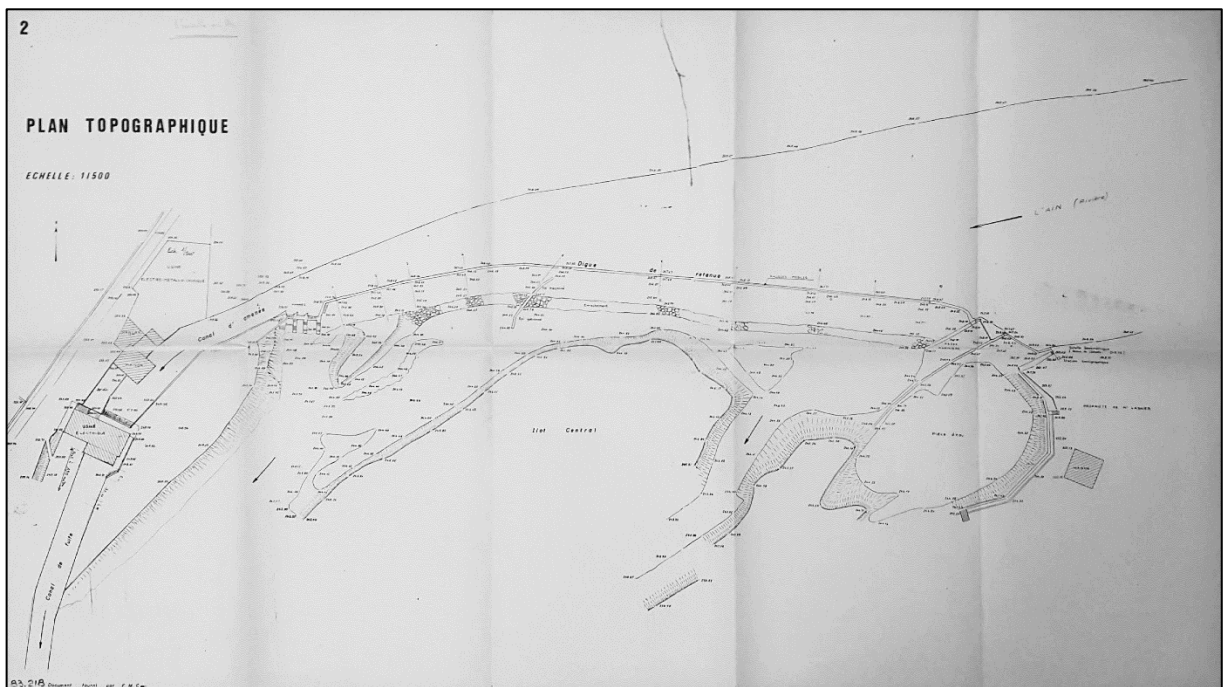
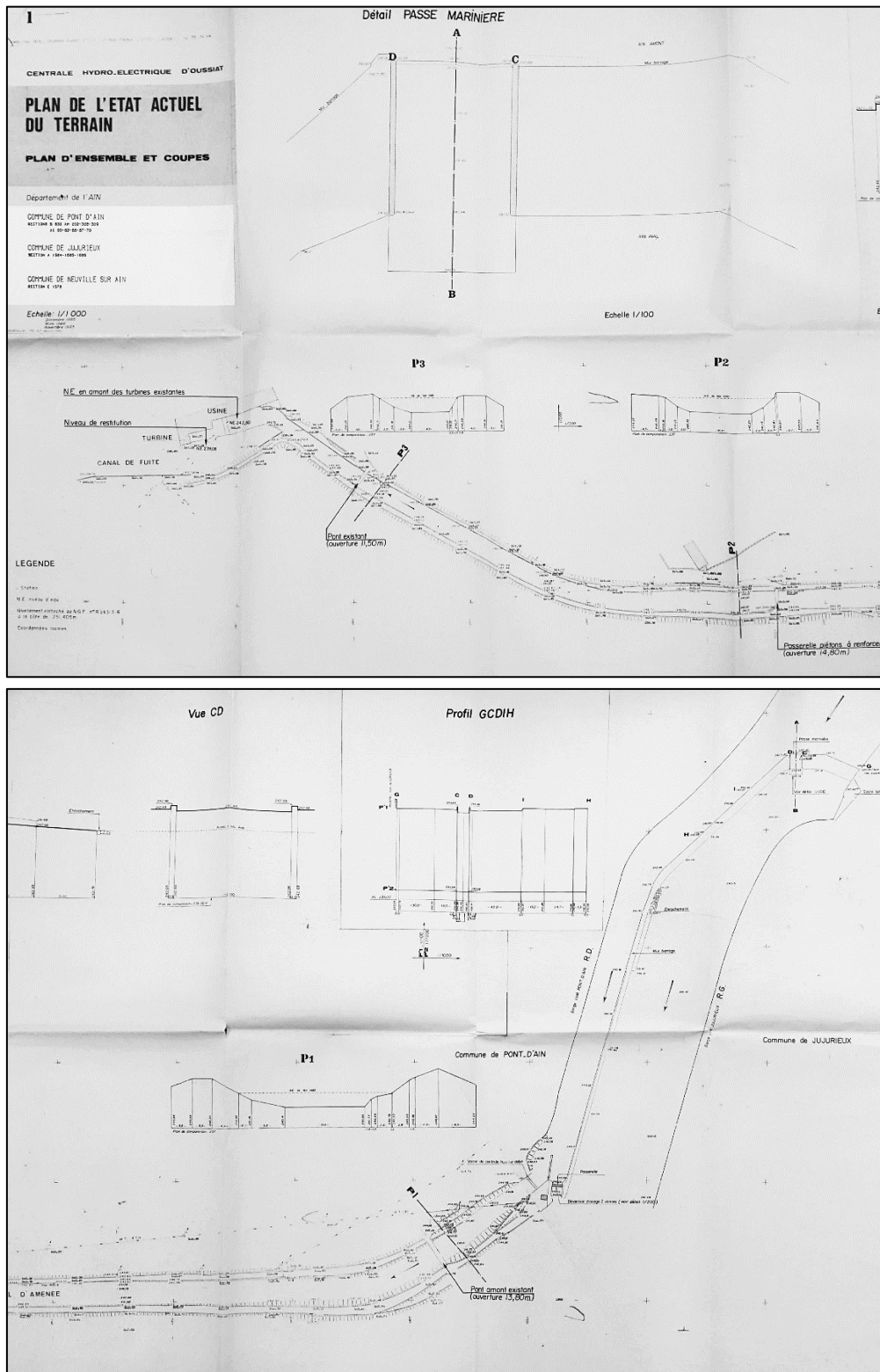
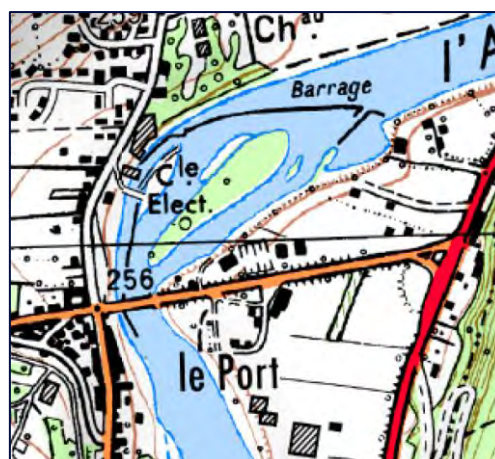
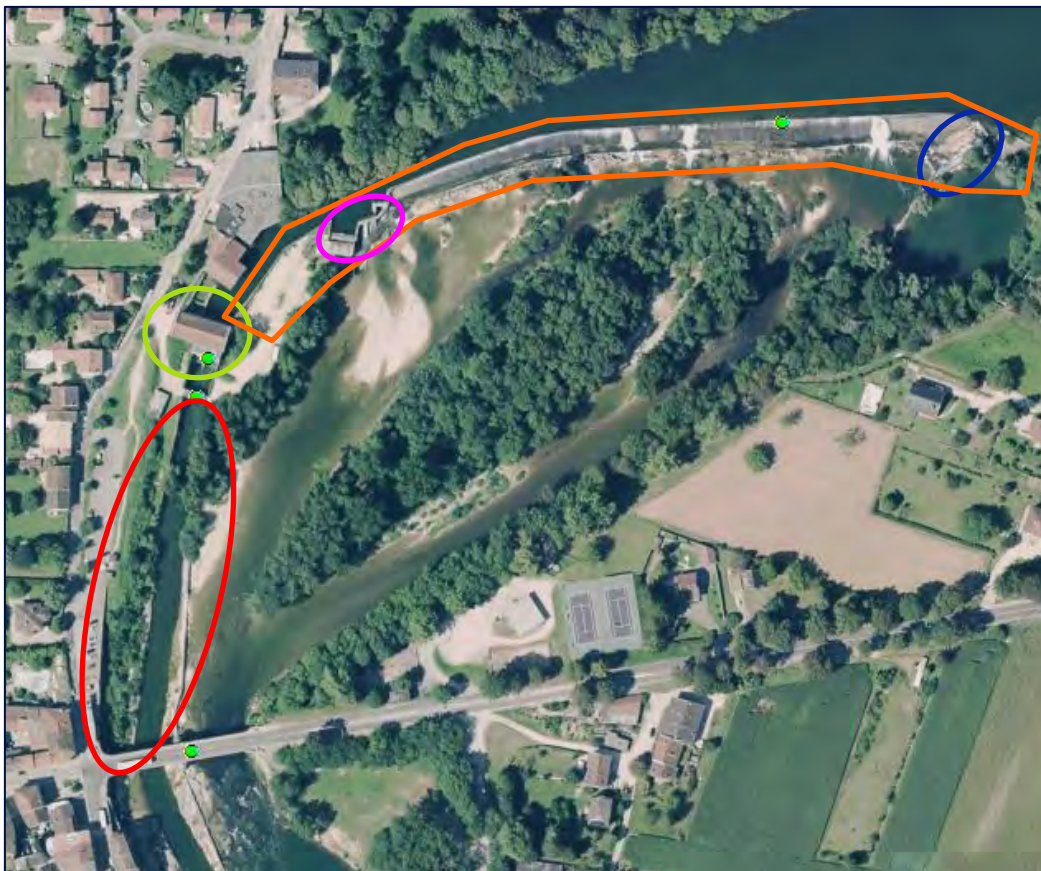


Figure 25 : Plan papier cotés pour la centrale d'Oussiat (DDT01)



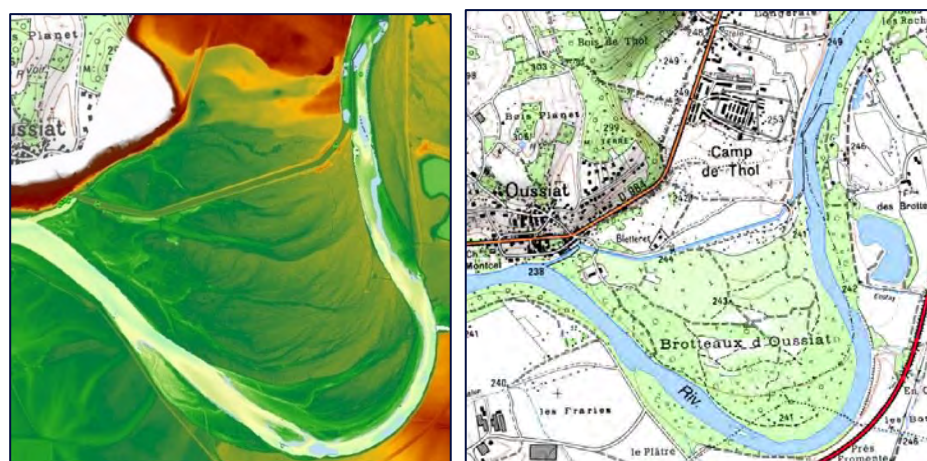
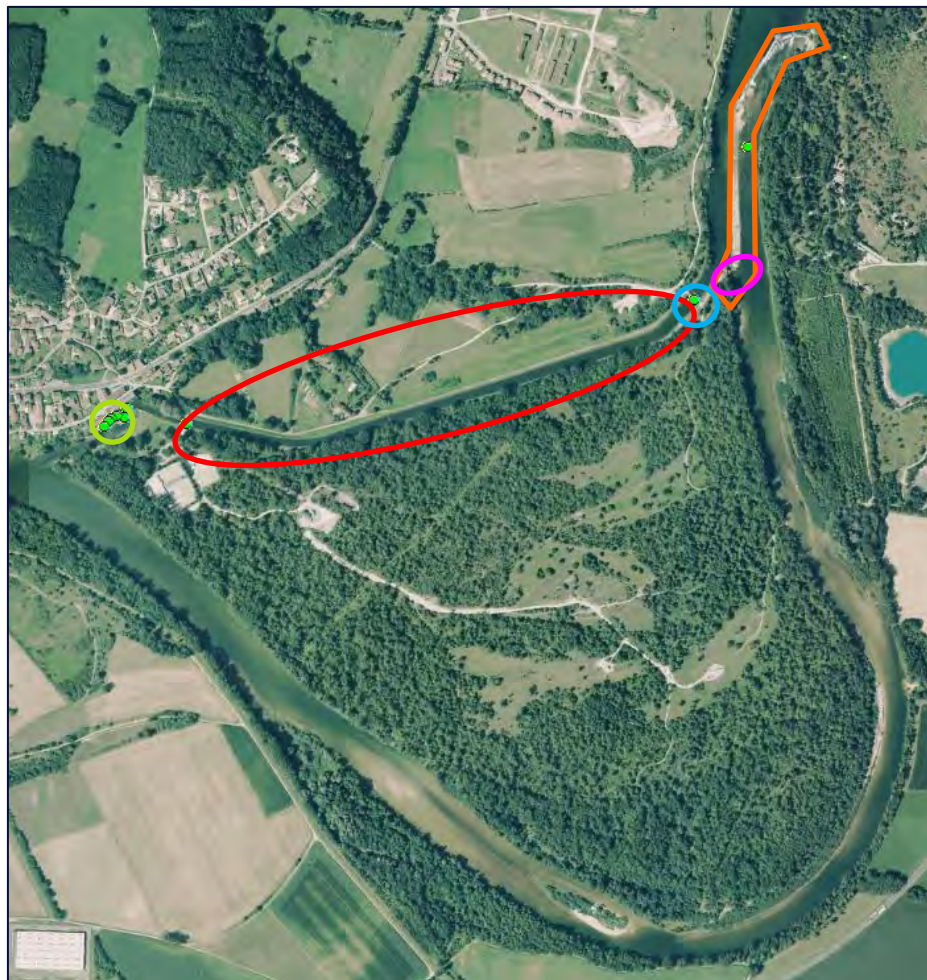
Les informations disponibles sont récapitulées pour chaque barrage pages suivantes.

- **Barrage de Neuville**



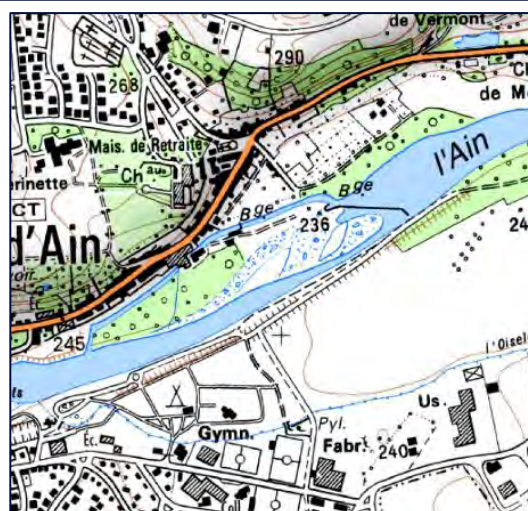
- **Composition** : large seuil de 440m environ (contour orange), bras de dérivation pour le canal d'aménée (cercle rouge), passe à poissons (cercle bleu) et turbines et vannes localisées sous une habitation (cercle vert), vannes de décharge (cercle rose) ;
- **Gestionnaire** : Forces motrices ;
- L'usine cesse de fonctionner pour un $Q > 700\text{m}^3/\text{s}$ (Q_2 à Pont d'Ain de $843\text{m}^3/\text{s}$) ;
- Pas de dispositif de protection des turbines : lorsque les turbines s'arrêtent les vannes se ferment et peuvent être surversées.

- **Barrage d'Oussiat**



- **Composition** : seuil transversal à l'Ain de 530m environ (contour orange), déversoir d'orage (cercle rose), vannes d'entrée du canal (cercle bleu), canal de dérivation qui se rejette plus à l'aval de l'Ain (cercle rouge) et turbines (cercle vert) ;
- **Gestionnaire** : Energies maintenance ;
- Mise en sécurité de l'ouvrage à partir de $Q=550\text{m}^3/\text{s}$ ($< Q_2$ à Pont d'Ain de $843\text{m}^3/\text{s}$) ;
- 1 vanne d'entrée sur 5 est ouverte à 20% pour maintenir un débit dans le canal en crue.

- **Barrage de Pont d'Ain**



- **Composition** : seuil (contour orange), vannes d'entrée du canal d'aménée (cercles bleus), canal d'aménée (cercle rouge), vanne de décharge (cercle rose) et turbines (cercles verts) ;
- **Gestionnaire** : SHPA et Ets Coutras ;
- SHPA (RG) 3 turbines et Ets Coutras (RD) 1 turbine alimentée par le canal d'aménée ;
- **Rive gauche** : fermeture des vannes pour $Q=700\text{m}^3/\text{s} < Q_2$
- **Rive droite** : centrale déconnectée du réseau en crue, les vannes d'entrée dans le canal peuvent être fermées.

2.2 Données d'entrée hydrologiques

Les éléments de ce chapitre reprennent l'analyse hydrologique réalisée en Phase 1 de cette étude.

2.2.1 Débits d'apport

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



*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 2 : Débits de référence pris en compte (m³/s)

	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

2.2.2 Etudes hydrologiques antérieures

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 de 2008 (306-325 m³/s) ;
- Le débit du Suran calculé dans la présente étude (209 m³/s) est **supérieur** au débit calculé par SOGREAH en 1999 (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.

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Tableau 3. Débits de l'Albarine et du Suran dans la bibliographie

			Q10	Q100	Q100 retenue
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	180
PPRi de la commune de Pont d'Ain (2003)		Suran (Pont d'Ain)	125	250	-



Dans la suite de l'étude, pour être 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 l'Albarine). Il est à noter également que ce débit est similaire à celui de la crue de 1990 (débit de 315 m³/s mesuré à la station de Saint-Denis-en-Bugey).

Pour le débit centennial 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.

2.3 Données de calage du modèle

Parmi les données bibliographiques transmises par la DDT, certaines études comportent une modélisation hydraulique :

- 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 hydraulique de l'Albarine, DDT 01, SILENE et HTV, 2009, [Réf.2].

La première étude a permis de mettre à jour le PPRi de l'Ain en 1999 et la dernière celui de l'Albarine en 2009. Les résultats des simulations de ces 2 études ainsi que les informations utilisées pour le calage sont valorisées dans la présente étude. Ainsi, des comparaisons entre les profils en long obtenus seront réalisées dans la suite.

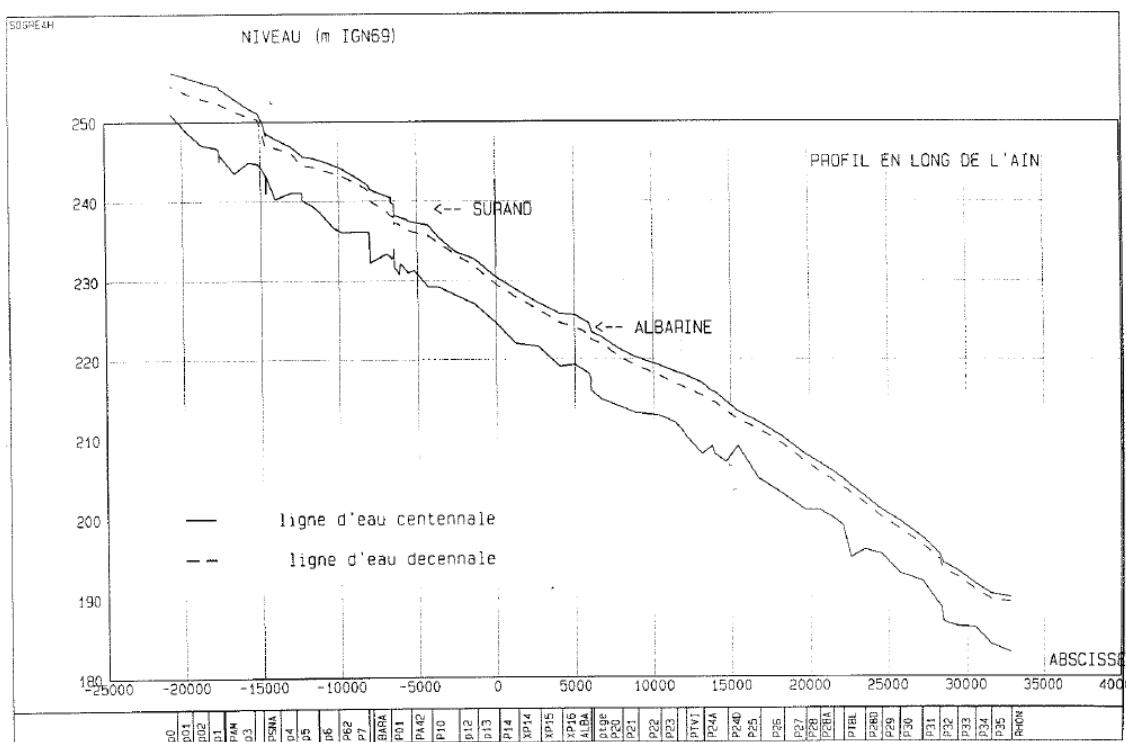
2.3.1 Résultats des simulations du PPRi de l'Ain de SOGREAH (1999)

Pour l'étude hydraulique de l'Ain en 1999, SOGREAH a utilisé la crue de 1977 pour caler son modèle hydraulique 1D.

Le débit de 1340m³/s au barrage d'Allement (entrée du modèle) a été pris en compte et un apport de 80m³/s de l'Albarine a été ajouté (soit un débit de 1420 m³/s en aval de la confluence avec l'Albarine). Ce débit correspond à une crue de temps de retour 12-15 ans pour l'Ain.

La condition aval considérée est une cote de 189.17 m NGF dans le Rhône.

Les résultats hydrauliques de SOGREAH sont observables ; à l'aide du profil en long ci-dessous, d'un tableau et d'une cartographie localisant les points de calculs.



La carte de localisation des points de calcul (profils) de SOGREAH a pu être valorisée (Cf. Figure 27). Ceci permettra de pouvoir comparer nos résultats avec ceux du précédent PPRi.

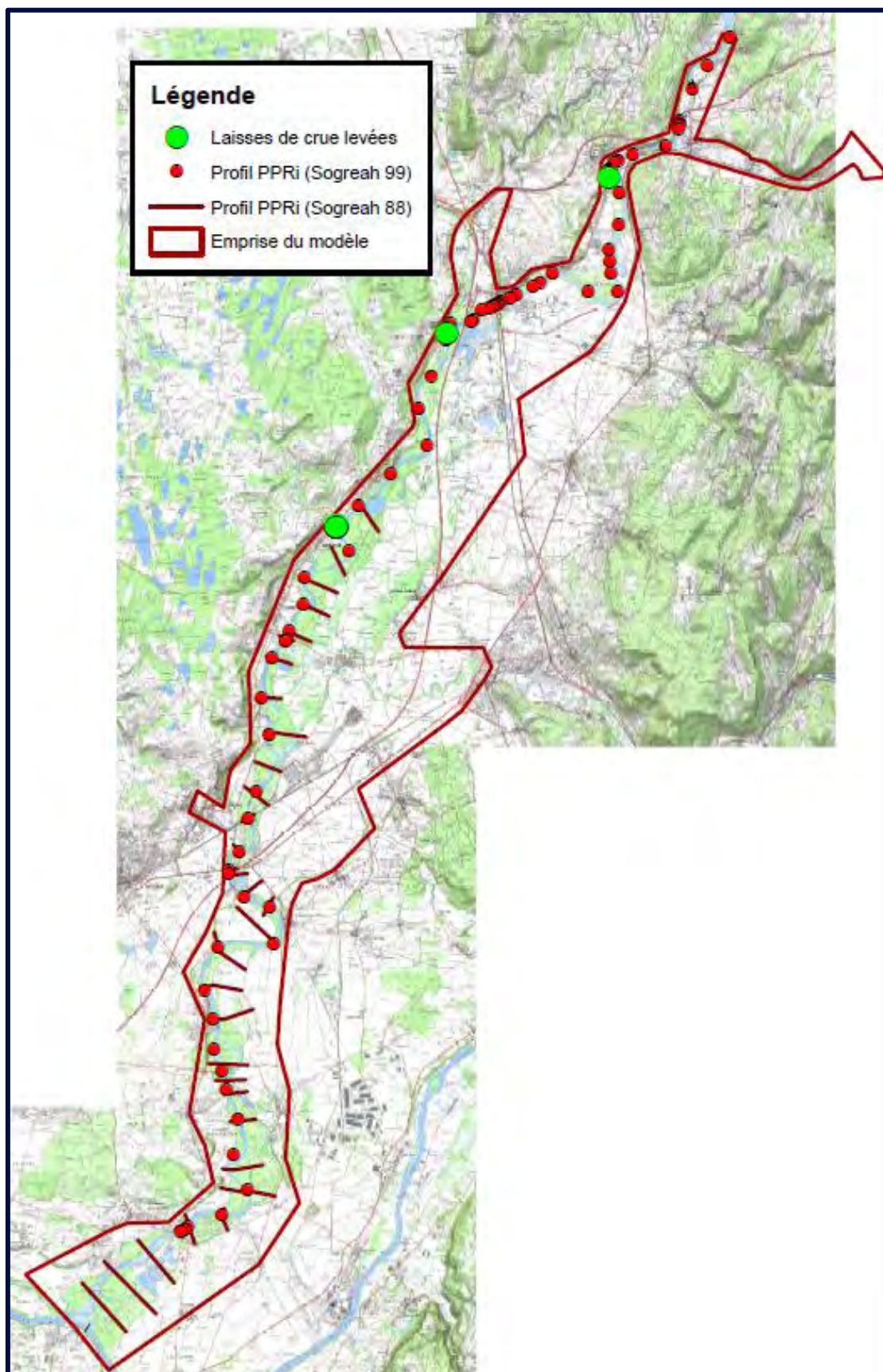


Figure 27. Localisation des résultats hydrauliques de Sogreah en 1988 et 1999 (points de calcul ou profil)

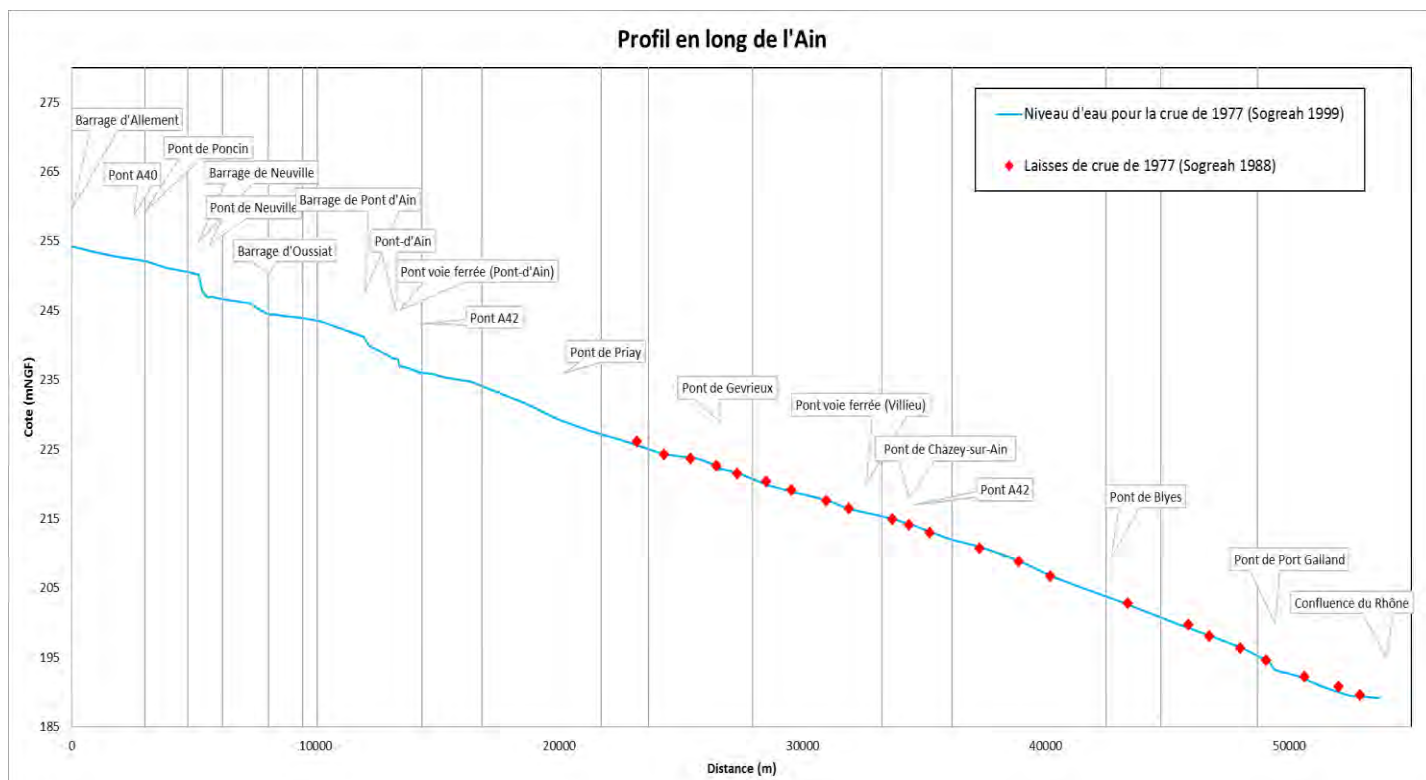


Figure 28. Profil en long de l'Ain pour la crue de 1977 – Résultats de SOGREAH 1999

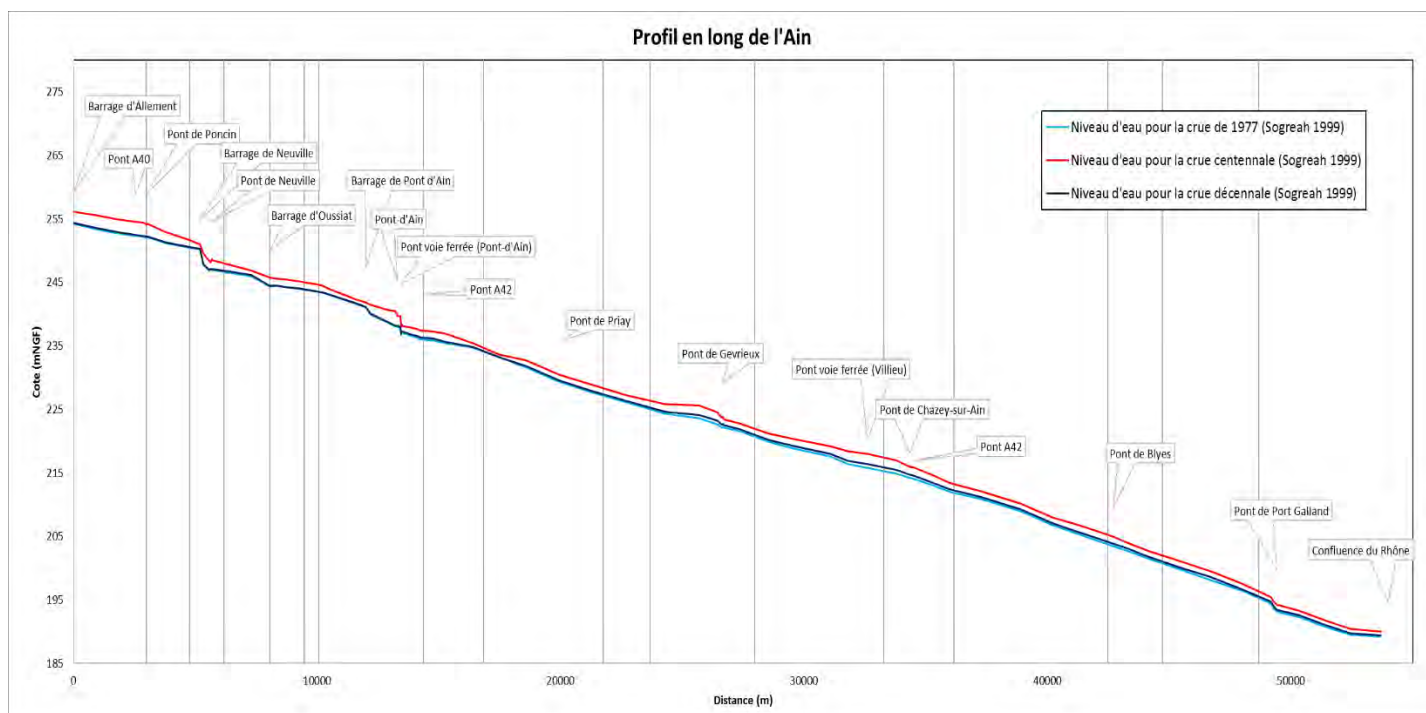


Figure 29. Profil en long de l'Ain pour la crue centennale – Résultats de SOGREAH 1999

2.3.2 Résultats des simulations du PPRi de l'Albarine (HTV 2008))

Pour l'étude hydraulique de l'Albarine en 2009, HTV a utilisé la crue de février 1990 pour caler son modèle hydraulique 1D. Ces laisses de crue proviennent de « l'étude générale d'aménagement et de gestion de l'Albarine » (SILENE 1993).

Les coefficients de Stricker varient entre 17 et 30 en lit mineur et 10 et 20 en lit majeur.

Le débit de 288 m³/s a été pris en compte à Saint-Denis-en-Bugey.

Tableau 4. Débit et temps de retour associés pour la crue de 1990 – Source : HTV 2008

	Chaley		Saint-Rambert-en-Bugey		Saint-Denis-en-Bugey	
	Débit	Tps de retour	Débit	Tps de retour	Débit	Tps de retour
Février 1990	136	55 ans	237	90 ans	288	55 ans

Les résultats hydrauliques de HTV sont observables ; à l'aide du profil en long ci-dessous et d'une cartographie localisant les points de calculs.

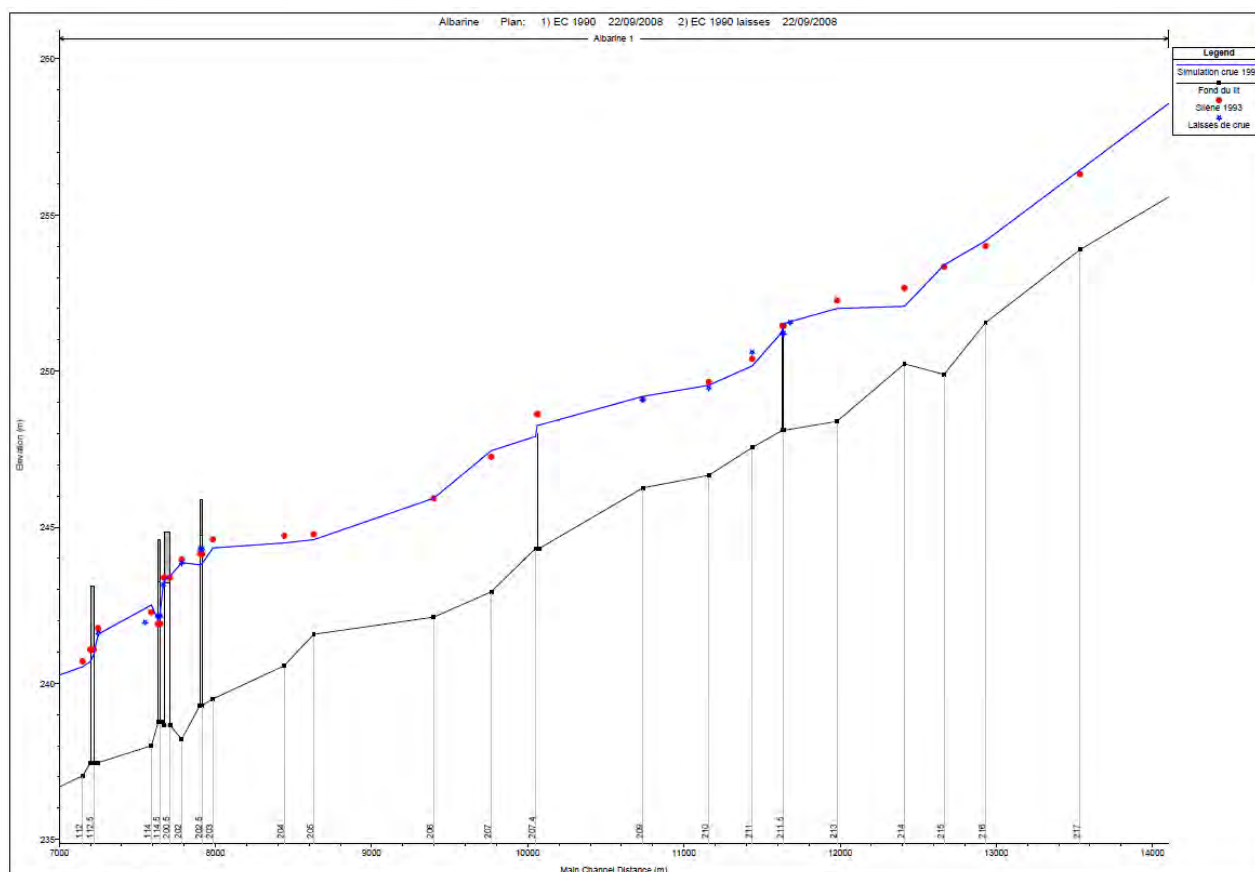


Figure 30. Profil en long de la ligne d'eau de l'Albarine - Source : HTV, 2009 (Réf [2])

La carte de localisation des points de calcul (profils) de HTV a pu être valorisée. Ceci permettra de pouvoir comparer nos résultats avec ceux du précédent PPRi.

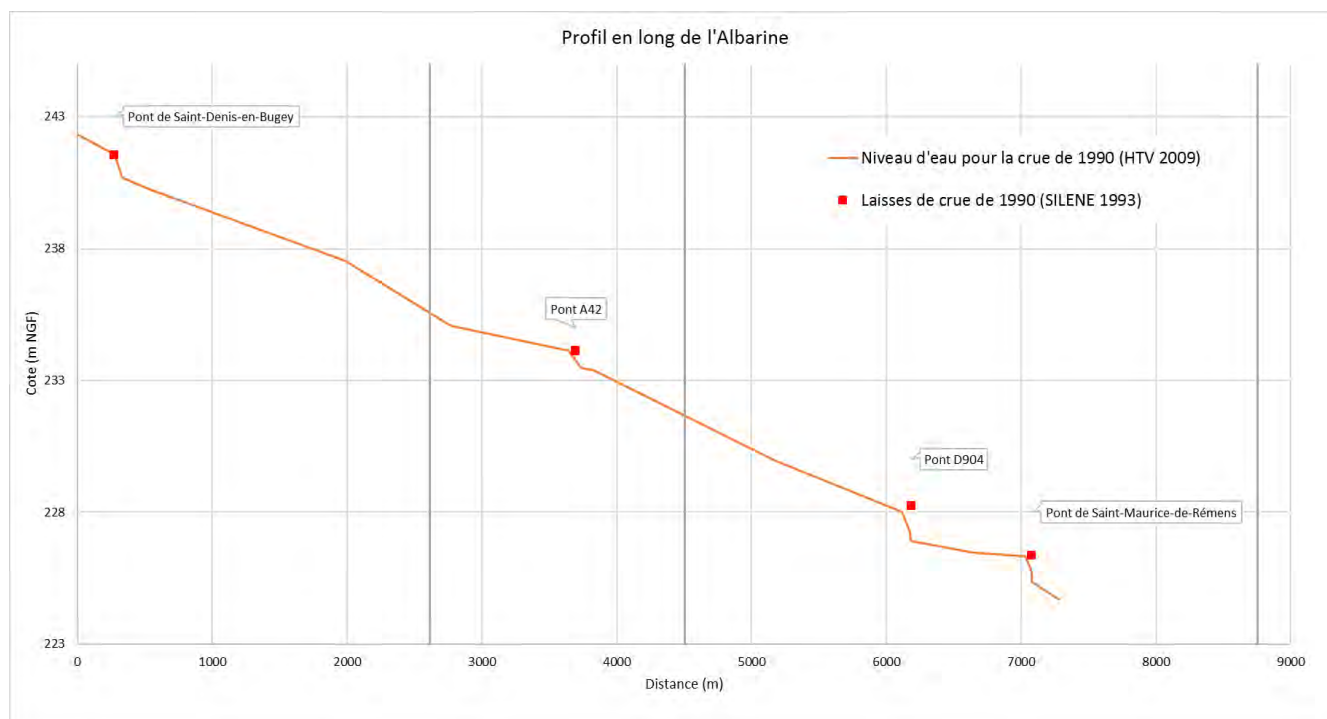


Figure 31. Profil en long de l'Albarine pour la crue de février 1990 – Résultats de HTV 2009

2.3.3 Laisses de crues historiques

Pour rappel, les laisses de crue indiquées sur des habitations ou quais et ponts de l'Ain levés par HYDROTOPO sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 2. Caractéristiques des laisses de crue relevées

Communes	X (Lambert 93)	Y (Lambert 93)	Z (NGF)	Observations
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

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



On peut constater que la crue de 1977 n'est associée qu'à une seule laisse de crue, la crue de 1990 et de 1991 présentent 2 laisses de crue chacune.

Les crues de 1990 et 1991 correspondent à une même laisse de crue à Villette-sur-Ain. La cohérence de cette laisse de crue est donc à vérifier. De façons générales, il faudra rester vigilant quant à la fiabilité des laisses de crue. En effet, des incertitudes sont toujours rattachées aux laisses de crue ; précision de la donnée (mémoire, emplacement), relevé réalisé au pic de crue, ...

2.3.4 Synthèse des données

Le tableau ci-dessous récapitule les données historiques de calage disponibles pour les crues récentes ainsi que les débits de l'Ain aux stations de Pont d'Ain et de Chazey. Le Tableau 6 ci-dessous rappelle les débits et leur temps de retour associés pour comparaison avec les crues historiques.

Tableau 5. Synthèse des données historiques de calage disponibles pour les crues récentes

Crue	Débit à la Station Pont d'Ain (m3/s)	Débit à la Station Chazey (m3/s)	Laisses de crue
Janv-77	1270	1440	1 à Villette + Données Sogreah 1988
Mai-83	1420	1460	1 à Villette
Févr-90	1250	1860	1 à Varambon + 1 à Villette + Données HTV 2008 Albarine
Déc-91	1270	1690	1 à Villette +1 à Neuville
Févr-99	1160	1630	1 à Villette

Tableau 6. Rappel des débits de l'Ain et de leur temps de retour associé

Crue	Débit m3/s	
	Calculs Station de Pont d'Ain (m3/s)	Calculs Station de Chazey (m3/s)
Q2	843	910
Q5	1058	1150
Q10	1221	1335
Q20	1414	1546
Q50	1748	1911



Les crues présentant le plus de données disponibles sont la crue de 1977 puis celle de 1990 pour l'Albarine et l'Ain.

3 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

3.1 Stratégie de modélisation

3.1.1 Principe de modélisation

La modélisation des écoulements sur la vallée de l'Ain est réalisée en utilisant une plateforme de couplage de modèles 1D et 2D. Ce type de modèle permet de discrétiser la précision de modélisation en fonction des secteurs. Le principe de modélisation retenue repose sur le schéma de modélisation suivant :

- ✓ Une modélisation 1D filaire du lit mineur de l'Ain et de ses quatre affluents (Veyron, Suran, Albarine et Toison) ;
- ✓ Représentation bidimensionnelle (2D) pour l'ensemble des lits majeur des cours sur lesquels la connaissance du champ de hauteurs bidimensionnel est essentielle, à savoir, les zones à enjeux notamment. La zone modélisée en 2D est connectée au lit mineur par des lois de type seuils calculées à partir des données du MNT.

3.1.2 Logiciel de modélisation utilisé

Le logiciel de modélisation utilisé est la suite MIKE développée par le Danish Hydraulic Institute (DHI). Le module hydrodynamique de la plateforme de couplage MIKEFlood permet la résolution complète des équations de Barré de St Venant en régime transitoire via deux logiciels :

- ✓ MIKE11 pour les zones modélisées en 1D : MIKE11 a également été utilisé pour la modélisation des ouvrages hydrauliques présents sur le cours d'eau (ouvrages de franchissement, seuils en rivière, barrages, ...)
- ✓ MIKE21 pour les zones modélisées en 2D : la modélisation a été réalisée sur la base d'une grille triangulaire de taille variable (TIN), dont les modalités de construction sont présentées plus loin.

3.2 Description du modèle hydraulique 1D

3.2.1 Emprise du modèle

Le modèle intègre l'ensemble du linéaire du lit mineur de l'Ain entre le barrage de l'Allement et la confluence avec le Rhône, ainsi que les affluents. Les linéaires modélisés associés sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7. Récapitulatif des linéaires des cours d'eau modélisés en 1D

	Ain	Toison	Albarine	Suran	Veyron
Linéaire (km)	54.0	2.1	9.0	5.8	6.4

Le schéma ci-dessous représente la structure du modèle hydraulique 1D.

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

Sur le schéma ci-dessous, les ponts sont représentés par des carrés verts et les seuils par des carrés bleus. Les profils en travers sont des points rouges.

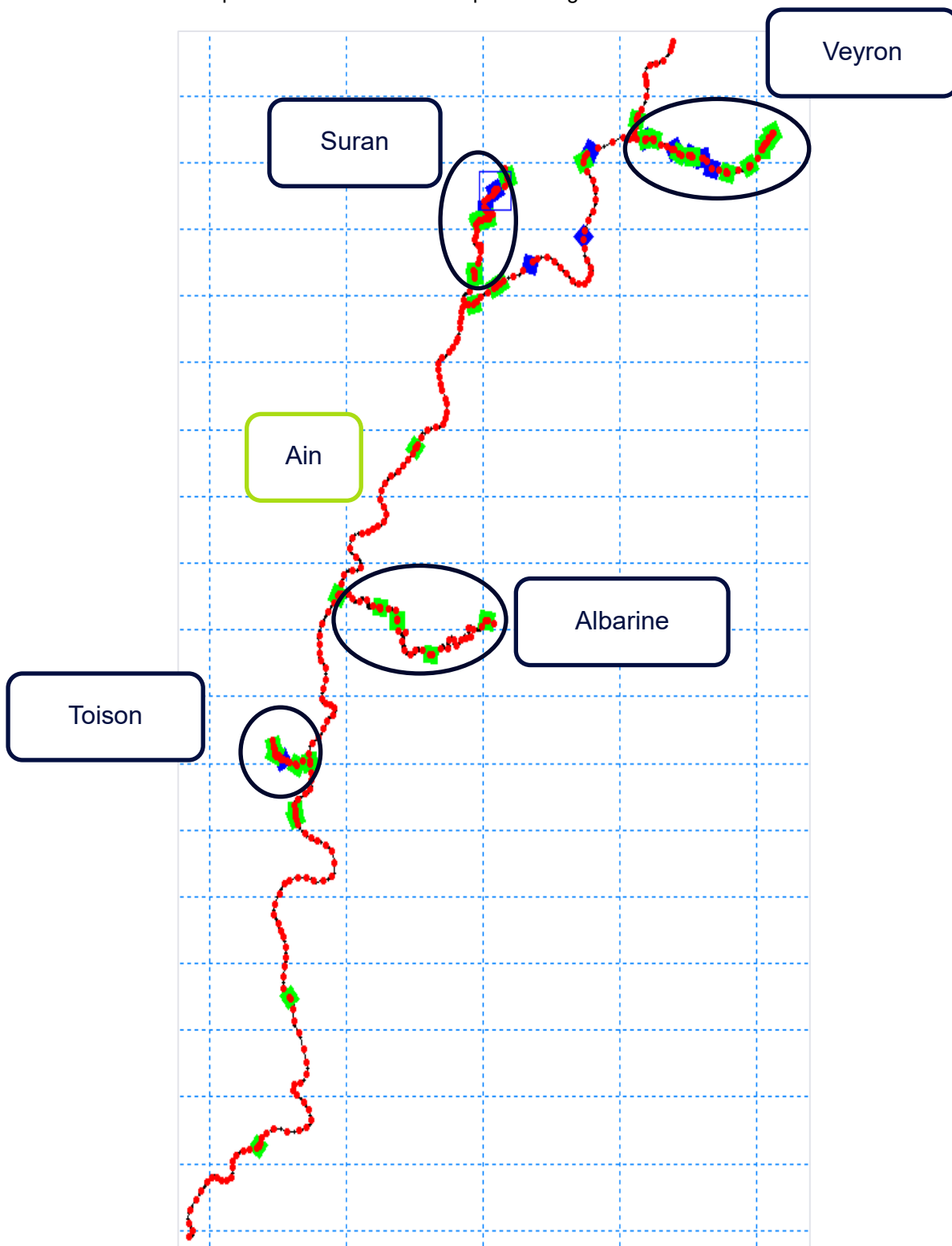


Figure 32: Topologie du modèle 1D

3.2.2 Ouvrages modélisés

Les différents ouvrages implantés dans le modèle correspondent aux levés réalisés par HYDROTOPO et décrits dans la partie 2.1.2.2 précédente. Ils sont également localisés sur la carte précédente de topologie du modèle (Figure 32).

Tableau 8. Récapitulatif des levés terrestres réalisés sur les affluents par HYDROTOPO

Cours d'eau		Ain	Toison	Albarine	Suran	Veyron	
Nombre de levés	Ouvrage hydraulique	Seuils	3	1	0	2	5
		Ponts	16	3	4	7	14

La Figure ci-dessous permet de comparer la représentation de l'Albarine dans le modèle hydraulique 1D et la localisation des ouvrages sur le Scan 25.

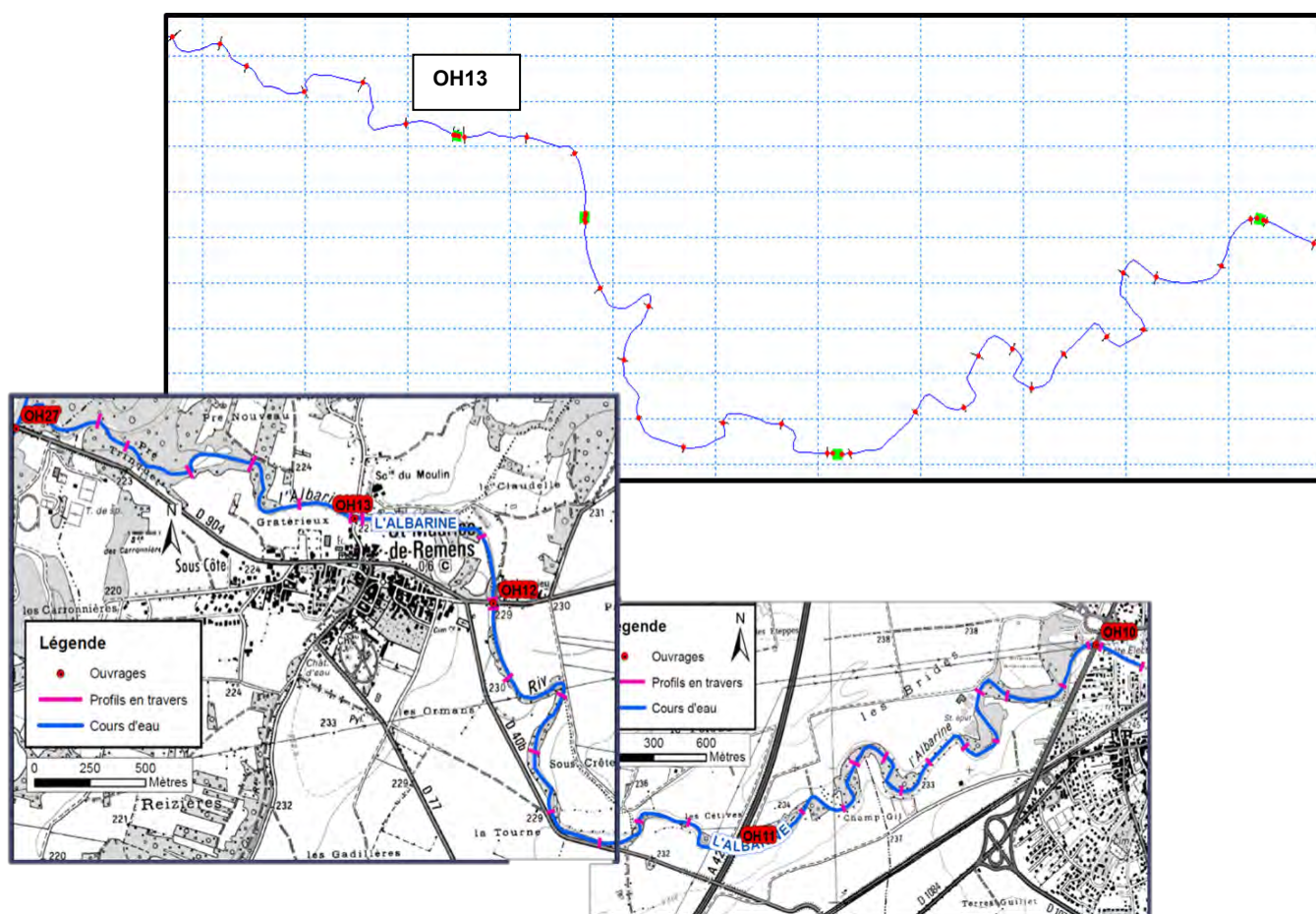


Figure 33 : Structure du modèle hydraulique 1D sous Mike 11 de l'Albarine, avec la localisation des profils en travers (traits rouges) et des ouvrages hydrauliques (OH)

3.2.2.1 Profils en travers de l'Ain et des affluents

Sur les affluents, les profils levés ont été directement intégrés dans le modèle 1D.

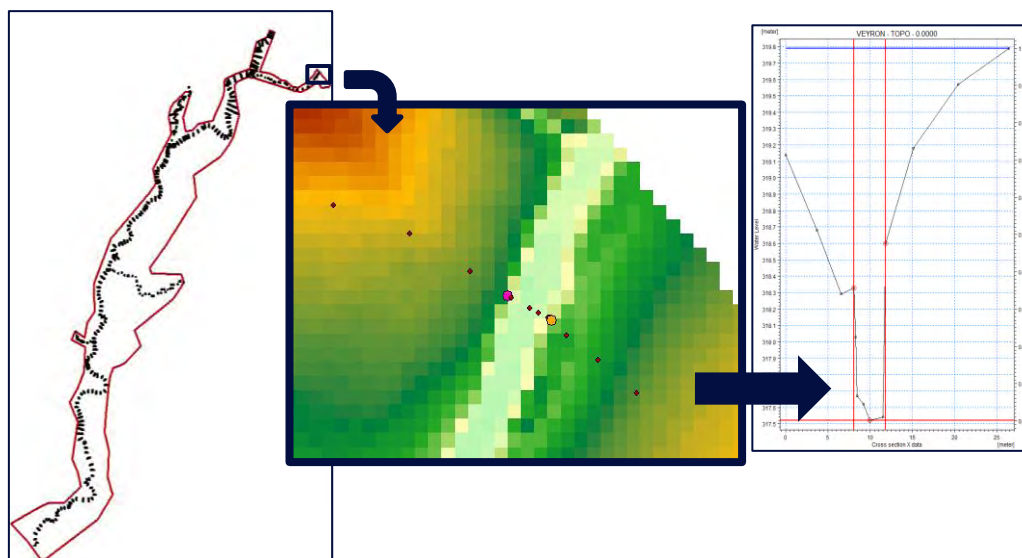


Figure 34. Intégration des profils modèle hydraulique 1D sous Mike 11

Le tableau ci-dessous récapitule le nombre total de profils pris en compte dans le modèle (profils interpolés ajoutés aux profils levés par HYDROTOPO).

Tableau 9. Tableau récapitulatif des profils sur les affluents

	Cours d'eau	Toison	Albarine	Suran	Veyron
Bief	Longueur (m)	1893	8870	5724	6325
Nombre de levés	Profil en travers	19	35	40	38
	Ouvrage hydraulique	4	4	9	19
Nombre de profils dans le modèle	Profils en travers (M11)	26	43	54	64

Sur l'Ain, les profils en travers proviennent de différentes sources de données.

Tableau 10. Récapitulatif des sources de données des profils sur l'Ain

Source de données	Nombre de Profil dans l'Ain
Levés terrestre HYDROTOPO	2 profils à l'aval du barrage Allement
	7 profils en travers au droit des lacunes du Lidar
LiDAR	218 profils

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

3.2.2.2 Ponts et ouvrages de décharge/franchissement

A partir des levés topographiques réalisés, 44 ouvrages de franchissement dont 16 sur le lit mineur de l'Ain (Tableau 8 précédent) ont été intégrés au modèle.

Ces ouvrages sont décrits dans le modèle par l'intermédiaire de sections fermées décrivant leur géométrie (module « culvert » de MIKE11).

Une relation Q/H est alors calculée par le logiciel en fonction de la section passante de chacun des ouvrages. La perte de charge est automatiquement calculée par le modèle et prise en compte dans le calcul de la ligne d'eau.

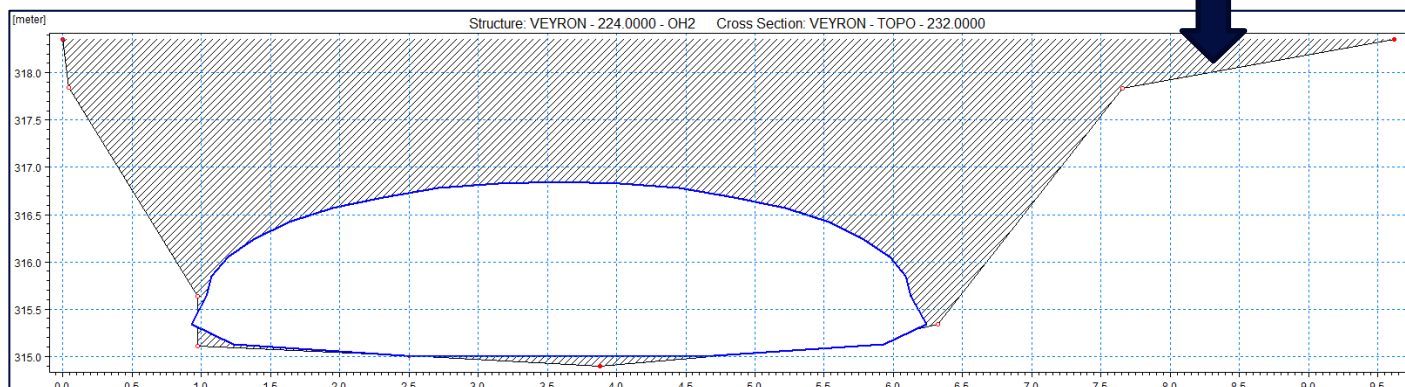
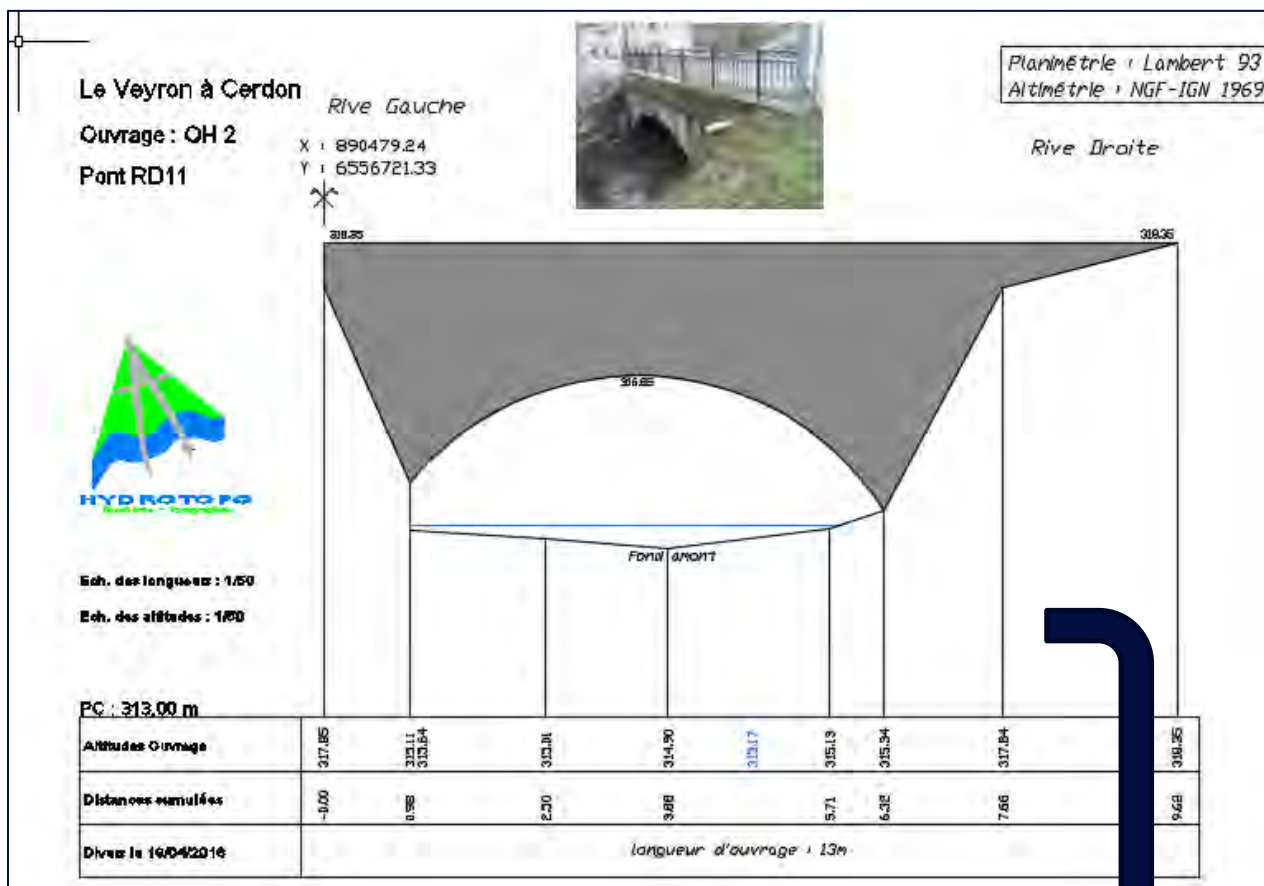


Figure 35. Intégration d'un ouvrage sur Mike11

3.2.2.3 Barrages **de l'Ain** et ouvrages associés

Suite à la réunion du comité technique du 22 juillet 2017, il a été décidé de modéliser les barrages et les canaux de décharge associés selon la démarche suivante.

Comme présenté précédemment, la zone d'étude présente 3 barrages (Neuville, Oussiat et Pont d'Ain). Les **vannes d'entrée du canal d'amenée** ont été intégrées au modèle via les données transmises par la DDT et à l'aide d'une loi de type :

- « Conduite » (module « culvert » de MIKE) pour le barrage de Neuville, en considérant le fond de l'Ain pour la cote basse et en mettant comme cote haute de la conduite le niveau du terrain naturel. Un point de vigilance est relevé sur le risque d'une surestimation du débit transitant dans ce bras.
- « Seuil » (module « weirs » de MIKE) pour le barrage d'Oussiat, et il sera noté si ces vannes sont surversées au cours des simulations. Cette hypothèse est la plus sécuritaire pour les enjeux.
- « Conduite » (module « culvert » de MIKE pour le barrage de Pont d'Ain (de même que pour le barrage de Neuville) en considérant le fond de l'Ain pour la cote basse et en mettant comme cote haute de la conduite le niveau du terrain naturel. Un point de vigilance est relevé sur le risque d'une surestimation du débit transitant dans ce bras.

Pour chaque seuil, en fonction de sa géométrie, une loi Q/H de type seuil à crête large a également été calculée.

3.3 Description du modèle hydraulique 2D

3.3.1 Emprise du modèle

La modélisation bidimensionnelle du lit majeur comprend la même zone d'étude que le modèle 1D, en intégrant cette fois le lit majeur de l'Ain. Elle correspond à l'emprise du LIDAR et contient l'enveloppe du PPRi précédent. Elle couvre près de 127.6 km².

En effet, cette zone correspond à une zone habitée soumise aux aléas historiques. De plus, la dynamique des écoulements est complexifiée par des méandres très prononcés et la présence de remblais routiers transversaux ou obliques. Ainsi, il a semblé pertinent de modéliser l'ensemble du lit majeur de cette zone complexe et à enjeux à l'aide d'une modélisation 2D.

La figure suivante montre l'emprise du modèle 2D.

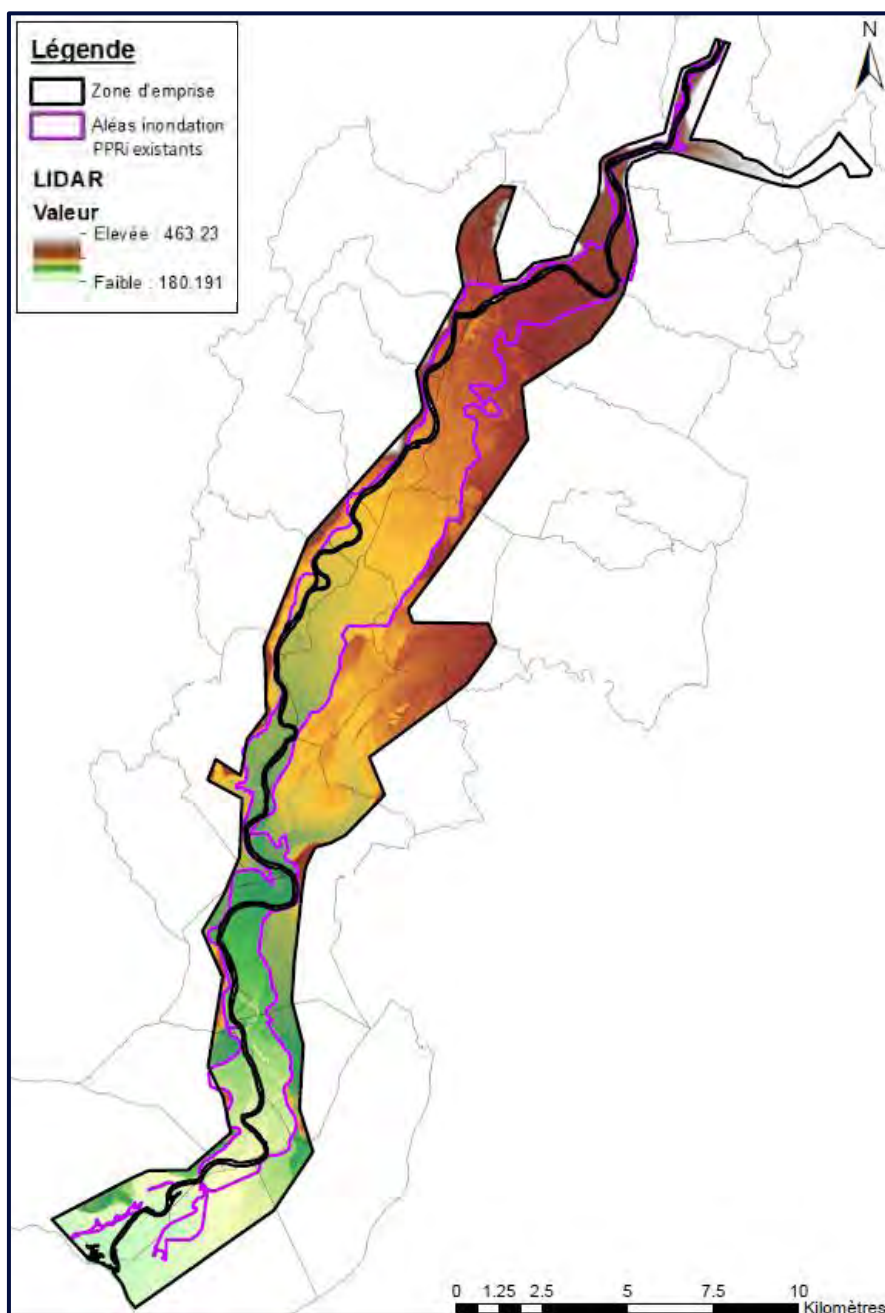


Figure 36. Emprise du modèle 2D

3.3.2 Maillage du modèle

3.3.2.1 Taille des mailles

Le modèle est bâti avec un maillage flexible triangulaire. Ce type de maillage convient bien pour la modélisation d'écoulements multidirectionnels. La taille des mailles a été choisie de façon à faire un compromis entre stabilité du modèle, précision des résultats et temps de calculs. Pour cela, le nombre d'éléments de maillage ne devant pas dépasser 100 000. Il est ici de **84 900**.

Les tailles de maille **maximales** ont été ajustées de la manière suivante :

- Zones à enjeux élevés : 500 m²
- Zones à enjeux moyens à faibles : 5000 m².

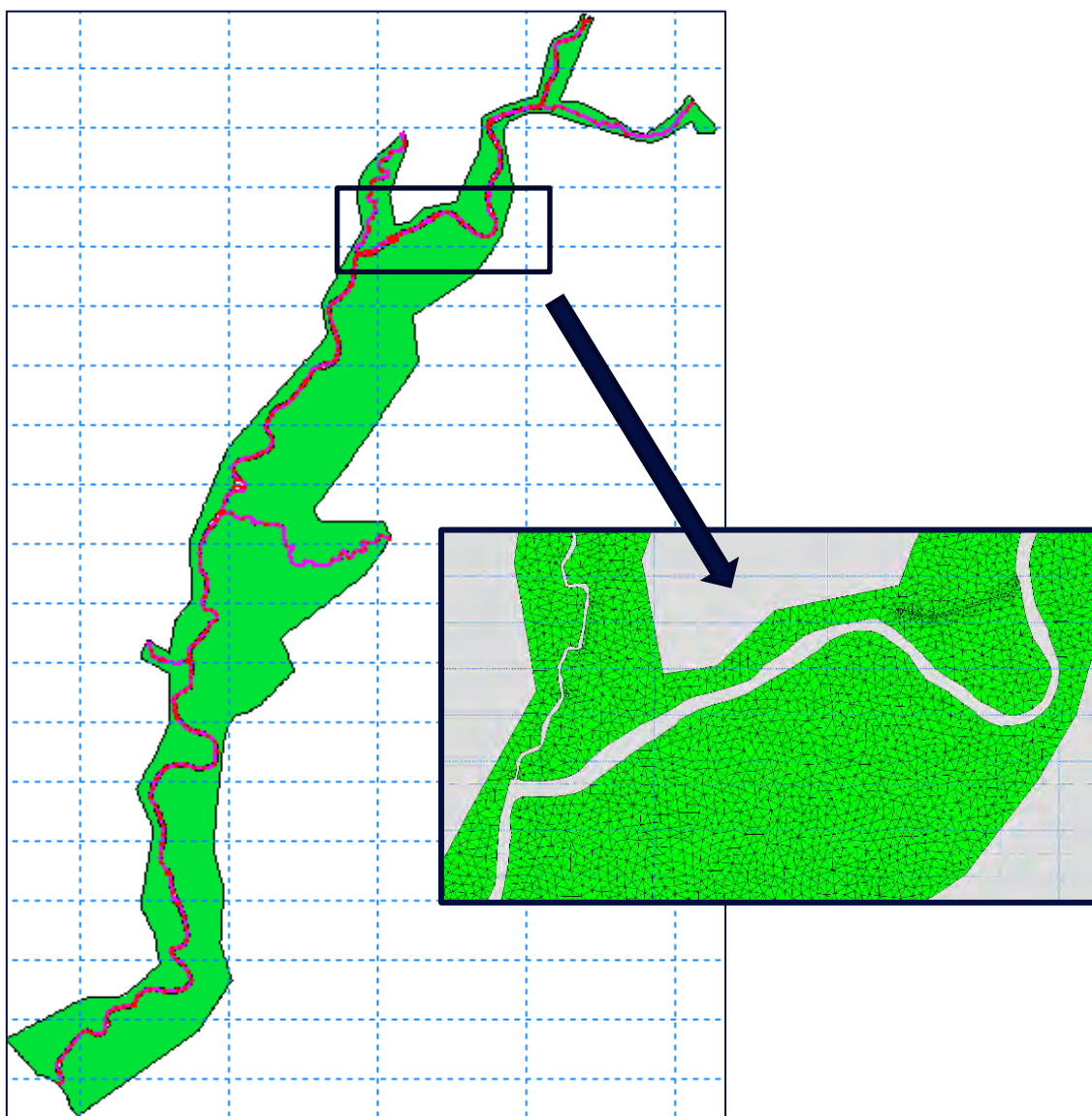


Figure 37 : Maillage de la zone d'étude sans les zones à enjeux plus fines

La Figure 22 suivante présente la répartition de la densité du maillage pris en compte. Les zones indiquées en rouge correspondent aux zones à enjeux et donc à mailles plus fines.

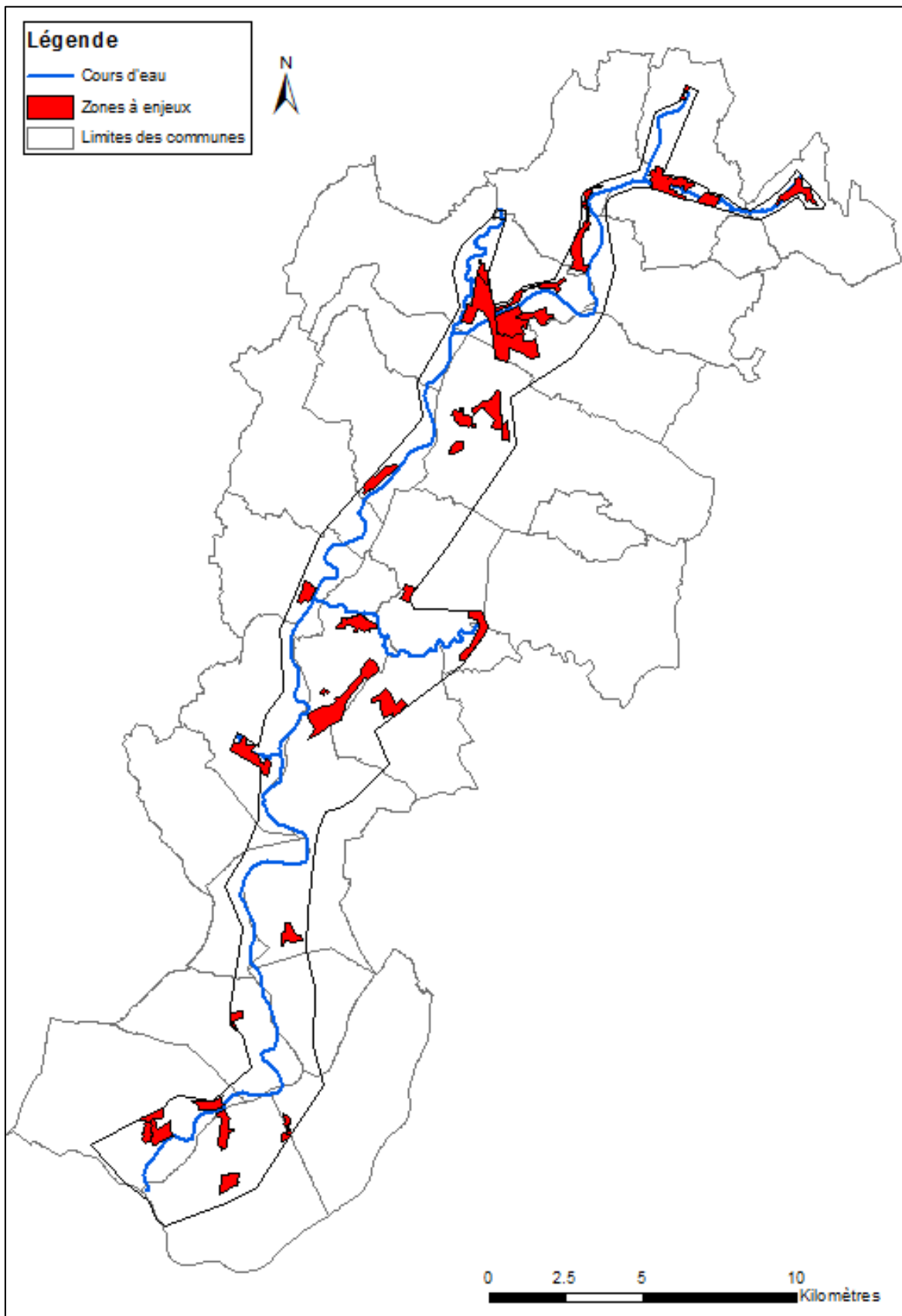


Figure 38 : Zones à enjeux à mailles plus fines

3.3.2.2 Prise en compte des remblais routiers et ferroviaires

On compte sur le secteur d'étude de nombreux ouvrages transversaux et longitudinaux susceptibles d'influencer les écoulements. Les impacts possibles des ouvrages sur la propagation des écoulements sur les zones inondées sont les suivants :

- **Effet global d'atténuation de l'inondation vers l'aval** : Limitation possible du débit par les arches, piles et radiers des franchissements routiers, par stockage potentiel d'une partie du volume en amont des obstacles, restitué de façon différée à l'aval ;
- **Effet local d'aggravation des zones inondées en amont des obstacles par stockage d'une partie du volume de crue ou redirection des flux.**

Il convient donc d'intégrer au modèle les ouvrages et infrastructures ayant un rôle sur la propagation des écoulements.

Le mailleur de MIKE21 permet d'intégrer les remblais linéaires sous la forme de « lignes dures ». Cette fonctionnalité assure :

- La **continuité** de la structure linéaire au sein du maillage,
- Un **calage altimétrique optimal** du profil en long de l'infrastructure (crête) directement à partir des informations disponibles dans le MNT via l'utilisation du module « dike » de MIKE 21.

Le **module « dike »** de MIKE 21 permet d'intégrer dans le modèle 2D des ouvrages de type « seuil » et de leur associer une relation Q/H. La crête de digue est décrite pour chaque maille du modèle 2D ce qui permet une bonne précision du profil en long de l'infrastructure.

Les lignes dures imposées au maillage sont représentées sur la Figure 39. Ces lignes correspondant aux remblais routiers, ferroviaires et aux digues (exemple du canal de décharge du barrage de Neuville).

3.3.2.3 Transparence des digues

Les digues identifiées dans la zone d'étude, situés dans le lit majeur de l'Ain, influencent ses écoulements en crue en générant des obstacles. L'aléa de référence doit être défini en prenant en compte l'effacement total de ces digues (soit leur transparence hydraulique).

Seule la digue de la Bottière est classée en C au titre de l'ancienne réglementation sur les ouvrages de protection contre les inondations (décret 2007). La protection de cette digue est évaluée dans l'étude de diagnostic géotechnique de l'IMSRN réalisée en 2005 pour une crue Q10 de l'Ain. Il est à noter que, si cette digue n'est pas reclassée dans un système d'endiguement au titre de la nouvelle réglementation (décret 2015) dans le cadre de la compétence GEMAPI, elle cessera d'être considérée comme une digue. Au regard des modélisations, elle ne protège plus au-delà d'une Q10 ce qui est cohérent avec l'étude de diagnostic.

Il est également à noter que les autres digues ne sont pas classées à ce jour, et qu'elles ne sont donc pas considérées comme des digues au regard de la réglementation.

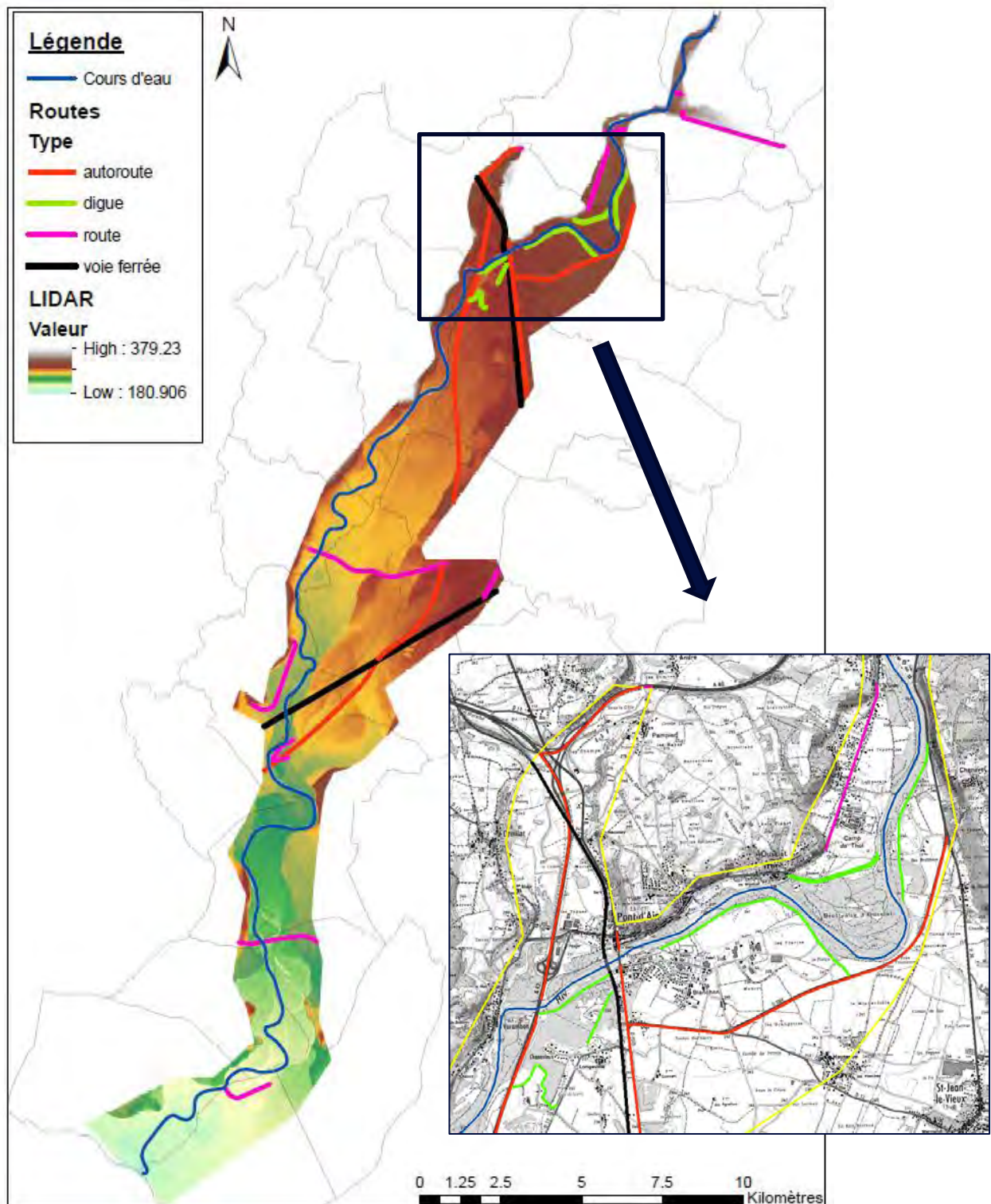


Figure 39. Localisation des remblais de la zone d'étude

3.3.3 Ouvrages de décharge modélisés

Les ouvrages de décharge des remblais situés transversalement aux écoulements de l'Ain ont été modélisés via la topographie du modèle 2D. Les passages dans le remblai routier ou ferré correspondant à l'ouverture des ouvrages ont été intégrés via le module « culvert » de MIKE 21.

Le **module « culvert »** de MIKE 21 permet d'intégrer dans le modèle 2D des ouvrages de type « orifice ». Une relation Q/H est alors calculée par le logiciel en fonction de la section passante de chacun des ouvrages. La perte de charge est automatiquement calculée par le modèle et prise en compte dans le calcul de la ligne d'eau.

3.3.4 Coefficient de frottement

Les champs de rugosité du modèle 2D ont été définis de manière spatialisée sur la base d'une analyse du Corine Land Cover 2012 (Cf. Figure 33 page suivante).

Une correspondance entre les occupations des sols et les coefficients de rugosité a ensuite été appliquée (Cf. Tableau 11). La Figure 41 page suivante localise les coefficients de frottement appliqués. Ces coefficients de frottement ont été déterminés via le calage du modèle (Cf. partie 4 page 56).

Tableau 11 : Occupation des sols et coefficients de rugosité associés sur le secteur modélisé en 2D

	Classe Corine Land Cover	Coefficient de rugosité (K)
	Tissu urbain discontinu	12
	Zones industrielles et commerciales	15
	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	30
	Aéroport	40
	Extraction de matériaux	30
	Equipements sportifs et de loisirs	25
	Terres arables hors périmètres d'irrigation	20
	Vignobles	15
	Prairies	20
	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	15
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	10
	Forêts de feuillus	6
	Landes et broussailles	10
	Forêt et végétation arbustive en mutation	6
	Forêts mélangées	6
	Cours et voies d'eau	15
	Plans d'eau	40

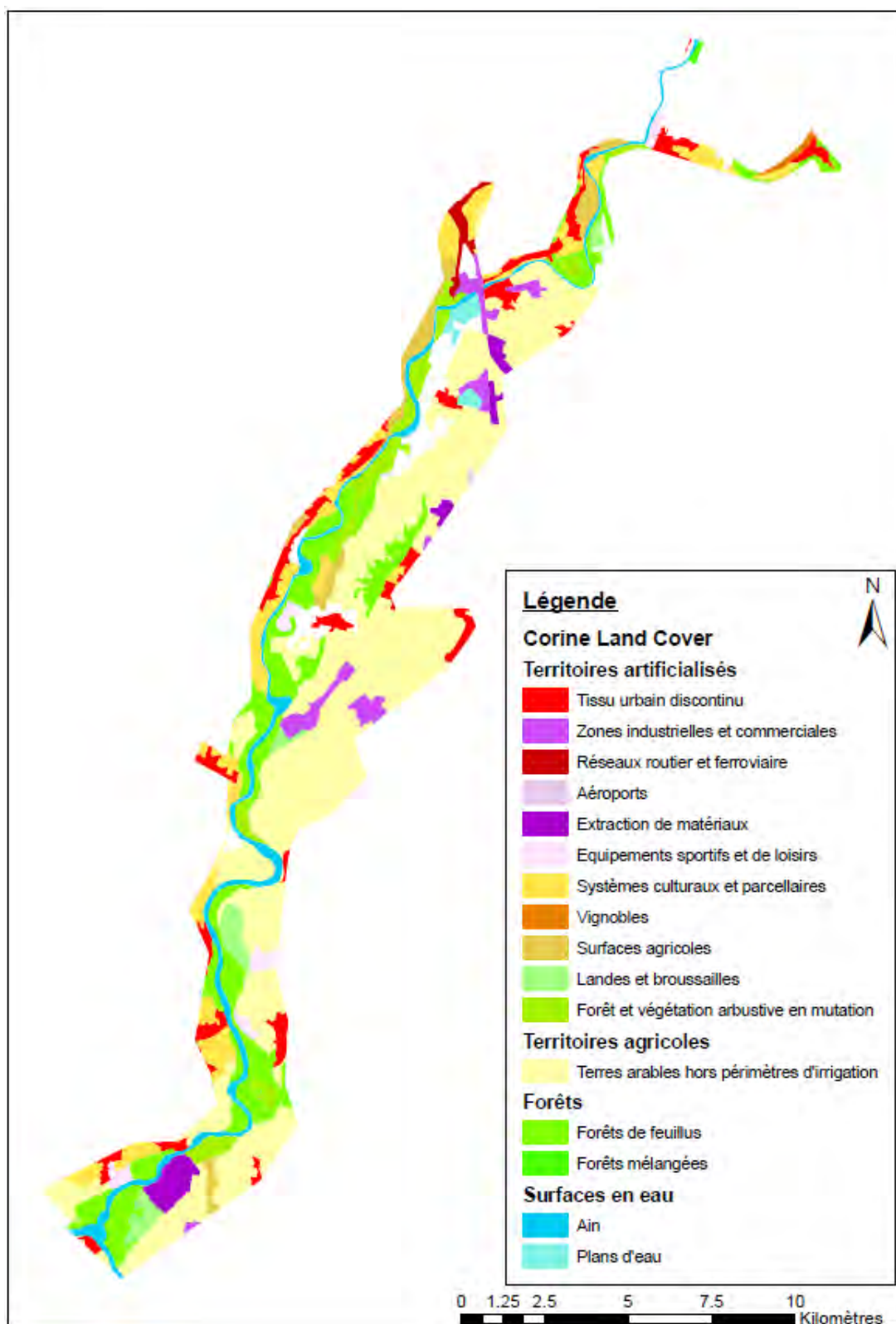


Figure 40. Représentation des données Corine Land Cover (2012) sur le secteur modélisé en 2D

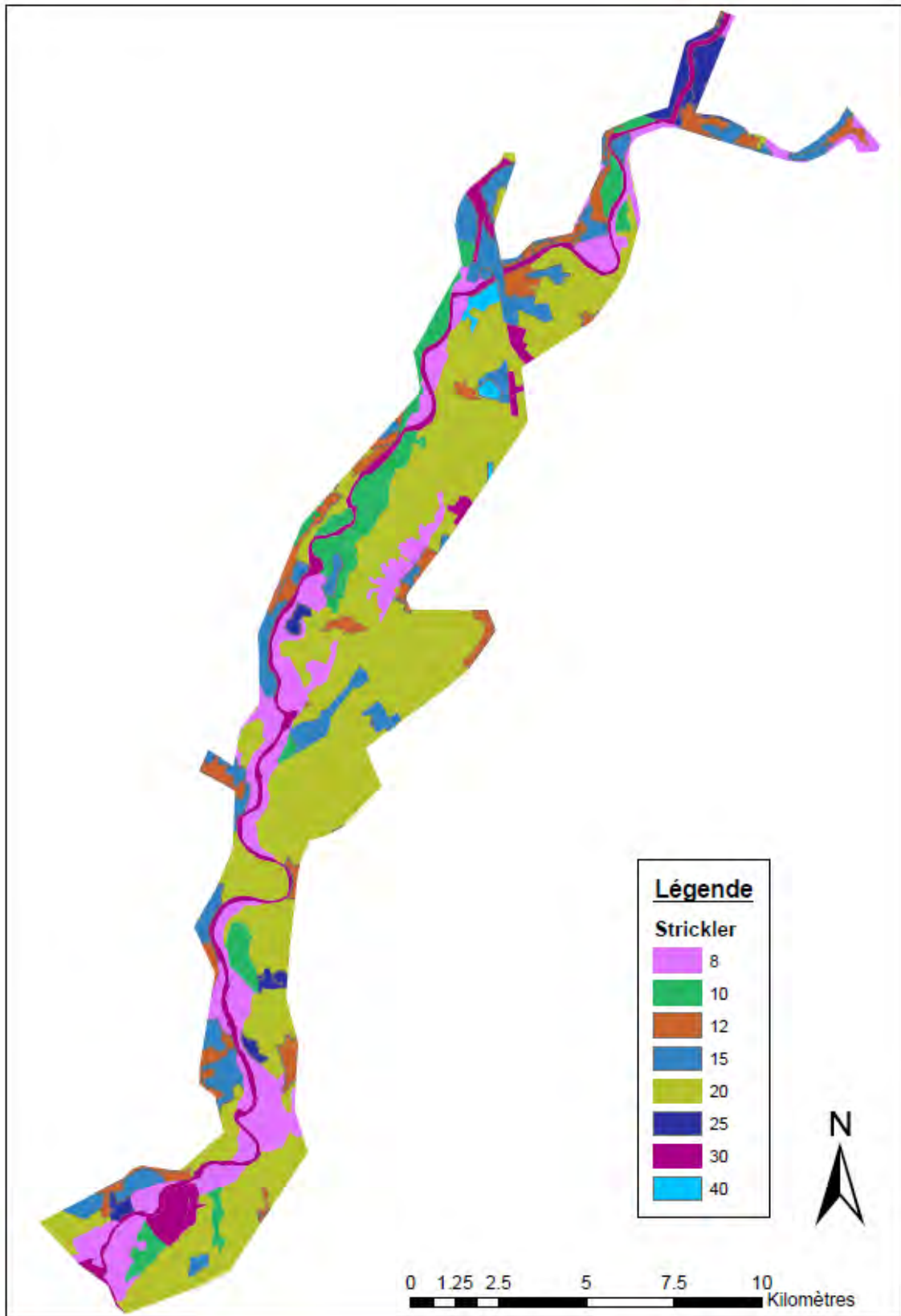


Figure 41. Représentation des données Corine Land Cover (2012) sur le secteur modélisé en 2D

3.4 Liens entre le modèle 2D et le modèle 1D

Le couplage des modèles 1D et 2D est réalisé à partir de l'interface MIKE FLOOD. Le couplage des deux représentations mathématiques (1D et 2D) de l'écoulement est réalisé grâce à des liens latéraux qui permettent le transfert des flux en provenance du modèle 1D vers le modèle 2D et inversement. Les liens latéraux sont la jonction entre le lit mineur et le lit majeur de l'Ain et de ses 4 affluents. La figure suivante présente les liens réalisés.

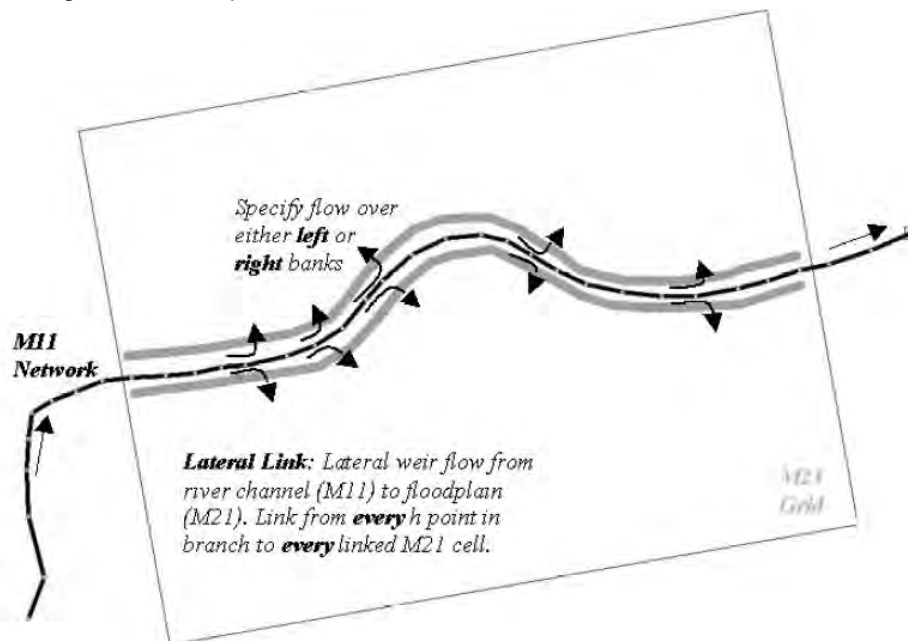


Figure 42. Illustration des liens de couplage latéraux 1D/2D - Source : MIKE DHI

La zone modélisée en 2D est connectée au lit mineur par des lois de type seuils calculées à partir des données du MNT.

La Figure 43 représente le modèle final couplé 1D/2D qui permet de modéliser le lit mineur et le lit majeur de l'Ain et des 4 affluents considérés.

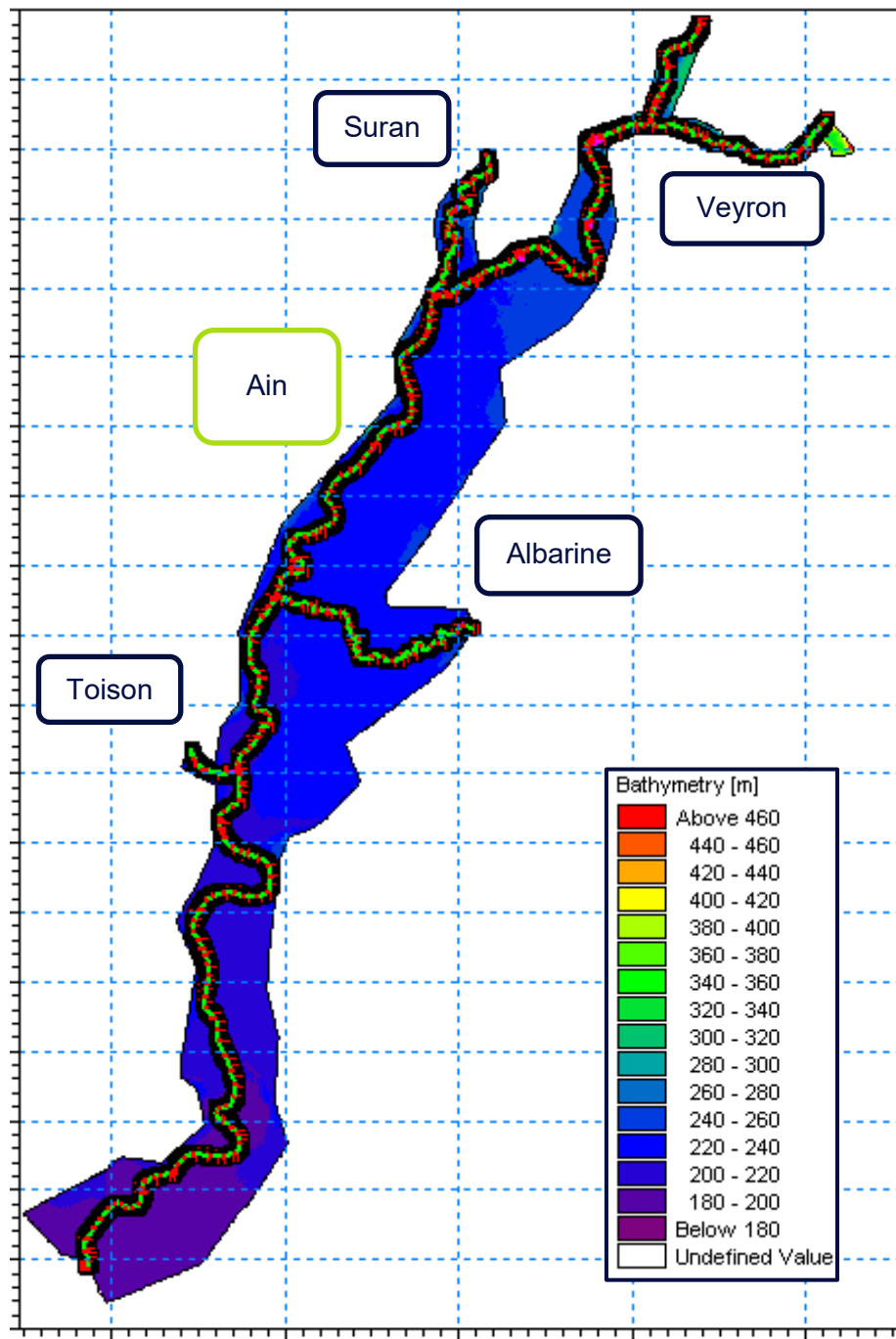


Figure 43. Illustration du modèle couplé

3.5 Paramètres de calcul

Pour effectuer les simulations, les hypothèses de calculs suivantes ont été considérées :

- Pas de temps : 1 sec ;
- Régime permanent.

4 CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

Remarque : L'ensemble des profils en long présentés dans cette partie et les suivantes correspond à une extraction des résultats du **lit mineur du modèle 1D**.

4.1 Principe du calage du modèle

Le calage du modèle consiste à régler les différents paramètres du modèle de façon à reproduire un ou plusieurs événements observés de façon satisfaisante. Les paramètres de calage sont les suivants :

- ✓ **Les coefficients de Strickler du lit mineur et du lit majeur :** ces coefficients représentent la capacité de frottement des différentes parties du lit. Ils dépendent, pour le lit mineur, essentiellement de la nature du fond, pour le lit moyen et le lit majeur, du couvert végétal et de l'occupation des sols (présence de bosquets ou de bois, nature des cultures, zones de pâturages, ...).
- ✓ **Les coefficients de perte de charge des ouvrages :** ils traduisent les conditions d'entonnement en amont d'un ouvrage. Ils permettent d'ajuster localement la ligne d'eau en amont d'un ouvrage donné.

Le calage consiste à ajuster localement ces différents coefficients, dans des intervalles cohérents déterminés à partir de la morphologie du cours d'eau et de l'occupation des sols.

Le calage se fait classiquement par comparaison entre les valeurs mesurées et calculées. **Le calage consiste à minimiser la différence d'amplitude entre niveaux d'eau maximums observés et mesurés.**

4.2 Choix des crues de calage et de validation

La détermination des crues de calage et de validation s'est basée sur une analyse multi-facteurs, sur la base des données collectées en phase 1 de l'étude. Les facteurs pris en compte sont les suivants, dans l'ordre de priorité :

- **Importance des crues et disponibilités de laisses de crues sur les événements en question ;**
- **Disponibilité de données hydrométriques ;**
- **Ancienneté des événements considérés.**

Sur cette base, les événements retenus pour le calage et la validation sont les suivants :

- **Crue de 1977 pour le calage ;**
- **Crue de 1990 pour la validation.**

4.3 Calage du modèle

4.3.1 Conditions aux limites

Les débits d'entrée pris en compte pour la crue de 1977 sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Crue	Débit (m ³ /s)					
	Ain amont	Albarine	Veyron	Suran	Toison	Distribué
1977	1233.9	80.0	9.6	65.0	8.7	70.3

Ces débits proviennent des données de la Banque Hydro pour le Suran, l'Albarine et l'Ain à Chazey qui ont été transposés et recalculés pour chaque apport. La colonne « distribué » correspond à des apports par ruissellement le long de l'Ain autres que provenant de ses affluents.



Il est à noter que pour la réalisation du PPRi précédent de l'Ain, les débits injectés pour la crue de 1977 correspondaient à un débit d'apport dans l'Ain de 1340 m³/s et de 80 m³/s dans l'Albarine. Aucun autre apport n'avait été considéré.

4.3.2 Profil en long de l'Ain

Le tableau ci-dessous et les figures pages suivantes présentent les résultats obtenus après simulation de la crue de 1977 et comparaison avec les laisses de crue et les résultats de SOGREAH de 1999.

Pour ce calage, le Strickler du lit mineur de l'Ain varie de 30 à 33.

Tableau 12. Résultats du calage du modèle avec la crue de 1977 - Niveau de l'Ain

PM	Laisse de crue de 1977 (m)	Niveau d'eau simulé (m NGF)	Ecart absolu entre les niveaux d'eau (m)
23200	226.13	226.00	0.13
24317	224.31	224.65	0.34
25388	223.68	223.94	0.26
26460	222.65	222.89	0.24
27328	221.45	222.01	0.56
28505	220.35	220.69	0.34
29544	219.13	219.58	0.45
30965	217.58	218.45	0.87
31910	216.43	217.57	1.14
33703	214.90	215.69	0.79
34363	214.12	214.46	0.34
35212	213.00	213.41	0.41
37281	210.69	210.87	0.18
38872	208.86	208.81	0.05
40182	206.66	207.06	0.40
43353	202.77	202.77	0.00
45848	199.68	199.38	0.30
46710	198.13	198.31	0.18
47985	196.30	196.40	0.10
49037	194.55	194.95	0.40

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

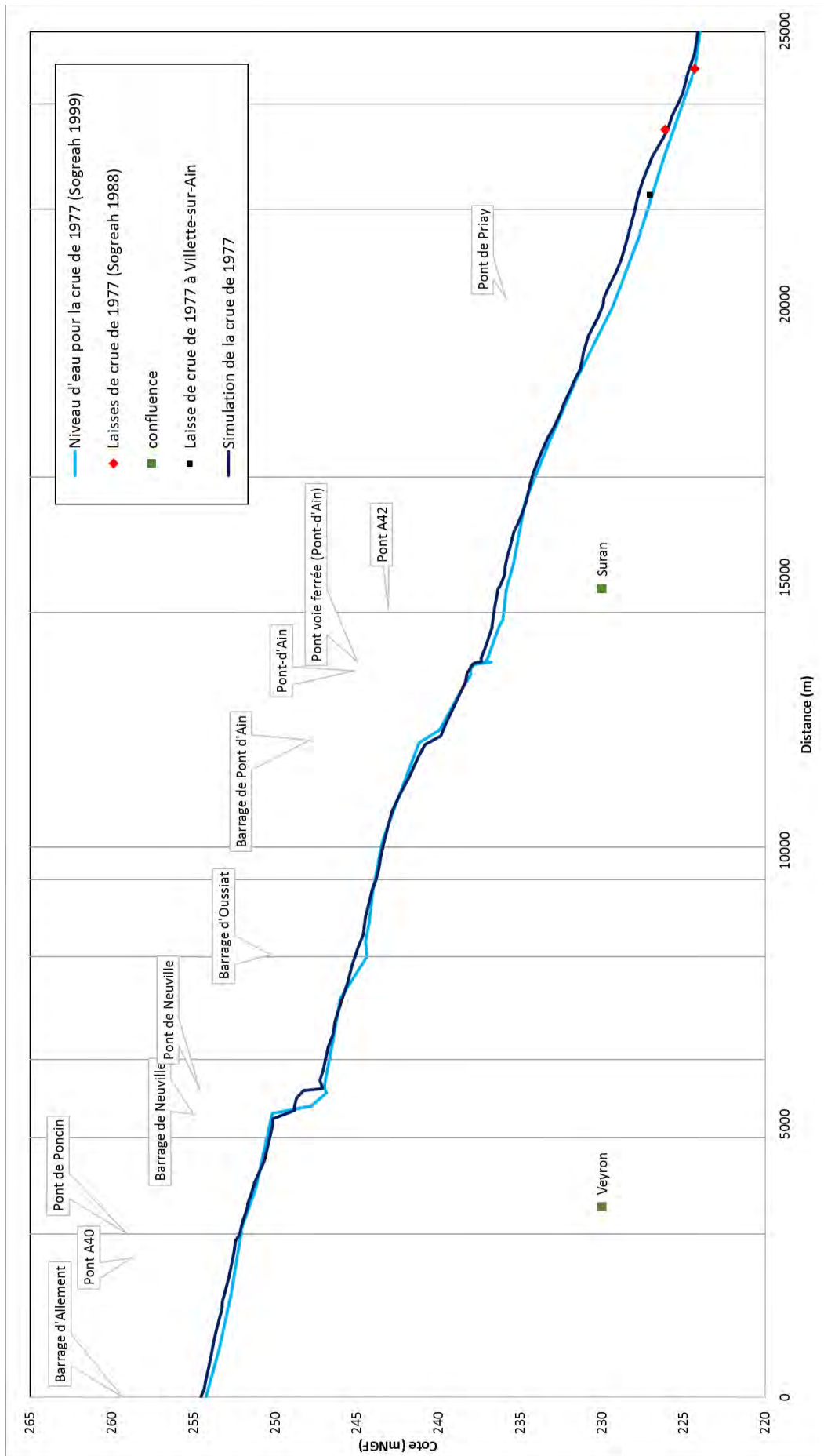


PM	Laisse de crue de 1977 (m)	Niveau d'eau simulé (m NGF)	Ecart absolu entre les niveaux d'eau (m)
50609	192.26	192.57	0.31
52010	190.80	190.66	0.14
52894	189.52	189.40	0.12
22020	227.05	227.76	0.71
34422	214.34	214.31	0.03

On peut noter que des laisses de crue n'existent que pour la partie aval de l'Ain (à partir de la commune de Villette-sur-Ain).

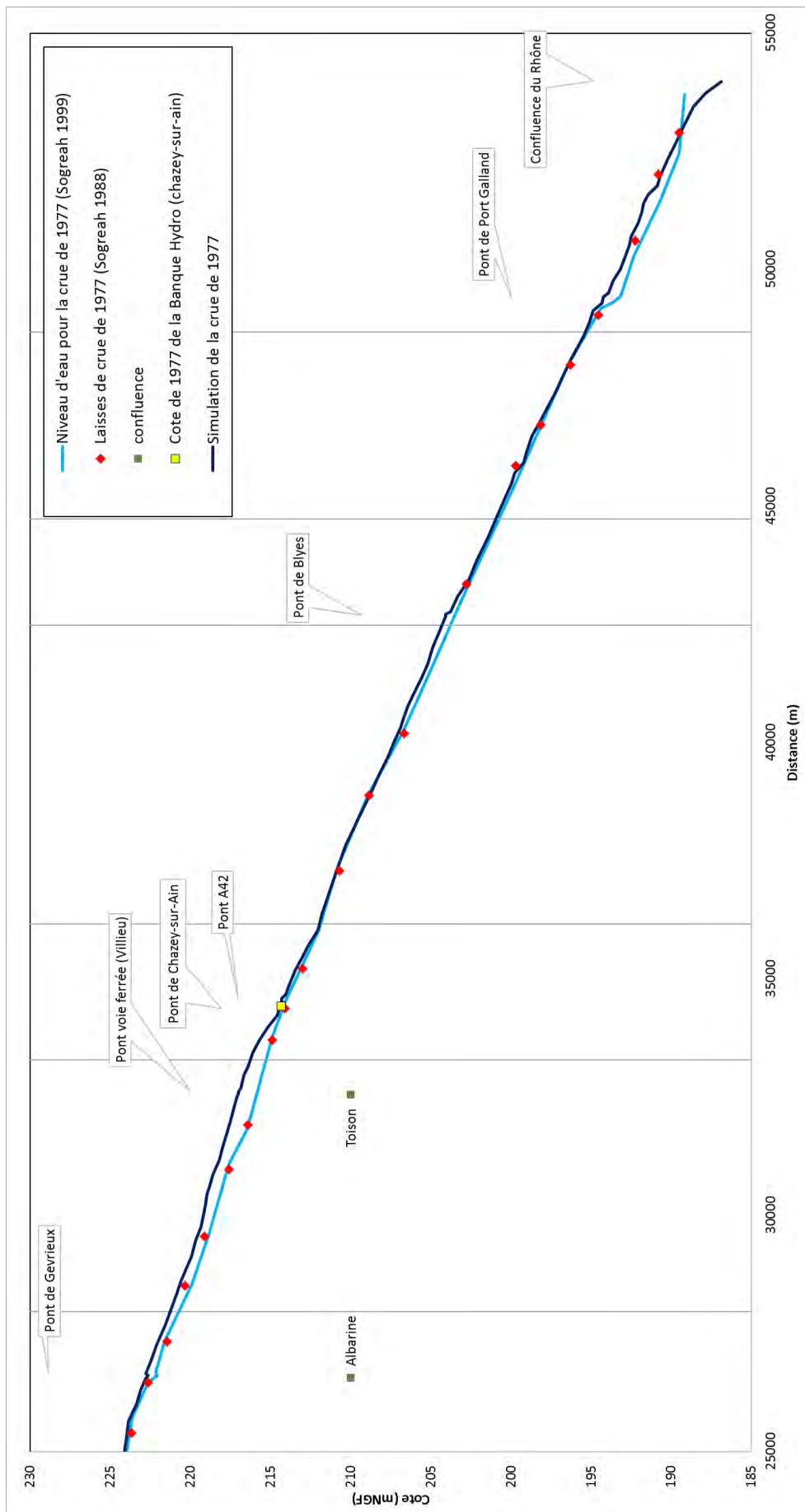
Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

On constate que 2 zones présentent une différence de niveau d'eau relativement plus élevée avec les laisses de crue :

- Le secteur de **Villette-sur-Ain** avec la laisse de crue située sur un habitation ;
- Le secteur de **Chazey-sur-Ain** avec une perte de charge plus élevée au niveau du pont de l'A42 et de Chazey-sur-Ain.

Concernant le secteur de Chazey, la construction de l'A42 a entraîné la rehausse de la route indiquée en rouge sur la carte ci-dessous. Ce remblai génère un obstacle aux écoulements de l'Ain et induit une perte de charge qui rehausse la ligne d'eau. Cette digue n'apparaît pas sur la photo aérienne de 1976.

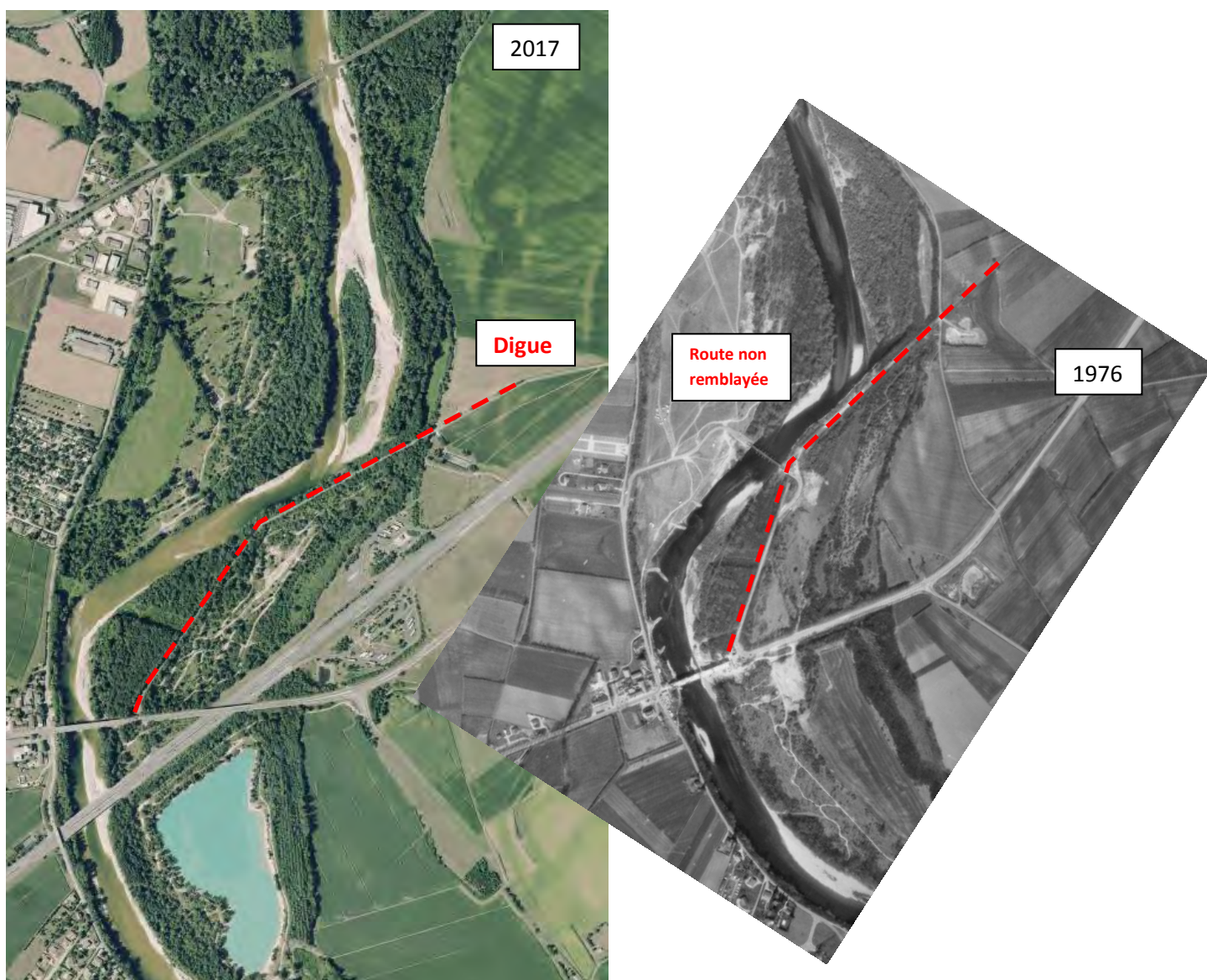


Figure 44. Comparaison des infrastructures entre 1976 et aujourd'hui sur la commune de Chazey-sur-Ain

Concernant le secteur de Villette-sur-Ain, une vigilance est à conserver concernant les laisses de crue sur les habitations. De plus, une analyse de l'évolution du tracé du lit mineur entre 1977 et aujourd'hui montre le rapprochement de l'Ain de l'habitation sur laquelle se situe les laisses de crue. Cette évolution a un impact sur la ligne d'eau dans l'Ain.

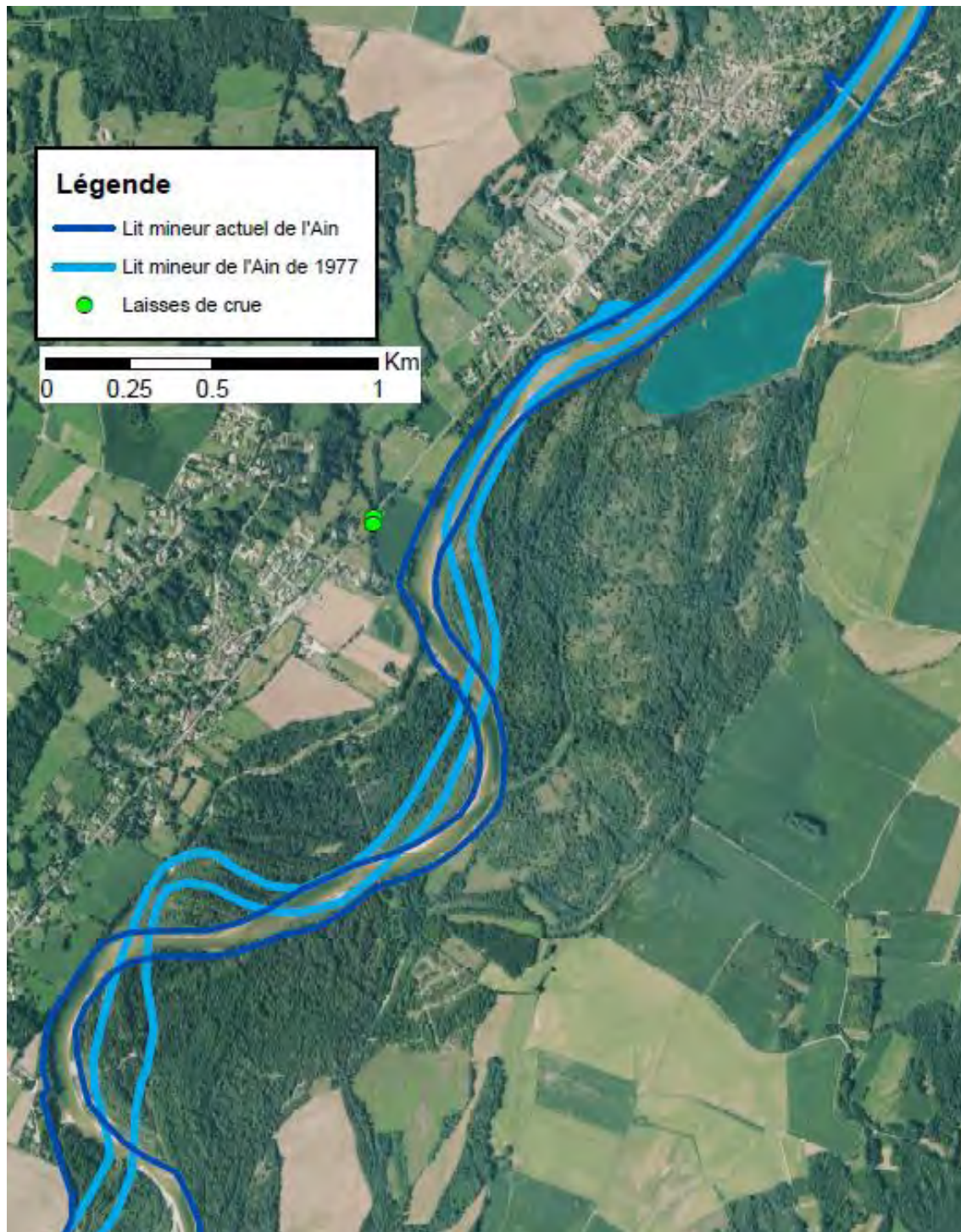


Figure 45. Evolution du tracé du lit mineur de l'Ain entre 1977 et aujourd'hui

4.4 Validation du modèle

4.4.1 Conditions aux limites

Les débits d'entrée pris en compte pour la crue de 1990 sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Crue	Débit (m ³ /s)					
	Ain amont	Albarine	Veyron	Suran	Toison	Distribué
1990	1242.4	315.0	28.8	109.0	26.2	210.7

Ces débits proviennent des données de la Banque Hydro pour le Suran, l'Albarine et l'Ain à Chazey qui ont été transposés et recalculés pour chaque apport. La colonne « distribué » correspond à des apports par ruissellement le long de l'Ain autres que provenant de ses affluents.



Il est à noter que le débit de 315m³/s de l'Albarine peut être comparé à son débit centennal de 325m³/s (3% de différence). La zone inondable de la crue de 1990 est donc proche de celle de la crue centennale pour l'Albarine.

4.4.2 Profil en long de l'Albarine

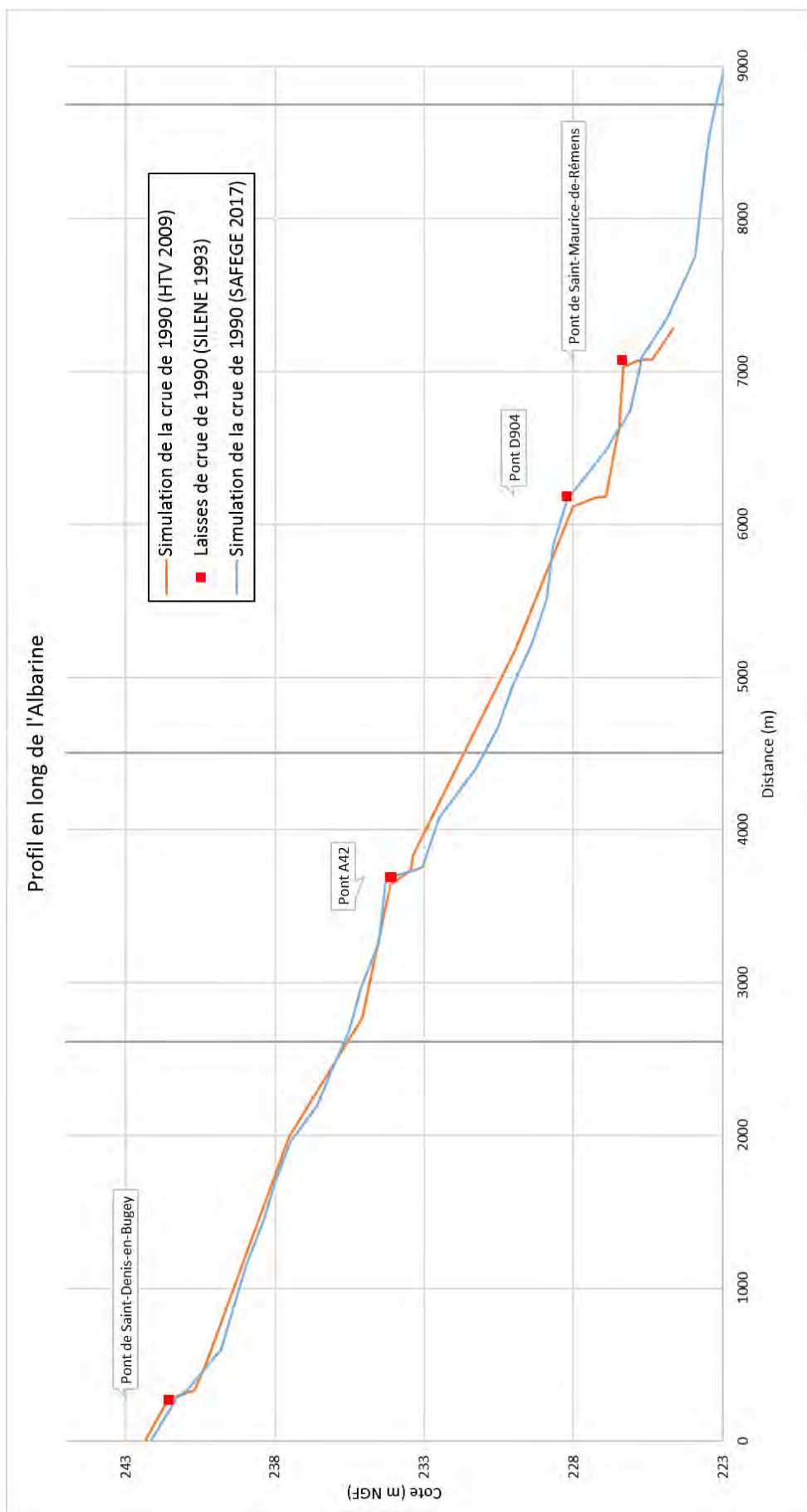
Le tableau ci-dessous et les figures pages suivantes présentent les résultats obtenus après simulation de la crue de 1990 et comparaison avec les laisses de crue et les résultats de HTV de 2009.

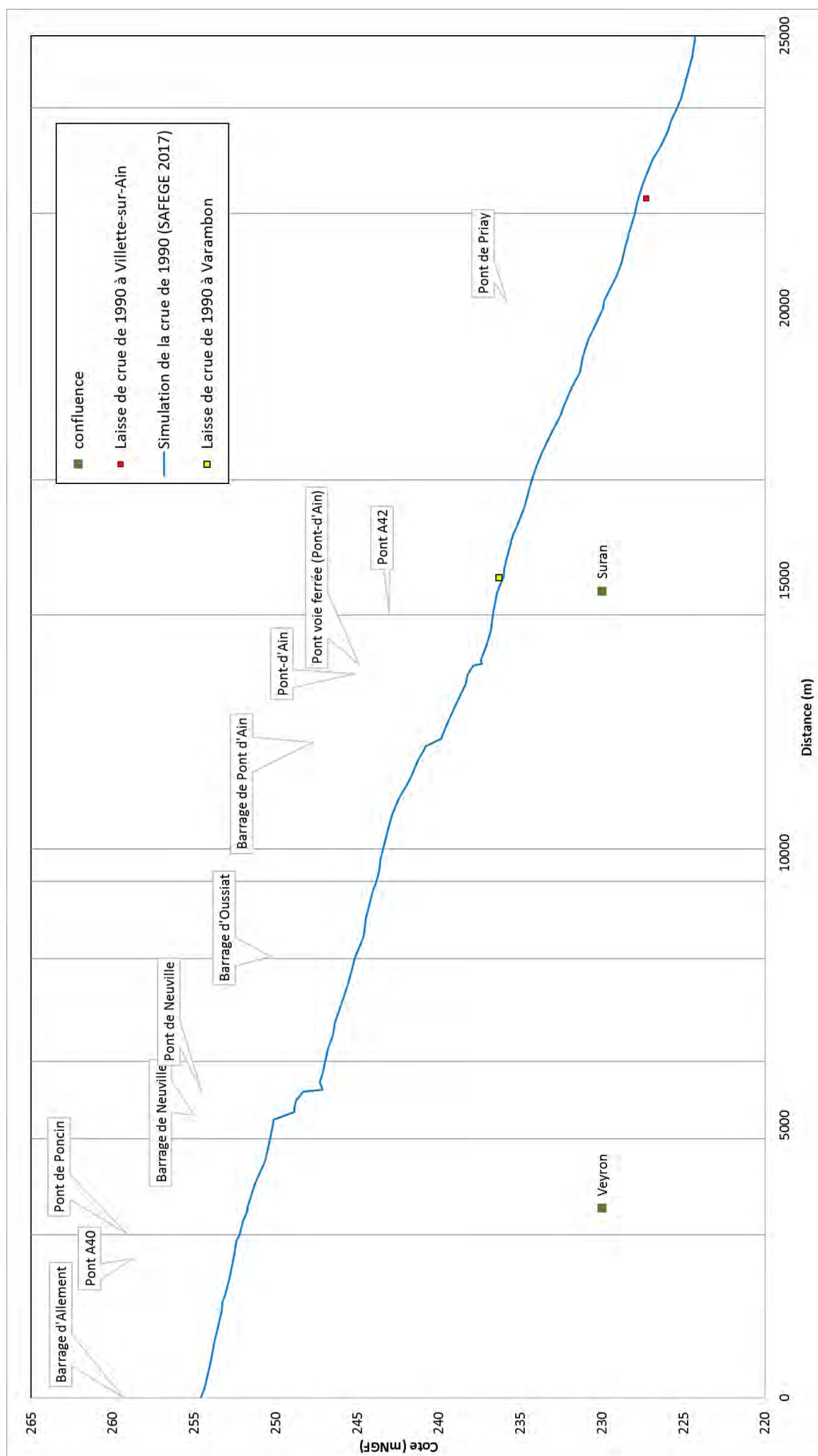
Pour ce calage, le Strickler du lit mineur de l'Albarine varie entre 20 et 30.

Tableau 13. Résultats du calage du modèle avec la crue de 1990 - Niveau de l'Albarine

PM	Laisses de crue de 1990 (SILENE 1993)	Niveau d'eau simulé (m NGF)	Ecart absolu entre les niveaux d'eau (m)
268	241.56	241.35	0.21
3690	234.14	234.16	0.02
3690	234.10	234.16	0.05
6182	228.24	228.20	0.05
7076	226.37	225.75	0.61

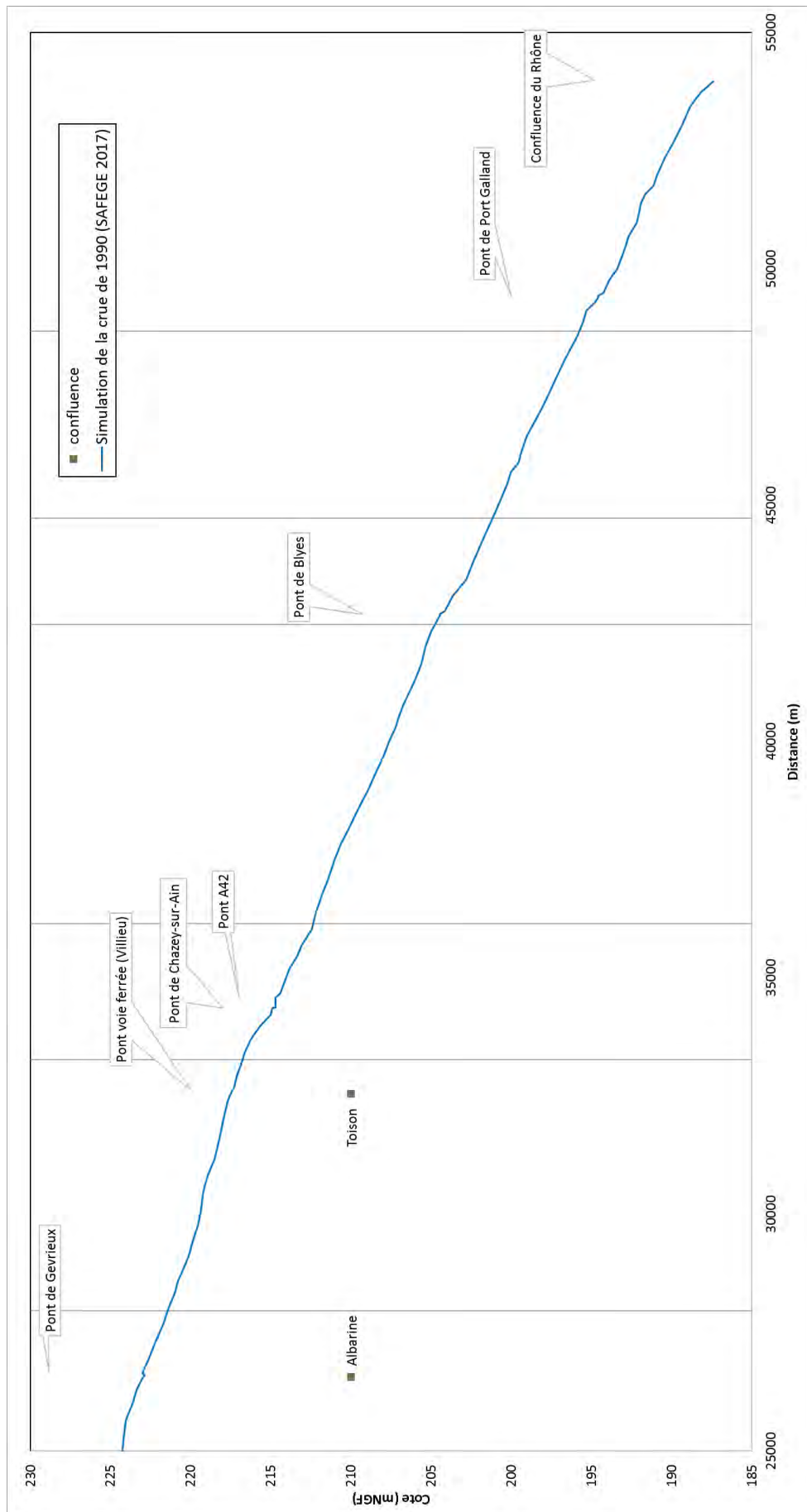
Pour l'Ain, la laisse de crue sur l'habitation de Vilette-sur-Ain donne un écart de 51cm. La même remarque que pour le calage de la crue de 1977 peut également être effectuée concernant ce secteur.





Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



5 TESTS DE SENSIBILITE DU MODELE

Afin de compléter l'analyse de la précision du modèle, des tests de sensibilité sont également menés autour de la crue de référence centennale de l'Ain. Les tests que nous vous proposons pour évaluer la sensibilité du modèle aux paramètres mis en jeu (coefficients de Strickler, pertes de charge aux ouvrages, débits entrants) sont les suivants :

- **1 test [+]** : ce test va provoquer une augmentation des lignes d'eau :
 - Débits entrants majorés de 5%,
 - Coefficients de Strickler minorés de 15%
 - Coefficients de perte de charge aux ouvrages majorés de 15%,
- **1 test [-]** : ce test va provoquer une diminution des lignes d'eau :
 - Débits entrants minorés de 5%,
 - Coefficients de Strickler majorés de 15%,
 - Coefficients de perte de charge aux ouvrages minorés de 15%,

5.1 Conditions aux limites

Les débits d'entrée pris en compte pour les tests de sensibilité correspondent à celui de la crue de centennale de l'Ain en le minorant et majorant comme explicité dans le tableau ci-dessous :

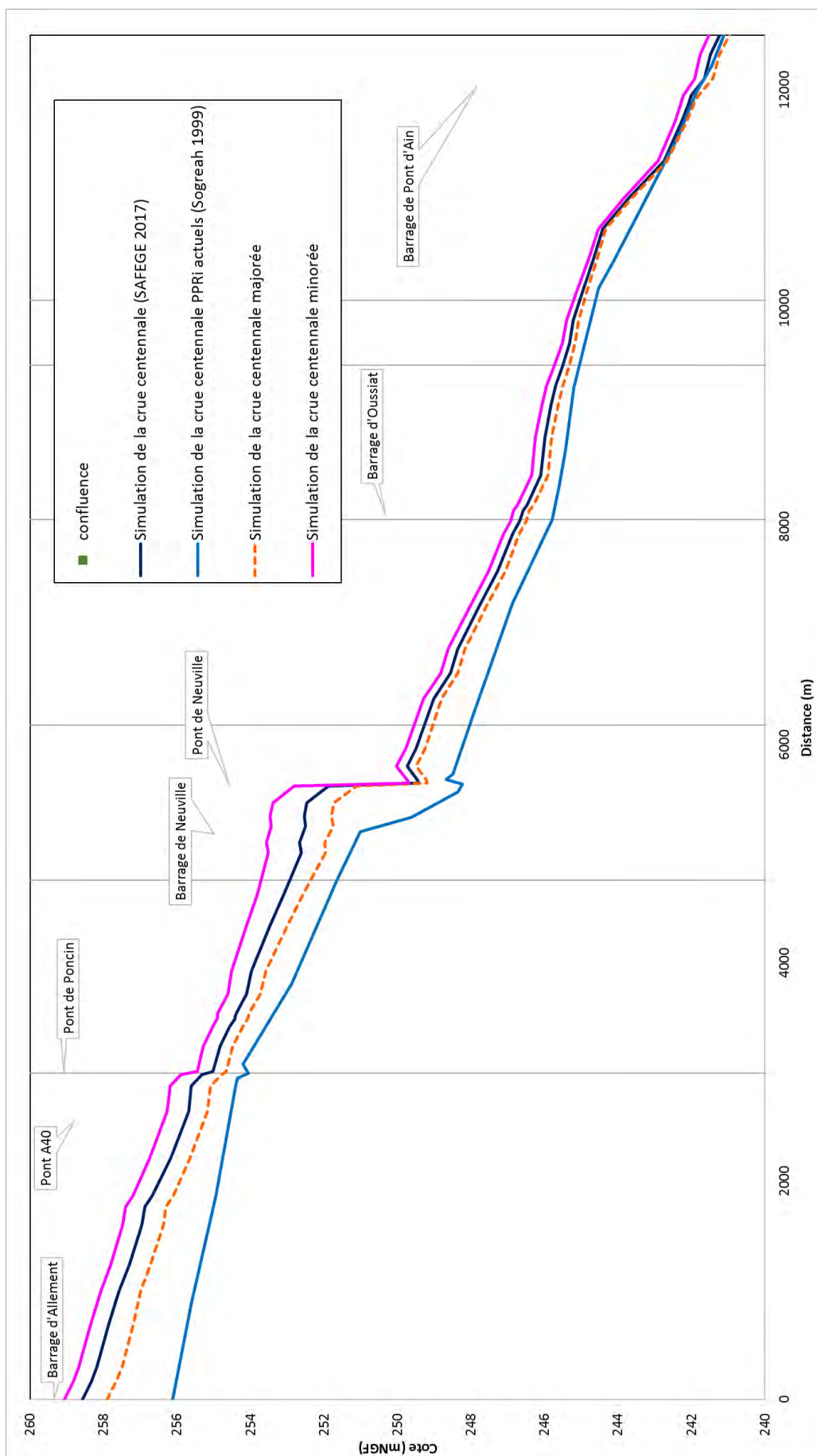
Crue	Débit (m3/s)					
	Ain amont	Albarine	Veyron	Suran	Toison	Distribué
Q100 de l'Ain	2674.0	88.9	12.7	102.8	11.6	93.0
Q100 de l'Ain [+]	2807.7	93.3	13.3	107.9	12.2	97.7
Q100 de l'Ain [-]	2540.3	84.5	12.1	97.7	11.0	88.4

Ces débits proviennent de l'analyse hydrologique réalisée en Phase 1 de l'étude. La colonne « distribué » correspond à des apports par ruissellement le long de l'Ain autres que provenant de ses affluents.

La condition aval prise en compte pour la crue de centennale de l'Ain est reprise pour les tests de sensibilité (Cf. tableau ci-dessous).

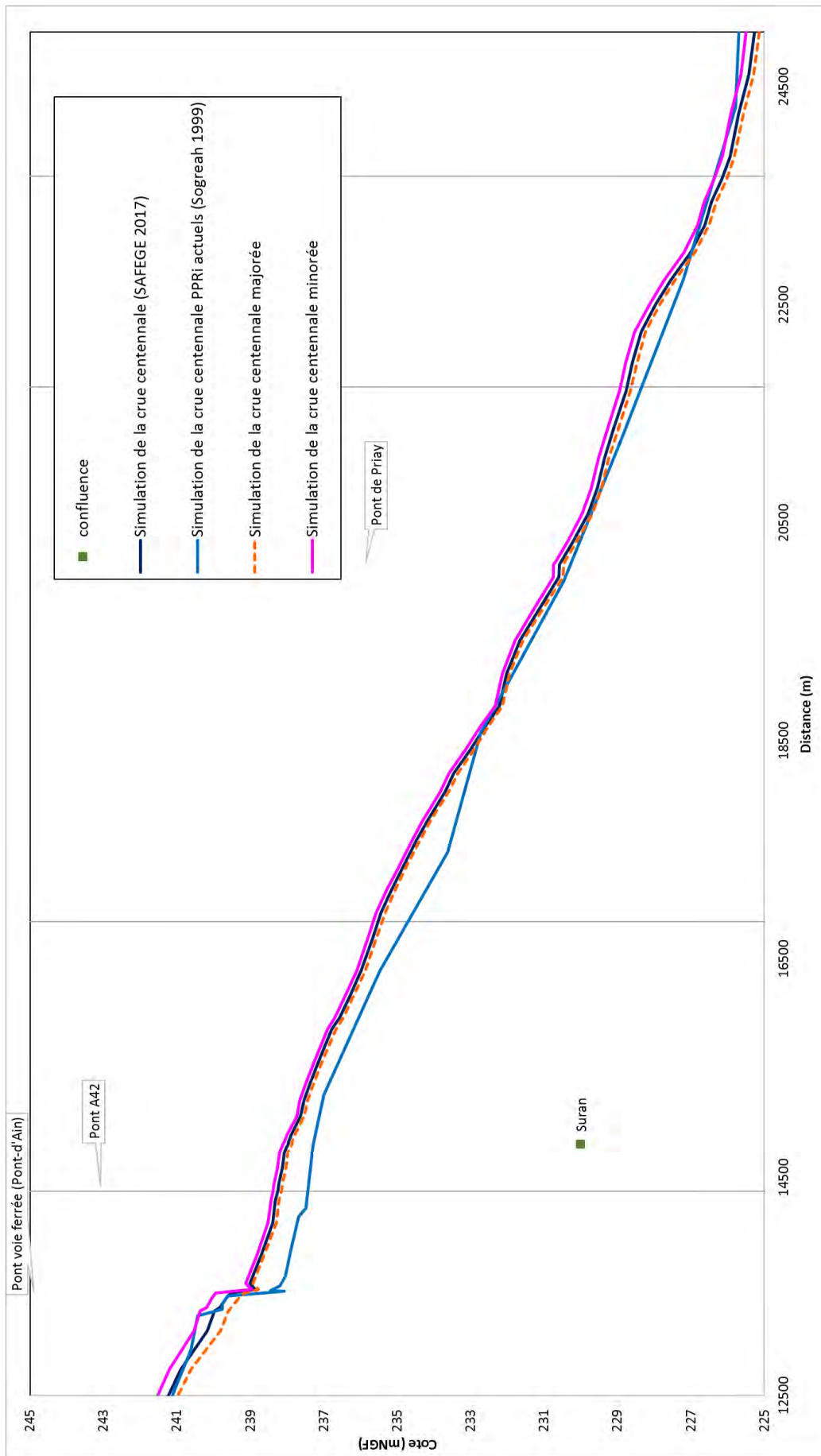
Temps de retour des crues de l'Ain	Q100
Cote au profil 34 à la confluence Ain-Rhône (m NGF)	189.44

5.2 Profil en long



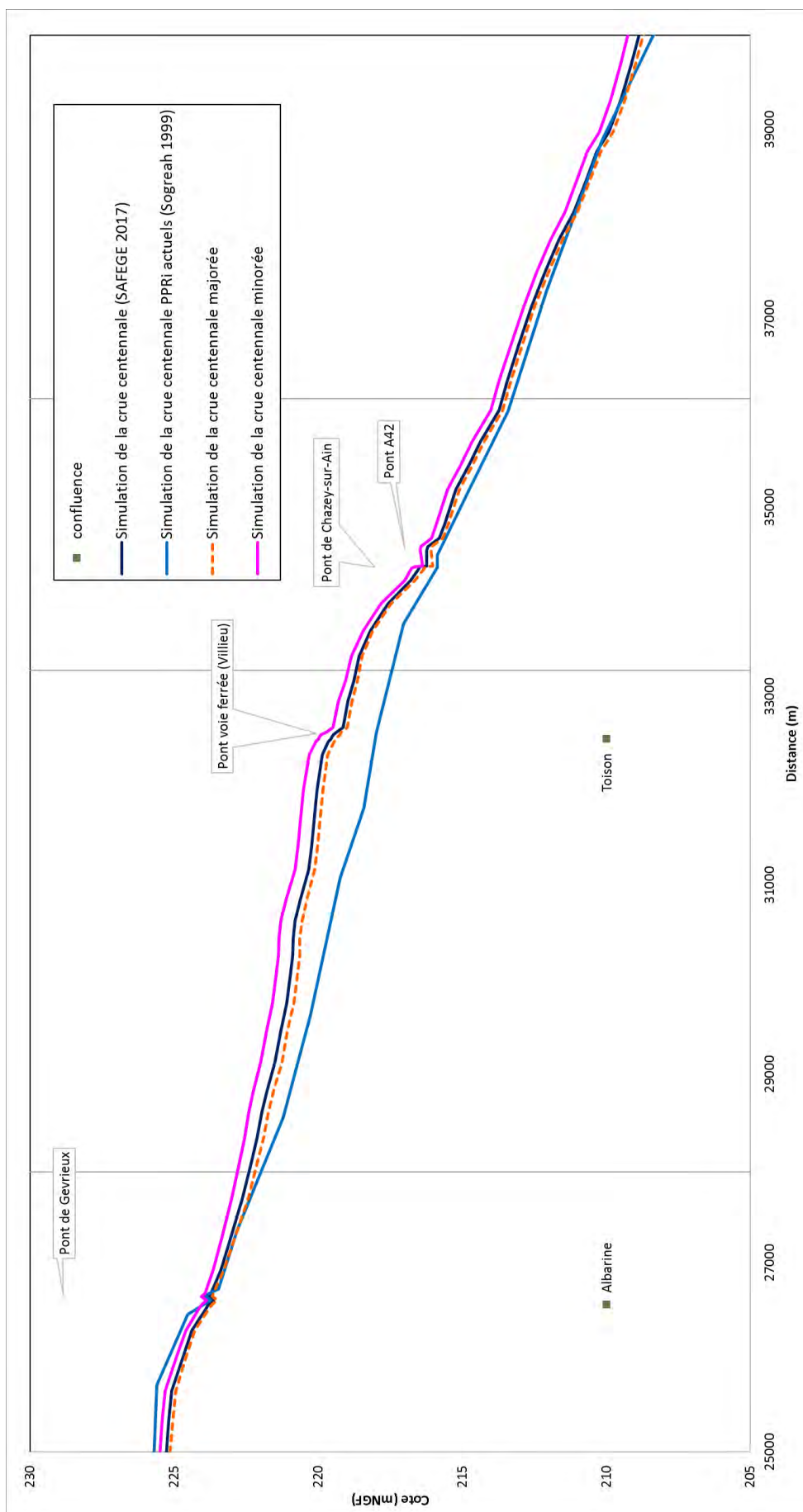
Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



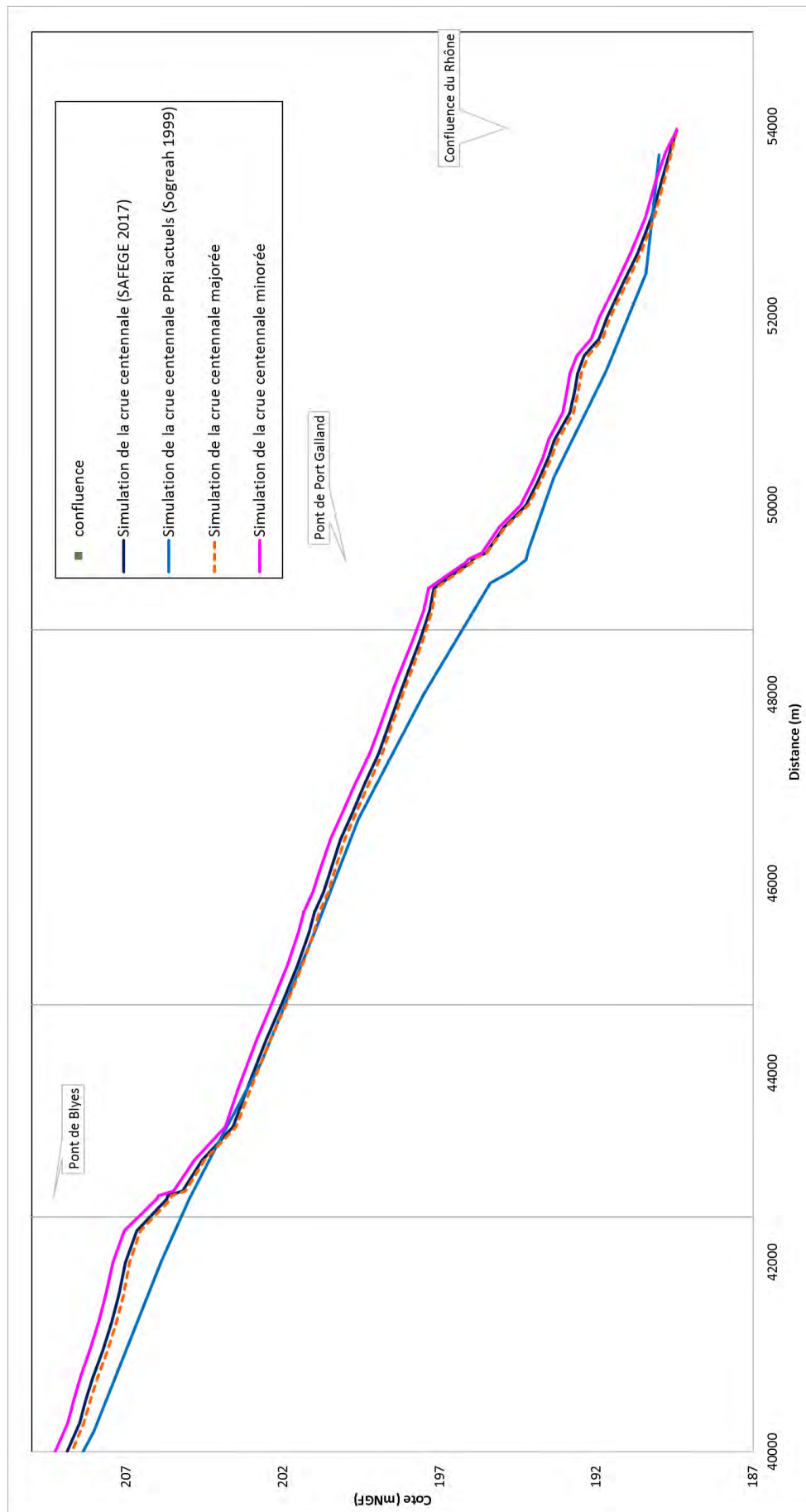
Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



5.3 Conclusions

On peut noter la nette influence des débits et du pont de Neuville dans la partie amont du modèle. En effet, ce secteur présente une topographie de la vallée particulièrement encaissée et un ouvrage (pont et route d'accès remblayé) constituant un obstacle aux écoulements et un resserrement de la vallée. Les lignes d'eau présentent donc des variations plus élevées dans ce secteur que sur le reste du profil en long de l'Ain.

6 EXPLOITATION DU MODELE HYDRAULIQUE

Le tableau ci-dessous récapitule les simulations réalisées dans le cadre de cette étude.

Phase d'étude	Nombre de simulations	Hydrologie sur l'Ain	Hydrologie sur les affluents
Calage du modèle	1	1 crue observée	Débits correspondants, observés ou reconstitués
Validation du modèle	1	1 crue observée	
Tests de sensibilité	2	Q100	
Etude hydraulique et cartographique « toutes crues » sur l'Ain	1	Q2	Les apports des affluents et surfaces contributives sont reconstitués par différence , de telle sorte que la crue reste Monofréquence sur l'Ain
	1	Q5	
	1	Q10	
	1	Q20	
	1	Q50	
	1	Q70	
Crue de référence sur les affluents	2	n°1: Q2 n°2: Q100	n°1 et 2 : Q100 – Suran, Toison Veyron, Albarine

6.1 Détermination de la condition aval

La condition aval du modèle hydraulique de la présente étude est une **cote imposée du Rhône**.

Une étude hydraulique des zones inondables du Rhône a été réalisée en 2013 par la DDT.

Le tableau ci-dessous regroupe les cotes du Rhône pour différents temps de retour de crue. Les cotes indiquées correspondent aux résultats obtenus au droit de la confluence de l'Ain et du Rhône. La localisation des profils (et donc des points de calculs) de cette étude sont représentées sur la Figure 46. Le profil d'intérêt pour notre étude correspond donc au **profil 34**.

Tableau 14. Débit, temps de retour et cotes associées du Rhône au droit de la confluence de l'Ain – Source : DDT 01

Temps de retour des crues du Rhône	Q2	Q5	Q10	Q15	Q30	Q50	Q70	Q100	Q200	Q1000
Débit du Rhône (m3/s)	1800	2600	3100	3440	3650	3900	4080	4230	4550	5300
Cote au profil 34 à la confluence Ain-Rhône (m NGF)	188.22	188.94	189.44	189.73	189.98	190.18	190.4	190.63	190.92	191.49

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

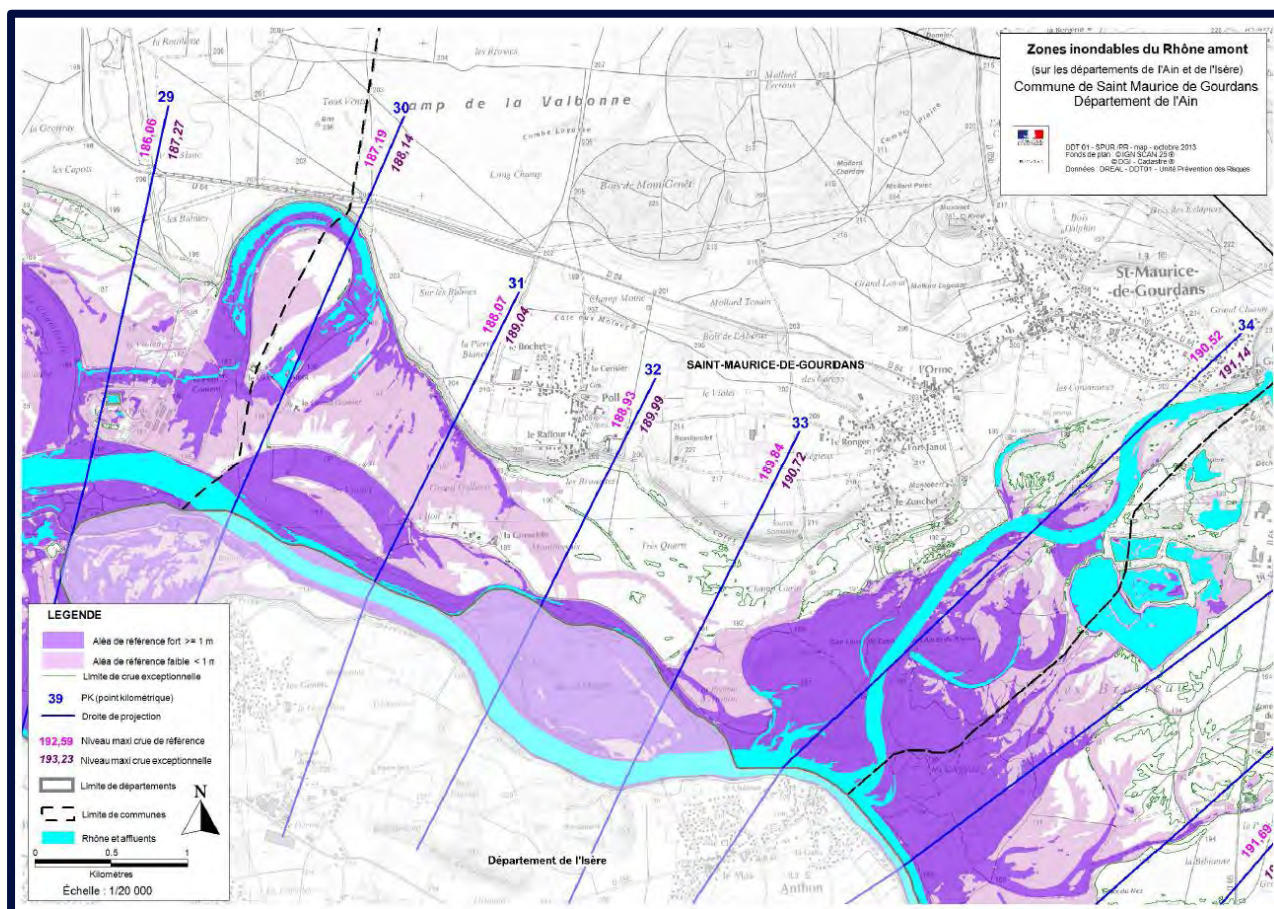


Figure 46. Carte du « porter à connaissance des zones inondables » du Rhône amont publié en 2013 par la DDT01



Il a été décidé lors de la réunion technique du 22 juillet 2017 de **considérer une crue décennale du Rhône pour la crue centennale de référence de l'Ain.**

Dans l'étude Globale des Risques de Crues dus au Rhône (IRS) - volet hydrologique (2000, SAFEGE), les risques de concomitance ont été évalués dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15. Estimation des probabilités de concomitance de crues entre le Rhône et ses affluents - Source : SAFEGE, 2000

	Arve	Fier	Ain	Saône	Isère	Drôme	Eyrieux	Ardèche	Durance	Cèze	Gard
Pas de crue de l'affluent	48%	44%	21%	38%	43%	74%	94%	39%	40%	63%	58%
Concomitance forte	31%	31%	33%	7%	7%	4%	2%	14%	12%	9%	6%
Concomitance moyenne	20%	22%	43%	29%	28%	12%	0%	30%	31%	23%	6%
Concomitance faible	1%	3%	3%	26%	22%	10%	4%	17%	17%	6%	29%
% Avance qd concomitance moyenne ou faible	100%	93%	87%	3%	96%	100%	/	100%	57%	96%	100%
% Retard qd concomitance moyenne ou faible	0%	7%	13%	97%	4%	0%	/	0%	43%	4%	0%

La probabilité de concomitance d'une crue de l'Ain et du Rhône est donc assez élevée par rapport aux autres affluents du Rhône.

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

La carte page suivante localise les stations hydrométriques de la Banque Hydro pour lesquelles des crues historiques ont été relevés dans le tableau page suivante. On peut noter des périodes de retour assez similaires pour les événements à partir de 1992 entre l'Ain et le Rhône.

Prendre en compte un niveau de crue dans le Rhône plus ou moins élevé selon la crue de l'Ain simulée est donc cohérent avec les événements historiques mesurés.

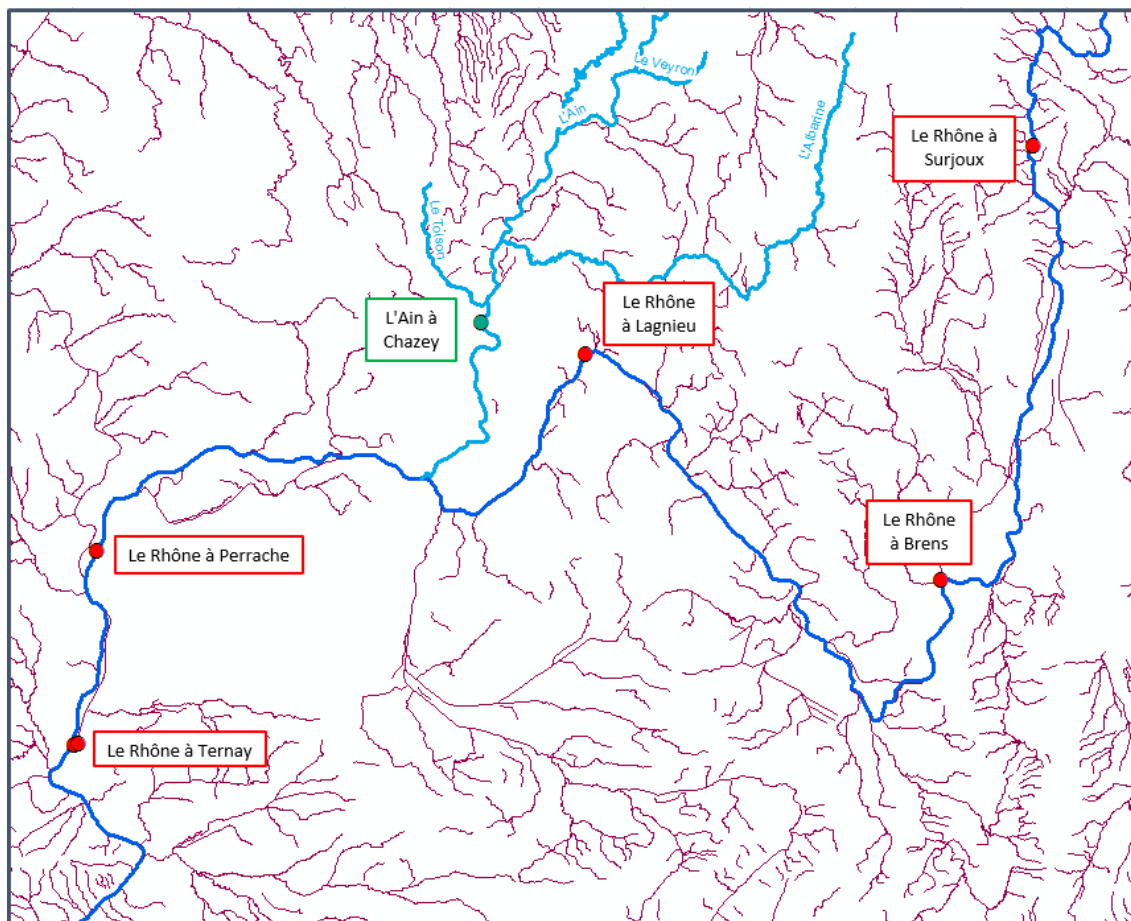


Tableau 16. Estimation des périodes de retour pour des crues historiques de la Banque Hydro

Date	Estimation des périodes de retour des crues (Banque Hydro)					
	Ternay (Rhône)	Perrache (Rhône)	Chazey (Ain)	Lagnieu (Rhône)	Brens (Rhône)	Surjoux (Rhône)
01-08 avr. 1972			50		50	
01-11 fév. 1977	2		10		5	
01-15 févr. 1990			50	20		
01-22 nov. 1992	5 - 10	5 - 10	5 - 10	20		
01-07 oct. 1993	10	10	5	5 - 10	20	
09 juil. 1996		2 - 3	2 - 3	2 - 3		
15-25 nov. 2002	20	20	5 - 10	10	5 - 10	20
12 avr. 2008	2 - 3	3	4	2 - 3		
07 sept. 2008	5	2 - 3	4	2 - 3	2 - 3	2
07 déc. 2010		2	3	3	2 - 3	4

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Le tableau ci-dessous présente la condition aval (ou cote imposée du Rhône) prise en compte pour chaque simulation des crues de l'Ain.

Il est important de rappeler que la concomitance d'une crue de temps de retour 2 ans de l'Ain et du Rhône, par exemple, aboutit à un événement d'un temps de retour supérieur à 2 ans. Ainsi, pour cet exemple, au niveau de la confluence, la zone inondable correspond à un événement de temps de retour supérieur à 2 ans.

Tableau 17. Condition aval imposée pour les différentes crues simulées de l'Ain

Temps de retour des crues de l'Ain	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q70	Q100
Temps de retour des crues du Rhône associées	Q2	Q2	Q2	Q2	Q10	Q10	Q10
Débit du Rhône (m3/s)	1800	1800	1800	1800	3100	3100	3100
Cote au profil 34 à la confluence Ain-Rhône (m NGF)	188.22	188.22	188.22	188.22	189.44	189.44	189.44

6.2 Modélisation de la crue de référence de l'Ain

6.2.1 Conditions aux limites

Les débits d'entrée pris en compte pour la crue de centennale de l'Ain sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Crue	Débit (m3/s)					
	Ain amont	Albarine	Veyron	Suran	Toison	Distribué
Q100 de l'Ain	2674.0	88.9	12.7	102.8	11.6	93.0

Ces débits proviennent de l'analyse hydrologique réalisée en Phase 1 de l'étude. La colonne « distribué » correspond à des apports par ruissellement le long de l'Ain autres que provenant de ses affluents.



Il est à noter que le débit de 2674m3/s de l'Ain à l'entrée du modèle (barrage de l'Allement), peut être comparé au débit pris en compte lors du PPRi précédent de 2550 m3/s (différence de 5%).

La condition aval prise en compte pour la crue de centennale de l'Ain est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

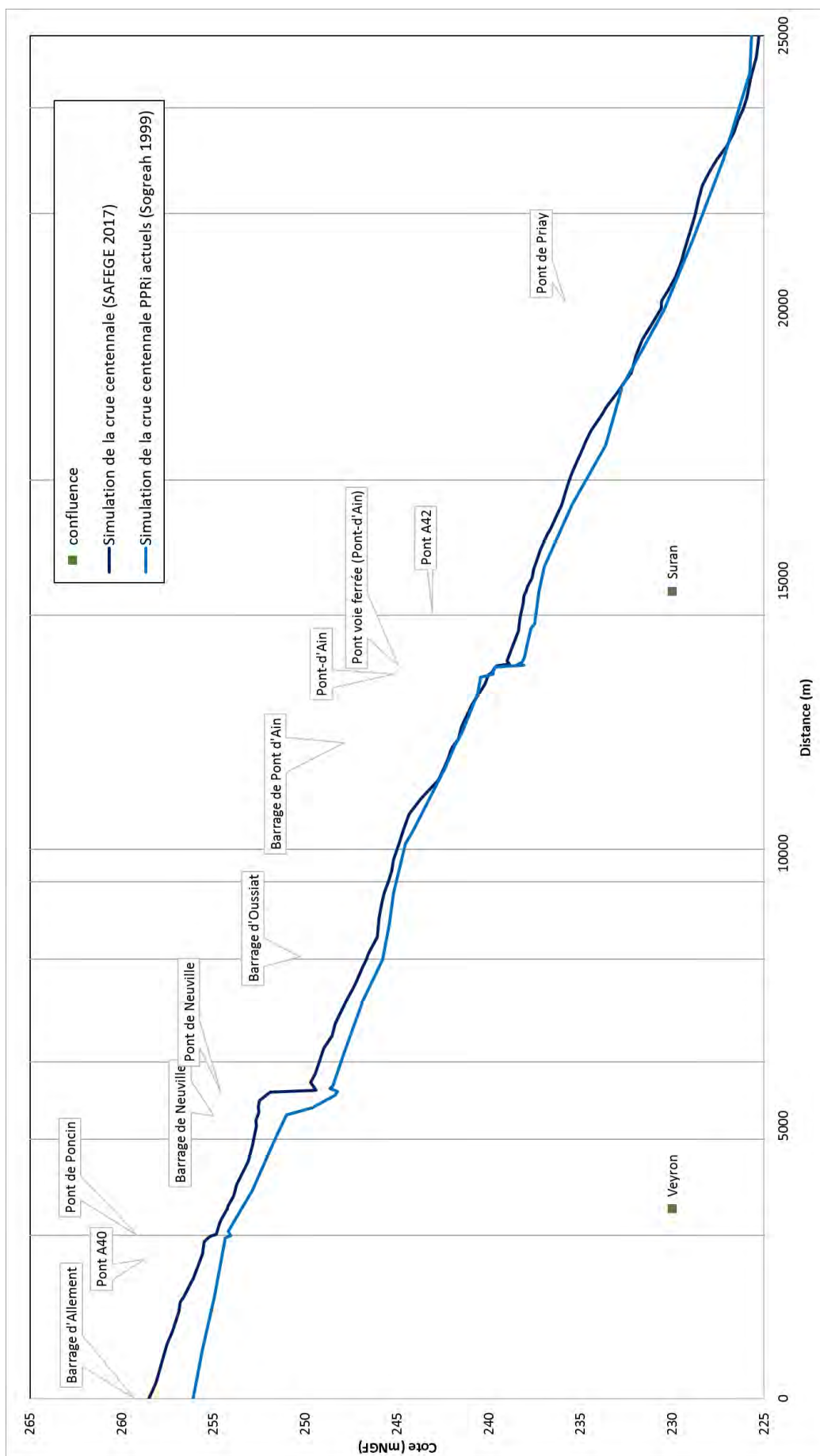
Temps de retour des crues de l'Ain	Q100
Temps de retour des crues du Rhône associées	Q10
Cote au profil 34 à la confluence Ain-Rhône (m NGF)	189.44

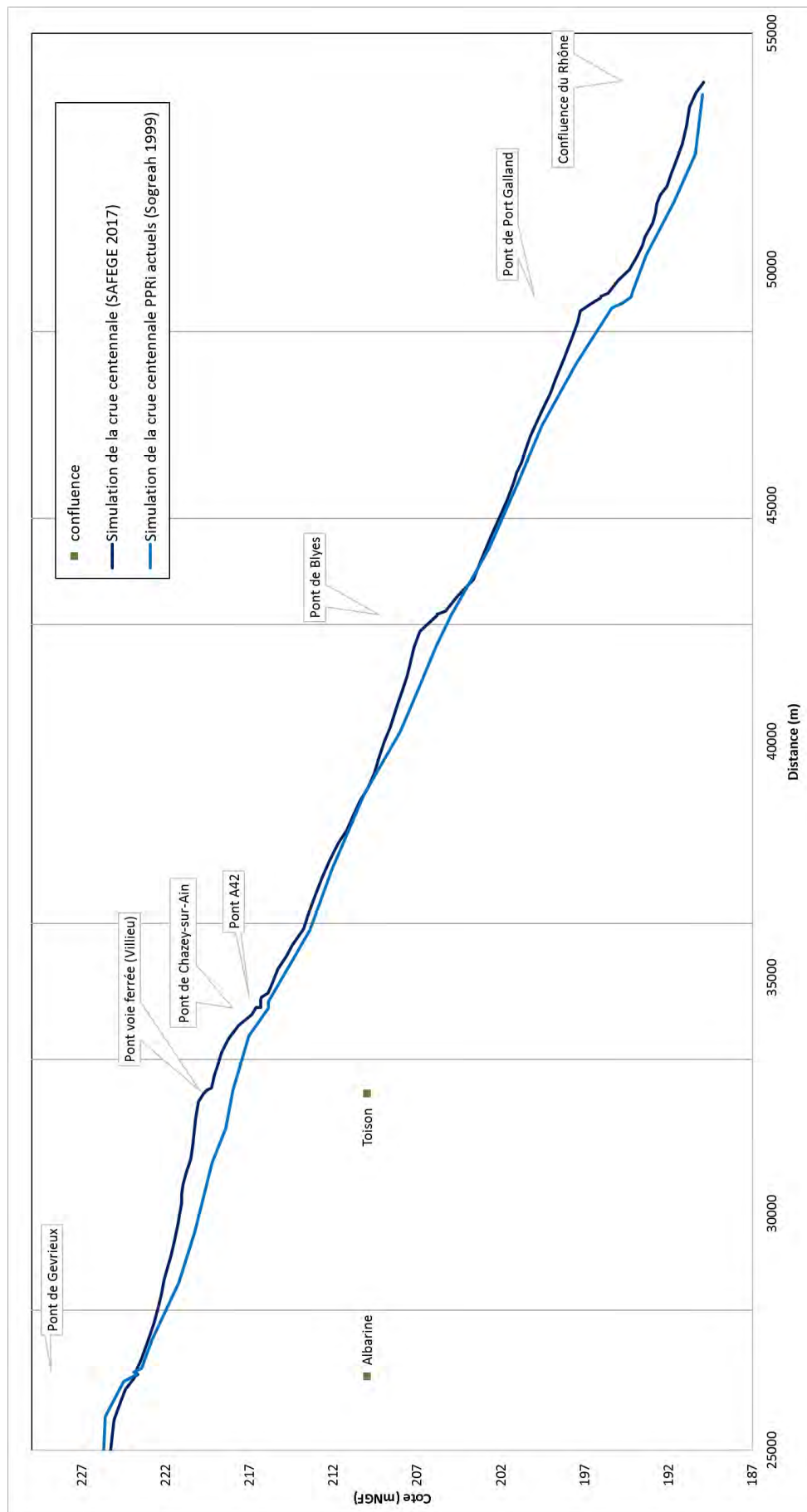
6.2.2 Profil en long de l'Ain

Les résultats présentés correspondent au lit mineur de l'Ain.

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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





6.2.3 Comparaison avec le PPRi précédent de l'Ain

Les profils présentés au paragraphe précédent indiquent que le niveau d'eau obtenu par la simulation de la présente étude est supérieur à celui de l'ancien PPRi sur toute la zone située entre l'extrémité amont de ce dernier et le barrage de Pont d'Ain.

Il est à noter que la pente du niveau d'eau de SOGREAH 1999 présente une cassure au niveau de Poncin qui ne se retrouve pas dans leur simulation de la crue de 1977.

Les pertes de charge dans le modèle de la présente étude sont plus élevées que celle calculées par SOGREAH pour les différents ponts de l'Ain.

Les cartes suivantes permettent de visualiser l'évolution de l'emprise de la crue de référence entre l'étude de SOGREAH 1999 et la présente étude.

Il apparaît clairement que le périmètre de l'étude de SOGREAH se limitait à l'Ain seul, alors que la présente étude implique également les affluents principaux (le Veyron, le Suran, l'Albarine et le Toison).

En addition à cette distinction, les différences suivantes ont été notées :

- En amont et en aval de Champeillon, respectivement en rive gauche et droite de l'Ain, notre simulation montre une zone inondable plus étendue que celle de Sogreah. Après vérification du MNT, il ne semble pas que cette extension soit issue d'une erreur.
- Au niveau de Thol, en rive droite de l'Ain, notre simulation montre une zone inondable plus étendue que celle de Sogreah. Après vérification du MNT, il ne semble pas que cette extension soit issue d'une erreur.
- A la hauteur de la commune de Saint-Jean le Vieux, il est considéré dans la présente étude que la zone inondable s'étend au-delà de la D1084, tandis que l'étude SOGREAH la considérait comme un obstacle infranchissable. Ceci résulte notamment de la prise en compte du ruisseau de l'Oiselon qui traverse cette dernière, offrant ainsi un chemin d'accès aux eaux de l'Ain. A l'aval, notre modèle hydraulique indique une submersion de la route, ce qui induit une remontée d'eau par l'aval.
- En rive droite de l'Ain, à la hauteur de pont d'Ain, entre l'Ain et la ligne de chemins de fer, il est considéré que la crue passe au-delà de la D984 (à vérifier).
- En rive gauche de l'Ain, au niveau de Longeville, notre simulation montre une zone inondable plus étendue que celle de Sogreah. Après vérification du MNT, il ne semble pas que cette extension soit issue d'une erreur.
- En rive gauche de l'Ain, à la hauteur de Vorgey, notre modèle diffère à nouveau de celui de Sogreah. En effet, ce dernier considère le plan d'eau du camp militaire comme inclus dans la zone inondable, tandis que notre modèle ne l'inclut pas. Une analyse du MNT indique à ce niveau une crête qui ne peut pas être franchie selon notre modèle. De part et d'autre de ce plan d'eau, des zones considérées comme non inondables par Sogreah le sont pour nous. Concernant ces dernières, après vérification du MNT, il ne semble pas qu'elles soient issues d'une erreur.
- En rive gauche de l'Ain, à proximité du centre de Coutelieu, une zone d'expansion de la crue a été identifiée par notre modèle mais pas par celui de SOGREAH. La route est considérée comme étant submergée par la crue de référence.
- En rive droite de l'Ain, au niveau du centre de Villieu-Loyes, une zone d'expansion de la crue a été identifiée par notre modèle, mais pas par celui de SOGREAH. Il est possible que ceci soit dû à l'influence du Toison, qui n'avait pas été prise en compte dans le modèle de Sogreah.

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



- En rive gauche de l'Ain, au niveau de l'aire de repos des Brotteaux, notre modélisation inclut une zone d'expansion qui n'est pas incluse par la modélisation de Sogreah. La route en remblai est considérée comme suffisamment basse pour laisser passer la crue.
- En rive droite de l'Ain, au niveau de Buchin, une dépression a été prise en compte par notre modélisation, mais pas par celle de Sogreah. La différence constatée entre les deux simulations n'est donc pas assimilée à une erreur de notre part.
- Les discordances visibles à d'extrémité aval du territoire sont dues à une augmentation de l'emprise de la zone d'étude.

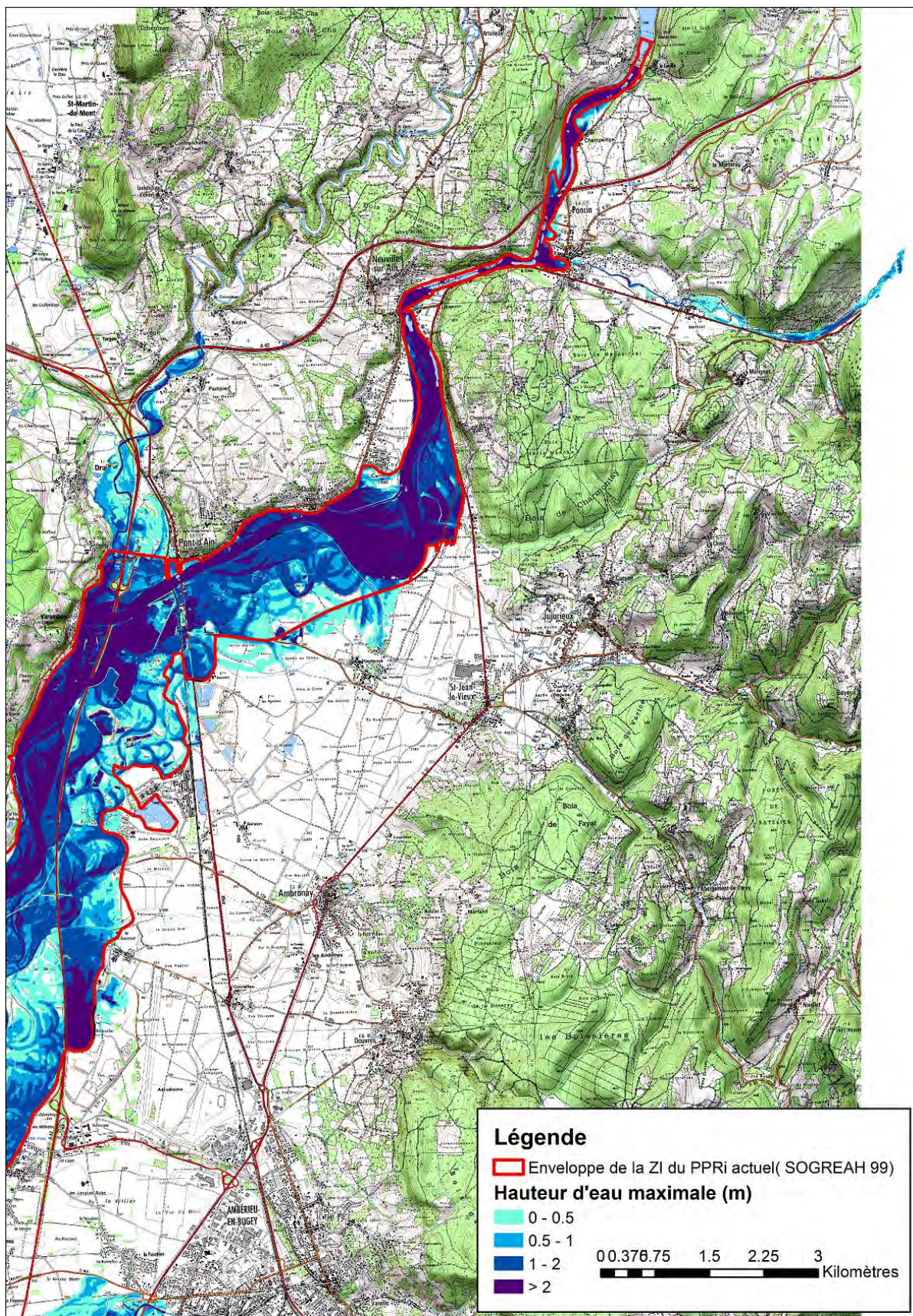


Figure 47 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre l'étude de SOGREAH 1999 et la présente étude – partie amont

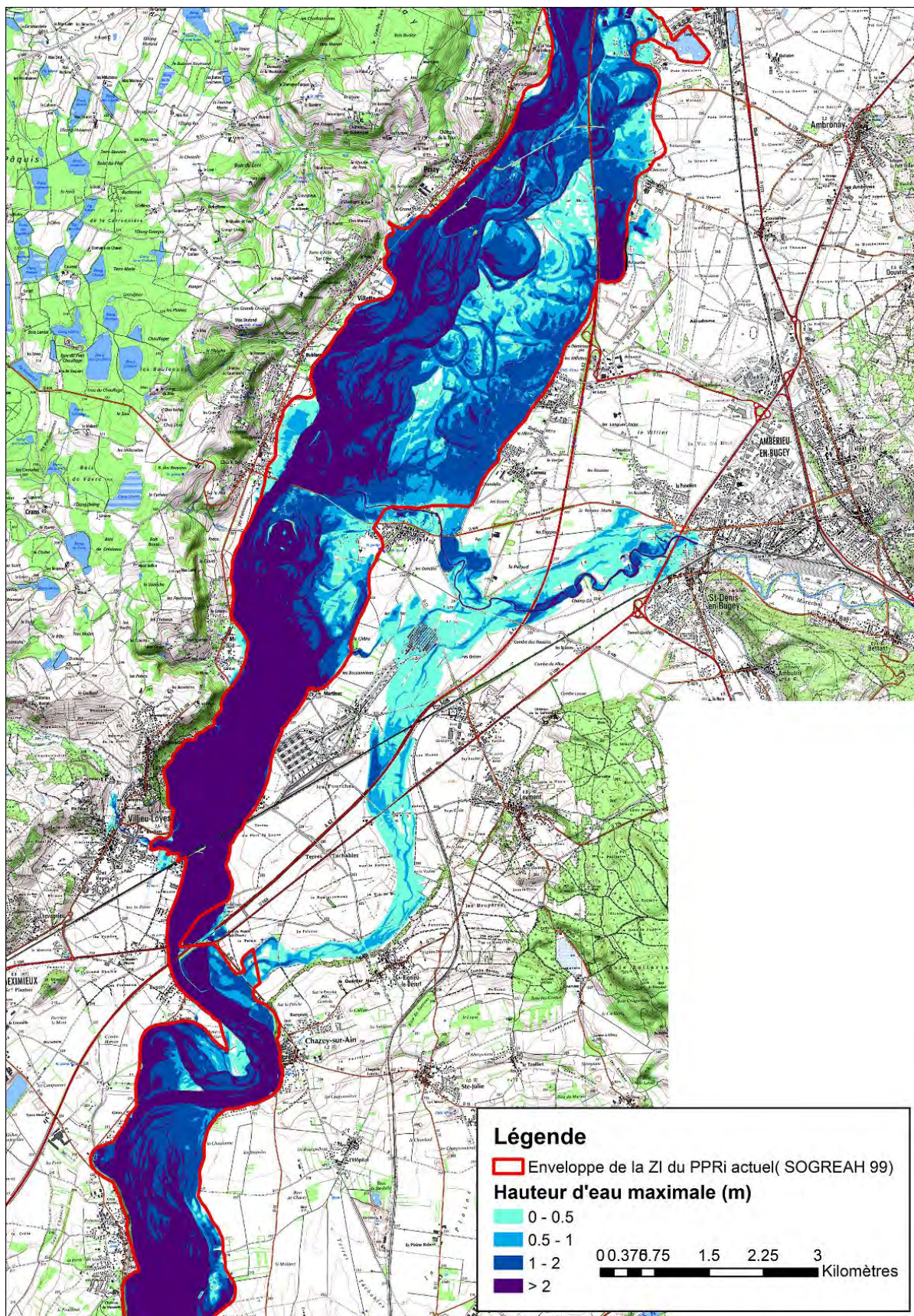


Figure 48 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre l'étude de SOGREAH 1999 et la présente étude – partie intermédiaire

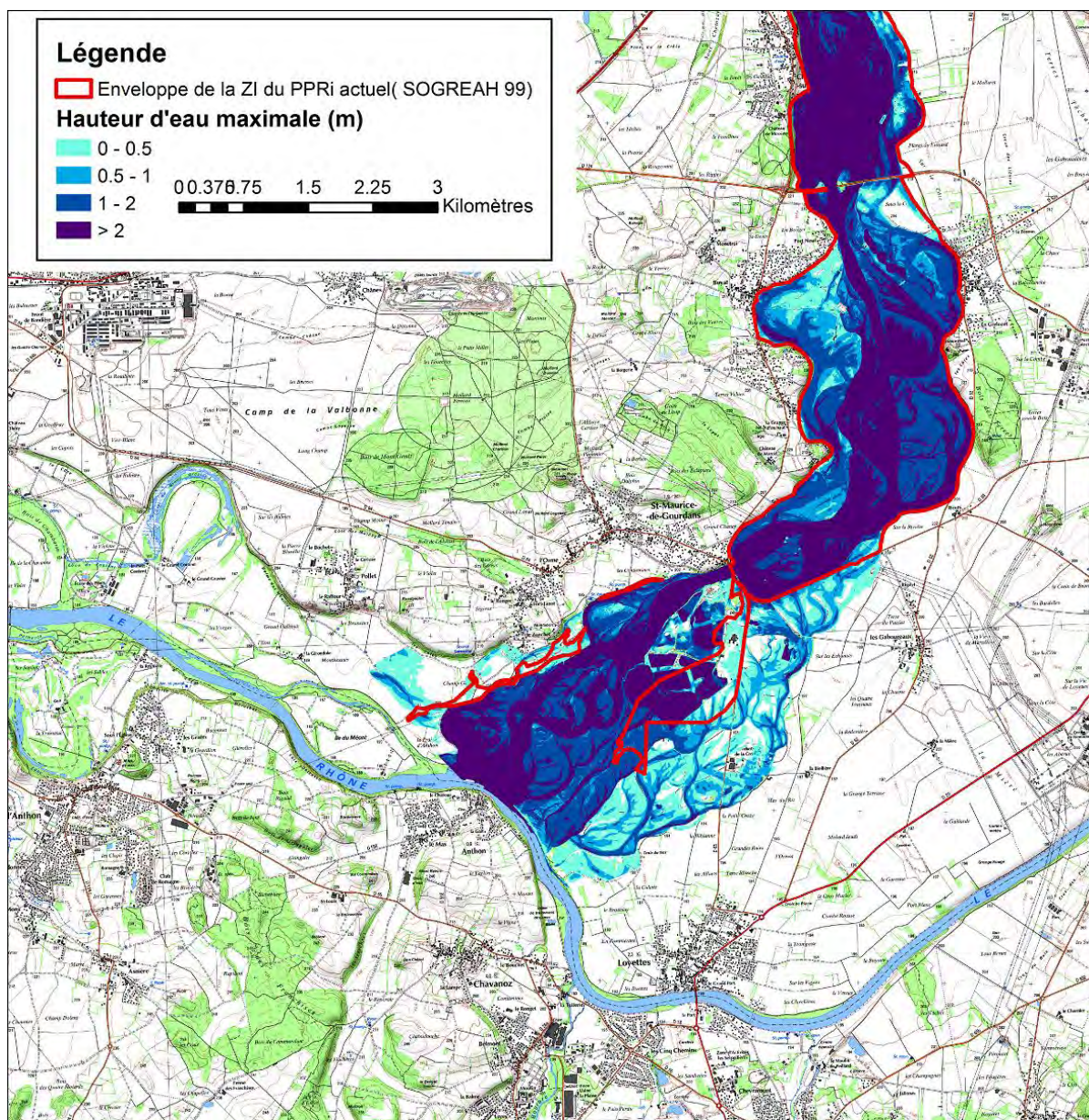


Figure 49 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre l'étude de SOGREAH 1999 et la présente étude – partie aval

6.1 Modélisation de la crue de référence de l'Albarine

6.1.1 Conditions aux limites

Les débits d'entrée pris en compte pour la crue de centennale de l'Albarine sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Crue	Débit (m ³ /s)					
	Ain amont	Albarine	Veyron	Suran	Toison	Distribué
Q100 des affluents et Q100 de l'Ain	2295.0	325.0	70.0	209.0	51.0	0.0

Ces débits proviennent de l'analyse hydrologique réalisée en Phase 1 de l'étude.



Il est à noter que le débit de 325 m³/s de l'Albarine correspond à 3% près au débit mesuré à Saint-Denis-En-Bugey pour la crue de 1990 avec 315 m³/s.

La condition aval prise en compte pour la crue de centennale de l'Ain prise en compte pour cette simulation est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

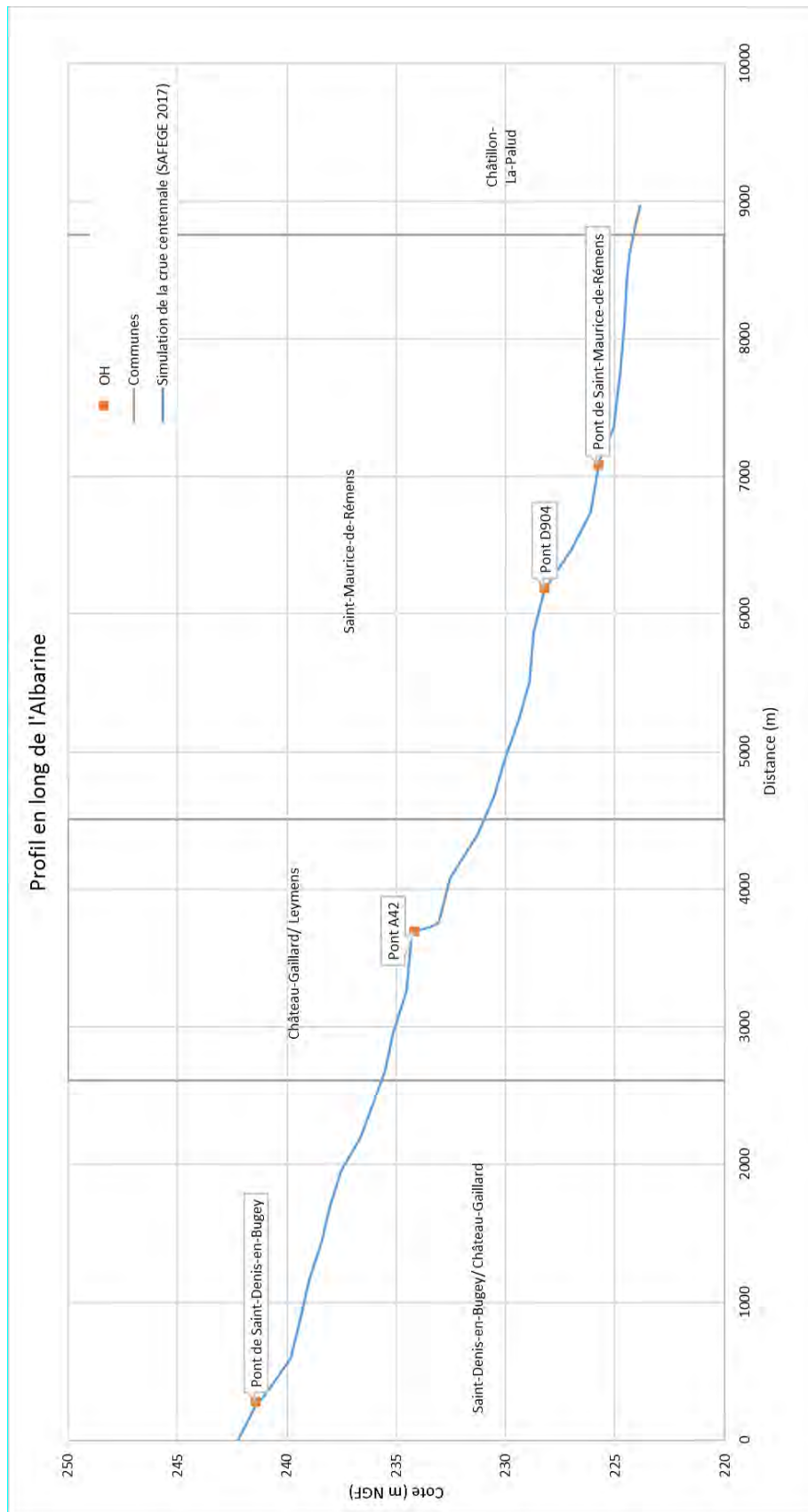
Temps de retour des crues de l'Ain	Q100
Temps de retour des crues du Rhône associées	Q10
Cote au profil 34 à la confluence Ain-Rhône (m NGF)	189.44

6.1.2 Profil en long de l'Albarine

Les résultats présentés correspondent au lit mineur de l'Albarine.

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



6.1.3 Comparaison avec le PPRi de l'Albarine

On peut noter plusieurs différences entre les zones inondables du PPRi actuel et de la présente étude.

En effet, la modélisation 2D permet de représenter les deux chemins secondaires des eaux de débordement de l'Albarine, qui n'avaient pas été pris en compte par le PPRi.

Le premier chemin identifié passe par l'ancien camp militaire des fromentaux, longe le centre de Rignieu-le-Désert et rejoint l'Ain après 8 km. Le second chemin des eaux débute environ 700 mètres plus en aval que le premier, passe également par le camp militaire et retourne dans l'Ain après 2.5 km au niveau de Martinaz.

D'autres importantes différences peuvent être constatées. Nous considérons également qu'elles sont liées à la mise en œuvre d'une modélisation 2D, qui permet de définir plus précisément les hauteurs d'eau de la crue.

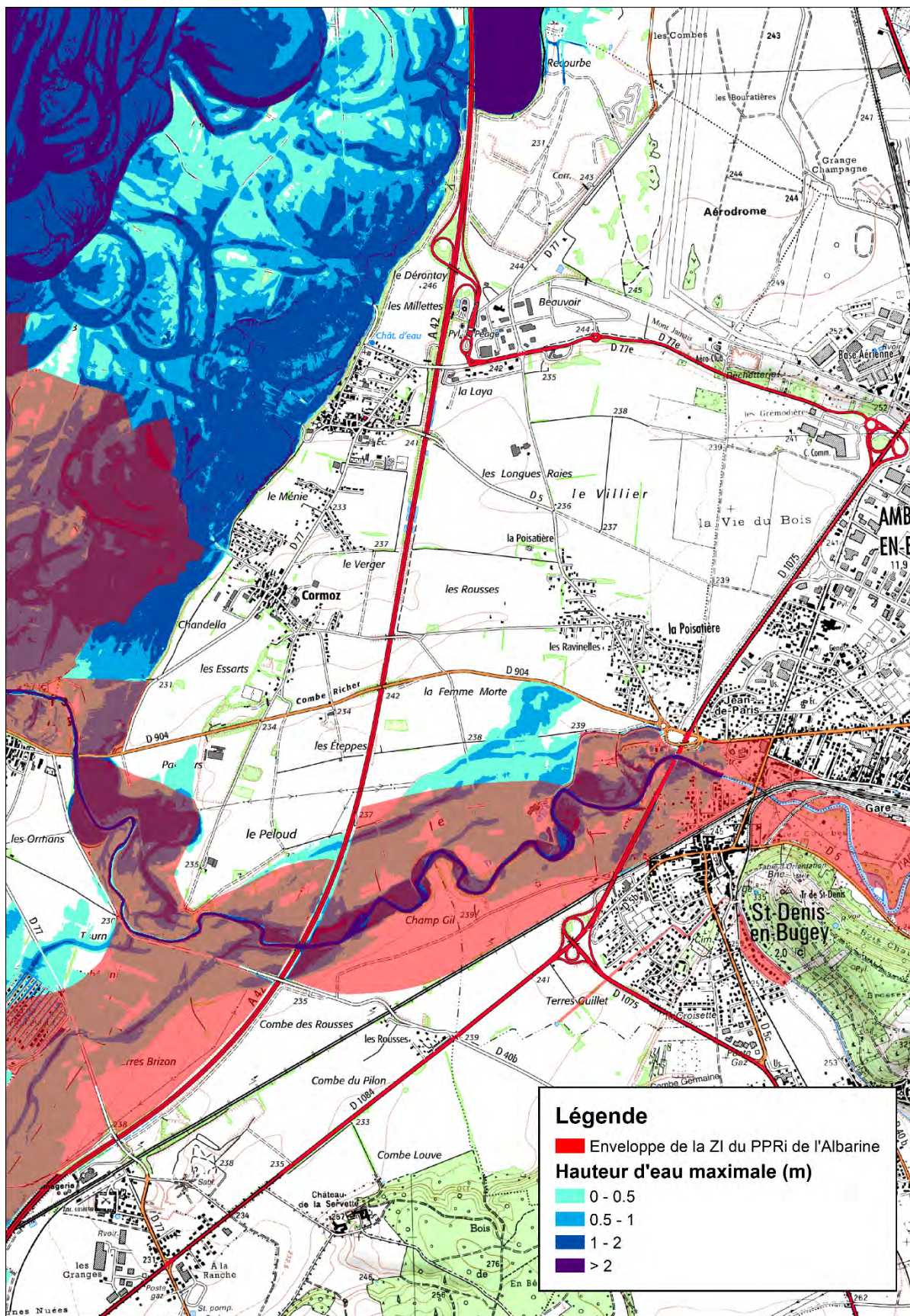


Figure 50 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre le PPRi actuel de l'Albarine et la présente étude – partie amont

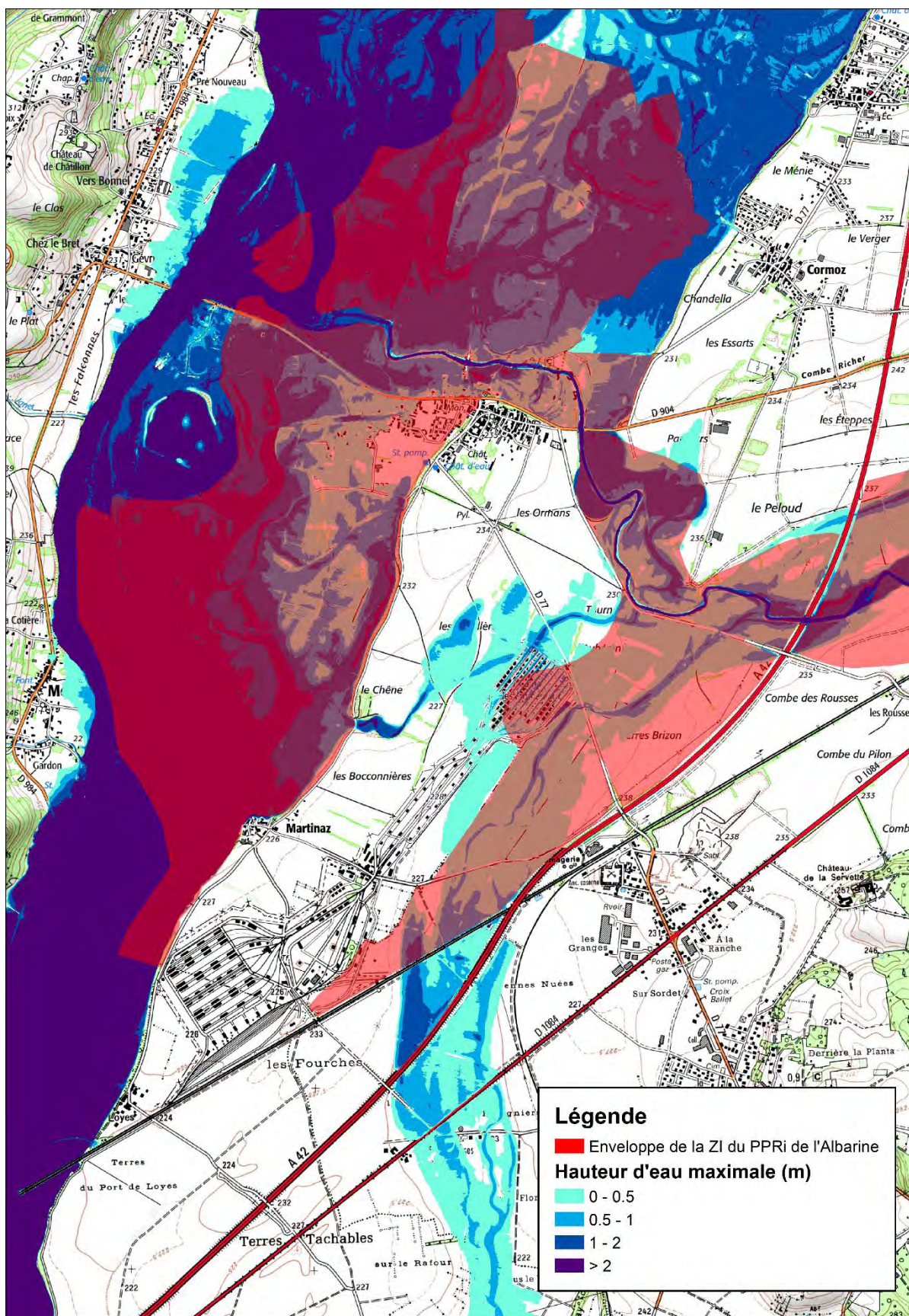


Figure 51 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre le PPRi actuel de l'Albarine et la présente étude – partie intermédiaire

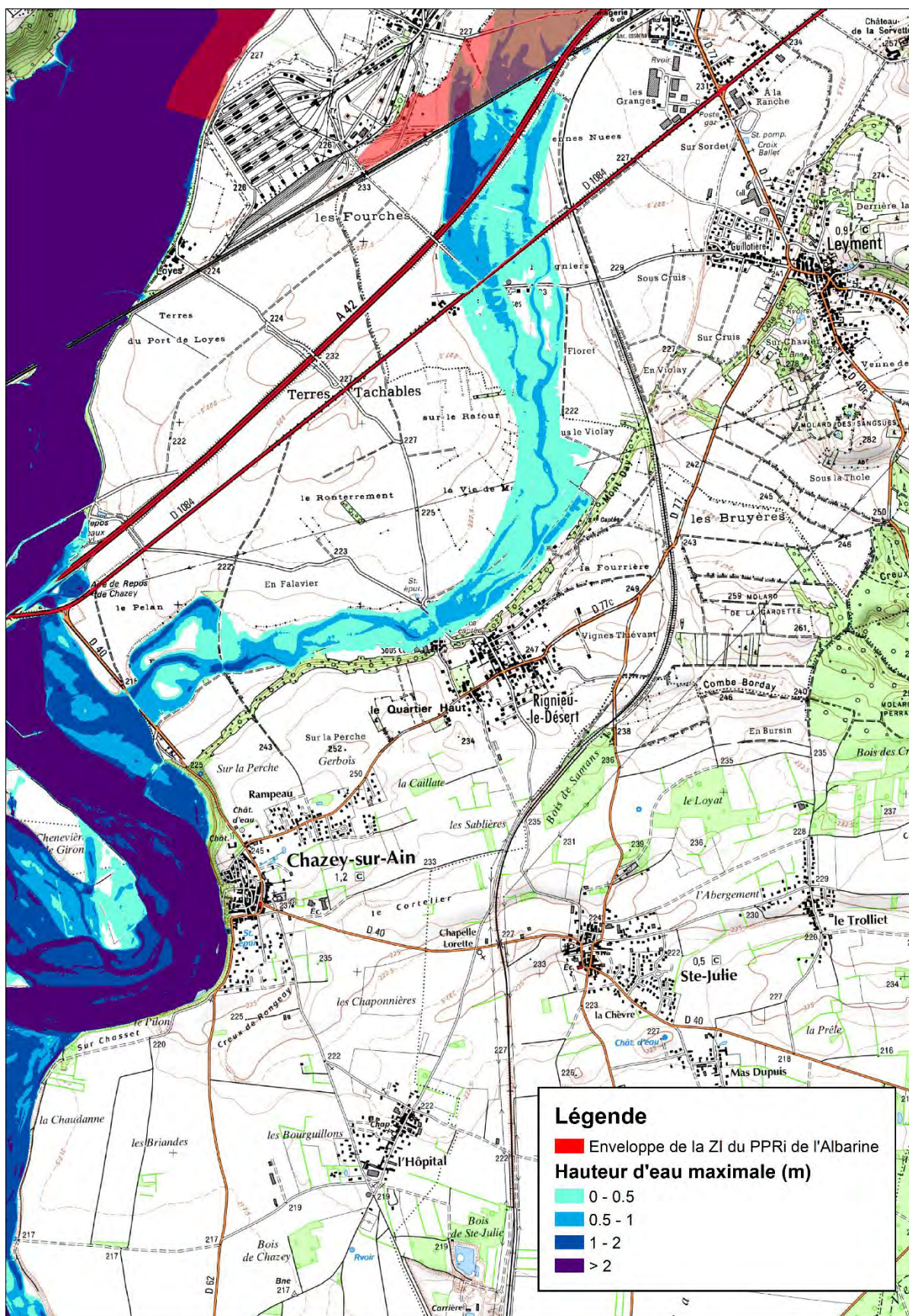


Figure 52 : Evolution de l'emprise de la zone inondable de la crue de référence entre le PPRI actuel de l'Albarine et la présente étude – partie aval

6.2 Modélisation de la crue de référence des affluents

6.2.1 Conditions aux limites

Les débits d'entrée pris en compte pour la crue de centennale des affluents de l'Ain sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Crue	Débit (m3/s)					
	Ain amont	Albarine	Veyron	Suran	Toison	Distribué
Q100 des affluents et Q10 de l'Ain	680.0	325.0	70.0	209.0	51.0	0.0

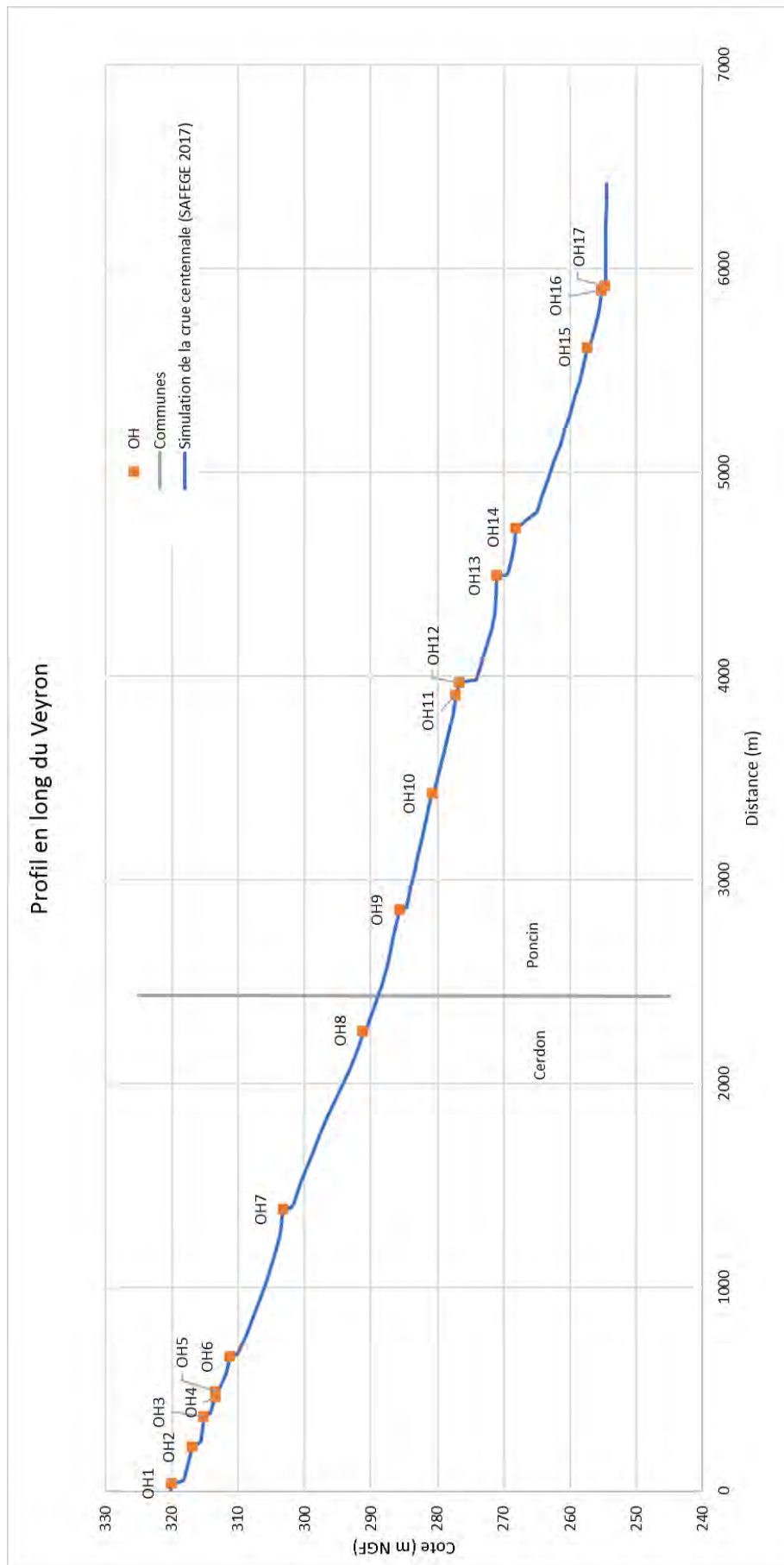
Ces débits proviennent de l'analyse hydrologique réalisée en Phase 1 de l'étude.

La condition aval prise en compte pour la crue de décennale de l'Ain est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

Temps de retour des crues de l'Ain	Q10
Temps de retour des crues du Rhône associées	Q2
Cote au profil 34 à la confluence Ain-Rhône (m NGF)	188.22

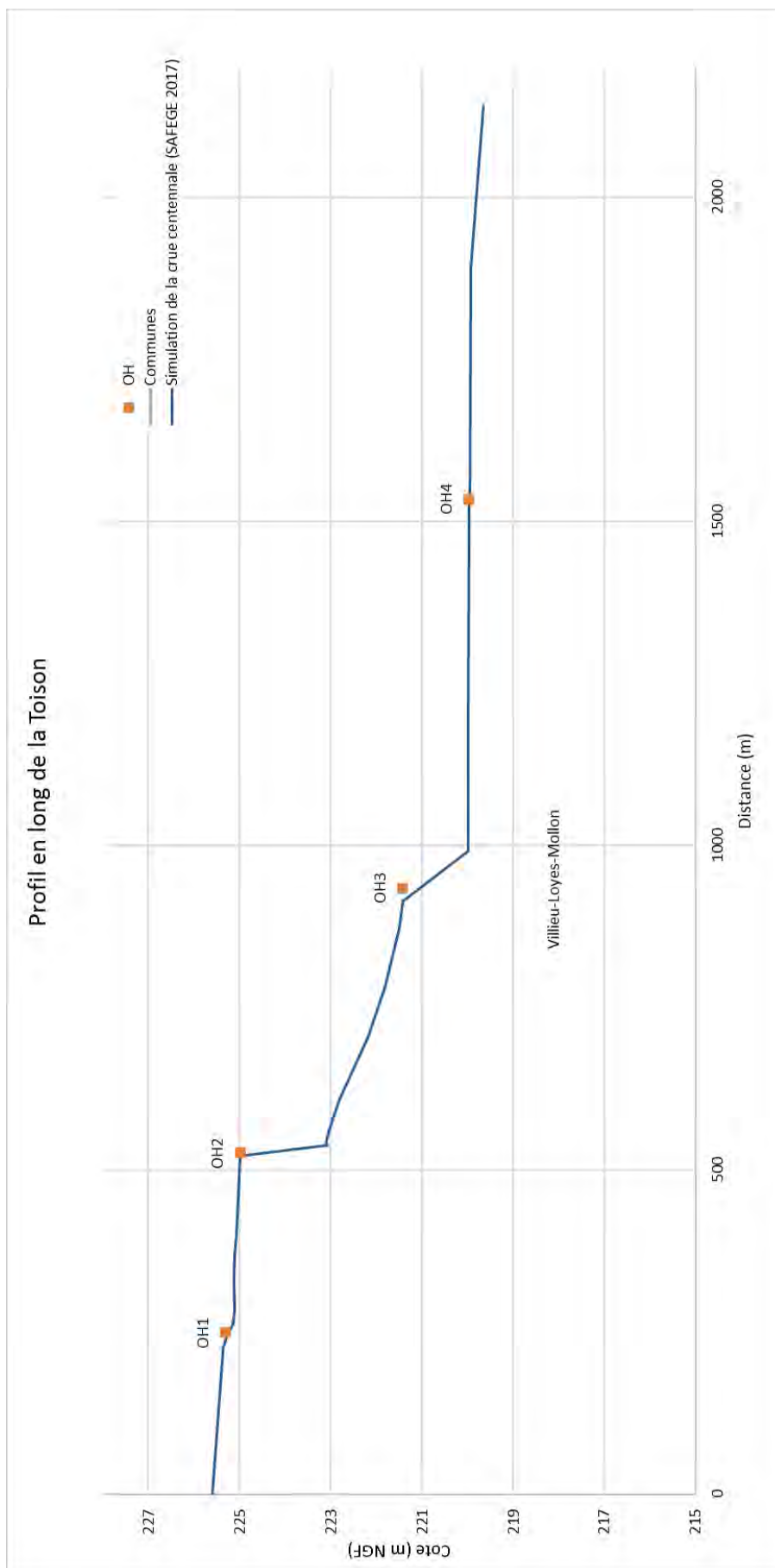
6.2.2 Profil en long des affluents

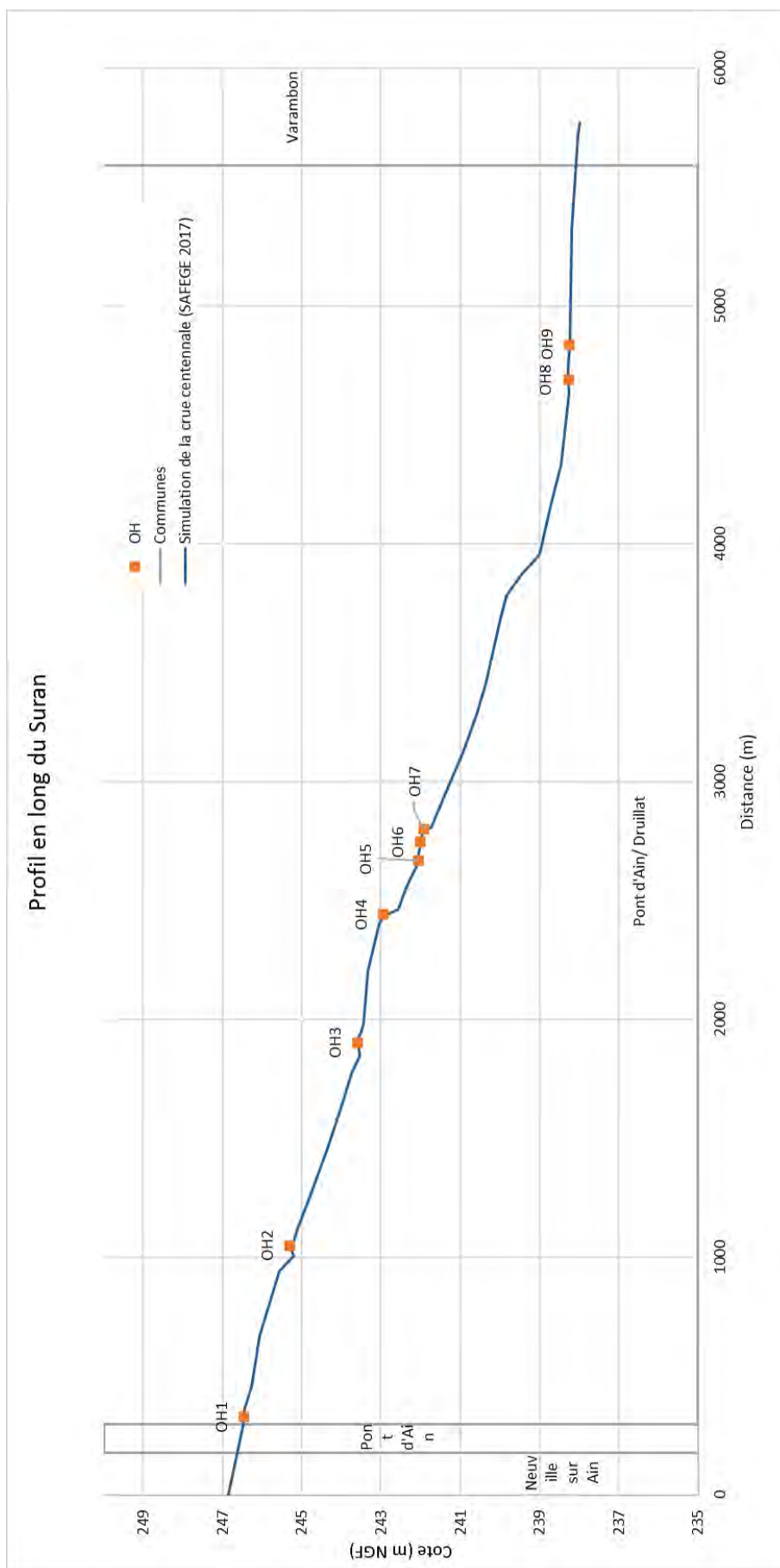
Les résultats présentés correspondent au lit mineur des affluents.



Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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





6.3 Modélisation des crues intermédiaires de l'Ain

6.3.1 Conditions aux limites

Les débits d'entrée pris en compte pour les crues intermédiaires de l'Ain sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Crue	Débit (m ³ /s)					
	Ain amont	Albarine	Veyron	Suran	Toison	Distribué
Q2	825.0	28.0	4.0	32.3	3.6	29.2
Q5	1043.0	35.1	5.0	40.5	4.6	36.7
Q10	1210.0	40.0	5.7	46.2	5.2	41.8
Q20	1402.0	46.7	6.7	54.0	6.1	48.8
Q50	1732.0	57.7	8.2	66.7	7.5	60.3
Q70	1869.0	62.2	8.9	71.9	8.1	65.0

Ces débits proviennent de l'analyse hydrologique réalisée en Phase 1 de l'étude. La colonne « distribué » correspond à des apports par ruissellement le long de l'Ain autres que provenant de ses affluents.

Les conditions aval prise en compte pour les crues intermédiaires de l'Ain sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

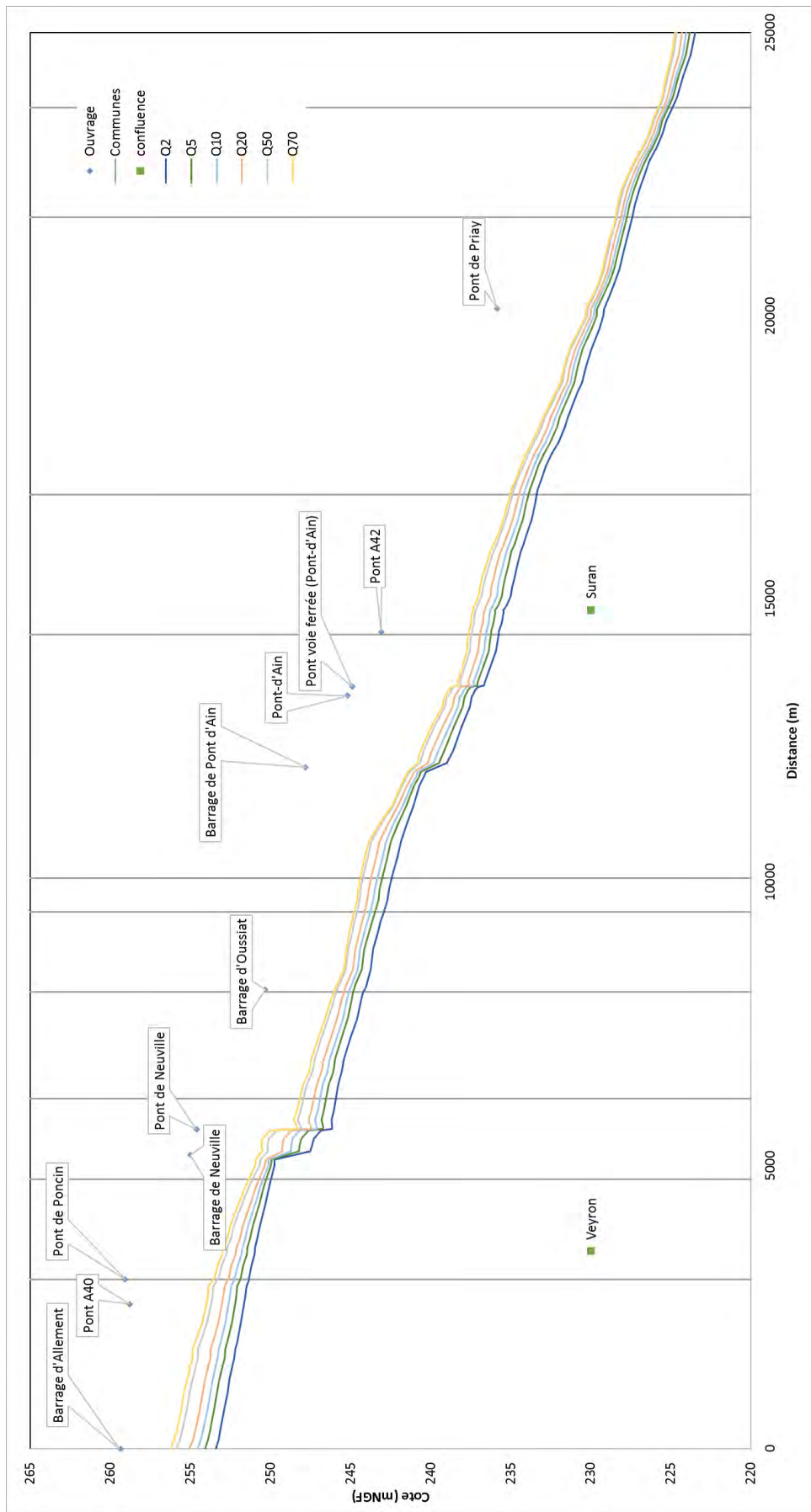
Temps de retour des crues de l'Ain	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q70
Temps de retour des crues du Rhône associées	Q2	Q2	Q2	Q2	Q10	Q10
Cote au profil 34 à la confluence Ain-Rhône (m NGF)	188.22	188.22	188.22	188.22	189.44	189.44

6.3.2 Profils en long de l'Ain

Les résultats présentés correspondent au lit mineur de l'Ain.

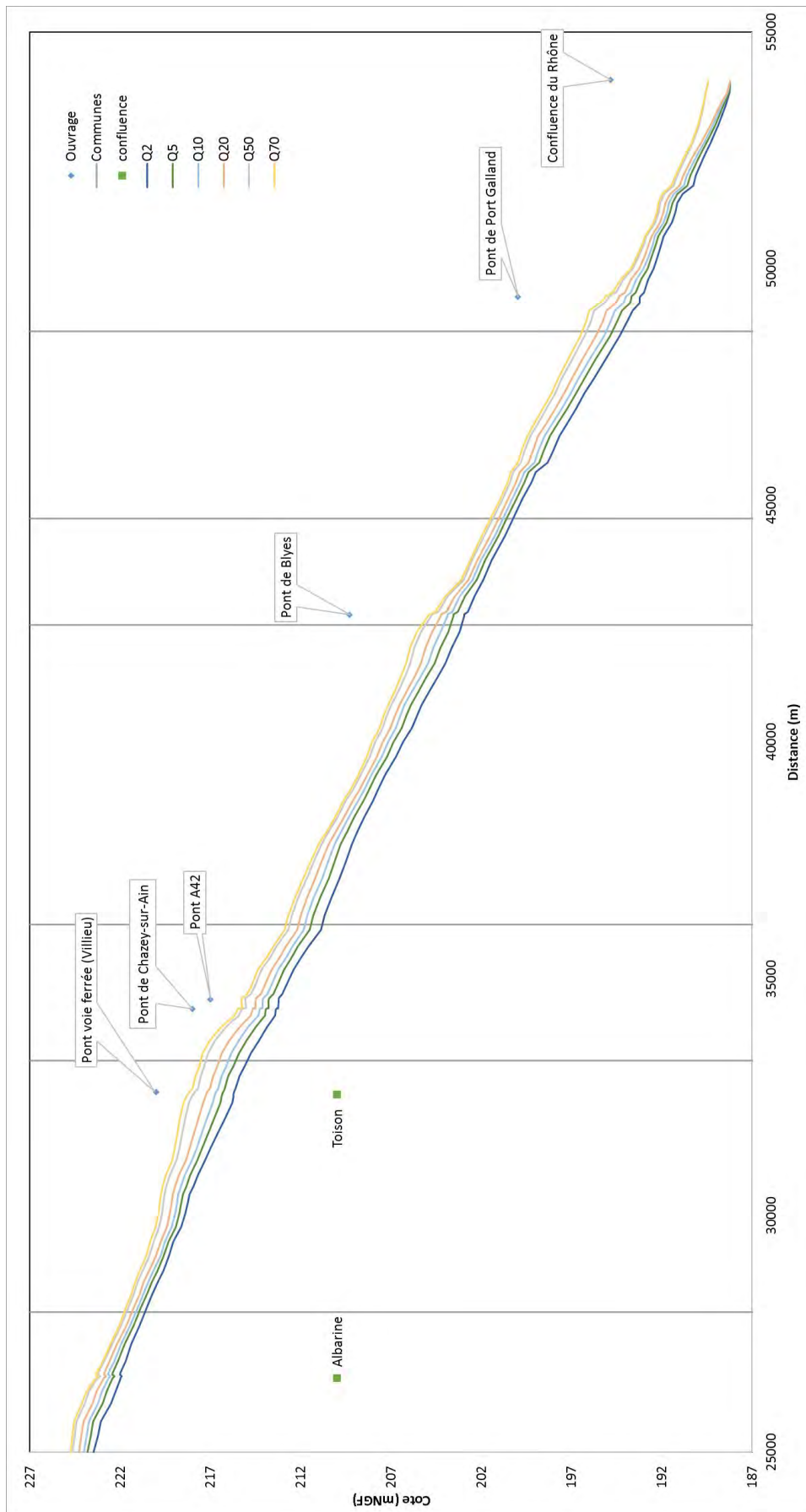
Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



7 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

7.1 Définition de l'aléa

7.1.1 Principe

Classiquement, la classification de l'aléa pour un PPRI repose sur le croisement des classes de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement. Néanmoins, aucune règle ne prévaut et la définition de l'aléa peut être adaptée au contexte local.

Pour le présent PPRI de l'Ain, la définition de l'aléa retenue est la suivante :

Tableau 18. Grille de définition de l'aléa

Vitesse (V_{eau})	$V_{\text{eau}} < 0,2 \text{ m/s}$ Faible (stockage)	$0,2 \text{ m/s} \leq V_{\text{eau}} < 0,5 \text{ m/s}$ Moyenne (écoulement)	$V_{\text{eau}} \geq 0,5 \text{ m/s}$ Forte (grand écoulement)
Hauteur (H_{eau})			
$H_{\text{eau}} < 0,5 \text{ m}$	Faible	Moyen	Fort
$0,5 \text{ m} \leq H_{\text{eau}} < 1 \text{ m}$	Moyen	Moyen	Fort
$1 \text{ m} \leq H_{\text{eau}} < 2 \text{ m}$	Fort	Fort	Fort
$H_{\text{eau}} \geq 2 \text{ m}$	Très fort	Très fort	Très fort

7.2 Réalisation de la cartographie

7.2.1 Cartographie des hauteurs d'eau de la crue de référence et des crues intermédiaires

La modélisation hydraulique réalisée est une modélisation 1D couplé à un modèle 2D.

Les hauteurs d'eau calculées par un modèle hydraulique 1D sont des hauteurs moyennes obtenues pour chacun des profils en travers inséré dans le modèle. Pour le modèle hydraulique 2D, les hauteurs d'eau sont calculées pour chaque maille du maillage réalisé.

Les hauteurs d'eau calculées sont donc considérées comme homogènes pour chaque profil (1D) et pour chaque maille (2D).

Les résultats de niveaux d'eau obtenus via la modélisation hydraulique 1D et 2D sont extraits du modèle et convertis en données SIG. Ces dernières sont ensuite combinées et interpolées pour obtenir une surface englobant toute la zone inondable et indiquant en tout point le niveau d'eau issu de la modélisation. Le croisement de cette surface avec la topographie de la vallée (MNT) permet de réaliser une carte des hauteurs d'eau regroupées par classes, ainsi qu'indiqué dans la première colonne de la grille de définition de l'aléa présentée au paragraphe précédent (pour les crues intermédiaires, les classes de hauteur retenues sont plus fines, comme indiqué au Tableau 19). La carte de hauteurs brute obtenue n'est pas aisée à lire et nécessite donc encore quelques traitements :

- Premièrement, l'algorithme v.clean de GRASS SIG permettant d'effacer les parcelles les plus petites est employé afin d'effacer les micro-parcelles qui n'apportent généralement aucune information pertinente et qui nuisent à la lisibilité des cartes.

- En second lieu, les contours des différentes catégories de hauteur sont lissés par l'utilisation de l'algorithme v.generalize de GRASS SIG, toujours dans l'objectif d'améliorer la lisibilité des cartes.

- **Tableau 19. Classes de hauteur des crues intermédiaires**

$-0.1 \text{ m} < H_{\text{eau}} < 0 \text{ m}$
$0 \text{ m} < H_{\text{eau}} < 0.1 \text{ m}$
$0.1 \text{ m} \leq H_{\text{eau}} < 0.5 \text{ m}$
$0.5 \text{ m} \leq H_{\text{eau}} < 1 \text{ m}$
$1 \text{ m} \leq H_{\text{eau}} < 1.5 \text{ m}$
$1.5 \text{ m} \leq H_{\text{eau}} < 2 \text{ m}$
$2 \text{ m} \leq H_{\text{eau}}$

7.2.2 Cartographie des vitesses d'écoulement de la crue de référence

La modélisation hydraulique réalisée est une modélisation 1D couplé à un modèle 2D.

Les vitesses d'eau calculées par un modèle hydraulique 1D sont des vitesses moyennes obtenues pour chacun des profils en travers inséré dans le modèle. Pour le modèle hydraulique 2D, les vitesses d'eau sont calculées pour chaque maille du maillage réalisé.

Les vitesses d'eau calculées sont donc considérées comme homogènes pour chaque profil (1D) et pour chaque maille (2D).

Les résultats de vitesse de l'eau obtenus via la modélisation hydraulique 1D et 2D sont extraits du modèle et convertis en données SIG. Ces dernières sont ensuite combinées et interpolées pour obtenir une surface englobant toute la zone inondable et indiquant en tout point la vitesse de l'eau issue de la modélisation. Un traitement SIG supplémentaire permet de diviser la surface obtenue en 3 catégories de vitesses, conformément au Tableau 18.

La surface obtenue est ensuite découpée selon l'emprise de la couche de hauteurs d'eau correspondante, afin de s'assurer qu'il n'y ait d'information de vitesse que dans les zones en eau.

Finalement, de manière analogue aux traitements effectués sur les cartes de hauteur d'eau, les algorithmes v.clean et v.generalize de GRASS GIS sont utilisés pour améliorer la lisibilité de la carte.

7.2.3 Cartographie de l'aléa de la crue de référence

La carte d'aléa de la crue de référence est obtenue en croisant la carte de vitesse et celle de hauteur, conformément au Tableau 18. Aucun post-traitement n'est effectué, compte tenu de ceux qui ont déjà été appliqués aux couches de hauteur et de vitesse.

La visite de terrain pourrait, toutefois, mettre en lumière des éléments impliquant des modifications au niveau de la cartes des aléas.

7.3 Données représentées sur l'atlas cartographique

La cartographie de l'aléa inondation de l'Ain entre le barrage d'Allement et le Rhône est présentée dans un atlas dédié, joint au présent rapport (Annexe 1).

L'atlas cartographique des aléas présente, sur le secteur d'étude et sur fond du Scan25 de l'IGN, l'ensemble des données suivantes :

- **Classes d'aléas d'inondation pour une crue centennale :**
 - Aléa faible ;

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



- Aléa moyen ;
- Aléa fort ;
- Limites communales ;
- Surface en eau.

Les caractéristiques de l'atlas cartographique sont les suivantes :

- ✓ Nombre de planches : XX ;
- ✓ Echelle : 1/5 000 ;
- ✓ Format de mise en page : A0.

7.4 Exemple de planche cartographique

Il faudra mettre un exemple d'une planche d'atlas quand il sera validé.

ANNEXE 1

ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE L'ALEA INONDATION DE L'**A**IN

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

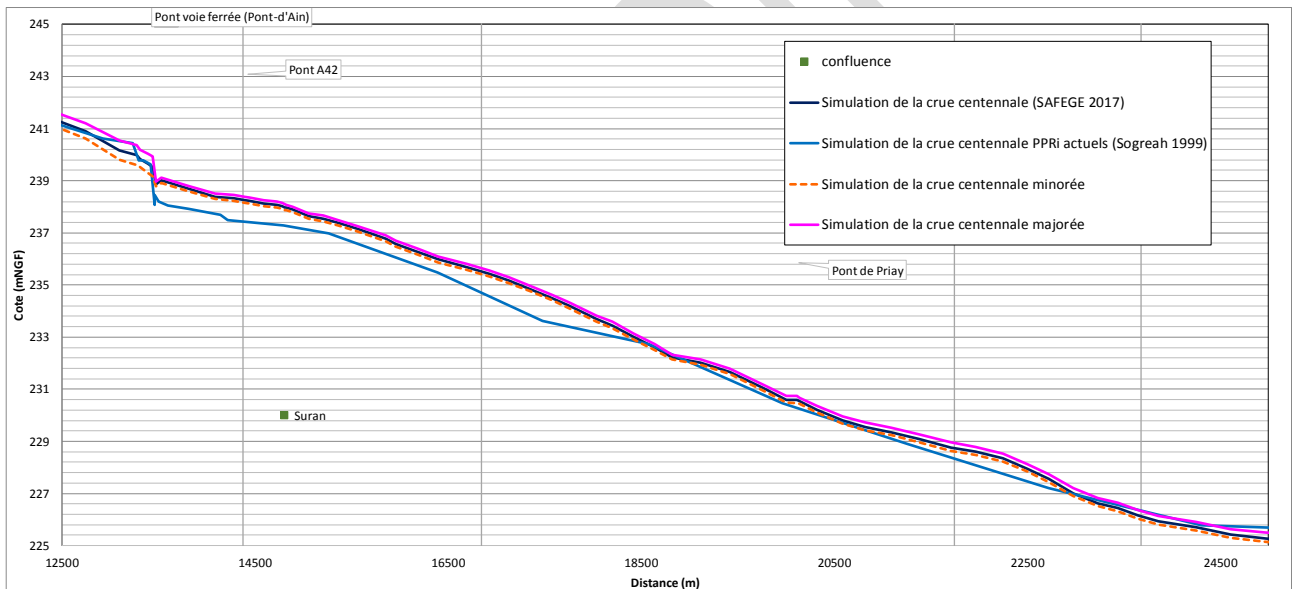
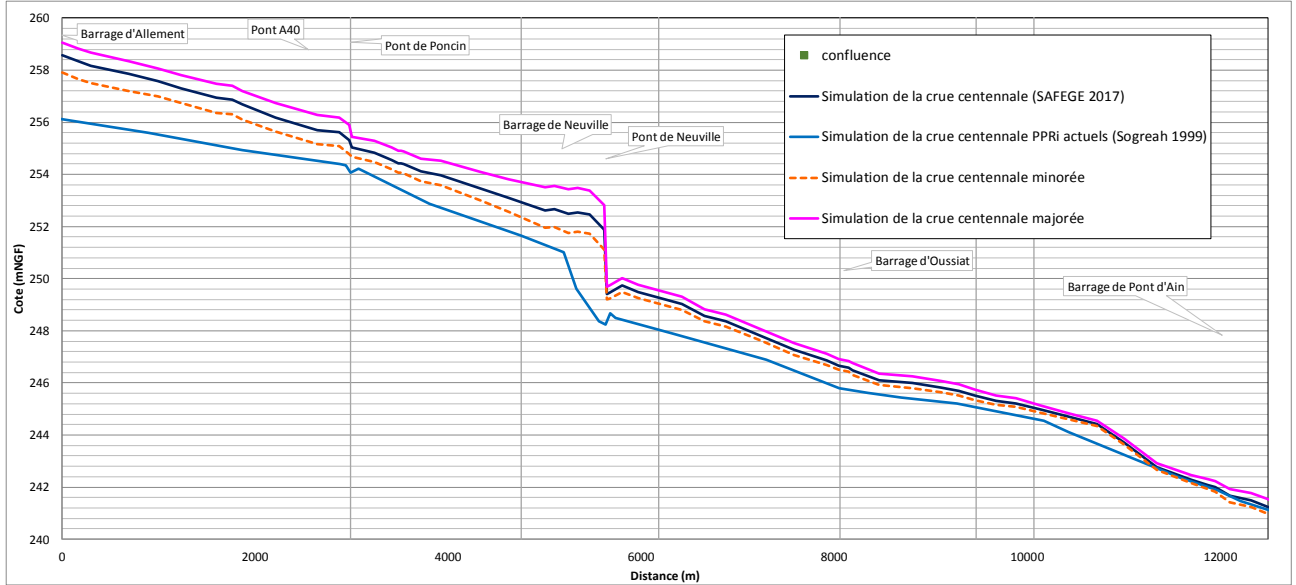
Etude hydraulique et cartographie de l'aléa inondation de l'Ain entre le barrage d'Allement et le Rhône



ANNEXE 2
PROFILS EN LONGS
ILLUSTRANT LE CALAGE DU
MODELE HYDRAULIQUE ET
L'ANALYSE DE SENSIBILITE

Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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



Rapport de phase 2 : Détermination de l'aléa hydraulique et carte d'aléas

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

