



HAL
open science

Étude du bassin versant de la Sallanche (74) : étude hydro-morphologique, hydrologique et hydraulique

Jean Banti

► **To cite this version:**

Jean Banti. Étude du bassin versant de la Sallanche (74) : étude hydro-morphologique, hydrologique et hydraulique. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2018. dumas-03542054

HAL Id: dumas-03542054

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03542054v1>

Submitted on 25 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

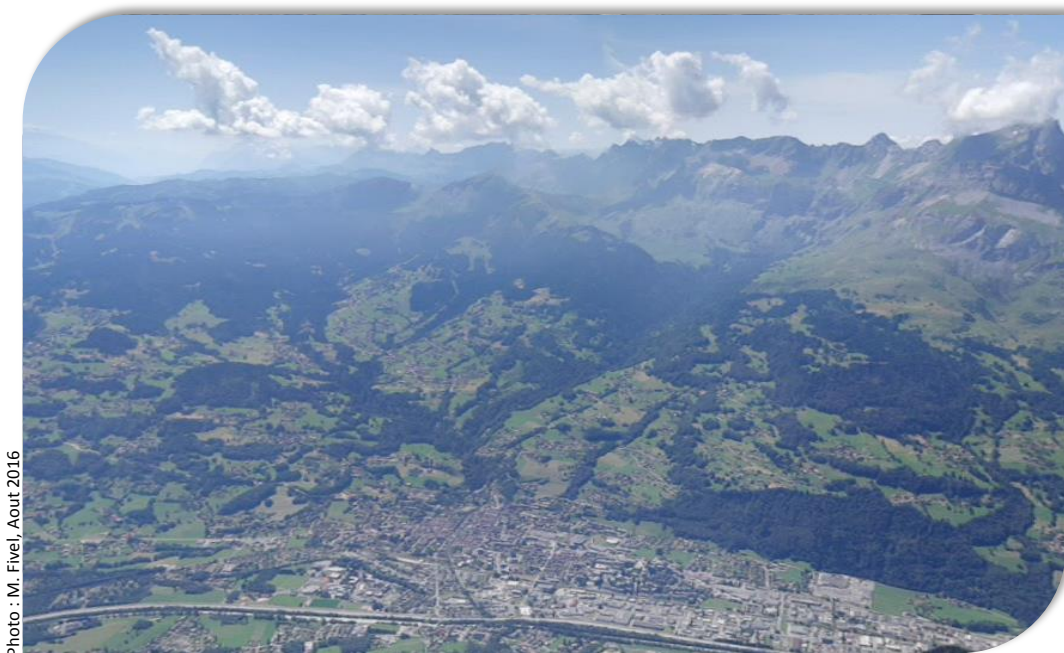
SM3A - ENGEES



Etude du bassin versant de la Sallanche (74)

Etude hydro-morphologique, hydrologique et
hydraulique

Jean BANTI



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Septembre 2018

Remerciements

Mes premiers remerciements vont à Anne-Sophie Drouet et Cyril Jousse pour avoir successivement accepté de partager avec moi leurs connaissances et leur temps en qualité de maitres d'apprentissage. La route est longue avant d'atteindre votre niveau !

Merci également à la mémoire vivante du SM3A et dompteur de cours d'eau, j'ai bien sûr nommé le Cordonnais Franck Baz pour qui les cours d'eau du bassin versant de la Sallanche (et d'ailleurs) n'ont pas de secrets.

Merci à Maxime Manchia de me faire rire tous les jours au bureau tout simplement.

Merci de manière générale à toute l'équipe du SM3A d'avoir été des collègues formidables tout au long de ces trois années, de m'avoir fait découvrir les paysages magnifiques de la vallée de l'Arve, de m'avoir embarqué sur des Dragonboat et dans des 4x4, de m'avoir invité à votre table... ou au bar.

J'adresse également un remerciement général à la promotion Fribourg de l'ENGEES, et en particulier aux apprentis avec qui j'ai partagé deux ans et demi d'éprouvants allers retours entre l'école et nos structures d'accueil, de nuits de travail pour terminer des projets ou réviser des examens, de matins difficiles... mais aussi de super soirées, aventures, discussions et moments de camaraderie.

Ce n'est qu'un juste retour des choses que de remercier ici mon chef et compère Pierre Henri pour les attentions particulières dont il a su faire preuve à mon égard dans son propre travail universitaire. Il en va de même pour mon cobaye Gaël Carlut et le stratège Florent Serra.

Merci à mes parents d'essayer de temps en temps de comprendre en quoi consiste mon travail et de m'accueillir si souvent chez eux à bras ouverts.

Merci enfin à Margot pour la patience, le soutien et les efforts qu'elle a fait pour elle et moi tout au long de ces trois années.

Résumé

Le bassin versant de la Sallanche, d'une superficie de 42 km² se situe en **Haute-Savoie** sur les flancs Est du massif des Aravis. Il est principalement drainé par deux cours d'eau : **la Sallanche et le Torrent de la Croix**. Cette étude fournit des éléments **d'hydro-géomorphologie, d'hydrologie et d'hydraulique** qui permettent d'évaluer le **risque d'inondation** dans la traversée de la ville de Sallanches par ces deux cours d'eau.

Les expertises de terrain et analyses SIG indiquent un déséquilibre du lit de ces cours d'eau qui témoigne d'un **transport solide relativement faible**. Toutefois **des apports occasionnels** de matériaux par glissements de masses **peuvent provoquer un exhaussement du lit** dans la traversée urbaine de **Sallanches** où sont présent les enjeux.

En absence de jaugeage des cours d'eau, les débits de crues de périodes de retour **10 ans** et **100 ans** ont été déterminés par des méthodes empiriques de transformation pluie-débit et respectivement fixés à **30 m³/s** et **69m³/s**. Un **modèle hydrologique** réalisé avec **HEC-HMS** a ensuite permis de déterminer des **hydrogrammes** et de connaître la répartition de ces débits sur les deux principaux cours d'eau.

Enfin, on a réalisé avec **HEC-RAS** un **modèle hydraulique 1D** de la traversée urbaine de Sallanches. Il met en évidence un risque faible pour la crue décennale mais des **insuffisances** sur les **revanches de berges** et le **gabarit hydraulique** de certains **ponts** pour la **crue centennale**.

Abstract

Sallanche's watershed has an area of 42km² and is located on the East side of the Aravis range in **Haute-Savoie, France**. It is drained by two main rivers: the **Sallanche River** and the **Torrent de la Croix**. This study provides data in the fields of **hydro-geomorphology, hydrology, and hydraulics** in order to **assess the flood risk** from the crossing of the urbanised area of **Sallanches town** by these two rivers.

Field investigations and GIS analysis showed that the **sediment transport** in these rivers is **rather low**. However, **occasional landslides** may provide enough material to the river to **cause an elevation of the riverbed in Sallanches urban channel** where the stakes are the highest.

The basin being ungauged, **10-year** and **100-year** return flows (respectively **30 m³/s** and **69m³/s**) have been calculated using empirical rainfall-runoff transformation methods. Next, hydrological modeling using **HEC-HMS** was conducted to obtain **flow hydrographs** and to determine the flow distribution between the two main rivers.

Finally, a **1D hydraulic modeling** of the Sallanches urban channel was performed using **HEC-RAS**. It indicates a low risk for the **10-year return flood** yet for the **100-year return flood**, overflows are noticed due **low banks** and **small bridges hydraulic sections**.

Table des matières

Préambule	1
1. Contexte de l'étude	2
1.1 Présentation du bassin versant	2
1.1.1. Localisation	2
1.1.2. Hydrographie	3
1.1.3. Usages	6
1.2 Analyse historique des évènements passés	9
1.3 Synthèse des études existantes	12
1.3.1. Plan de prévention des risques naturels de Sallanches	13
1.3.2. Plan de prévention des risques naturels de Cordon	14
1.3.3. DDA Petite Centrale Hydraulique sur la Sallanche	15
1.3.4. Schéma directeur des eaux pluviales de la commune de Sallanches	15
1.3.5. Plan de gestion de la végétation des berges et des bois morts – torrents des communes de Cordon et Sallanches	17
1.3.6. Etude écologique des affluents de la moyenne vallée de l'Arve, FRAPNA 2013	17
1.3.7. Etudes globales	18
2. Caractérisation physique du bassin versant	19
2.1. Délimitation du bassin versant	19
2.2. Analyse des paramètres morphométriques du bassin versant	19
3. Analyse hydromorphologique	24
3.1. Géologie	24
3.2. Zones fonctionnelles	26
3.3. Analyse par zone fonctionnelle	27
3.3.1. Bassins de réception	27
3.3.2. Chenaux d'écoulement	31
3.3.3. Cône de déjection	36
3.3.4. Synthèse du fonctionnement morphologique	38
4. Analyse hydrologique	39
4.1. Caractérisation du ruissellement	39
4.1.1. Occupation du sol	39
4.1.2. Coefficient de ruissellement	40
4.2. Equipement métrologique régional	41
4.2.1. Stations hydrométriques	41

4.2.2.	Stations pluviométriques.....	42
4.2.3.	Centrage des pluies journalières	43
4.3.	Temps de concentration.....	44
4.4.	Détermination des pluies de projet	47
4.4.1.	Pluies journalières	47
4.4.2.	Pluie de projet durée T_c	50
4.5.	Transformation pluie-débit	52
4.5.1.	Débit de crue décennale.....	52
4.5.2.	Débit de crue centennale : méthode du Gradex progressif	54
4.6.	Détermination des hydrogrammes de projet	57
4.6.1.	Choix du modèle : HEC HMS.....	57
4.6.2.	Hypothèses retenues.....	57
4.7.	Résultats du modèle hydrologique	60
	Hydrogramme Q10.....	60
	Hydrogramme Q100.....	61
5.	Analyse hydraulique	62
5.1.	Emprise du modèle.....	62
5.2.	Données topographiques	62
5.2.1.	MNT LiDAR 2015.....	62
5.2.2.	Topographie terrestre	64
5.3.	Scénarios modélisés	65
5.4.	Paramétrage du modèle.....	66
5.4.1.	Géométrie du modèle	66
5.4.2.	Conditions aux limites	67
5.4.3.	Coefficients de Strickler (K_s).....	68
5.4.4.	Transport solide.....	70
5.4.5.	Calage	70
5.5.	Résultats du modèle hydraulique.....	71
5.5.1.	Crue décennale (Q10).....	71
5.5.2.	Crue centennale (Q100)	76
5.6.	Synthèse et préconisations	82
5.6.1.	Synthèse de l'analyse de la situation actuelle:.....	82
5.6.2.	Préconisations	82
	Bibliographie.....	85

Table des annexes

ANNEXE 1 – Cours d'eau concernés par le plan de gestion de la végétation de berges et des bois morts de Cordon et Sallanches	II
ANNEXE 2 – Courbes hypsométriques des sous-bassins versants de la Sallanche	III
ANNEXE 3 – Abaque Sogreah	IV
ANNEXE 4 – Emprise du modèle hydraulique 1d	V
ANNEXE 5 – Profils en long Q10 et Q100 – Scénario de base	VII

Liste des Figures

Figure 1 Localisation du bassin versant.....	2
Figure 2 Périmètre du bassin versant et éléments topographiques majeurs.....	3
Figure 3 Vue du bassin versant de la Sallanche depuis l'Aiguille de Varan.....	3
Figure 4 Hydrographie du bassin versant de la Sallanche.....	5
Figure 5 Points décimétriques sur la bassin versant de la Sallanche	6
Figure 6 Localisation prise d'eau et centrale de la Frasse.....	7
Figure 7 Estimation des débits de crues des bassins versants naturels de la Sallanche et du torrent de la Croix (la Frasse).....	16
Figure 8 Restitution du ruisseau de Bellegarde dans la Sallanche	16
Figure 9 Profil en long de la Sallanche.....	20
Figure 10 Profil en long du torrent de la Croix (branche Jorasse).....	20
Figure 11 Profil en long du torrent de Zarzillat	21
Figure 12 Pentes du bassin versant de la Sallanches issues de l'analyse du MNT fourni par le RGD7423	
Figure 13 Géologie du bassin versant de la Sallanche.....	24
Figure 14: Géologie du BV de la Sallanche: vue en relief	25
Figure 15 Décomposition schématique d'un bassin versant torrentiel (dessin N. Sardat).....	26
Figure 16 Zones fonctionnelles du transport solide sur le BV de la Sallanche.....	27
Figure 17 Profils en long comparés de la Sallanche et du torrent des Fours.....	28
Figure 18 Exemple de revégétalisation des éboulis entre 1952 et 2015	28
Figure 19 Matériaux alluvionnaires stockés en bord de piste sur le Brayon	29
Figure 20 Exemple d'affleurement de Terres Noires (torrent des Fours)	29
Figure 21 Zones de revégétalisation sur les têtes de bassin de Zarzillat et Callabonets	30
Figure 22 Revégétalisation des versants entre 1952 et 2015	30
Figure 23 Lit en step-pool du torrent des Fours (PK 0.5)	31
Figure 24 Glissements en rive droite du torrent de cœur apparus entre 2012 et 2015 (sur fond ortho 2015).....	31
Figure 25 Torrent de cœur peu avant sa confluence avec le torrent de Fours (PK Sallanches 6.24) ...	32

Figure 26 Détail d'un panneau pédagogique (haut), blocs erratiques verrouillant le lit au PK 2.20 (milieu et bas).....	33
Figure 27 Exemples de glissements stabilisés (revégétalisation) en amont du PK 3.0 de la Sallanche	34
Figure 28 Glissement de Levaud (janv.2018) à la faveur d'un pendage orienté vers le lit et de boisements matures. On distingue l'affleurement rocheux.	34
Figure 29 Glissements actifs aux Murtines et plus en amont (orthophotoplan 2015)	35
Figure 30 Glissement actif aux Murtines.....	35
Figure 31 Evolution du cône de déjection de la Sallanche entre le XIX ^{ème} siècle et 2015.....	36
Figure 32 Profil en long issu du Lidar 2015 sur le cône de déjection	36
Figure 33 Elargissement du lit de la Sallanche	37
Figure 34 Banquettes de sédiments déposées par la crue de mai 2015.....	37
Figure 35 Occupation du sol du bassin versant de la Sallanche.....	39
Figure 36 Stations hydrométriques sur le BV de l'Arve.....	41
Figure 37 Stations météorologiques de la Haute-Savoie	42
Figure 38 Stations météorologiques de la Savoie	43
Figure 39 Pluies glissées (Pb: mesure au pluviomètre; Pc: mesure réelle de la pluie en continu; Pa: Centrage sur 24h).....	43
Figure 40 Cumuls annuels de précipitation sur le bassin versant de l'Arve.....	47
Figure 41 Gradient hypsométrique pour la pluie journalière de période de retour 2 ans	48
Figure 42 Gradient hypsométrique pour la pluie journalière de période de retour 10 ans	49
Figure 43 Gradient hypsométrique pour la pluie journalière de période de retour 100 ans	49
Figure 44 Pluies brutes de projet sur durée Tc=100 min	51
Figure 45 Zones homogènes pour le coefficient régional Crupedix et LAMA (à gauche), ou Mathys & Peteuil (à droite).....	52
Figure 46 Température moyenne interannuelle ramenée au niveau de la mer.....	53
Figure 47 Abaque Socose pour déterminer ξ	53
Figure 48 Gradex des pluies sur le temps de base	55
Figure 49 Schéma de la structure du modèle hydrologique (icônes et traits noirs)	57
Figure 50 Hydrogrammes Q10	60
Figure 51 Hydrogrammes Q100	61
Figure 52 Orthophotoplan SM3A 2015: confluence du torrent de la Croix et de la Sallanche à l'étiage.	63
Figure 53 Ombrage du MNT LiDAR 2015.....	63
Figure 54 Exemple de variation de qualité du LiDAR (rose) par rapport au profil topo terrestre (vert)	64
Figure 55 Parking ouvert sur le lit au P 1235.....	66
Figure 56 Muret en gabion à l'aval du pont de Boccard	66
Figure 57 Distribution des coefficients de Manning-Strickler sur un profil type	68
Figure 58 Placement des sommets de berges sur le tronçon chenalisé de la Sallanche (vue depuis le pont de St-Eloi).....	69
Figure 59 Coefficients de Strickler utilisés pour le "Scénario 1"	69
Figure 60 Repère et laisses de la crue de mai 2015	70
Figure 61 Revanche entre les berges et la ligne d'énergie calculée pour le scénario de base de la Q10	71
Figure 62 Détail du profil en long au droit du repère de crue	72

Figure 63 Résultat de la Q10 au Pont de Boccard	73
Figure 64 Impact maximal de l'augmentation de la rugosité de 20% sur la Q10.....	73
Figure 65 Influence de la CL aval sur le profil en long (Q10).....	74
Figure 66 Profil en long au droit du pont de Lévaud obstrué (Q10)	75
Figure 67 Revanches et débordements entre les berges et la ligne d'énergie pour le scénario de base de la Q100	76
Figure 68 Lignes d'eau et d'énergie calculées au droit du pont du Mont-Blanc (Q100).....	77
Figure 69 Mise en charge du pont de Boccard (profil en travers et profil en long).....	78
Figure 70 Résultats de la modélisation 1 en Q100 sur le P320	78
Figure 71 Variation maximale induite par l'augmentation de Ks de 20% pour la Q100	79
Figure 72 Influence de la condition limite aval sur la ligne d'eau en Q100 (à gauche) - Profil P60 (à droite).....	80
Figure 73 Profil en long au droit du pont de Lévaud obstrué (Q100)	81
Figure 74 Profil en travers au droit de la surverse du pont.	81
Figure 75 Espace potentiel d'aménagement d'une plage de dépôt sédimentaire et de piège à flottants	84

Liste des tableaux

Tableau 1 Résultats du modèle hydrologique d'ISL sur le sous-bassin versant de la Sallanche	18
Tableau 2 Longueur et pente moyenne des principaux cours d'eau	21
Tableau 3 Méthodes de calcul du temps de concentration.....	45
Tableau 4 Pluies journalières extrêmes issues de l'analyse hydrologique d'ISL (2016).....	48
Tableau 5 Pluies journalières retenues	49
Tableau 6 Pluies de durée 100 min déterminées à partir des coefficients de Montana	50
Tableau 7 Lames d'eau précipitées sur la durée Tc=100 min retenues	50
Tableau 8 Caractéristique de la modélisation pluie-débit décennale.....	60
Tableau 9 Caractéristiques des hydrogrammes Q10	60
Tableau 10 Caractéristique de la modélisation pluie-débit centennale	61
Tableau 11 Caractéristiques des hydrogrammes Q100	61
Tableau 12 Ponts implémentés dans le modèle	64
Tableau 13 Précipitation enregistrées le 1er mai 2015.....	70

Préambule

Le syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et des affluents (SM3A) est un syndicat de rivière en charge de l'aménagement et de la gestion des cours d'eau du bassin versant de l'Arve. Sa principale mission est de mettre en œuvre la GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations), compétence créée en 2014 par la loi MAPTAM, conférant la prévention des inondations et la gestion des milieux aquatiques au bloc communal (communes et EPCI à fiscalité propre). En juin 2015, la CCPMB (Communauté de Commune Pays du Mont Blanc) a pris par anticipation la compétence GEMAPI et l'a transférée au SM3A. Le syndicat a de ce fait repris par voie d'avenant la maîtrise d'ouvrage des études et des travaux en la matière sur ce territoire.

Le SM3A se place aujourd'hui dans une démarche de gestion intégrée des masses d'eau à l'échelle du bassin versant de l'Arve, tel qu'organisé par le SAGE (Schéma d'aménagement et de Gestion des Eaux) de l'Arve. Or, il apparaît que des affluents de l'Arve tel que le torrent de la Sallanche, rattaché en 2015 à la compétence opérationnelle du syndicat, font l'objet d'un manque de connaissances.

Cette étude globale doit permettre de combler le déficit de données concernant le torrent de la Sallanche et ses affluents. Elle a pour objectifs d'apporter des éléments de compréhension sur le fonctionnement de l'ensemble de ce bassin versant, d'améliorer la connaissance du risque et donc la gestion de la crise. Pour cela, l'étude comprend une analyse et une synthèse des documents existants traitant des risques naturels ou de la gestion des eaux sur le bassin versant. Elle s'organise ensuite autour de trois thématiques fortement interdépendantes : géomorphologie, hydrologie, hydraulique.

Par ailleurs, cette étude a été réalisée dans le cadre du Travail de Fin d'Etudes (TFE) qui marque l'aboutissement d'une période de formation par apprentissage de trois ans, passée au sein du SM3A. Elle constitue le mémoire qui est présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES (Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg). Cette vocation pédagogique explique le fait que certaines méthodologies utilisées pour la production de données scientifiques ont été détaillées, et qu'une partie du travail de bibliographie effectué est retranscrit dans le rapport. On s'est néanmoins efforcé de rester aussi concis que possible et de respecter au mieux recommandations effectuées concernant la présentation et la mise en page du rapport.

1. Contexte de l'étude

1.1 Présentation du bassin versant

1.1.1. Localisation

Le bassin versant de la Sallanches se situe sur les communes de Sallanches, Cordon et Combloux, dans le département de la Haute-Savoie (74). Il capte les eaux des flancs Est du massif des Aravis sur une surface d'environ 42km², et les restituent en rive gauche de l'Arve, au droit de la plaine de Sallanches.

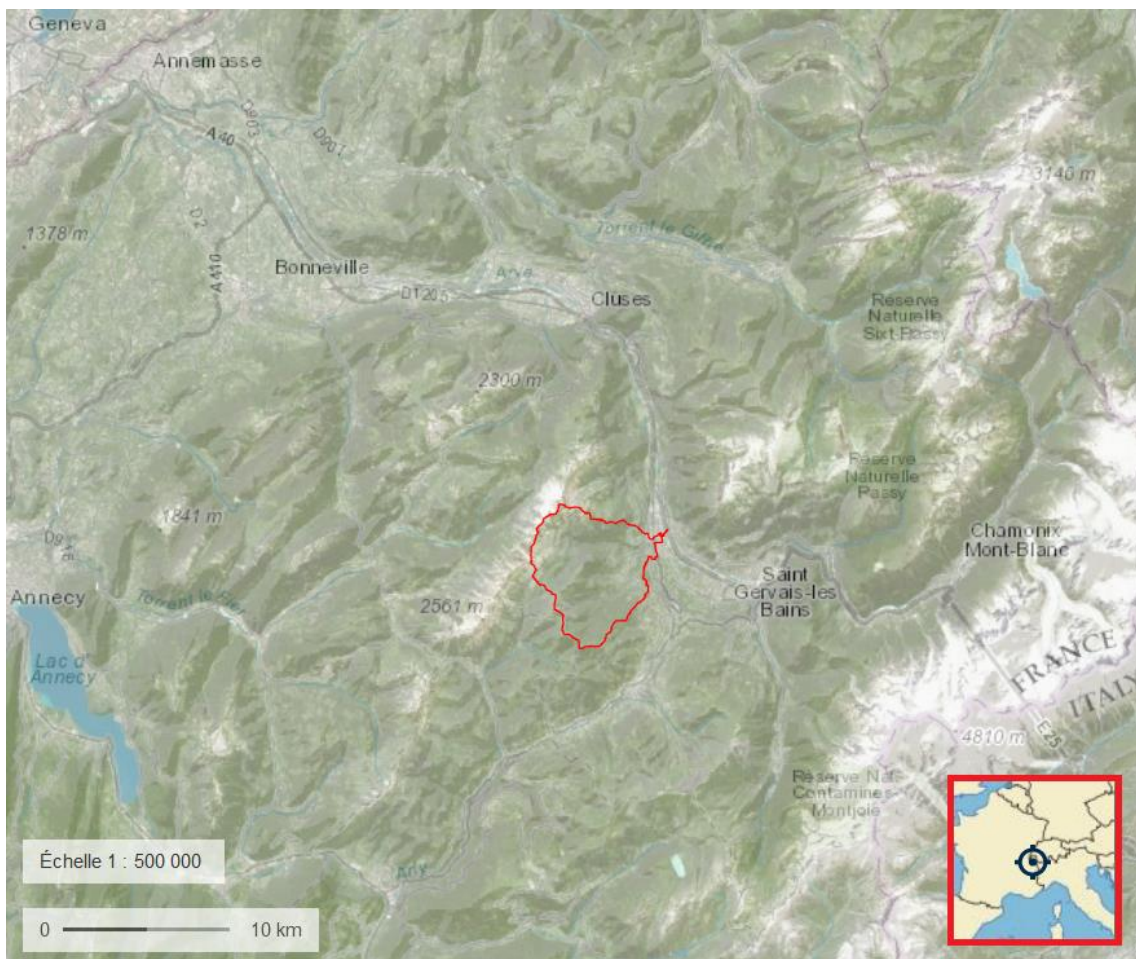


Figure 1 Localisation du bassin versant

La Pointe Percée culminant à 2750m constitue le sommet du bassin versant. Son exutoire se situe à la confluence du torrent de la Sallanche et de l'Arve à 539m d'altitude. Le bassin présente donc un dénivelé maximal de 2211 mètres.

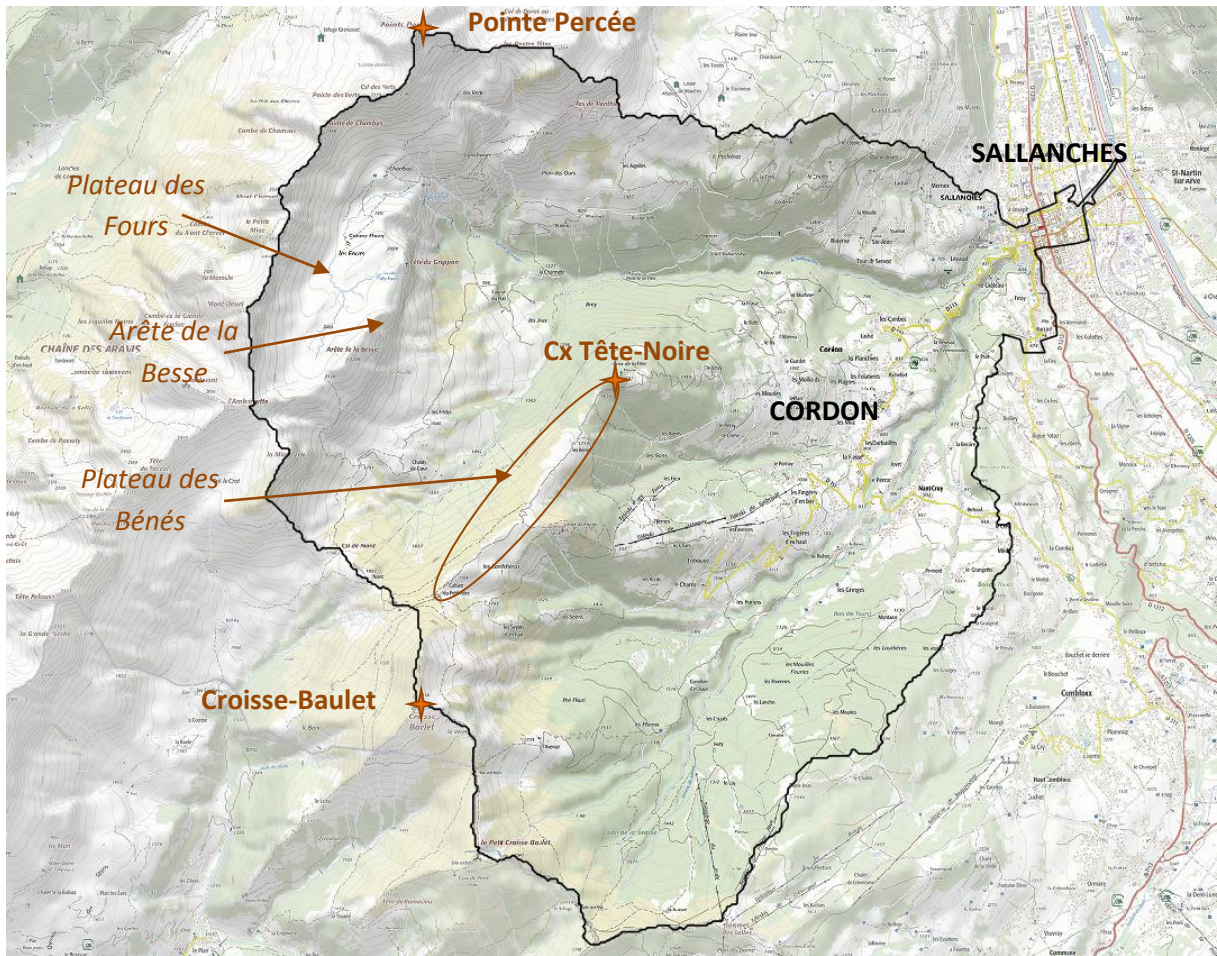
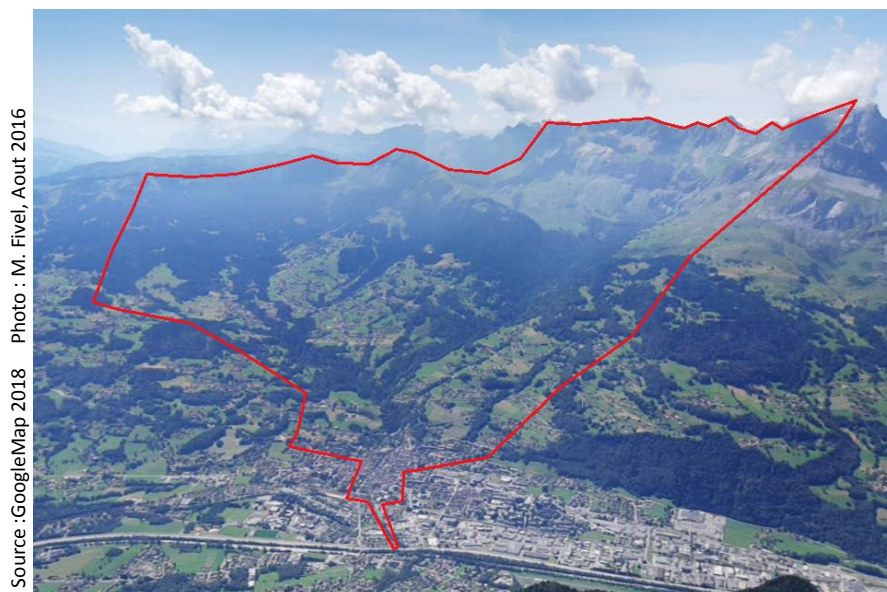


Figure 2 Périmètre du bassin versant et éléments topographiques majeurs



Source : GoogleMap 2018 Photo : M. Fivel, Aout 2016

Figure 3 Vue du bassin versant de la Sallanche depuis l'Aiguille de Varan

1.1.2. Hydrographie

1.1.2.1. Présentation générale

Les principaux cours d'eau du bassin versant sont la Sallanche et le torrent de la Croix. Ces deux cours d'eau drainent chacun un bassin versant de taille semblable (respectivement 20 km² et 21 km²), séparés par une crête s'étirant sur environ 2.5km entre la face Nord du sommet de Croisse-Baulet et la croix de la Tête-noire: le plateau des Bénés (Fig. 2, Fig.4).

L'hydronomie du bassin versant de la Sallanches est sujette à confusion du fait de la diversité des noms de cours d'eau selon les sources (cadastre, carte IGN, BD Carthage, etc.). La présente étude utilise comme référence les données cadastrales, fournies par la Régie de Gestion des Données des Pays de Savoie (RGD74). On conservera néanmoins l'orthographe locale « Sallanche » qui distingue le cours d'eau de la ville de « Sallanches ».

Le torrent de la Sallanche est formé par la confluence, à 1110m d'altitude, du torrent des Fours et du torrent de Cœur. Ce dernier est lui-même formé de la réunion de petits affluents drainant le flanc Nord-Ouest du plateau des Bénés et du torrent de la Miaz dont la source se trouve entre le sommet de la Miaz et le passage de la grande Forclaz, à environ 2100m d'altitude. Par simplification, on pourra parfois nommer « la Sallanche » l'enchaînement du torrent de la Miaz, du torrent de Cœur et de la Sallanche, que l'on considère former le thalweg principal du bassin versant avec un linéaire de plus de 10 kilomètres.

La tête de ce sous-bassin versant se caractérise par des falaises calcaires abruptes dominant des zones d'éboulis puis des alpages quand les pentes sont moins fortes (jusqu'à 30% environ). En aval du Pont de la Flée, le cours s'engage dans des gorges profondes et boisées, difficilement accessibles.

Le torrent de la Croix a pour affluent principal le torrent de Zarzillat, qui s'écoule parallèlement à ce dernier sur plus de 3km avant de confluer vers 774m d'altitude. Dans cette étude et conformément aux noms cadastraux, le torrent de la Croix constitue la branche située au Sud-Est (nommée torrent de Jorasse sur la carte IGN et ruisseau du Vernon dans la BD Carthage), marquant une limite communale entre Cordon et Sallanches, et prenant sa source sous le col de Jaillot vers 1700m. Le torrent de Zarzillat est la branche située au Nord-Ouest. Il prend sa source sous Croisse-Baulet et reçoit notamment le ruisseau du Dard en rive droite à 1300m et le ruisseau des Callabonnets en rive gauche vers 827m d'altitude.

Le torrent de la Croix draine une tête de bassin fortement végétalisée tandis que celle du torrent de Zarzillat présente quelques zones d'affleurements rocheux et de pâturages. Dans leur partie aval, les deux cours d'eau s'écoulent dans des gorges plutôt encaissées jusqu'à leur confluence avec la Sallanche.

Enfin, en aval de sa confluence avec le torrent de la Croix, la Sallanche s'écoule dans un large chenal artificialisé traversant la ville de Sallanches.

La Figure 4, présente l'hydrographie du bassin versant recensée sur le cadastre avec le nom des principaux cours d'eau.

Hydrographie du bassin versant de la Sallanche



Figure 4 Hydrographie du bassin versant de la Sallanche

1.1.2.2. Points décimétriques

Le système de repérage en usage au SM3A est le point décimétrique ou PM10. Il s'agit de couche de points espacés de 10 mètres le long du tracé d'un cours d'eau. Dans le cadre de cette étude, les principaux cours d'eau ont été retracés et les couches de points décimétriques créées. Au fil de l'étude, on fera référence à ces PM10 que l'on pourra aussi appeler PK (points kilométriques) comme points de repères. La carte suivante fait figurer les valeurs des PM10 créés avec un intervalle de 200 mètres pour plus de lisibilité.

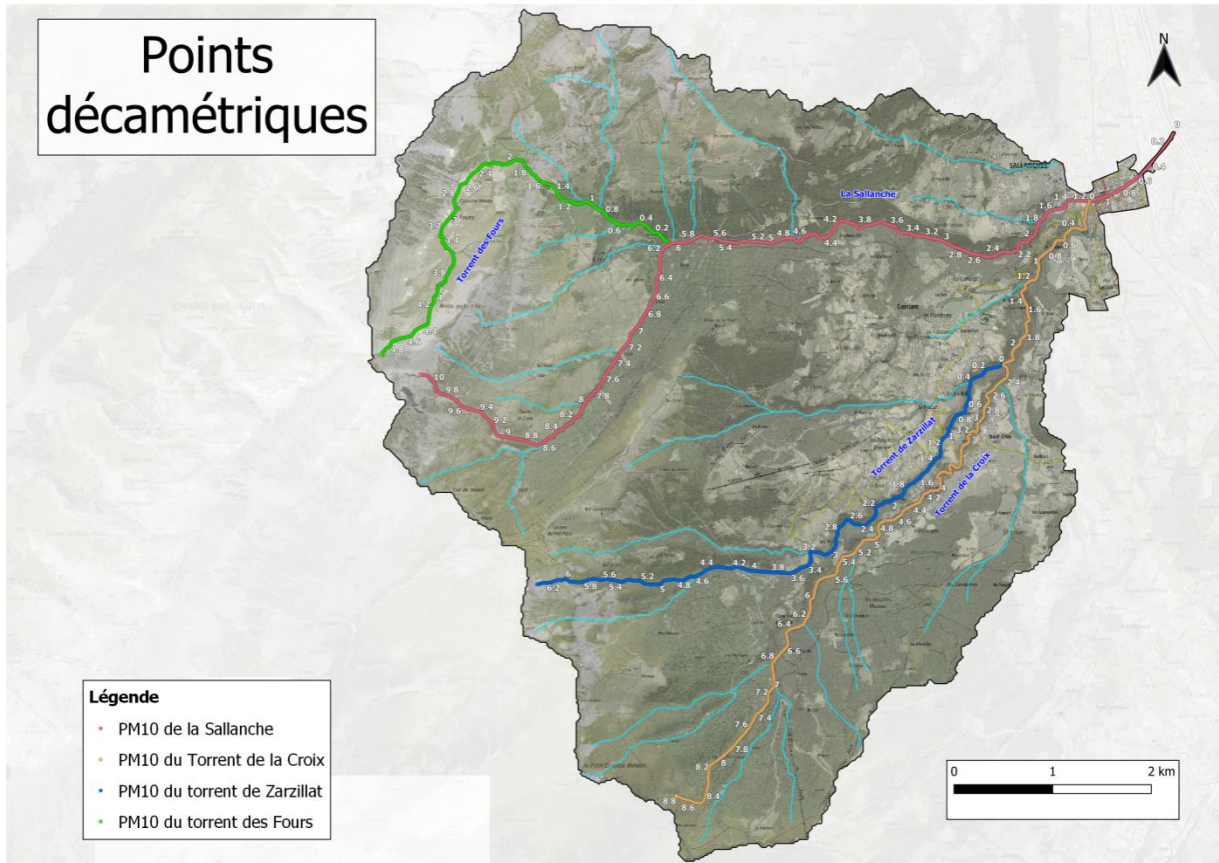


Figure 5 Points décimétriques sur la bassin versant de la Sallanche

1.1.3. Usages

Hydro-électricité

Centrale de la Frasse :

Une centrale hydro-électrique existe sur le torrent de la Croix depuis 1904. Cette dernière a été rénovée en 1960 puis en 2013. La centrale est exploitée par l'opérateur privé Barthe-ENR. La prise d'eau et la restitution sont situées sur la figure suivante.

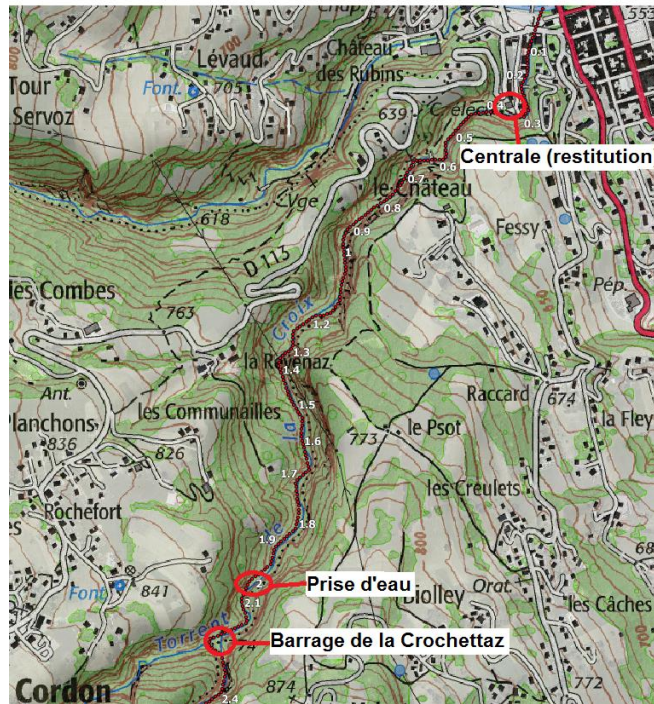


Figure 6 Localisation prise d'eau et centrale de la Frasse

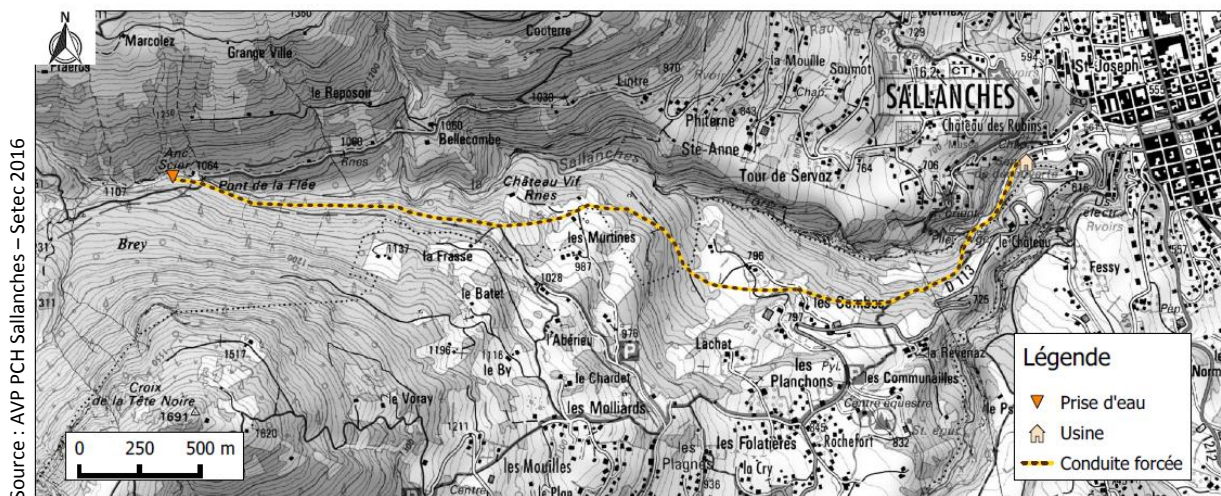
La conduite forcée descendant en rive gauche est parfois aérienne ou enterrée. D'après les informations trouvées en ligne, la centrale a une puissance de 1540 KW. Le débit réservé est de 52 l/s.

Petite centrale hydroélectrique sur la Sallanche :

Un projet de création de petite centrale hydraulique sur la Sallanche a fait l'objet d'une demande d'autorisation en 2018. Ce dernier prévoit une prise d'eau juste en amont du Pont de la Flée et une restitution en amont du parking du complexe sportif de Lévaud, en rive droite, comme indiqué sur la figure suivante :

Petite centrale hydroélectrique de la Sallanches

Tracé de la conduite forcée
Localisation de la prise d'eau et de l'usine



Source : AVP PCH Sallanches – Setec 2016

Les grandeurs caractéristiques du projet sont les suivantes :

Source : DDA - - Dossier administratif et technique – Setec 2018

Débit d'équipement total	0,6 m ³ /s
Débit moyen turbiné :	0,22 m ³ /s
Cote de seuil du barrage	1068,50 m NGF
Cote de mise en charge	1065,70 m NGF
Cote axe turbine	575,25 m NGF
Cote de restitution à la Sallanches	569 m NGF
Longueur de conduite forcée	4119 ml
Pertes de charge (Q = Q _e)	55 m
Hauteur de chute brute administrative	499,5 m (1068,50-569)
Hauteur de chute disponible	490,45 m
Hauteur de chute nette à Q _e	435,5 m
Rendement global des installations	0,80
Volume stockable :	200 m ³
Turbine	Pelton 2 jets
Puissance maximale brute	2940 kW
Puissance installée	2030 kW

Le débit réservé est au minimum 50 l/s (soit 12.5% du module calculé par Setec, le maître d'œuvre). Le projet prévoit une prise d'eau tyrolienne par le fond qui permet à l'ouvrage d'être à priori transparent par rapport au transport solide.

Eau potable

On note la présence d'au moins 9 captages d'eau potable dans le périmètre du bassin versant. Six sont des sources situées en tête du sous-bassin versant du ruisseau des Callabonnets et assurent l'alimentation du village de Cordon. Les trois autres correspondent à deux résurgences karstiques ponctuelles et une source sur Combloux.

Halieutisme

La Sallanche du pont de la Flée à sa confluence avec l'Arve est classée au titre de l'inventaire des frayères dans la « Liste 1 » (article L214-17 du code de l'environnement), arrêtée par le préfet coordinateur de bassin le 19 juillet 2013. Ce classement vise dans une logique principalement de préservation, à prévenir la dégradation de la situation actuelle, notamment concernant la qualité et la fonctionnalité de cours d'eau. En effet la Sallanche présentait un « bon état écologique » en 2015 et 2016 d'après les données de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. Il interdit tout nouvel obstacle à la continuité écologique, et impose des mesures correctrices des impacts sur la continuité écologique au fur et à mesure des renouvellements d'autorisations ou de concessions, ou à l'occasion d'opportunités particulières.

Il est néanmoins nécessaire de préciser qu'il existe des obstacles naturels impactant fortement la continuité piscicole de la Sallanche. Ainsi, la pêche sur ce cours d'eau est soutenue par l'introduction plus ou moins régulière dans le milieu de truitelles. Par ailleurs, on note que les accès difficiles au cours d'eau cantonnent la pêche essentiellement à la partie aval de la Sallanche (de la confluence avec l'Arve jusqu'au PK 2.30 environ) et à un tronçon d'une centaine de mètres à hauteur du pont de la Flée.

L'activité est supervisée par l'Association Agréée pour La Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) du Faucigny.

1.2 Analyse historique des évènements passés

La grande majorité des évènements inventoriés ici ont été recensés dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Naturels de la commune de Sallanches, par le bureau d'études Géolithe conseils, daté de juin 2015. Cette liste est complétée par les informations consignées par les équipes techniques du SM3A pour les évènements plus récents.

Date	Description de l'évènement	Source
1440	Crue de la Sallanche qui menace l'Eglise	PER
14 avril 1519	Crues de la Sallanche et de l'Arve, qui "vient ravager la plaine de Sallanches peu après l'incendie de cette ville."	Mougin
Décembre 1779	"Le torrent de la Sallanche s'est jeté totalement sur la grande route tendant dès le pont de Saint-Martin à la ville de Sallanches, et de ce dernier endroit, dans les terrains dessus"	Mougin
Automne-hiver 1810	Du fait d'un éboulement en amont de la Sallanche, ce torrent s'exhausse de 5 pieds en partie basse, causant des engravements et débordements. De nombreux débordements s'ensuivent les années suivantes (28 septembre et 31 octobre 1811, 15 mars 1815...)	Mougin
1826	Crue de la Sallanche emportant une maison près du pont Saint-Jacques, endommageant de nombreux moulins sus ses rives et coupant la route de Saint-Martin.	Archives RTM, PER
12 septembre 1828	Crue de la Sallanche, qui "sort de son lit obstrué par les dépôts de gravier et, à plusieurs reprises, inonde la ville et les propriétés."	Mougin
14 avril et 25-26 septembre 1829	Crues de la Sallanche coupant la route provinciale.	Mougin
1865	Crue de la Sallanche qui emporte les ponts de Rubin et de Levaud, endommage une scierie et submerge les digues.	Mougin
1932	Crue de la Sallanche qui emporte une chocolaterie (située vers l'actuelle fromagerie Rey Léon) et coupe la route du clos des Baz	Archives RTM
22-23 septembre 1968	La Sallanche atteint les arches du pont du Mont-Blanc. L'Arve en crue atteint environ 350m3/s au limnigraphe de Sallanches et son niveau est « 1,80m au-dessus de la normale au pont Saint-Martin ». J.F. Cantoni (ancien délégué SM3A, retraité DDE): « niveau d'eau 20 cm sous le pont Bocard. Marques peintes en rive gauche sur le mur en amont du pont (recouvert de lierre, plus visible actuellement).	Archives RTM, témoignages, M.Champault
14-15 février 1990	De très fortes pluies (sur 2 jours, 166mm à Sallanches et 288mm à Passy) sur un sol gelé causent de très nombreux ruissellements, débordements torrentiels, coulées de boues et glissement de terrain: -plusieurs maisons inondées à Sallanches, - les ruisseaux de Croix-Verte (entre Bellegarde et la Sallanche) et Bellegarde inondent le quartier Saint-Joseph - glissements de talus sur la route de Levaud, en amont et en aval	Archives RTM
16-17 aout 2003	Une lave dans la Sallanche bouche le pont amont du château des Rubins (des bois étaient descendus lors d'une crue en juillet).	Archives RTM, témoignages

13 janvier 2004	De fortes pluies (sur 2 jours, 82mm à Sallanches et 152mm à Combloux) sur un sol gelé causent de nombreux ruissellements, débordements torrentiels, coulées de boues et glissements de terrain: -embâcle sur la Sallanche et la Frasse - Bouchage de la buse du ruisseau de Bellegarde qui inonde une vingtaine de bâtiments du quartier Saint-Joseph.	Archives RTM, Commune, Dauphine Libéré 14/01/2004
23 janvier 2009	Un glissement de talus à Lévaud (50m ³ environ) coupe la route communale et fait évacuer une habitation avec quelques dégâts	Archives RTM
1-4/5/2015	Suite à une pluie continue pendant 3 jours et dans un contexte de crue généralisée sur le BV de l'Arve, le niveau d'eau de la Sallanche dans la traversée du centre-ville atteint le sommet des bancs publics situés sur la risberme (dans le chenal). Il existe une vidéo sur Youtube montrant la Sallanche en phase de décrue. https://www.youtube.com/watch?v=BP6hRP_x9Ek	Travail M. Champault (SM3A), F. Baz (SM3A), video Youtube
4 janvier 2018	-Nouveau glissement de terrain de Lévaud (en amont du pont de la voie communale n°3) : les bois tombés forment un embâcle sur la Sallanche. -Ruisseau de Bellegarde : <ul style="list-style-type: none"> ○ le bac de décantation amont est rapidement rempli suite à l'obstruction de sa vidange par des feuilles et branchages. Formation d'un petit plan d'eau. ○ l'obstruction de l'avaloir du bac de décantation aval par des sédiments et corps flottants provoque des débordements sur voirie et habitations. Une vidéo de ce débordement est disponible sur Youtube : https://www.youtube.com/watch?v=GmDvFn9ICnc -Début d'obstruction par des feuilles et branchages de l'exutoire du bac de décantation de Disonche sur le ruisseau de Croix-Verte.	Rapport d'évènements – SM3A
21 janvier 2018	Réactivation du glissement de Lévaud de 2018(env. 1200m ³) formant un embâcle sur la Sallanches, formant un petit plan d'eau de 1500 à 2000m ³ . Ce dernier est vidangé de manière maîtrisée puis l'embâcle démonté.	Rapport d'évènements – SM3A
Actif	Glissement des Murtines. L'observation des orthophotos récentes montre que ce glissement est toujours actif.	

Les éléments suivants concernent les événements recensés sur la commune de Cordon dans le Plan de Prévention des Risques Naturels, réalisé par le service RTM de l'ONF.

Date	Description de l'évènement	Source
14 septembre 1733	Forte crue de la Sallanches, inondant la plaine. A cordon, 46ha de propriétés furent endommagés par les eaux.	P. Mougin
17 septembre 1852	La Sallanches emporte les ponts et interrompt les communications avec le territoire de Cordon.	P. Mougin
Fin du XIXème siècle	Entre 1871 et 1901 (dates exactes inconnues): glissement de berges de la Sallanches à la hauteur des villages des Combes, des Murtines et de Cruy	P. Mougin
1932	Forte crue de la Sallanches, avec formation d'une lave.	PPR de Sallanches, Gpe travail PPRN 2008
Avril 1970	Réactivation du glissement de terrain en rive droite de la Sallanches, aux Murtines, concernant environ 2ha. Ce glissement se produit dans les schistes liasiques très tendres. Ce glissement avait été observé déjà une dizaine d'années auparavant.	Correspondance + note de service RTM
8 avril 1983	Coulée boueuses parties d'un talus raide d'une ancienne terrasse, s'étant arrêté en contrebas du chemin rural entre les Murtines et La Plagne, après s'être scindé en 2 branches.	Rapport RTM + Gpe travail PPRN 2008
13 janvier 2004	<ul style="list-style-type: none"> • Crue du ruisseau de Cordon en amont de l'église provoqué par la mise en charge d'un passage busé. L'eau a débordé sur la voirie puis retrouvé le lit du ruisseau plus en aval. • Débordement du ruisseau des Mouilles (RG Callabonnets) suite à une obstruction de buse par des matériaux. Les débordements ont généré des affouillements dans une propriété. • Crue du ruisseau du Perron (RD Callabonnets). Débordement au droit d'une grille, en entrée de busage (DN300), ayant entraîné un ravinement du chemin rural et une dégradation des talus aménagés (propriétés privées). Un sous-sol inondé. • Ravinement provoqué par le ruisseau des Chars (RG Zarzillat vers lieudit Favesses) descendant le long du sentier au-dessus de l'auberge "LE Refuge". Obstruction d'une grille au niveau parking. De l'eau s'est alors écoulée sur la route. • Glissement de terrain d'un volume de 3000m³ à 4000m³, à l'aval de la piste de Pirolaine (RD Callabonnets). Arrachement sur une largeur de 35m et une hauteur de 2m. • Deux glissements de talus sur la route forestière de Coulat (200 à 300m³ au total). Le premier s'est produit 150m avant le "pont de la Croix" Le second s'est produit après le lacet d'accès à Cornillon d'en Haut. (N.B. probablement aux PK 3,58 et 4,16 du torrent de Zarzillat) 	PPRn Cordon: Technicien RTM + réunion du groupe de travail du 3/11/08

2006	Débordement du ruisseau des Molliards sur la chaussée.	PPRn: Gpe travail du 3/11/08
Mai 2015	Débordement du ruisseau du Pornayau droit du lieu-dit le Pornay du Milieu (franchissement le plus amont) ayant causé des dommages à la route.	Franck Baz (SM3A)
x	Le PPRn de 2013 indique comme "phénomène actif reconnu" que le ruisseau des combes (peut-être l'affluent RD Sallanches, PK 2.75?) génère parfois des débordements mouillant les champs voisins, dans un secteur plat.	PPRn 2013: "Gpe de travail du 3/11/08"

On note une récurrence d'évènements liés à des glissements de terrains ou des coulées boueuses. Le terme de « lave » qui revient plusieurs fois (évènement d'août 2003 à Sallanches, de 1932 à Cordon) pose question au vu de la morphologie du bassin versant de la Sallanche qui ne correspond pas à un torrent produisant des laves torrentielles pouvant atteindre le cône de déjection. Néanmoins, la description des évènements de 1810, 1828 sur Sallanche laisse penser que des écoulements chargés en matériaux peuvent occasionnellement rehausser la côte du fond du lit dans la traversée de Sallanches. On note également que plusieurs débordements ont eu lieu suite à la formation d'embâcles par des bois flottants.

1.3 Synthèse des études existantes

Aucune étude spécifique aux cours d'eau du bassin versant de la Sallanche n'a été réalisée jusqu'à présent. En revanche, on retrouve des informations intéressantes dans certaines études réglementaires d'aménagement du territoire ou dans des études hydrauliques plus globales.

Les études recensées et synthétisées ici sont les suivantes :

- PPRn de Sallanches, Géolithe, 2015
- PPRn de Cordon, ONF, 2013
- Dossier de demande d'autorisation pour la création d'une petite centrale hydro-électrique sur la Sallanche :
 - Etude hydrologique, Setec, 2017
 - Etude d'impact environnemental, SAGE environnement, 2017
- Schéma directeur des eaux pluviales de Sallanches, Cabinet Montmasson, 2011
- Etude écologique des affluents de la moyenne vallée de l'Arve, FRAPNA, 2015

1.3.1. Plan de prévention des risques naturels de Sallanches

Le PPRN de Sallanches a été réalisé par le bureau d'études Géolithe en 2015.

Les plans de prévention des risques sont des études réglementaires dont la portée est définie par des textes de loi. Après une description générale de l'environnement de la commune, ils s'attachent à identifier les aléas et les enjeux puis à déterminer les risques.

Parmi les éléments de contexte, on trouve notamment une description de la géologie et l'inventaire des événements historiques, dont les éléments concernant les torrents de bassin versant de la Sallanche ont été rappelés plus haut.

Les aléas ont été déterminés sur la base d'une expertise de terrain et de l'analyse des événements historiques. Ils sont classés dans cinq catégories : avalanches, éboulements rocheux, glissements de terrain, inondations et crues torrentielles. La précision est en général de l'ordre de 10 à 25 mètres. Par ailleurs, des globalisations de l'aléa sont effectuées sur les zones présentant un enjeu faible (têtes de bassins).

L'aléa torrentiel est en général défini comme fort sur un tampon d'au moins 10 mètres de part et d'autre de l'axe des torrents et ruisseau des versants. Les inondations correspondant aux débordements sur les terrains plats ne concernent que l'Arve, dont les crues ont été étudiées dans l'étude Egis 2012 sous maîtrise d'ouvrage SM3A.

Il semble intéressant de citer ici l'expertise proposée par le bureau d'études pour la description des aléas concernant la Sallanche et ses affluents (p.35) :

"Cette zone inclut les nombreux affluents de la Sallanche (depuis le torrent de Cœur jusqu'aux petits ruisseaux qui parsèment le versant de Brey), ainsi les tout aussi nombreuses instabilités de berges ; les plus remarquables (glissements des Murtines et de la Charmette) ont été individualisées en aléa fort de glissement de terrain, les autres (souvent de type ravinement en amont, parfois de type glissement comme sous Levaud) ont été intégrées dans la zone d'aléa torrentiel. Ce torrent a une activité très intense, et les risques d'embâcles avec débâcles brutales s'ajoutent à ceux de laves torrentielles plus en amont. Cependant, la traversée de la ville semble relativement bien dimensionnée à l'échelle du risque centennal, avec des aléas limités aux berges, forts en amont vers les Rubens et le Nant Cruy [torrent de La Croix] et localement moyens en aval de la confluence des torrents. Le débordement du ruisseau n'est pas impossible et s'est produit dans le passé (crues recensées depuis 1440 jusque 1932), mais il semble au-delà du risque centennal dans l'état actuel de l'aménagement du torrent. "

Concernant le torrent de la Croix et ses affluents :

« Cette zone inclut les affluents et les instabilités de berges, le plus souvent de type ravinement ou glissement superficiel, parfois plus profond comme en amont vers la Jorasse (mouvements lents, aléa moyen de glissement). Ce torrent a une activité très intense, avec des risques d'embâcles avec débâcles brutales qui s'ajoutent à ceux de laves torrentielles plus en amont. Cependant, la traversée de la Ville semble relativement bien dimensionnée à l'échelle du risque centennal, avec des aléas limités aux berges vers le Mont Rosset. »

1.3.2. Plan de prévention des risques naturels de Cordon

Le plan de prévention des risques naturels de la commune de Cordon a été réalisé par le RTM74 en 2013.

Le document présente une contextualisation assez riche avec une description assez détaillée de la géologie, du réseau hydrographique et de l'occupation du territoire, sur laquelle la présente étude s'est appuyée.

Globalement, les aléas torrentiels et glissement de terrain sont identifiés le long des principaux cours d'eaux de la commune. Sur la tête des bassins versants des torrents de Zarzillat et de Grand-Mère ainsi que sur la face nord de l'arête des Bénés sont également identifiés les aléas de chutes de pierres et ravinements d'intensité moyenne à forte.

Il semble intéressant de citer ici les quelques expertises suivantes concernant les torrents du bassin versant.

- Concernant le ruisseau des Callabonnets :

« Sur ce tronçon, le bassin versant du ruisseau des Callabonnets atteint une superficie de 2km², représenté essentiellement par le bassin récepteur entre la Croix du Planet et la Croix de la Tête Noire, qui contribue à donner à ce cours d'eau un caractère torrentiel certain. Le torrent s'incise dans un ravin qui devient plus marqué à l'aval de Pirolaine. Les débits peuvent être importants, notamment à l'occasion d'orages estivaux, et les eaux chargées par des matériaux et flottants arrachés aux berges ou aux secteurs ravinés. Des glissements superficiels au sein de ce ravin sont observables, notamment en pied de ravin, suite à l'action affouillante des écoulements de crue. »

Il est également indiqué que les ruisseaux des Pornayset du Perron (ayant débordé en 2004), affluents des Callabonnets, sont toujours susceptibles de déborder, notamment au droit de passages busés. Cependant, les eaux retourneraient a priori rapidement dans leur lit malgré un écoulement sur voirie de *« débits de surverse restent tout à fait modestes »* pour le ruisseau du Perron.

- Concernant le torrent de Zarzillat, depuis la tête du bassin versant jusqu'à la confluence avec le ruisseau de Grand-Mère (lieudit Cornillon) et le torrent de la Croix :

« Le torrent de Zarzillat collecte l'ensemble des eaux du versant Est de Croisse Baulet, des Seytets jusqu'à l'Avenaz. Au droit de Cornillon, ce torrent draine une superficie de 2,9km². Comme pour le torrent voisin avec qui ont le confond parfois (torrent de La Croix, à la limite intercommunale), la forme du réseau hydrographique ainsi que les fortes pentes existantes nous amènent à considérer la possibilité de fortes crues de ce torrent en cas de précipitation violente (du type orage estival). Ces crues sont susceptibles de charrier des quantités importantes de matériaux et de flottants. »

- Concernant le ruisseau de Grand-Mère :

« Le torrent de Grand-Mère collecte l'ensemble des eaux du bassin des Landchérus. Au droit de la confluence avec le torrent de Zarzillat, ce torrent draine une superficie de 1,6km², pouvant générer des débits de l'ordre de 5m³/s lors des plus fortes crues. Son bassin versant, en forme d'entonnoir, concentre les écoulements de crues et d'avalanche. Du fait des ravinements existants en tête de bassin, ce torrent se caractérise par un charriage assez important lors de crues orageuses. La présence de bois morts (notamment emportés dans le lit par les avalanches) peut également être source d'embâcles. »

Pour ces trois cours d'eau (Zarzillat, Croix et Grand-Mère), les précisions suivantes sont apportées :

« Toutefois, le profond encaissement [du] lit au sein du substratum schisteux concentre les écoulements de crue dans un lit bien marqué et dont le profil en long est relativement stable. Par ailleurs, les berges peuvent glisser par suite d'affouillements en crue »

1.3.3. DDA Petite Centrale Hydraulique sur la Sallanche

Le projet de petite centrale hydraulique sur la Sallanche évoqué précédemment (cf. 1.1.3. Usages) a fait l'objet d'une demande d'autorisation auprès des services de l'Etat. Le SM3A s'est été consulté sur ce dossier qui comprend notamment une étude hydrologique et une étude d'impact environnemental (EIE).

L'étude hydrologique porte sur le bassin versant de la Sallanche avec comme exutoire la future prise d'eau, située dans le projet à l'aval direct du pont de la Flée. Elle se base en grande partie sur une transposition des débits mesurés sur le bassin versant voisin du Borne à celui de la Sallanche. Au niveau du pont de la Flée, les débits moyens mensuels s'étalent de 0.21 m³/s (Aout) à 0.80 m³/s (Avril).

Les débits de crue retenus sont les suivants :

	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
Prise d'eau (Pont de la Flée)	12	32
Usine (amont confluence avec le torrent de Croix)	16	43

Dans le cadre de l'EIE, une campagne de prélèvement a été menée et qualifiée de « bonne » la qualité physique de l'eau au droit de la zone de projet. La qualité hydro-biologique jugée bonne à très bonne a été déterminée sur la base de prélèvement d'invertébrés aquatiques (IBGN) avec néanmoins une forte sensibilité à la qualité de l'habitat aquatique sur la partie amont présentant une forte pente. Les inventaires piscicoles relèvent la présence de truites introduites par l'AAPPMA sur l'ensemble du cours d'eau et de chabot dans la traversée de Sallanches.

La technique utilisée pour la prise d'eau (par le fond) est censée rendre le futur ouvrage transparent vis-à-vis du transport solide. La modification de l'hydrologie est jugée peu impactante sur la qualité hydro-biologique du fait de la stabilisation des débits et de l'augmentation du débit réservé sur 83% du linéaire court-circuité par des apports de nombreux petits affluents. Les impacts identifiés concernent la gestion du dessableur avec un risque de colmatage du milieu et les perturbations occasionnées sur la durée des travaux.

1.3.4. Schéma directeur des eaux pluviales de la commune de Sallanches

Cette étude réglementaire a été réalisée en 2011 par le Cabinet Montmasson.

Elle établit un diagnostic avec modélisation du réseau d'évacuation des eaux de pluies. Pour cela, des bassins versants urbains ont été déterminés, sur la base de plans du réseau d'eaux pluviales et

d'observations de terrain. Il est pertinent de les considérer dans cette étude car les eaux pluviales sont rejetées directement dans le cours d'eau après avoir transité dans le réseau.

Par ailleurs, les débits de crue de période de retour décennale et centennale des bassins versants naturels des cours d'eau sont estimés par les méthodes rationnelle et du Gradex.

Source : Montmasson, 2011

Données	surface ha	altitude culminante	altitude mini	dénivelé km	longueur hydraulique km	pente moyenne	Q10		Q100	
							m³/s	l/s/ha	m³/s	l/s/ha
Bassins Versants										
BV1 dière	1158	2750	520	2,23	6,3	0,35	12,4	11	20,1	17
BV5 rosay	960	2364	525	1,839	3,3	0,56	10,7	11	17,3	18,1
BV8 sallanche	2200	2750	550	2,2	8,4	0,26	20,8	9,4	34	15,4
BV9 la frasse	2115	2286	550	1,736	8,1	0,21	20,1	9,5	32,8	15,5
BV10 biallièrè	1210	1757	542	1,215	9,7	0,13	12,9	10,6	20,9	17,2
BV12 centre ville	94	540	520	0,02	2,5	0,01	1,7	18	2,8	29

Figure 7 Estimation des débits de crues des bassins versants naturels de la Sallanche et du torrent de la Croix (la Frasse)

L'étude indique également que le ruisseau de Bellegarde qui est topographiquement hors du bassin-versant de la Sallanche est artificiellement dérivé vers celle-ci. Ce petit cours d'eau draine un bassin d'environ 1.3 km² (soit 130 ha). Il est dérivé par le biais d'un collecteur de diamètre nominal 1 mètre (DN1000). Le rejet s'effectue juste en aval du pont entre la place Saint-Jacques et la place du Pré de foire. Le collecteur est équipé d'un système de surverse qui renvoie les eaux vers un collecteur situé sous la route de Rosay dont l'exutoire est situé sur l'Arve. Ni le dimensionnement de l'ouvrage, ni le débit de début de surverse ne sont connus. L'auteur note tout de même :

« Le débit décennal du ruisseau de Bellegarde est estimé à 7 m³/s. il peut transiter largement dans un DN1000 avec une pente de 15% (capacité admissible d'un DN1000 à 15% = 10 m³/s). Le débit centennal de référence [N.B. : du bassin versant urbain adjacent (lieudits Rubins et Sallanches Ouest, BV14 dans le SDEP), estimé à 1.3m³/s] est, lui, estimé à moins de 2 m³/s. Même la très faible probabilité de cumul des 2 débits serait compatible avec la capacité admissible de la conduite. »

On note cependant que le débit décennal de Bellegarde est très largement surestimé (68 l/s/ha) et que la capacité du DN1000 mentionné est toute théorique puisqu'elle correspond à des vitesses de l'ordre de 13 m/s ce qui ruinerait probablement rapidement l'ouvrage.



rejet du DN250 (sous le pont) et rejet du DN1000 (à droite)

Figure 8 Restitution du ruisseau de Bellegarde dans la Sallanche

Source : SDEP Sallanches, Cabinet Montmasson 2011

1.3.5. Plan de gestion de la végétation des berges et des bois morts – torrents des communes de Cordon et Sallanches

Ce document a été établi par l'ONF (agence départementale de Haute-Savoie) en 2009. La méthodologie adoptée consiste à établir un diagnostic du fonctionnement et de l'état des cours d'eau, la définition d'objectifs de gestion et l'établissement d'un programme d'actions comprenant des actions de restauration et des opérations d'entretien.

Le diagnostic comprend une description de l'environnement des usages naturels, sociaux et économiques liés aux cours. Une rapide description de chaque cours d'eau du périmètre de l'étude est également effectuée. Ces cours d'eau ont été parcourus à pied (sauf quelques zones trop escarpées). Des fiches descriptives des enjeux, de la morphologie du cours d'eau, du lit mineur et des boisements et comportant les préconisations de travaux d'entretien ou de gestion ont été réalisées sur des tronçons de cours d'eau définis en fonction de points de repère précis (ponts, confluence) ou de modifications de faciès d'écoulement marquées.

Les cours d'eau du bassin versant de la Sallanche concernés par cette étude sont les suivants : la Sallanche y compris le torrent de Cœur, le torrent des Fours, le torrent de Zarzillat (nommé torrent de la Croix dans le document) et son affluent le ruisseau du Dard, le ruisseau des Callabonnets et son affluent le nant des Sions, le nant Béné, le ruisseau de Bellegarde, le torrent de la Croix (nommé torrent de la Jorasse dans le document) ainsi que ses contributeurs en tête de bassin-versant : ruisseau de l'Avenaz, ruisseau de Clavenaz, torrent de Jorasse, torrent de Porrez.

La localisation de ces cours d'eau est fournie en **ANNEXE 1 – Cours d'eau concernés par le plan de gestion de la végétation de berges et des bois morts de Cordon et Sallanches** de la présente étude.

Par ailleurs, le plan de gestion comprend une série de cartes qui localisent précisément les zones d'intervention identifiées.

1.3.6. Etude écologique des affluents de la moyenne vallée de l'Arve, FRAPNA 2013

Cette étude établit un diagnostic écologique des cours d'eau de trois bassins versants : l'Ugine, la Bialle et la Sallanche.

Sur la Sallanche, le diagnostic aborde notamment les usages, les habitats rivulaires, les espèces patrimoniales ou envahissantes, la continuité écologique (trames verte et bleue), l'éco-morphologie du cours d'eau et la qualité hydrobiologique et physico-chimique des eaux. Certaines des données ont été collectées par un travail de terrain réalisé de mars à juillet 2012.

La conclusion relève que la Sallanche reste assez naturelle sur une grande partie de son linéaire du fait d'un encaissement qui n'est pas favorable à son aménagement. Des espaces d'intérêt patrimonial sont identifiés avec la présence du site Natura 2000 des Aravis (bassins versants des

Fours et du Brayon) et de ZNIEFF¹ sur une grande partie du bassin versant. En revanche à l'aval du bassin, la Sallanche depuis la confluence avec le torrent de la Croix et ce dernier depuis la centrale de la Frasse sont très artificialisés et présentent une quasi-absence de ripisylve et une faible diversité d'habitats rivulaires et aquatiques. Concernant la trame bleue, il est constaté que la présence de nombreux obstacles naturels doit faire relativiser le rétablissement de la continuité des ouvrages artificiels. Le rapport pointe en revanche un potentiel d'amélioration de la trame verte (circulation de la faune terrestre) sur la partie urbanisée et la tête de bassin du torrent de la Croix.

1.3.7. Etudes globales

Des études à l'échelle du bassin versant de l'Arve intègrent le sous-bassin versant de la Sallanche quoique les informations spécifiques à ce dernier soient bien souvent sommaires. On peut tout de même citer, entre autres :

- « *Etude de faisabilité pour l'optimisation des aménagements de protections des crues de la moyenne et basse vallée de l'Arve* » et notamment la phase A2 « *Hydrologie globale du bassin versant* » - ISL, 2016

Cette étude présente notamment un ajustement statistique réalisé sur les précipitations maximales enregistrées sur 16 stations pluviométriques du bassin versant de l'Arve. Il permet la déduction de pluies de périodes de retour décennale et centennale. Par ailleurs, le modèle intègre le sous-bassin versant de la Sallanche pour lequel des hydrogrammes sont calculés. Les débits de pointe correspondant sont les suivants :

Période de retour d'une crue de l'Arve	Débit de pointe de la Sallanche (m3/s)
10	44
20	51
50	59
100	65

Tableau 1 Résultats du modèle hydrologique d'ISL sur le sous-bassin versant de la Sallanche

- Les nombreuses études complémentaires réalisées dans le cadre de l'élaboration du SAGE de l'Arve.

¹ Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique. Secteur inventorié pour son intérêt remarquable sur le plan écologique mais ne faisant pas l'objet de protection réglementaire.

2. Caractérisation physique du bassin versant

2.1. Délimitation du bassin versant

Le bassin et ses sous-bassins versants ont été déterminés d'après l'analyse du Modèle Numérique de Terrain (MNT) départemental, mis à disposition par la Régie de Gestion des Données des Pays de Savoie (RGD74). Il présente une résolution de 20 mètres et la précision suivante (erreur moyenne quadratique) :

- Zones à proximité des données du fond de plan de voirie (cf. routes) : 50 cm
- Zones de plaines : 1.1 m
- Zones de moyenne montagne : 2-3 m
- Zones de haute montagne : 3-4 m

Sur la zone de plaine fortement urbanisée, une correction manuelle a été établie sur la base des informations issues du Schéma Directeur des Eaux Pluviales (SDEP) de Sallanches. Outre des ajustements à la marge en bordure directe de la Sallanche, les surfaces captées par le réseau de pluvial, ajoutées au bassin versant naturel sont :

- Le bassin versant du ruisseau de Bellegarde (1.3 km² soit 103ha).
- La zone urbanisée aux lieux dits du Bosson et de Mont-Rosset (soit environ 21 ha), dont les eaux sont rejetées en rive droite, à proximité de la confluence de la Sallanche et du torrent de Croix.

Les bassins versants obtenus sont visibles sur la *Figure 2* Périmètre du bassin versant et éléments topographiques majeurs.

2.2. Analyse des paramètres morphométriques du bassin versant

2.2.1.1. Profils en long

Les profils en long des principaux cours d'eau du bassin versant ont été tracés à partir du MNT départemental. Cette donnée présente une résolution plutôt faible (20m) par rapport à la largeur du cours d'eau. De plus, on a pu constater sur le terrain que ces cours d'eau (Sallanche, torrent de Croix, Zarzillat...) sont fortement encaissés et boisés. D'une part, la donnée du MNT peut ainsi ne pas être représentative de la cote du lit du cours d'eau. D'autre part, le tracé des polygones utilisées pour l'interpolation, déterminé sur fond de carte IGN (SCAN25) et de l'orthophotoplan de 2015, peut être entaché d'une erreur. Il convient donc d'être prudent pour l'analyse des profils en longs présentés plus bas qui doit être effectuée à une échelle assez large.

L'aval de la Sallanche et du torrent de la Croix sont couverts par le LiDAR 2015. Cela nous a permis de tracer un profil en long à part, plus précis, pour ces tronçons qui correspondent au cône de déjection du bassin. Pour une meilleure lisibilité, ce profil sera présenté avec la description de cette zone fonctionnelle (3.3.3. *Cône de déjection*). Des levés topographiques terrestres ont par ailleurs été effectués en complément en 2017, sur ce même secteur. Les profils en long qui en résultent seront traités dans la partie 5. *Analyse hydraulique*.

Sur les figures suivantes, le profil en noir correspond aux points interpolés automatiquement sur le MNT. En rose la simplification du profil a permis de définir une pente sur des tronçons homogènes et de calculer une pente moyenne pondérée du cours d'eau. Les affluents sont représentés avec un trait rouge lorsqu'ils confluent en rive gauche ou bleu si c'est en rive droite. Les ponts apparaissent en gris.

Torrent de la Sallanche :

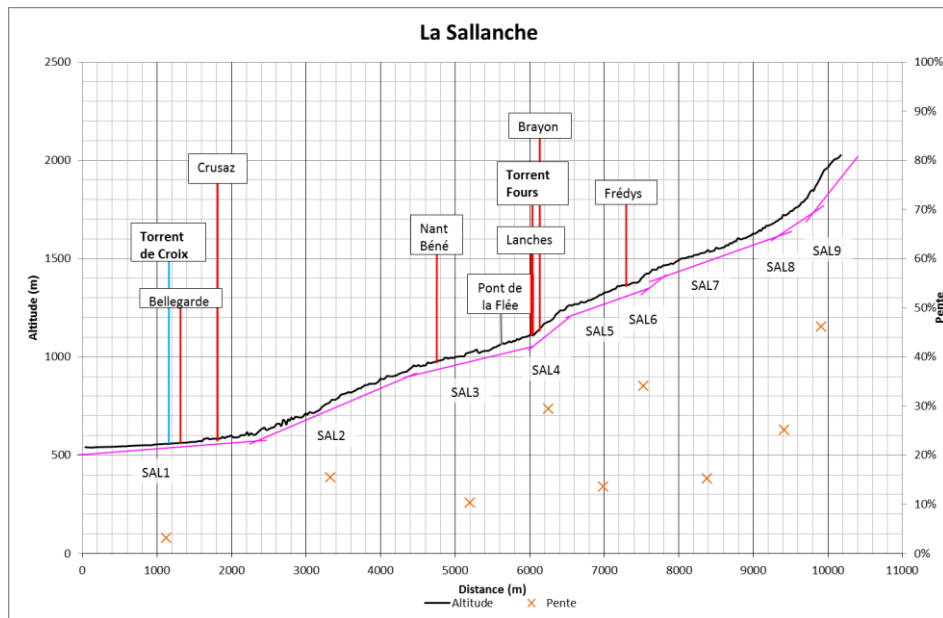


Figure 9 Profil en long de la Sallanche

De nombreux petits affluents, notamment au niveau du tronçon SAL3 ne sont pas représentés. On remarque qu'en dehors du tronçon aval qui correspond plus ou moins à la traversée urbaine de Sallanches, le chenal présente une forte pente (>10%).

Torrent de la Croix (Branche Jorasse) :

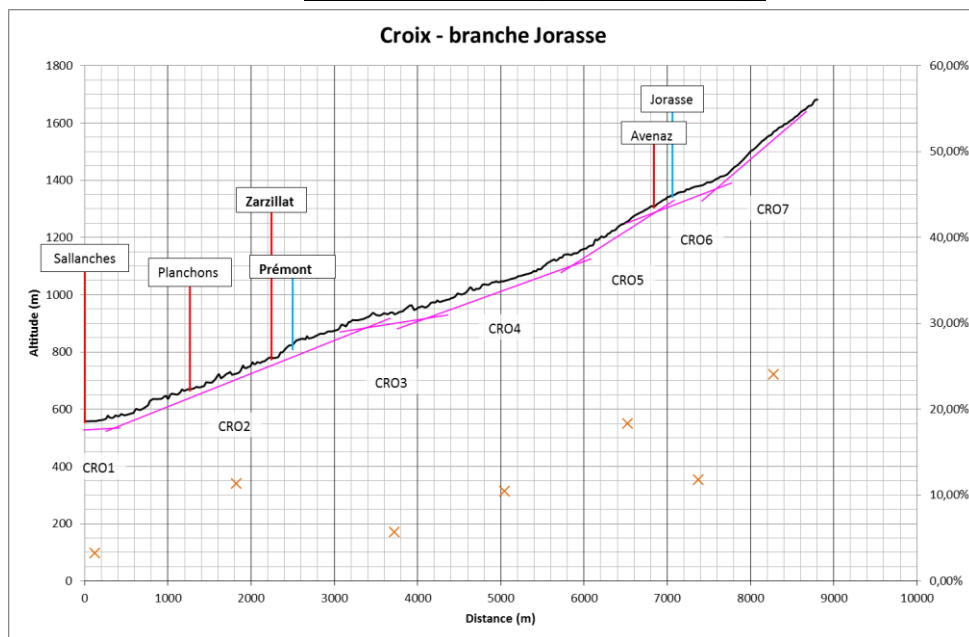


Figure 10 Profil en long du torrent de la Croix (branche Jorasse)

Torrent de la Croix (Branche Zarzillat) :

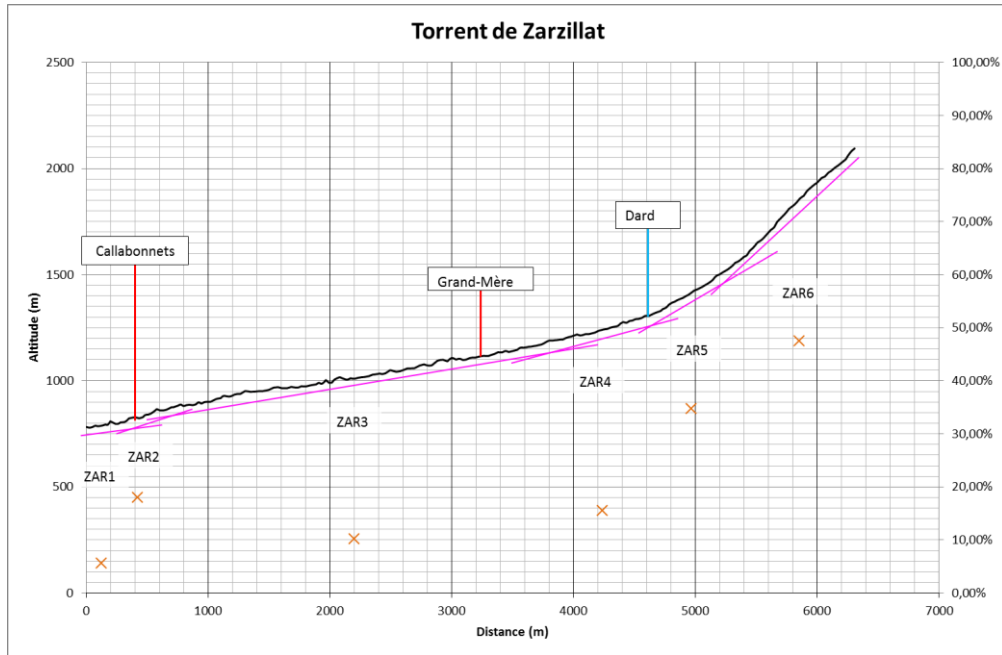


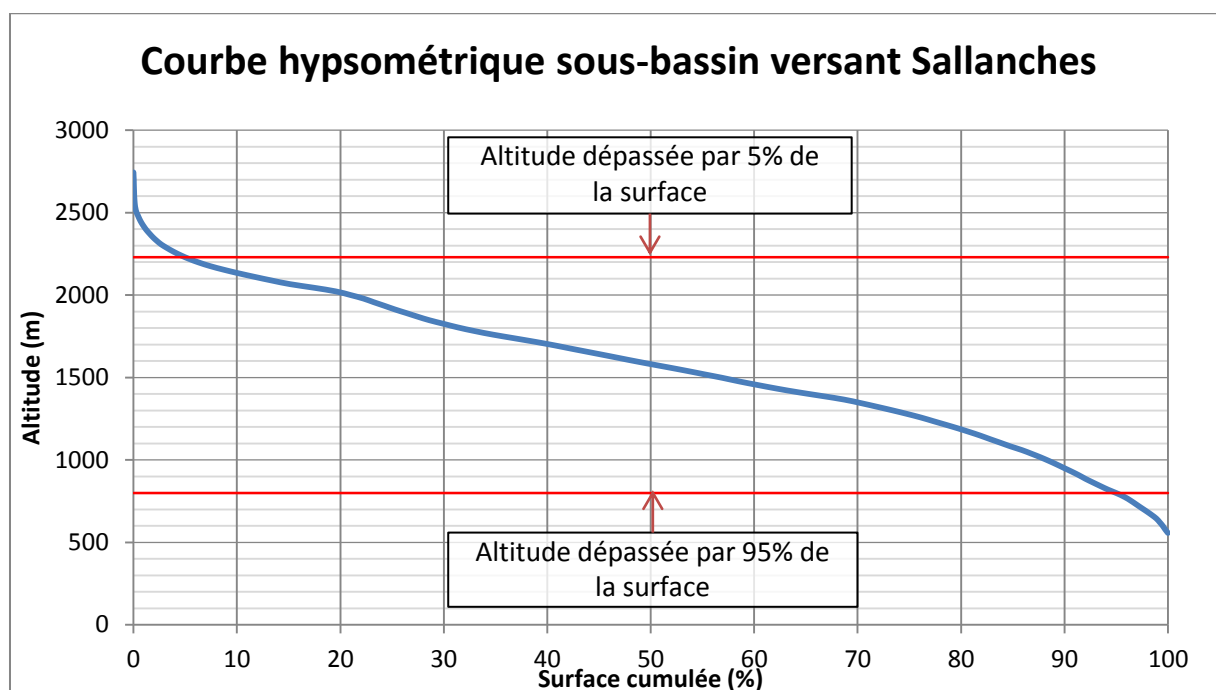
Figure 11 Profil en long du torrent de Zarzillat

Linéaire	Linéaire cumulé (m)	Pente moyenne pondérée
Sallanche jusqu'à sa confluence avec l'Arve (Miaz+Cœur+Sallanche)	10170	14,9 %
Sallanche (amont de la confluence avec le torrent de Croix)	9020	16,4 %
Torrent de la Croix (branche Jorasse)	8800	12,8 %
Torrent de la Croix (branche Zarzillat)	8860	17,3%
Torrent de Zarzillat (amont de la confluence avec torrent de la Croix)	6460	20,3 %

Tableau 2 Longueur et pente moyenne des principaux cours d'eau

2.2.1.2. Courbes hypsométriques

Des courbes hypsométriques ont été déterminées sur chaque sous bassin-versant à l'aide d'un traitement SIG du MNT départemental. Elles représentent la répartition de la surface du bassin versant en fonction de l'altitude. Cette courbe en elle-même fournit une information pertinente. Elle permet par exemple d'évaluer l'impact de la variation de la limite pluie-neige sur la surface contributive au ruissellement et donne une indication sur le régime hydrologique du cours d'eau. Par ailleurs, la courbe hypsométrique est utilisée pour déterminer des paramètres tels que l'altitude moyenne, médiane, dépassée par 5% ou 95% de la surface du bassin versant. Ces paramètres seront utilisés par la suite pour l'utilisation de formules empiriques dans le cadre de la caractérisation hydrologique des bassins versants, notamment l'évaluation du temps de concentration et la transformation pluie-débit. La courbe hypsométrique de bassin-versant complet de la Sallanche figure ci-après à titre d'exemple :



Les courbes hypsométriques des autres sous-bassins versants sont données en *ANNEXE 2 – Courbes hypsométriques des sous-bassins versants de la Sallanche.*

2.2.1.3. Pentes

Le traitement SIG du MNT a permis de créer une carte des pentes du bassin versant, présentée dans la figure suivante :

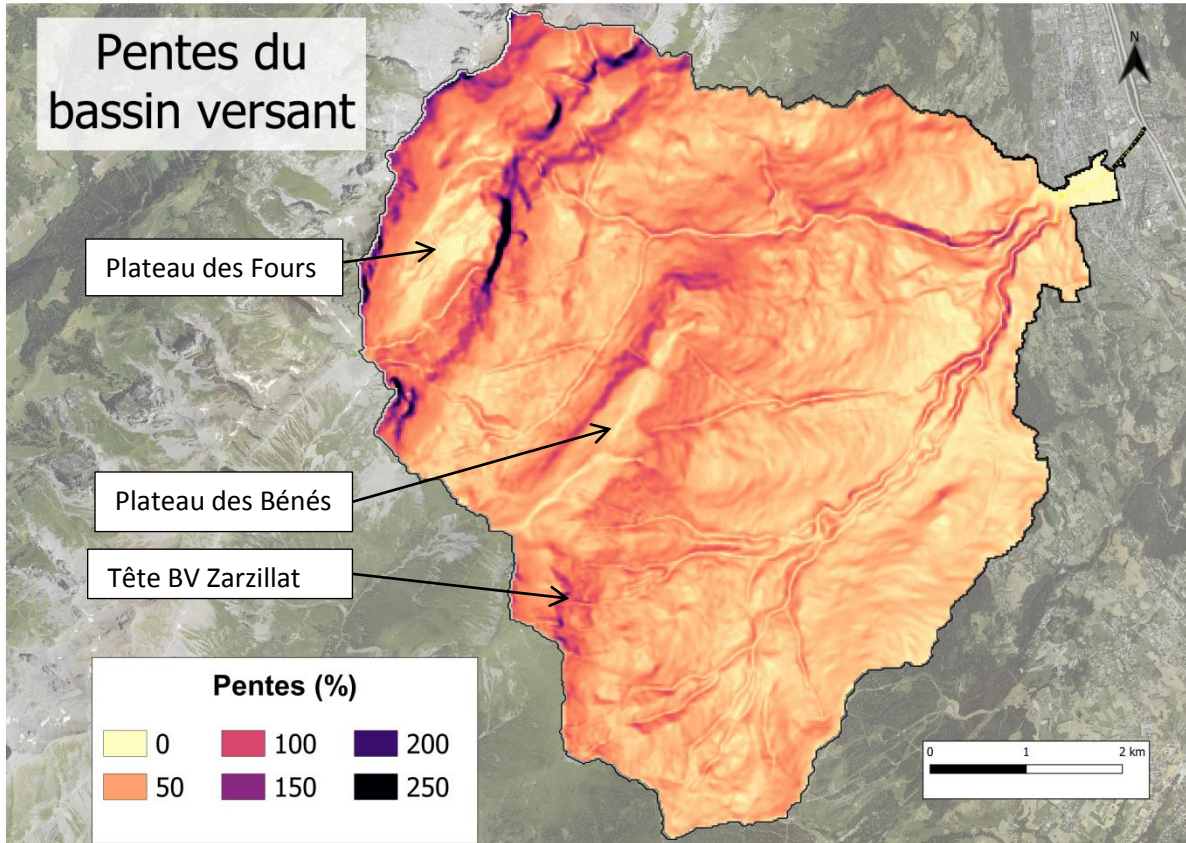


Figure 12 Pentes du bassin versant de la Sallanches issues de l'analyse du MNT fourni par le RGD74

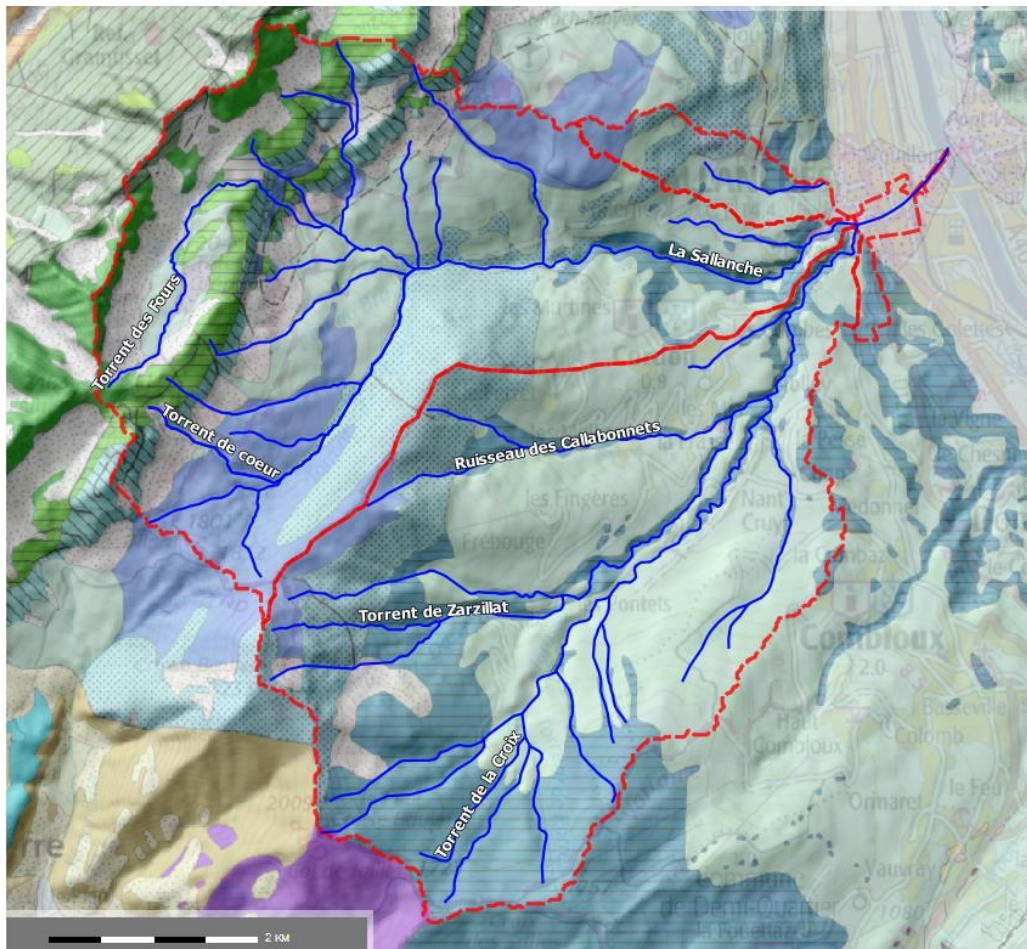
Cette carte permet de mettre en évidence l'encaissement des principaux cours d'eau du bassin versant, notamment les zones de gorges situées sur leurs parties aval. On remarque également bien le plateau que traverse le torrent des Fours et en aval les falaises qui le séparent du torrent de Cœur. On note également de fortes pentes sur le versant Nord-Ouest du plateau des Bénés (rive droite du torrent de Cœur) et sur la tête de bassin-versant du torrent de Zarzillat.

La pente moyenne du bassin versant est de l'ordre de 45%.

3. Analyse hydromorphologique

3.1. Géologie

La configuration géologique du bassin versant est un élément essentiel du fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin versant. Une représentation simplifiée est proposée sur la figure suivante.



Source : BRGM (InfoTerre, 2018)

Légende


	Moraines du glacier de l'Arve (Würm)		Eboulis de gravité actifs, éboulis vifs
	Terres Noires (Bathonien-Oxfordien)		Tithonique (Oxfordien sup-Berriasien inf.)
	Dogger calcaire (Bajocien)		Marno-calcaires slumpés (Berriasien inf. à moyen)
	Schistes à nodules (Toarcien-Bajocien basal)		Calcaires siliceux (Hauterivien-Barrémien)

Figure 13 Géologie du bassin versant de la Sallanche

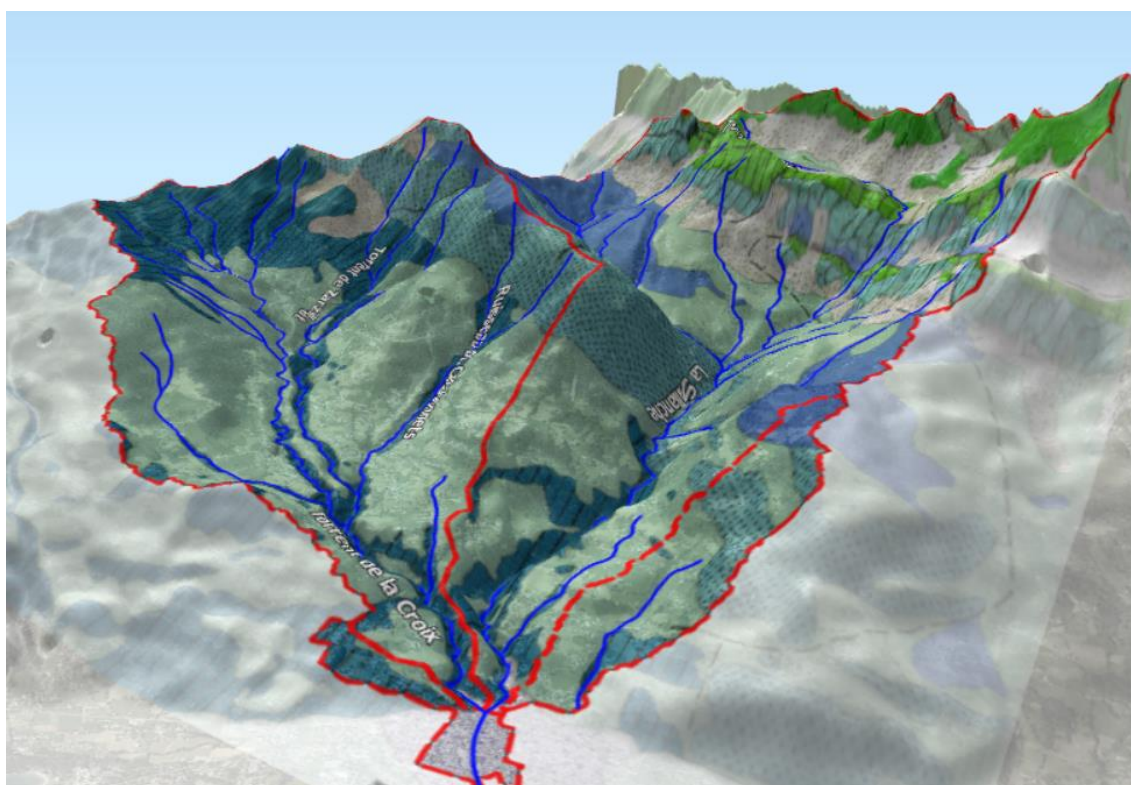


Figure 14: Géologie du BV de la Sallanche: vue en relief

De manière très simplifiée, la géologie présente un basculement des couches sédimentaires qui conduit à trouver successivement selon un axe SE-NW les couches les plus anciennes du Jurassique (Bajocien, Terres noires, Tithonique) puis les plus récentes du Crétacé (Berriasien). Ces strates anciennes sont recouvertes par de larges placages d'alluvions glaciaires ou d'éboulis quaternaires.

D'un point de vue de la morphologie du torrent et de ses apports solides, les substrats géologiques peuvent être classés dans 3 catégories :

- Les calcaires et marno-calcaires plutôt durs (Tithonique, marno-calcaires slumpés) qui sont susceptibles de produire des matériaux par éboulements rocheux.
- Les couches schisteuses et comportant des argiles et des marnes plus tendres (Terres Noires, Schistes à nodules et dans une moindre mesure, Dogger calcaire) plus sensibles aux glissements de masse.
- Les recouvrements plus récents (moraines glaciaires ayant apportées de nombreux blocs erratiques, éboulis).

3.2. Zones fonctionnelles

L'étude du profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant a permis pour chacun de déterminer une pente moyenne qui se situe généralement entre 10% et 20%. On a donc bien affaire à des torrents selon la définition proposée par Alexandre Surell (Surell, 1841) qui propose de faire démarrer le domaine torrentiel quand la pente excède 1% et distingue le torrent de la rivière torrentiel à partir de 6% (Liébault, 2013).

Le système hydro-sédimentaire torrentiel est généralement représenté de manière schématique, en distinguant trois zones fonctionnelles :

- **le bassin de réception** : situé à la tête du bassin versant, il constitue une zone de production de matériaux solides et concentre le ruissellement des eaux. Si le drainage est suffisant, les matériaux s'accumulent alors en tête de bassin formant des stocks qui sont évacués brutalement lors des épisodes de crues ;
- **les chenaux d'écoulements** : il s'agit des zones de transfert rapide des matériaux vers l'aval. Le chenal présente souvent une forte pente et un encaissement plus ou moins marqué. Les versants peuvent contribuer localement à la recharge sédimentaire du torrent. Ces zones peuvent jouer un rôle de régulation avec des phénomènes de dépôts et de reprises de matériaux ;
- **le cône de déjection** : cette zone de dépôt se forme lorsque le torrent débouche sur les pentes plus douces de la vallée principale ; elle est associée à une granulométrie des matériaux plus fine. Elle se caractérise par une divagation du cours d'eau qui à la suite de dépôts successifs lui donne sa forme de cône.

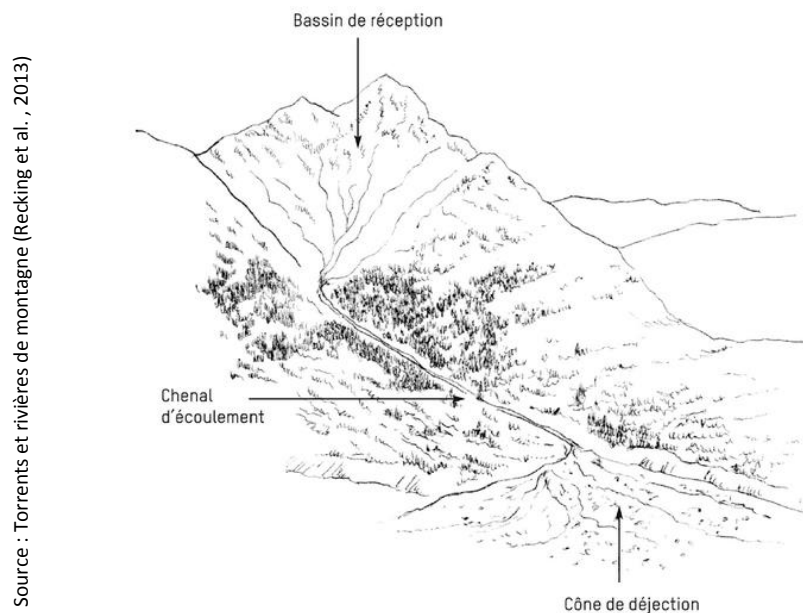


Figure 15 Décomposition schématique d'un bassin versant torrentiel (dessin N. Sardat)

Dans le cas du bassin versant de la Sallanche, le fonctionnement sédimentaire ne correspond pas tout à fait à ce schéma mais la structuration morphologique du lit s'en approche. Les figures suivantes représentent une proposition d'identification des zones fonctionnelles précédemment citées.

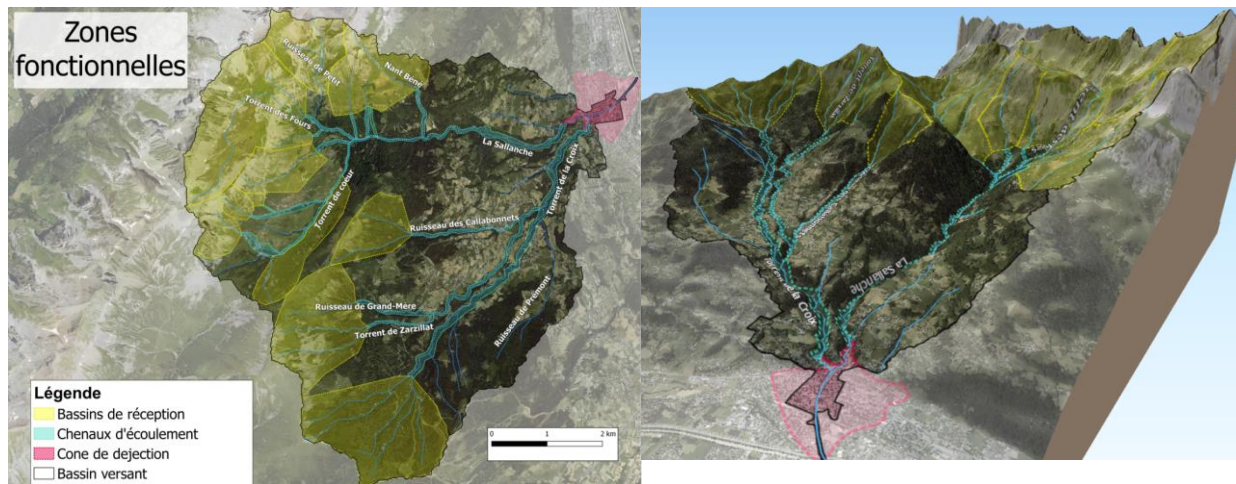


Figure 16 Zones fonctionnelles du transport solide sur le BV de la Sallanche

3.3. Analyse par zone fonctionnelle

3.3.1. Bassins de réception

Le bassin versant de la Sallanche présente une configuration particulière. Il se compose en effet de deux sous-bassins versants de taille très similaires (environ 20km²) et dont les cours d'eau principaux, la Sallanche et le torrent de la Croix, confluent tout juste 1km avant la confluence avec l'Arve, proche de l'apex du cône de déjection. À la confluence entre ces deux torrents, 96% du bassin versant total est drainé. Il est donc pertinent d'étudier distinctement leurs morphologies, en particuliers les bassins de réception, car les chenaux d'écoulement sont en fait assez similaires dans leur structure.

Sous-bassin versant de la Sallanche :

Ce sous-bassin se divise lui-même en deux branches avec le torrent des Fours et en contrebas le torrent de Cœur.

Dans la partie la plus haute du bassin versant située à l'ouest, le torrent des Fours s'écoule au creux d'un plateau formé par des éboulis provenant des sommets des Aravis (mont Fleuri, mont Charvet) et des crêtes de sa rive droite (Arête de la Besse). On retrouve une structure similaire aux niveaux supérieurs de la rive gauche du torrent de Cœur. Il s'agit de calcaires plutôt durs susceptibles de produire des matériaux par chutes de blocs ou effondrement en masse. On retrouve cependant peu de sédiments ayant cette origine dans le lit de la Sallanche. On peut avancer deux explications différentes selon que l'on considère le torrent des Fours ou le torrent de Cœur.

Concernant la branche du torrent des Fours, le stock de matériaux est bien présent mais la pente du cours d'eau, de l'ordre de 7% à 8%, ne permet pas de les charrier efficacement vers l'aval. Le plateau des Fours est donc une véritable zone de régulation qui retient une grande partie des apports amont. Les profils en long comparés de la Sallanche (branche torrent de Cœur) et du torrent des Fours montrent bien la discontinuité de la pente de ce dernier (Fig. 17). En aval de la cascade des Fours, le torrent est tout de même modérément alimenté en matériaux par le ruisseau de Petit, affluent en rive gauche qui draine les éboulis sous le Col de Doran et la face sud de la Pointe Percée.

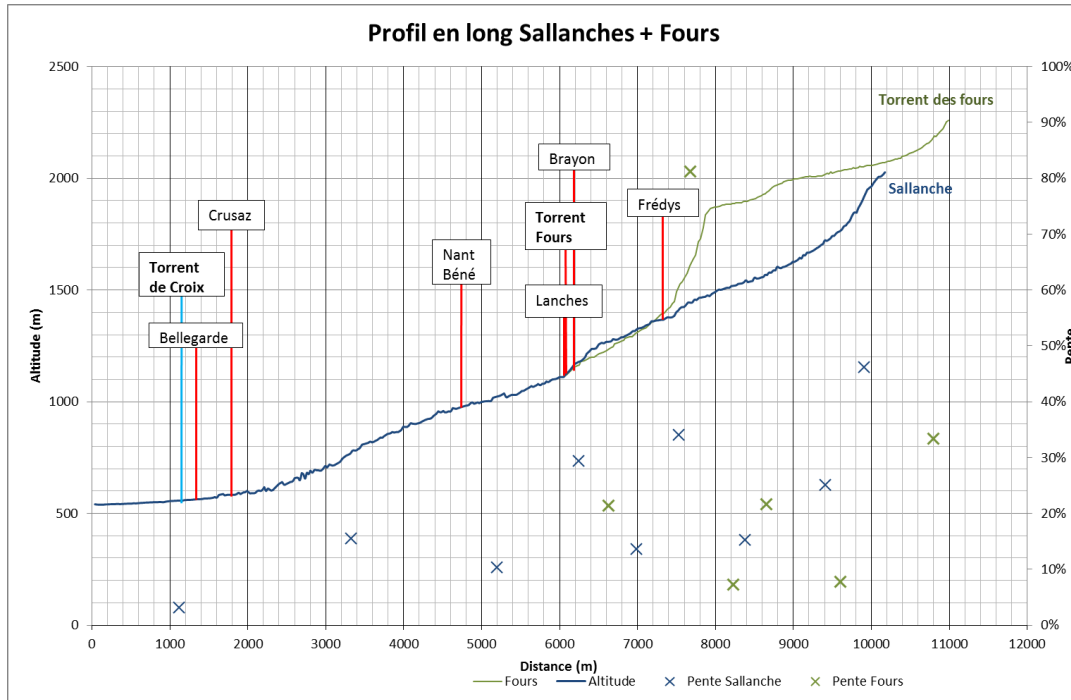


Figure 17 Profils en long comparés de la Sallanche et du torrent des Fours

En ce qui concerne les éboulis dominant la rive gauche du torrent de Cœur, on peut mettre en avant une faible activité des zones en érosion associée à un réseau de drainage peu dense, qui limitent le transit des matériaux vers l'aval. La comparaison de photo aériennes anciennes avec l'orthophotoplan de 2015 confirme cette hypothèse, en ne montrant aucune évolution voir une végétalisation de ces zones d'éboulis.

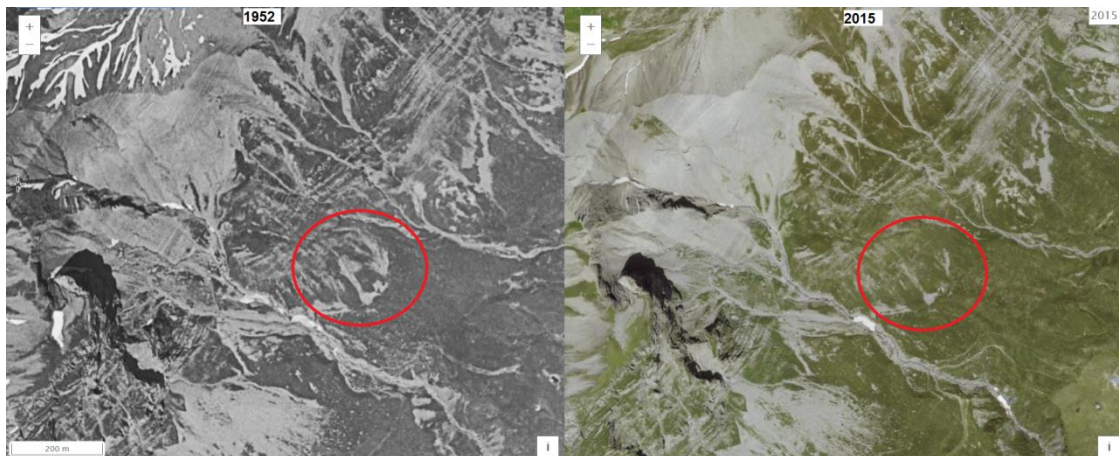


Figure 18 Exemple de revégétalisation des éboulis entre 1952 et 2015

Sur les torrents de la Miaz, des Frédys et du Brayon notamment, on observe tout de même des zones latérales à nu correspondant à la respiration de ce cours d'eau et apportant quelques matériaux. Il faut par ailleurs noter que les matériaux produits par ces torrents sont souvent directement réutilisés ou mis en stockage pour l'entretien des chemins d'alpages qui les traversent et n'atteignent donc pas toujours le chenal de la Sallanche.



Figure 19 Matériaux alluvionnaires stockés en bord de piste sur le Brayon

La tête de bassin drainant la rive droite du torrent de Miaz est essentiellement composée de Terres Noires. Il s'agit d'un substrat formé de marnes et de schistes. Le plateau des Bénés est quant à lui formé de calcaires et de schistes gréseux et constitue le sommet de crête de la rive droite du torrent de cœur et la tête de bassin versant du ruisseau des Callabonnets. Ces substrats peuvent produire ponctuellement des matériaux par glissement de terrains mais les apports ne sont pas massifs et peu corrélés à l'hydrologie du cours d'eau. Par ailleurs, la rive droite est bien végétalisée ce qui a tendance à stabiliser les versants.

Plus en aval, le Nant Béné conflue avec la Sallanche au PK 4.78. Sa tête de bassin présente des zones d'éboulis et d'affleurements de Terres Noires susceptibles de produire des volumes modérés de matériaux qui peuvent transiter jusqu'à la Sallanche.



Figure 20 Exemple d'affleurement de Terres Noires (torrent des Fours)

Sous-bassin versant du torrent de Croix :

La tête de sous bassin-versant présente des flancs assez raides sur sa partie la plus occidentale (têtes de bassins du torrent de Zarzillat et du ruisseau des Callabonnets) et des crêtes moins hautes avec des pentes plus douces et plus boisées sur sa partie méridionale et orientale (réseau drainant du Bois de la Jorasse).

Dans l'ensemble, la production sédimentaire de ces bassins est plutôt faible. On observe tout de même des zones en érosion sur les têtes de bassins des torrents de Zarzillat, de Grand-Mère et des Callabonnets. Néanmoins, leur végétalisation partielle ou leur absence d'évolution ces dernières décennies montre qu'il s'agit de glissements ponctuels et peu actifs.

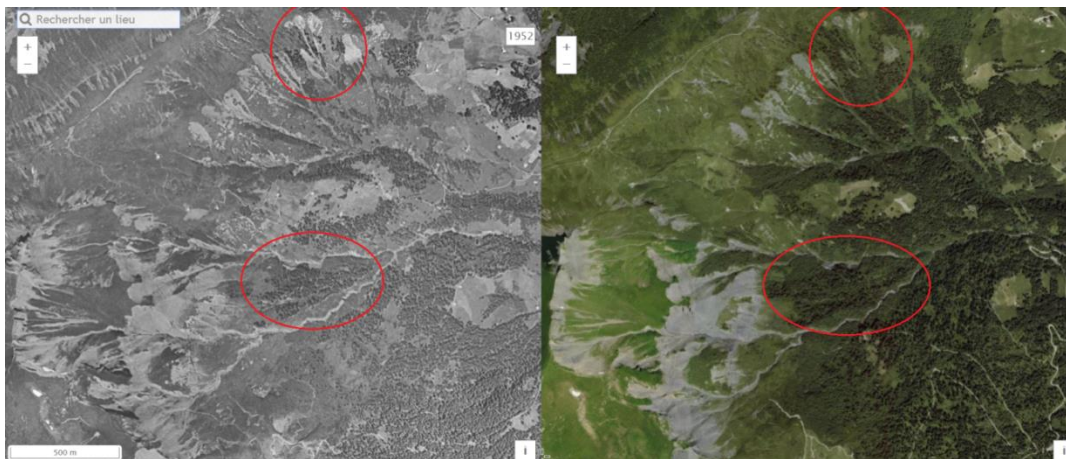


Figure 21 Zones de revégétalisation sur les têtes de bassin de Zarzillat et Callabonnets

On note par ailleurs qu'on a une végétalisation assez généralisée des versants, le phénomène de reboisement étant commun à de nombreux cours d'eau alpins au cours du XXe siècle, avec pour conséquences une diminution de l'érodabilité des versants et parfois l'incision des cours d'eau. Ce phénomène s'explique par l'exode rural qui a conduit à l'abandon des pâturages alpins, par une diminution de l'exploitation forestière et par la volonté de reboiser les versants à partir de la fin du XIXe siècle.

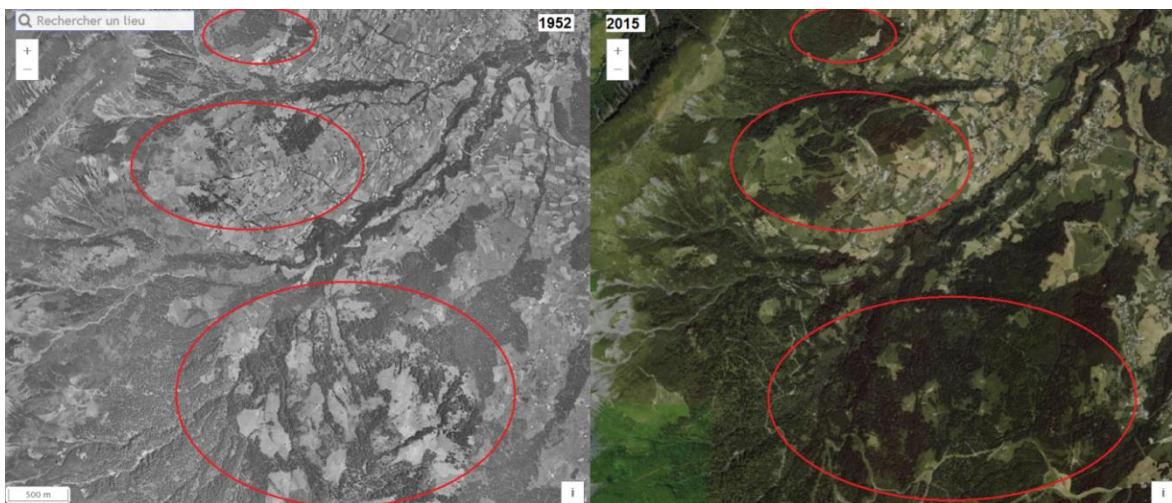


Figure 22 Revégétalisation des versants entre 1952 et 2015

3.3.2. Chenaux d'écoulement

La morphologie en cascade puis en step-pool du torrent des Fours en aval de la cascade du même nom traduit un léger déficit en matériaux solides (Liébault, 2013) ce qui est cohérent avec le fait que les matériaux du plateau sont modérément voir peu mobilisés.



Figure 23 Lit en step-pool du torrent des Fours (PK 0.5)

Le long de son chenal d'écoulement, le torrent de Cœur est ponctuellement alimenté par des apports latéraux sur sa rive droite, composée de Dogger calcaire (marnes schistosées, calcaires argilo-gréseux). Cette arête Nord du plateau des Bénés est aussi le siège de nombreux ravinements. De fait elle peut être considérée comme un bassin de réception atypique du torrent de Cœur.



Figure 24 Glissements en rive droite du torrent de cœur apparus entre 2012 et 2015 (sur fond ortho 2015)

Les sédiments produits sont probablement plutôt fins, en paillettes, non structurant du lit, correspondant à des volumes assez faibles et rapidement évacués vers l'aval.

En effet, le torrent de Cœur s'écoule directement sur son substratum rocheux juste en amont de sa confluence avec les Fours, ce qui traduit une capacité de transport supérieure à la fourniture sédimentaire.

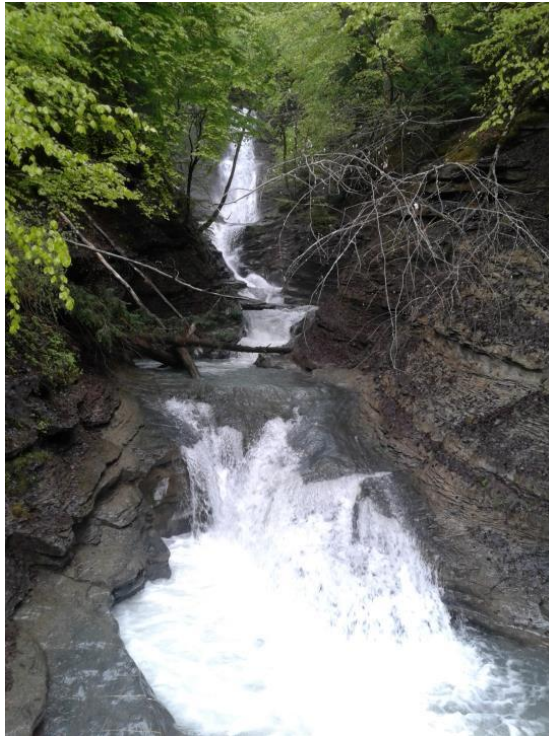


Figure 25 Torrent de cœur peu avant sa confluence avec le torrent de Fours (PK Sallanches 6.24)

La majeure partie du bassin versant se compose de dépôts morainiques liés à la position en extrados d'anciens glaciers descendant du massif du Mont-Blanc lors de la période glaciaire du Würm. Il s'agit donc de dépôts assez récents comparé aux substrats rocheux sous-jacents. Ce substrat contribue sûrement au transport solide mais est peu représenté dans les zones de production et peu drainé. Il est en revanche lié à la présence de blocs erratiques dans le lit des torrents qui témoignent de ce passé. La taille de ces blocs, souvent d'ordre métrique à plurimétrique, rend improbable une hypothèse de déplacement par le cours d'eau et verrouille ainsi fortement la structure du lit des torrents.

Le lit de la Sallanche contient de nombreux blocs de granite polis par l'eau et les débris abrasifs qu'elle charrie.

Ces rochers issus du massif du Mont Blanc ont parcouru plusieurs dizaines de kilomètres avant de reposer ici (comment?)

Il y a 10 000 ans, un grand glacier de plus de 1000 mètres d'épaisseur s'écoulait dans la vallée en direction de celui du Rhône.

Il transportait de nombreux blocs arrachés au massif du Mont-Blanc. Ces blocs se sont déposés à la périphérie et au fond du glacier (dépôts morainiques des pentes de Cordon ou de St Roch, boisées aujourd'hui).

À l'issue de la dernière glaciation, le climat général de notre planète se réchauffe. Au cours du recul des glaciers qui s'ensuit, les blocs furent abandonnés là où ils avaient été transportés.

Leur errance ne s'est pourtant pas arrêtée là. Les éboulements et glissements de terrain les ont ensuite transportés au fond de la gorge les plus gros restant alors en place (les plus petits charriés par les crues).

Les blocs erratiques sont les témoins d'une longue histoire mais qui est récente à l'échelle des temps géologiques (quaternaire). Certains d'entre-eux, de grosse taille, ont parcouru des centaines de kilomètres (gros caillou de la Croix Rousse à Lyon)



Figure 26 Détail d'un panneau pédagogique (haut), blocs erratiques verrouillant le lit au PK 2.20 (milieu et bas)

Sur la carte géologique, on distingue clairement le cours aval de la Sallanche et les cours d'eau du sous-bassin du torrent de la Croix qui s'écoulent sur un substrat composé de schistes à nodules. Ces cours d'eau se sont lentement incisés dans la couche supérieure de dépôts morainiques jusqu'aux schistes sous-jacents. Ainsi, ces schistes argilo-siliceux forment les parois des gorges encaissées de ces chenaux d'écoulements. Imbibés d'eau, ils deviennent fortement friables et à la faveur d'un pendage orienté vers le lit (comme c'est le cas dans la gorge de Levaud), ils présentent un terrain très sensible aux glissements de terrains lorsque les berges sont sapées par le torrent. On a alors des apports brutaux de matériaux pouvant parfois former des embâcles, ces derniers pouvant potentiellement être aggravés par la présence de boisements qui par ailleurs constituent un facteur favorable au départ des glissements. Ces embâcles peuvent alors rompre brutalement et faire transiter les matériaux par bouffée vers l'aval. Si ils ne sont pas entravés par des bois, les matériaux accumulés dans le lit, de nature plutôt marno-schisteuse et assez fins ont tendance à être rapidement repris par suspension par le cours d'eau.

Ces glissements peuvent être brutaux puis se stabiliser (cas du glissement de Levaud) ce qui se traduit soit par une revégétalisation soit par l'affleurement de la roche-mère, ou plus progressifs et toujours actifs (cas du glissement des Murtines).



Figure 27 Exemples de glissements stabilisés (revégétalisation) en amont du PK 3.0 de la Sallanche



Figure 28 Glissement de Levaud (janv.2018) à la faveur d'un pendage orienté vers le lit et de boisements matures. On distingue l'affleurement rocheux.



Figure 29 Glissements actifs aux Murtines et plus en amont (orthophotoplan 2015)



Figure 30 Glissement actif aux Murtines

3.3.3. Cône de déjection

La présence de la ville de Sallanches a conduit à une rectification et une chenalisation du cours d'eau sur sa partie aval, mettant fin à sa divagation sur le cône de déjection. Cette artificialisation est ancienne puisqu'elle apparaît déjà sur la carte d'état-major datant du milieu du XIX^{ème} siècle. La dérivation du ruisseau de Bellegarde apparaît également sur cette carte. L'urbanisation du cône s'est depuis largement étendue et densifiée, essentiellement dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle. L'orthophotoplan de 1952 montre aussi que l'Arve à proximité de la confluence n'était pas encore endiguée (travaux réalisés dans les années 1960).

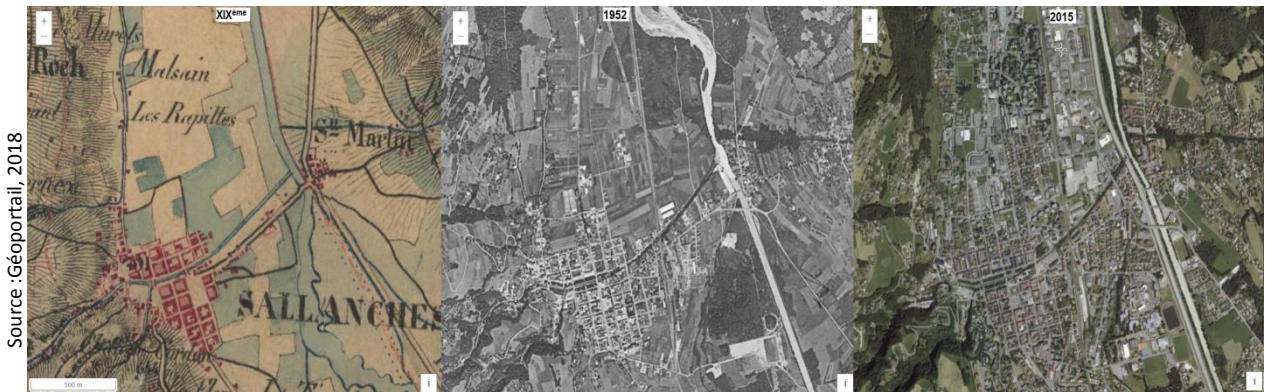


Figure 31 Evolution du cône de déjection de la Sallanche entre le XIX^{ème} siècle et 2015.

On dispose sur cette zone d'un MNT LiDAR de haute-résolution, levé en 2015, qui nous a permis de tracer un profil en long précise de la Sallanche et du torrent de la Croix sur le cône de déjection.

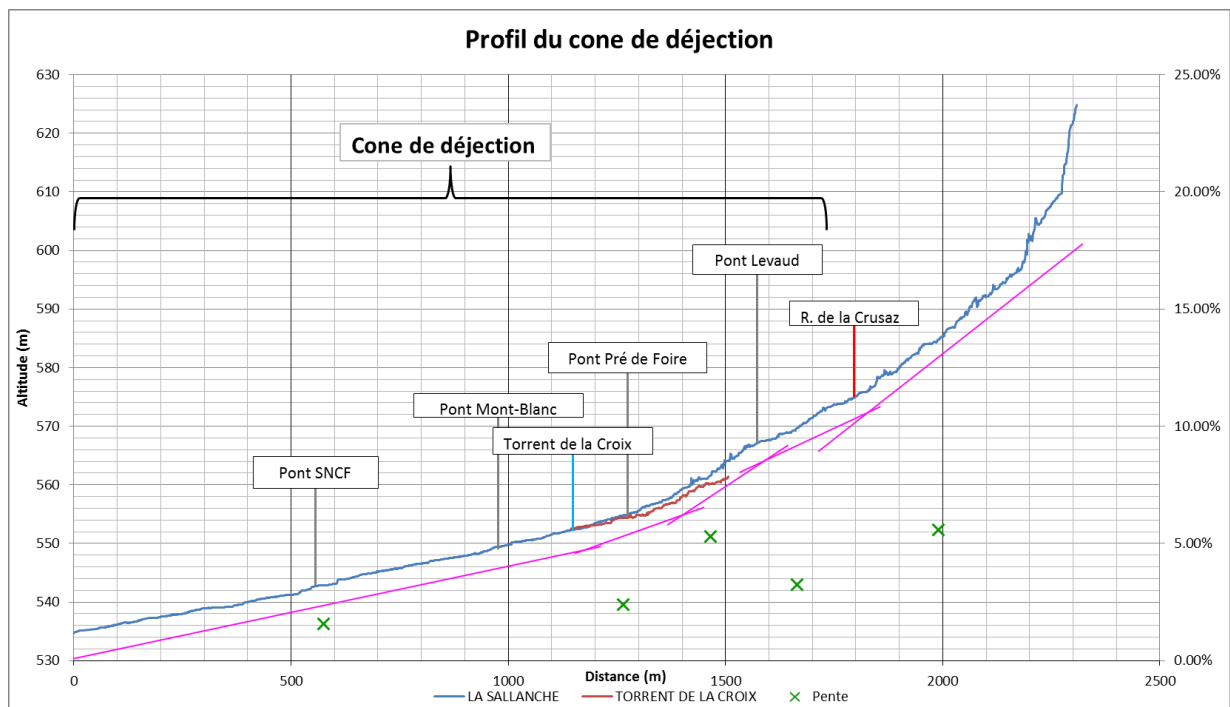


Figure 32 Profil en long issu du Lidar 2015 sur le cône de déjection

Le cône présente une pente faible, comprise entre 1.5% et 2.5% sur la plus grande partie de son linéaire. Il s'agit d'un témoin supplémentaire du faible volume de matériaux charriés par le torrent. A titre de comparaison, le torrent de Reninge, dont la confluence en rive droite de l'Arve est située juste en aval de la Sallanche présente un cône dont la pente est de l'ordre de 10%.

Il est important de noter que la rupture de pente juste en amont du pont du Pré de Foire coïncide avec le début de la chenalisation de la Sallanche et un élargissement notable du lit, passant d'environ 8 ou 9 mètres de large à 12 mètres au début de la chenalisation puis 15 mètres après la confluence avec le Torrent de la Croix. Les largeurs approximatives du lit mineur sont indiquées en rouge sur l'orthophoto suivante.

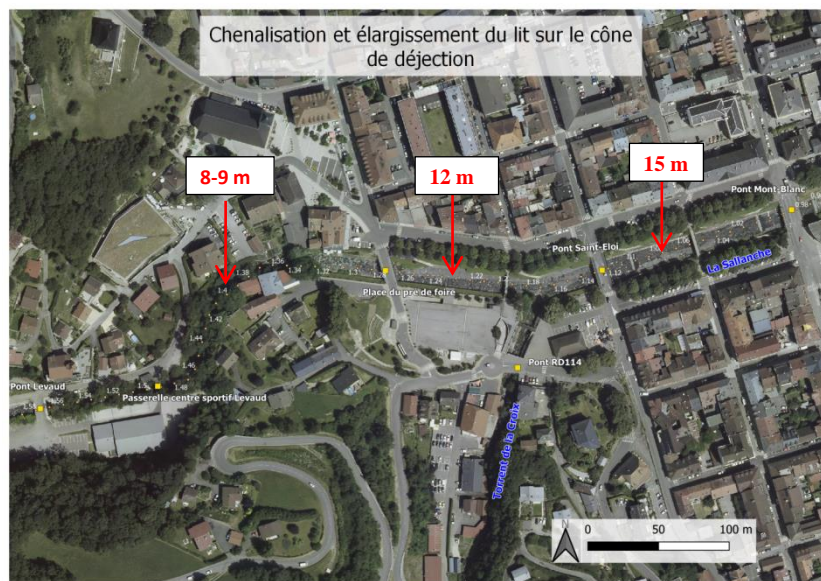


Figure 33 Elargissement du lit de la Sallanche

La combinaison de cet élargissement et de la faible pente fait de ce secteur une zone propice au dépôt sédimentaire. Une crue charriant des matériaux pourrait avoir pour conséquence sur ce tronçon un exhaussement temporaire ou durable du fond du lit. Cela a été le cas pour la crue de mai 2015 qui a laissé des banquettes de matériaux fins en paillettes, issus de l'érosion des schistes ou de la reprise d'un glissement de terrain. Ces dernières sont visibles sur l'orthophotoplan produit à partir de prises de vues réalisées aux mois de juin et juillet 2015.



Figure 34 Banquettes de sédiments déposées par la crue de mai 2015

3.3.4. Synthèse du fonctionnement morphologique

Les cours d'eau du bassin versant de la Sallanche ont un transit sédimentaire globalement limité, malgré le transport solide modéré de quelques affluents de la tête de sous-bassin de la Sallanche (torrents des Fours, du Brayon, des Fredys et de Miaz, Nant Béné...). Cette hypothèse est renforcée par la présence de nombreux affleurements rocheux dans le lit des cours d'eau et à l'absence de matelas alluvionnaire et par la faible pente du cône de déjection.

Par ailleurs, les zones de production permettant un transit de matériaux vers l'aval sont davantage situées dans la partie intermédiaire du bassin versant (zones de transfert), qu'en tête de bassin versant. Ce fonctionnement atypique s'explique par le fait que les secteurs de falaises amont sont peu drainés et/ou régulés par des zones de plateau intermédiaires (plateau des Fours notamment) alors que les zones de transfert sont occupées par des terrains majoritairement schisteux, dont l'érosion par affouillement dans les chenaux d'écoulements produit ponctuellement des volumes de matériaux par glissement en masse. On s'approche donc plutôt du fonctionnement d'un torrent à affouillement (Demontzey, 1891). Ces glissements de masse produisent globalement des matériaux fins et des volumes relativement faibles qui sont rapidement repris et évacués vers l'aval. Ils peuvent néanmoins avoir pour effet un exhaussement temporaire du lit dans la traversée urbaine de Sallanche qui présente une situation de sur-largeur et une faible pente favorable au dépôt de sédiments.

Plus récemment, le retour des forêts dans les alpages de moyenne montagne a également contribué à diminuer l'érosion des versants.

Par ailleurs, l'incision qui devrait être observée du fait de déficit sédimentaire est entravée par la présence de blocs erratiques qui forment un pavage et stabilisent fortement les lits des torrents.

4. Analyse hydrologique

4.1. Caractérisation du ruissellement

4.1.1. Occupation du sol

L'occupation du sol est un élément essentiel pour la caractérisation du ruissellement du bassin versant. La donnée utilisée est fournie par la RGD des Pays de Savoie et a été établie à partir de l'analyse des orthophotos de 2004, 2008, 2012 et 2015.

La classification est basée sur la nomenclature de la base de données européenne CORINE Land Cover. Dans la perspective de définir avec simplicité des coefficients de ruissellements, on a conservé le premier niveau de la nomenclature qui comporte cinq catégories :

- Territoires artificialisés
- Territoires agricoles
- Forêts et milieux semi-naturels
- Zones humides
- Surfaces en eau

Afin d'attribuer des coefficients de ruissellement à chaque catégorie avec cohérence, on a tout de même discriminé les sous-catégories « roches nues » de « Forêts et milieux semi-naturels » et « tissu urbain continu dense » (renommé « Urbanisation dense ») de la catégorie « territoire artificialisé ».

La distribution de ces catégories d'occupation du sol sur le bassin versant est la suivante :

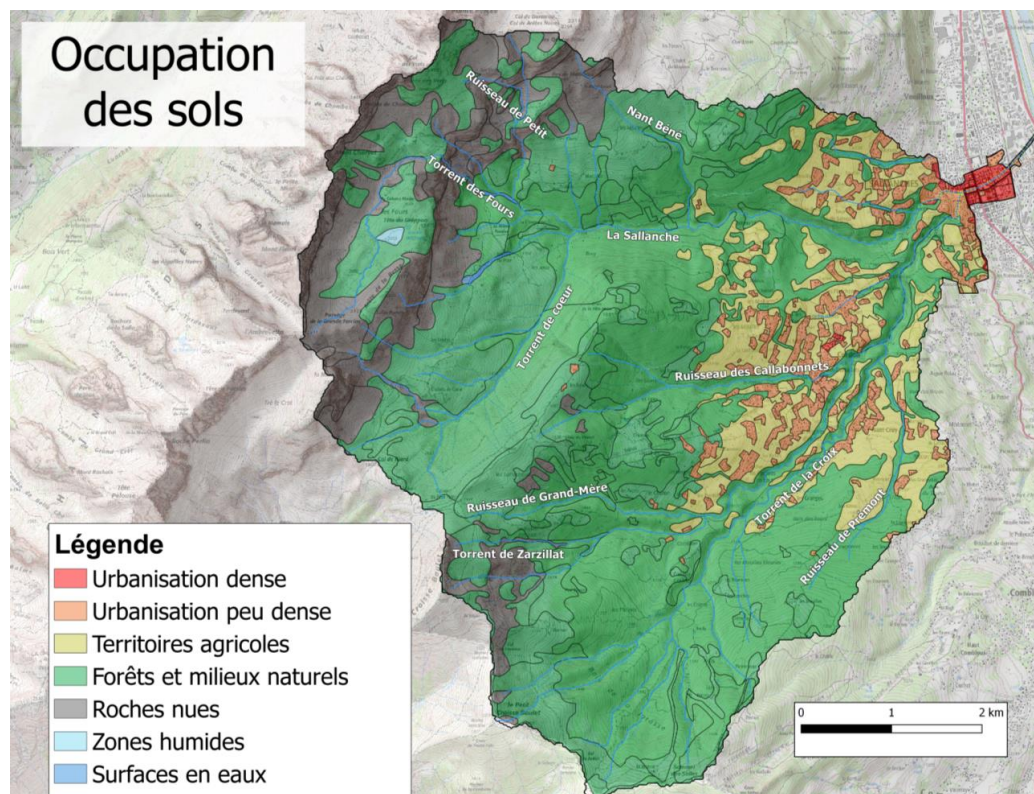


Figure 35 Occupation du sol du bassin versant de la Sallanche

4.1.2. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est défini par le rapport entre la lame d'eau ruisselée et la lame d'eau précipitée. Il s'exprime généralement en pourcentage. Ce paramètre sera utilisé a posteriori pour définir la pluie nette en entrée du modèle hydrologique dont il constitue le principal paramètre de calage. La valeur de ce coefficient dépend du type d'occupation du sol et est déterminée à partir de la littérature scientifique.

On considère qu'au-delà d'une pluie décennale, l'imbibition des sols entraîne une augmentation du coefficient de ruissellement. Une pondération avec la surface occupée par chaque catégorie permet ensuite de définir un coefficient de ruissellement pour chaque sous-bassin versant qui sera modélisé hydrologiquement. Les coefficients retenus après calage du modèle hydrologique sont présentés dans le tableau suivant :

Bassin-versant	La Sallanche à la conf. avec l'Arve			
Occupation du sol	CR10	CR100	S (km ²)	%
Urbanisation dense	0.80	0.90	0.26	0.62
Urbanisation peu dense	0.40	0.70	2.06	4.86
Territoires agricoles	0.2	0.33	4.72	11.1
Forêts et milieux naturels	0.1	0.22	29.61	69.8
Roches nues	0.45	0.6	5.66	13.4
Zones humides	0.9	1	0.04	0.1
Surfaces en eaux	0.99	1	0.05	0.1
SURFACE TOTALE	18	31	42.41	100.0
Bassin-versant:	La Sallanche conf. avec le torrent de Croix			
Occupation du sol	CR10	CR100	S (km ²)	%
Urbanisation dense	0.9	0.99	0.01	0.1
Urbanisation peu dense	0.40	0.70	0.35	1.8
Territoires agricoles	0.2	0.33	1.08	5.5
Forêts et milieux naturels	0.1	0.22	13.37	67.5
Roches nues	0.45	0.6	4.91	24.8
Zones humides	0.9	1	0.04	0.2
Surfaces en eaux	0.99	1	0.05	0.3
SURFACE TOTALE	20	33	19.81	100.0
Bassin-versant:	Torrent de Croix			
Occupation du sol	CR10	CR100	S (km ²)	%
Urbanisation dense	0.9	0.99	0.02	0.1
Urbanisation peu dense	0.40	0.70	1.33	6.4
Territoires agricoles	0.2	0.33	3.08	14.9
Forêts et milieux naturels	0.1	0.22	15.49	75.1
Roches nues	0.45	0.6	0.71	3.4
SURFACE TOTALE	15	28	20.62	100.0

4.2. Equipement métrologique régional

4.2.1. Stations hydrométriques

À ce jour, le bassin versant de la Sallanche n'est pas équipé de station de mesure de débit. Le projet de création d'une petite centrale hydro-électrique sur la Sallanche pourrait néanmoins être accompagné par la mise en place d'une nouvelle station dans un avenir proche, soit à proximité du pont de la Flée, soit au droit du château des Rubins.

Les stations hydrométriques du bassin versant de l'Arve sont majoritairement exploitées par la DREAL Rhône Alpes Auvergne ou EDF-DTG. Les données produites ne sont pas toutes mises à disposition sur la Banque Hydro.

Les débits mesurés sur l'Arve et le Giffre ne sont pas exploitables pour l'analyse de l'hydrologie de la Sallanche. En effet ces cours d'eau présentent des régimes hydrologiques ainsi que des surfaces de bassin versant trop différents.

Les sous-bassins versants de l'Arve jaugés sont présentés sur la figure suivante (hors stations sur l'Arve, le Giffre ou mesurant le débit de sources) :

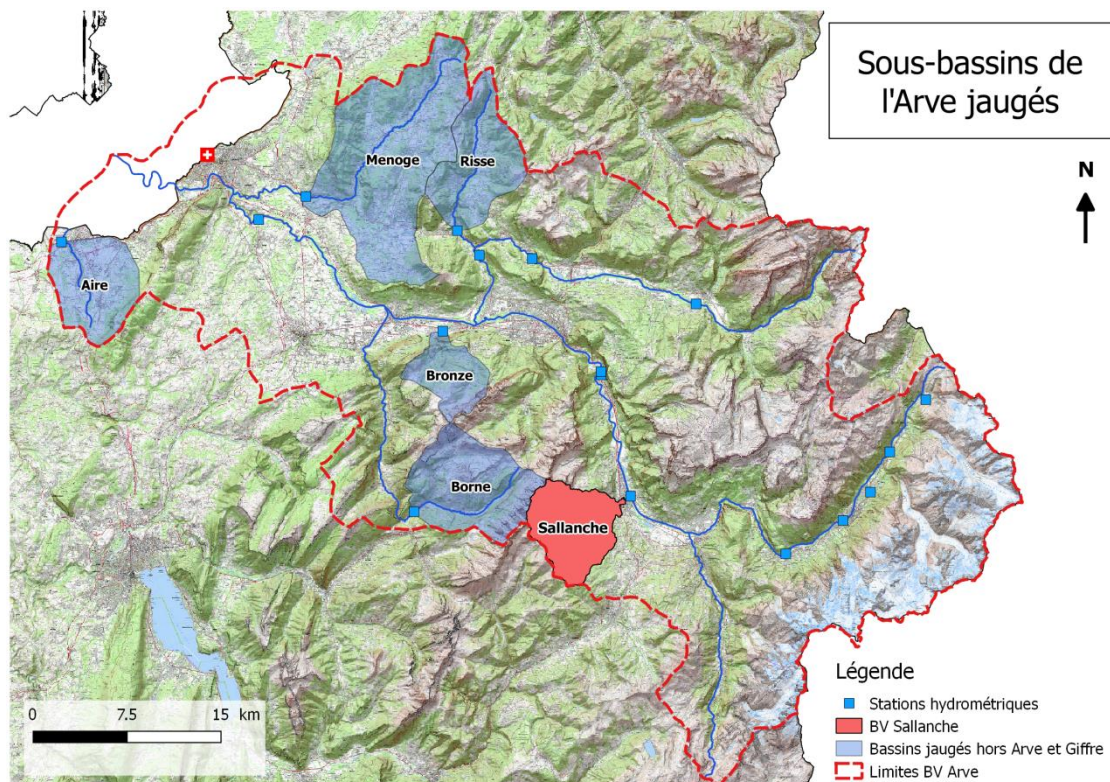


Figure 36 Stations hydrométriques sur le BV de l'Arve

Les données sur les bassins jaugés du Bronze et du Borne peuvent éventuellement être utilisées pour effectuer une analogie sur la Sallanche. On note néanmoins que l'orientation de ces deux bassins n'est pas la même que celui de la Sallanche et, dans le cas du Bronze, l'altitude est plus faible.

4.2.2. Stations pluviométriques

La pluviométrie est mesurée soit à l'aide d'un pluviomètre, soit avec un pluviographe.

Un pluviographe est un appareil permettant de mesurer de manière semi-continue et automatique des précipitations. Cela permet de mesurer des hauteurs de précipitations ainsi que leur répartition dans le temps et donc des intensités de pluie.

Un pluviomètre est un instrument de base de mesure de précipitation. Il indique la pluie globale précipitée entre deux relevés. En règle générale, les relevés sont quotidiens. Les données correspondantes sont des pluies journalières, correspondant à la pluie relevée sur deux jours consécutifs, à 6 heures.

Les instruments de mesures de la pluviométrie en Haute-Savoie sont présentés sur la figure suivante :

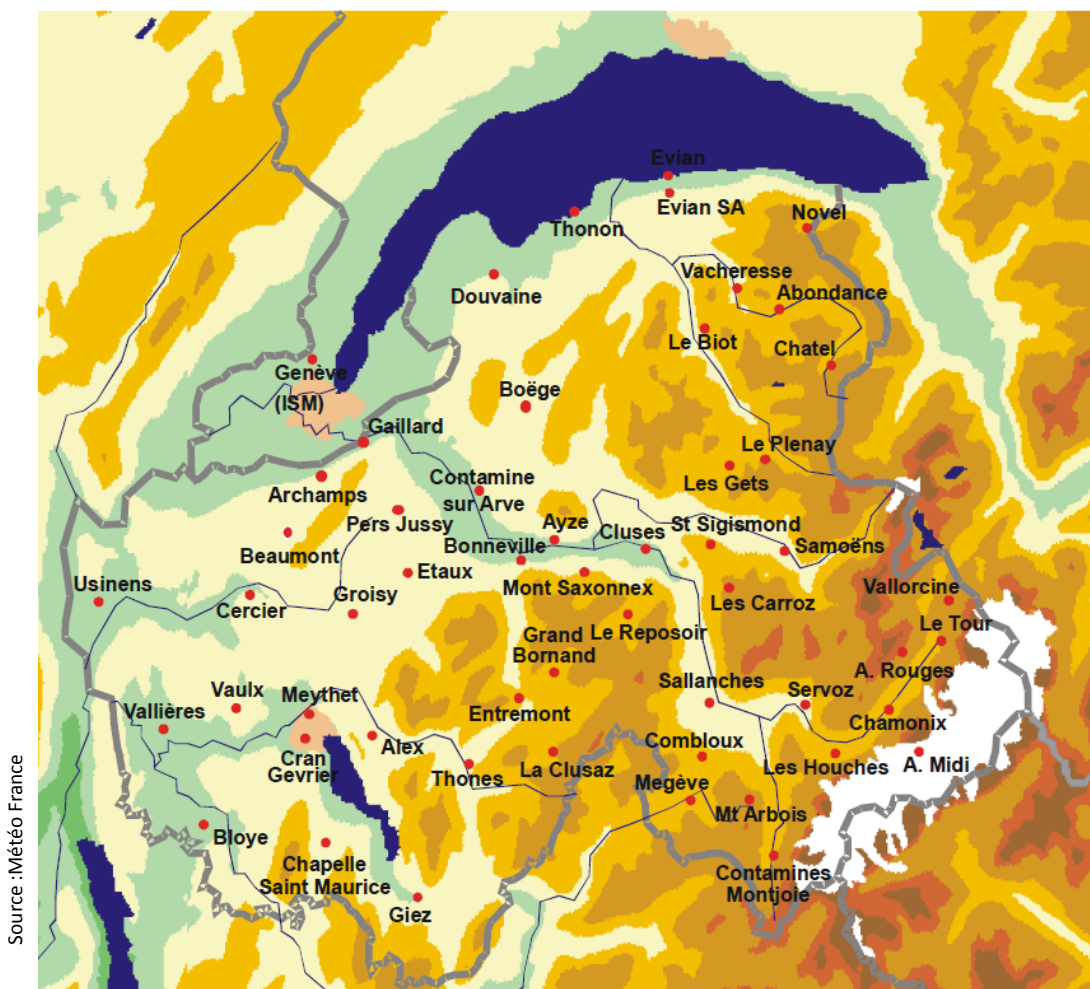


Figure 37 Stations météorologiques de la Haute-Savoie

D'après les fiches de poste disponibles en ligne, on compte désormais plus d'une vingtaine de pluviographes (mesures horaire du paramètre RR = rain rate) mais seuls 5 présentent des chroniques de mesures supérieure à 20 ans : Chamonix (1991), Meythet (1993) Thonon (1993) et Le Plenay (1998) auxquels il faut ajouter la station suisse de Genève.

Les instruments de mesures de la pluviométrie en Savoie sont présentés sur la figure suivante (les pluviomètres figurent en noir et les pluviographes en bleu):

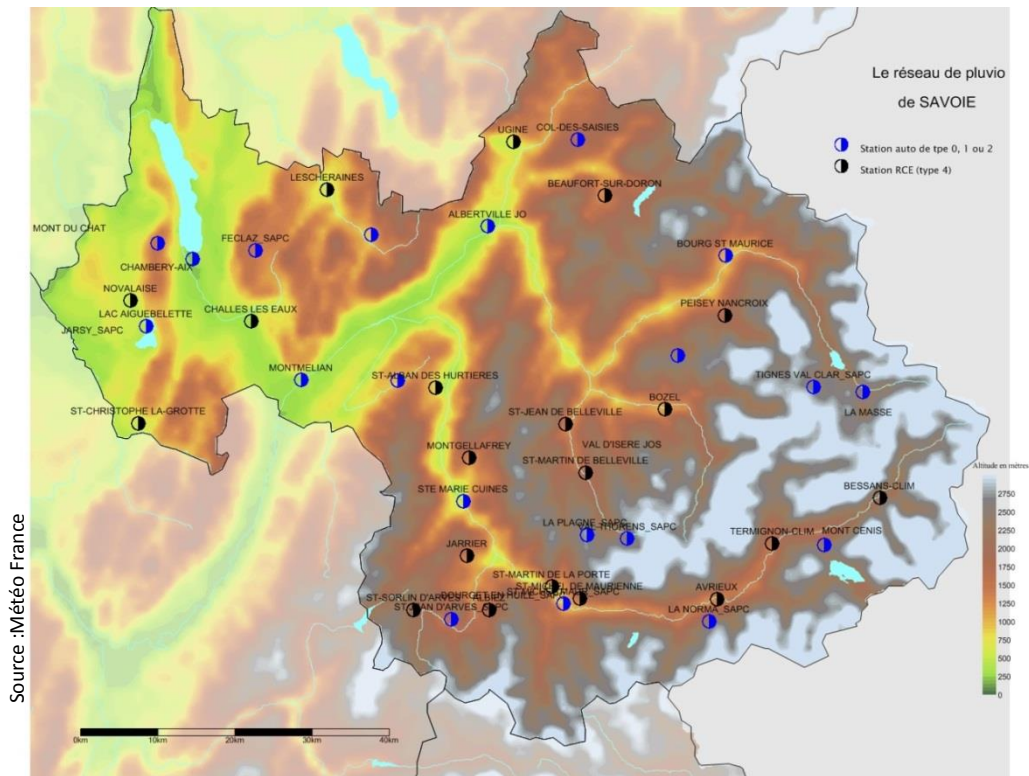


Figure 38 Stations météorologiques de la Savoie

Les stations qui nous intéressent sont celles du nord du département, plus proches de notre site d'étude. Parmi celles-ci, Météo-France propose des coefficients de Montana pour les stations de Chambéry-Aix, Col-des-Saisies et Bourg-Saint-Maurice.

4.2.3. Centrage des pluies journalières

Les valeurs de pluies maximales journalières mesurées sur des pluviomètres sont relevées à heure fixe. Elles ne correspondent pas nécessairement à un maximum sur un pas de temps glissant. Or un épisode pluvieux pouvant être étalé sur plusieurs jours, on peut alors avoir une sous-estimation du volume de pluie journalière maximal. La figure suivante illustre l'erreur liée à un échantillonnage discret à heure fixe (Pb) :

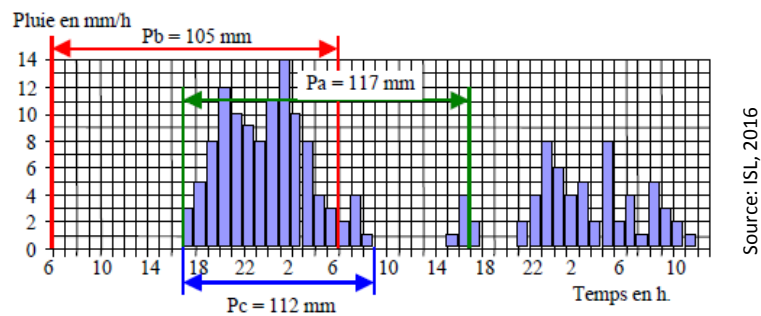


Figure 39 Pluies glissées (Pb: mesure au pluviomètre; Pc: mesure réelle de la pluie en continu; Pa: Centrage sur 24h)

On utilise généralement le coefficient de Weiss (Weiss, 1964) comme facteur de correction de ce biais. Son expression simplifiée est la suivante :

$$C_w = \frac{n}{n - (1/8)}$$

Sa valeur varie en fonction du nombre de mesures n réalisées à intervalles fixes pour obtenir le volume à la durée de temps voulu. Plus le nombre de mesures est élevé, plus ce facteur est faible. Par exemple, pour une pluie de durée 24h on a $C_w = 1,005$, si une seule mesure, $C_w = 1,14$).

D'autres méthodes ont été développées et sont cohérentes avec le facteur déterminé par Weiss (Young, McEnroe, 2003).

Les fiches stations des pluviomètres utilisés dans notre analyse indiquent une mesure quotidienne. On retient donc $C_w=1.14$.

4.3. Temps de concentration

Le temps de concentration est un paramètre qui caractérise la réponse d'un bassin versant à un événement pluvieux. Il en existe de nombreuses définitions dans la littérature scientifique (Almeida et al., 2014). On retiendra celle qui le définit comme le temps que met la particule d'eau la plus éloignée hydrologiquement de l'exutoire pour l'atteindre (Weill, 2017).

Ce temps caractéristique est utilisé pour déterminer la durée de la pluie de projet. Il existe de nombreuses formules empiriques pour calculer cette grandeur. La littérature scientifique prête à confusion concernant le calcul de cette valeur car selon les ouvrages, l'expression d'une même formule est différente et les domaines de validité ne sont pas toujours explicitement mentionnés. Il est donc nécessaire de croiser les résultats obtenus avec différentes formules et d'avoir un regard critique sur ces derniers.

Le temps de concentration a été calculé selon 8 formules dont les expressions utilisées résultent de la comparaison des différentes sources bibliographiques et de la cohérence des résultats obtenus. Trois principales sources bibliographiques ont été utilisées :

- L'étude de l'hydrologie globale du bassin versant de l'Arve (ISL, 2016)
- Une publication scientifique universitaire qui passe en revue une trentaine de formules élaborées pour l'estimation du temps de concentration (Almeida et al. 2014)
- Le cours d'hydrologie « Bases et fondamentaux » de Sylvain Weill, professeur d'hydrologie à l'ENGEES.

La formule de Johnstone et Cross (1949) est une des rares à avoir un domaine de validité proche de notre cas d'étude. Néanmoins deux écritures différentes ont été rencontrées dans la littérature et il n'a pas été possible d'en écarter une étant donné la cohérence des deux résultats. Ils ont donc été conservés à titre informatif. On note que dans la publication originale, les valeurs numériques des constantes de la formule ne sont pas données.

Le domaine de validité de la formule de Kirpich (1940) semble trop éloigné de la situation de notre cas d'étude pour que cette formule soit retenue. La formule de Giandotti (1940) est appropriée aux bassins versants montagneux (Almeida et al.) et est probablement la mieux adaptée à notre cas d'étude, bien qu'elle ait été élaborée à partir d'observation de bassins plus grands que celui de la Sallanche.

Les informations concernant les formules utilisées sont résumées dans le tableau suivant. Dans les formules proposées :

- S est la surface du bassin versant en km^2
- L est la longueur du plus long thalweg en m,
- i est la pente moyenne pondérée du chenal principal en m/m,
- Z correspond à une cote altimétrique, dZ le dénivelé entre l'extrémité amont du thalweg principal et l'exutoire,
- Cr est le coefficient de ruissellement décennal du bassin versant.

Formule	Expression T_c (h)	Domaine validité	Source Formule
GIANDOTTI (1940)	$\frac{4\sqrt{S} + 1,5 * (\frac{L}{1000})}{0,8 * \sqrt{Z_{moyBV} - Z_{exutoire}}}$	Bassins du centre et du nord de l'Italie de 170km^2 à $70\,000\text{km}^2$.	Almeida et al.2014 Grimaldi et al. 2010
JOHNSTONE ET CROSS (1949)	$0,4623 * \sqrt{\frac{L}{1000 * \sqrt{i}}}$	BV ruraux (USA) de 65km^2 à 4206km^2	Almeida et al. 2014
JOHNSTONE ET CROSS (1949)	$\frac{5,66}{60} * \sqrt{\frac{L}{1000 * i}}$	BV ruraux (USA) de 65km^2 à 4206km^2	ISL (2016)
KIRPICH	$0,0195 * \frac{L^{0,77}}{60} * i^{-0,385}$	BV de $0,004\text{km}^2$ à $0,45\text{km}^2$. Pente entre 3% et 12%,	ISL (2016)
PASSINI-TURRAZZA (1914)	$0,108 * \frac{\sqrt[3]{S(\frac{L}{1000})}}{\sqrt{i}}$	Bassin versants ruraux Italiens	ISL (2016)
SOGREAH	$(0,9 * (S * 100)^{0,35} * \frac{Cr^{-0,35}}{100} * \sqrt{i}) / 60$?	Cours S. Weill 2017-2018
VEN TE CHOW (1962)	$0,1602 * (L * 1000)^{0,64} * (\frac{dZ}{L})^{-0,32}$	Bassins ruraux USA ($0,001\text{km}^2$ - $18,5\text{km}^2$), Pente entre 0,5% et 9%)	Almeida et al. 2014
VENTURA	$\frac{7,62}{60} * \sqrt{\frac{S}{i}}$	Bassin versants ruraux Italiens	ISL (2016)

Tableau 3 Méthodes de calcul du temps de concentration

Le calcul du temps de concentration a été effectué sur :

- le bassin versant complet (exutoire à la confluence avec l'Arve)
- le sous-bassin versant de la Sallanche (exutoire à la confluence avec le torrent de Croix)
- le sous-bassin versant du torrent de croix avec deux résultats selon que l'on considère la branche Zarzillat ou celle de Jorasse comme le chenal principal.

Les résultats ont été classés. On remarque d'une part que les valeurs extrêmes correspondent aux formules que l'on souhaitait écarter. La valeur retenue est finalement un arrondi de la moyenne des résultats des formules considérées valides.

Formule	Sallanches conf. Arve		Sallanches conf. Croix		Torrent de Croix (ZAR)		Torrent de Croix (JOR)				
	Tc (h)	Tc (min)	Tc (h)	Tc (min)	Tc (h)	Tc (min)	Tc (h)	Tc (min)			
JOHNSTONE ET CROSS (1949)	2.37	142	JOHNSTONE ET CROSS (1949)	2.18	131	JOHNSTONE ET CROSS (1949)	2.09	125	JOHNSTONE ET CROSS (1949)	2.29	138
VENTURA	2.15	129	PASSINI-TURRAZZA (1914)	1.51	90	PASSINI-TURRAZZA (1914)	1.45	87	JOHNSTONE ET CROSS (1949)	2.12	127
PASSINI-TURRAZZA (1914)	2.12	127	VENTURA	1.40	84	VENTURA	1.39	83	PASSINI-TURRAZZA (1914)	1.71	103
GIANDOTTI (1940)	1.74	104	GIANDOTTI (1940)	1.23	74	GIANDOTTI (1940)	1.39	83	VENTURA	1.62	97
VEN TE CHOW (1962)	1.34	80	VEN TE CHOW (1962)	1.18	71	VEN TE CHOW (1962)	1.25	75	GIANDOTTI (1940)	1.41	84
SOGREAH	1.13	79	SOGREAH	0.79	56	SOGREAH	0.89	61	VEN TE CHOW (1962)	1.29	77
KIRPICH	0.82	49	KIRPICH	0.72	43	KIRPICH	0.68	41	SOGREAH	1.03	71
JOHNSTONE ET CROSS (1949)	0.78	47	JOHNSTONE ET CROSS (1949)	0.70	42	JOHNSTONE ET CROSS (1949)	0.66	40	KIRPICH	0.78	47
Valeurs retenues	1.7	100		1.25	75		1.25	75		1.4	85

On note également que la valeur retenue sur le bassin versant complet de la Sallanche est légèrement supérieure à ce qu'avait évalué ISL dans son étude globale de l'Arve qui considérait le bassin de la Sallanche comme un sous-bassin de leur étude globale.

Etiquette	Surface (km ²)	Cote max (m)	Cote min (m)	Longueur du chemin hydraulique (km)	Temps de concentration				
					Ventura	Kirpich	Johnstone et Cross	Turraza	Moyenne
BV_S_C	42.0	2 717	537	10.11	1:46	0:42	0:38	1:37	1:08

4.4. Détermination des pluies de projet

4.4.1. Pluies journalières

4.4.1.1. Méthodologie

De nombreuses méthodes de transformation pluie-débit utilisent la pluie journalière comme valeur de forçage. Il est donc nécessaire de déterminer ce paramètre pour les périodes de retour biennale, décennale et centennale.

De nombreux paramètres déterminent la répartition spatiale des précipitations. Parmi ceux-ci, les observations climatologiques permettent notamment de dégager l'altitude et l'orientation du relief par rapports aux flux dominants. En effet, la présence de relief marqué provoque l'ascension des masses d'air, leur refroidissement et l'augmentation de leur humidité relative, aboutissant à des précipitations. On observe ainsi de plus fortes précipitations en altitude qu'en plaine (Douguedroit, Saintignon, 1984).

Partant de ce postulat, la méthode a consisté à déterminer un gradient hypsométrique des précipitations. Les données utilisées sont issues de l'étude hydrologique de l'Arve (ISL, 2016). Il s'agit des valeurs de lame d'eau précipitée (mm) de période de retour 10 et 100 ans, déterminées à partir de pluies maximales journalières enregistrées par 16 stations situées sur le bassin versant de l'Arve.

Sur le bassin versant de l'Arve, la présence de massifs montagneux aux altitudes élevées (massifs du Mont-Blanc, des Aravis, du Beaufortin...) bloque les flux d'Est et du Sud. Ainsi les versants orientés Ouest auront tendance à être plus arrosés que les versants Est.

La figure suivante montre la répartition spatiale des normales annuelles des cumuls de précipitation sur le bassin versant de l'Arve, d'après les données AURELHY de Météo-France, corrigés par les facteurs fournis par F. Gottardi dans sa thèse (Gottardi, 2009).

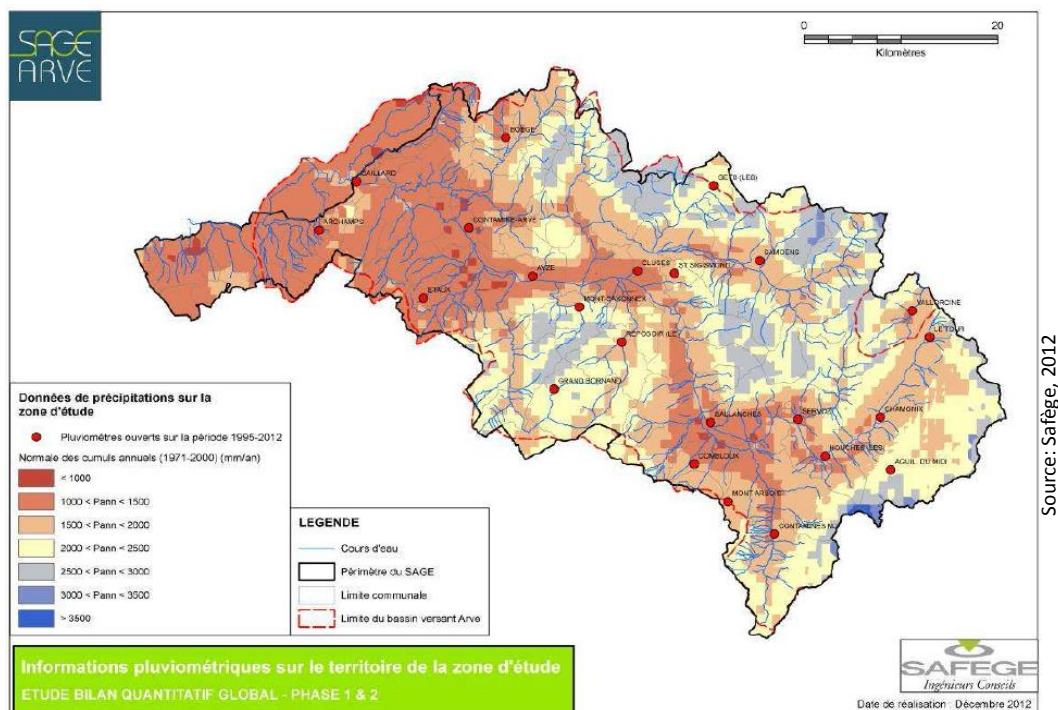


Figure 40 Cumuls annuels de précipitation sur le bassin versant de l'Arve

4.4.1.2. Exploitation des données ISL (2016)

Les données qui ont été utilisées pour établir les gradients hypsométriques sont les suivantes (les stations les plus **exposées** figurent en vert et le plus **abritées** en orange):

Station	Altitude	Pj2	Pj10	Pj100	Durée mesure (années)
Ayse	450	48	72	112	72
Boège	750		82	110	38
Carroz	1160		79	107	20
Chamonix	1042	52	72	97	81
Combloux	1183	60	82	110	65
Les Contamines	1180	54	75	110	
Contamine-sur-Arve	452	46	72	97	64
Grand-Bornand	1300	65	92	123	64
Les Gets	1172		102	140	46
Houches	1108	49	73	98	42
Megève	1080	54	75	100	65
Pers-Jussy	580	51	73	98	75
Reposoir	965		90	135	54
Sallanches	541	47	70	102	83
Samoëns	749		87	145	71
Vallorcine	1300	75	107	145	52

Tableau 4 Pluies journalières extrêmes issues de l'analyse hydrologique d'ISL (2016).

Les valeurs de Pj10 et Pj100 sont directement tirées de tableaux de l'étude tandis que quelques valeurs de Pj2 ont été lues graphiquement sur les ajustements statistiques des pluies maximales journalières selon une loi de Gumbel.

Lorsque l'on considère l'ensemble des stations, les régressions linéaires strictes indiquent une corrélation de l'ordre de 55% pour la P2, 30% pour la P10 et seulement 10% pour la P100. Cet indice s'améliore en prenant en compte l'orientation des bassins. Toutefois, les gradients hypsométriques retenus ont été définis graphiquement en donnant un poids plus important aux stations de Sallanches, Combloux, Megève qui sont les plus proches et les plus représentatives de la zone d'étude. Les gradients retenus figurent sur les graphiques suivants :

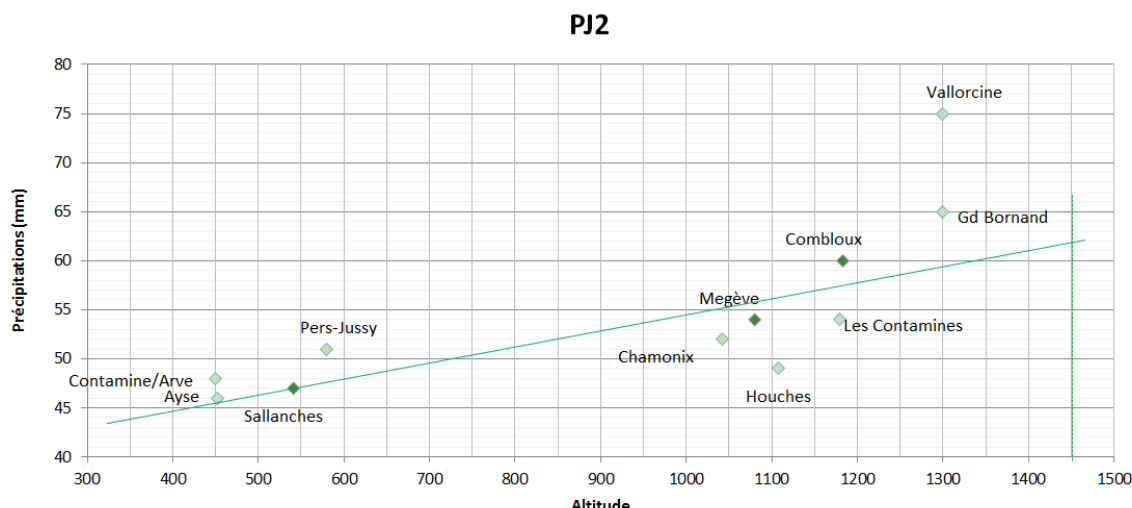


Figure 41 Gradient hypsométrique pour la pluie journalière de période de retour 2 ans

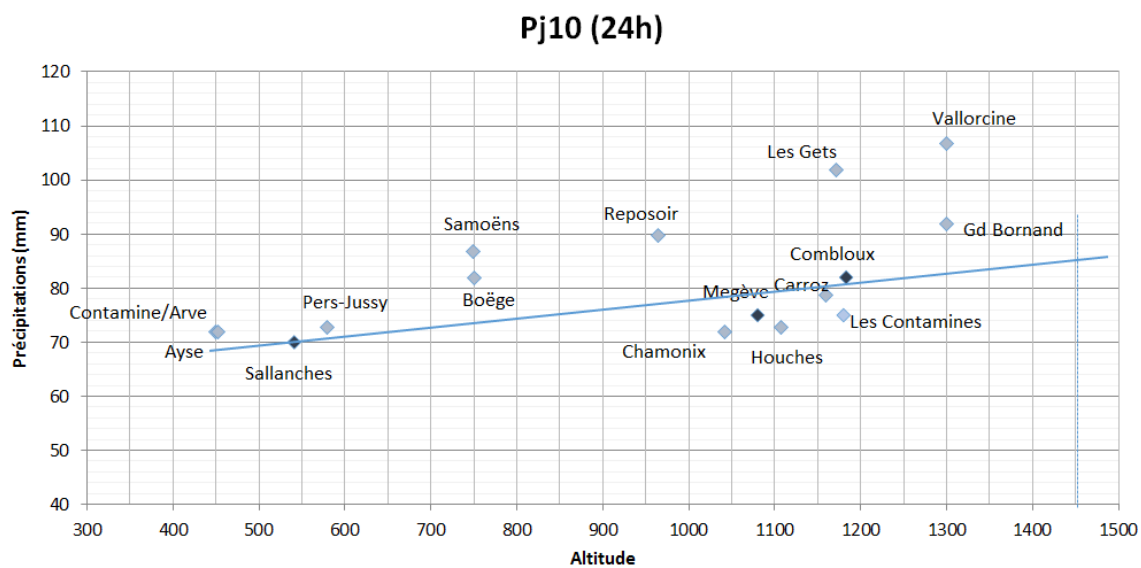


Figure 42 Gradient hypsométrique pour la pluie journalière de période de retour 10 ans

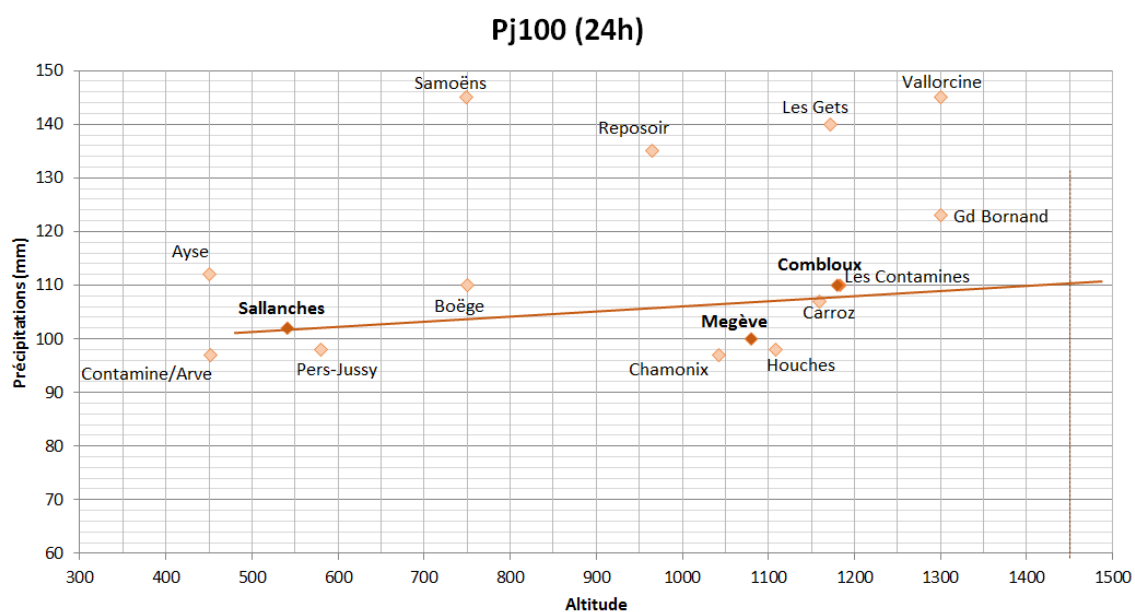


Figure 43 Gradient hypsométrique pour la pluie journalière de période de retour 100 ans

Les valeurs retenues sont lues graphiquement à l'altitude moyenne du bassin versant de la Sallanche qui est de 1453m. Elles figurent dans le tableau suivant :

Période de retour (années)	Pj retenues (mm)	P (24h) centrée (mm)
2	62	71
10	85	97
100	110	125

Tableau 5 Pluies journalières retenues

4.4.2. Pluie de projet durée Tc

La pluie de projet est un évènement fictif qui représente l'ensemble des informations pluviométriques disponibles et qui est censé produire à l'exutoire le même effet que la pluie réelle de période de retour associée (Hemain, 1986).

On considère que la pluie ayant les conséquences les plus graves pour une fréquence et un bassin donné est celle dont la durée est égale au temps de concentration (Laborde, 2003). Si la pluie journalière a été déterminée pour fixer les débits de pointe grâce à des méthodes empiriques ou semi-empiriques, on utilisera la pluie de durée Tc comme donnée d'entrée du modèle hydrologique, afin de définir les hydrogrammes de crue.

Le bassin versant étant de taille modeste, on peut faire l'hypothèse d'une pluie uniforme sur l'intégralité de la surface. La zone sensible du bassin versant se situant à l'aval, on prendra une pluie de la durée de t_c à la confluence de la Sallanche avec l'Arve, soit 100 minutes.

On dispose pour cela de coefficients de Montana pour trois postes à proximité du bassin : Bourg Saint-Maurice (BSM), Chamonix, et les Saisies.

Ces coefficients ont permis de déterminer les pluies suivantes :

	BSM	Chamonix	Saisies
PdR (années)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
5	22.48	24.33	25.22
10	26.41	28.44	27.12
20	30.27	32.77	28.85
30	32.75	35.31	29.77
50	35.94	38.61	30.79
100	40.55	43.21	32.23
Durée chronique	34	23	17
Z station	865	1042	1633

Tableau 6 Pluies de durée 100 min déterminées à partir des coefficients de Montana

L'extrapolation d'un ajustement statistique ne peut être réalisée que sur une période de retour inférieure à 2 ou 3 fois la durée de la chronique d'observation (Laborde, 2003). Les pluviographes de Chamonix et des Saisies ont des chroniques trop courtes pour estimer les pluies sur des périodes de retour élevées (en rouge dans le tableau). Par ailleurs, les valeurs très faibles de pluies et la courte chronique du pluviographe des Saisies nous ont incitées à mettre de côté les données issues de ce poste.

On retient donc les valeurs de Bourg-Saint Maurice (P10 et P100) et de Chamonix (P10 uniquement) auxquelles on a appliqué comme facteur de correction le gradient hypsométrique déterminé sur l'analyse des pluies journalières :

Pluie de projet	P(tc)10	P(tc)100
Valeurs retenues (mm)	36	46

Tableau 7 Lames d'eau précipitées sur la durée Tc=100 min retenues

A partir de ces valeurs, on a constitué le hyétogramme de la pluie de projet en considérant une forme triangulaire. Cette forme reste simple et permet de simuler un pic d'intensité qui a été arbitrairement défini comme étant deux fois supérieur à l'intensité moyenne. La pluie brute de projet est représentée sur la figure suivante :

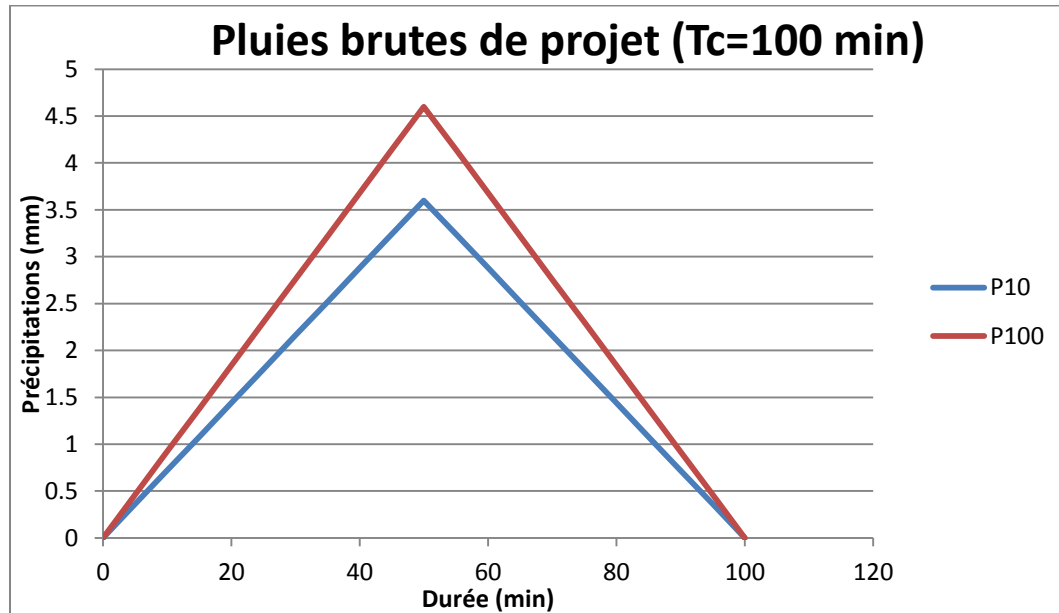


Figure 44 Pluies brutes de projet sur durée Tc=100 min

4.5. Transformation pluie-débit

4.5.1. Débit de crue décennale

4.5.1.1. Crupédix et méthodes dérivées

La méthode Crupédix proposée par le ministère de l'Agriculture en 1980 permet d'évaluer la valeur du débit instantané maximal de période de retour décennale. La formule a été déterminée empiriquement à partir d'une analyse statistique de 630 bassins de moins de 2000km². Des adaptations régionales ont permis d'élaborer des formules plus spécifiques aux bassins versants alpins. C'est le cas des formules proposées par le Laboratoire de la montagne alpine (LAMA, Grenoble) en 1989 ou par Nicolle Mathys et Christophe Peteuil, dans le cadre d'un programme de recherche financé par le conseil général de l'Isère en 2009.

Méthode	Formule	Incertitude (70%)
Crupédix	$Q_{i10} = S^{0.8} * \left(\frac{P_{j10}}{80}\right)^2 * R$	[2/3Q : 3/2Q]
LAMA (1989)	$Q_{i10} = S^{0.8} * \left(\frac{P_{j10}}{73}\right)^{1.5} * R$	[1/2Q : 2Q]
Mathys & Peteuil (2009)	$Q_{i10} = S^{0.85} * \left(\frac{P_{j10}}{87.5}\right)^{0.9} * R$	[2/3Q : 3/2Q]

Avec:

- Q_{i10} : débit instantané maximal annuel décennal
- S : Surface du bassin versant en km²
- P_{j10} : Pluie journalière maximale annuelle décennale en mm
- R : Coefficient régional (fixé à 1 pour Crupédix et LAMA et à 0.9 pour Mathys & Peteuil).

La répartition du coefficient régional est représentée sur la figure suivante :

Source : Estimation de la Q100 dans les PPRI, (Lang, Michel, 2007)

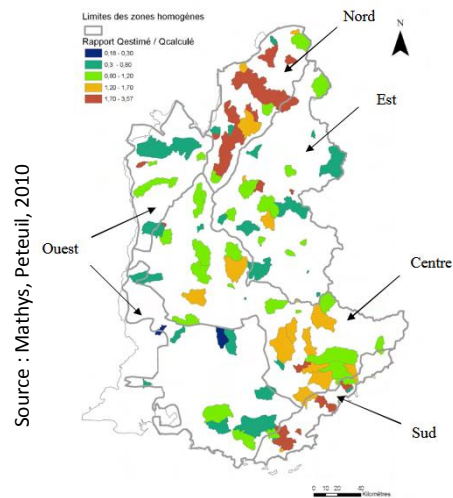
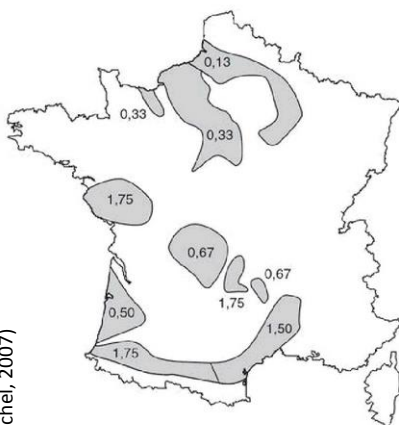


Figure 45 Zones homogènes pour le coefficient régional Crupédix et LAMA (à gauche), ou Mathys & Peteuil (à droite)

4.5.1.2.SOCOSE

Cette méthode a été proposée par le Ministère de l'Agriculture en 1980 pour l'estimation des débits de crue sur des petits bassins versants. La formulation a été obtenue à partir de l'observation de 5000 crues sur 200 bassins versants de 2 à 200 km².

Elle se base sur les paramètres d'entrée suivants :

- S : Surface du bassin versant (km²)
- L : Longueur du plus long thalweg (km)
- P_{J10} : Pluie journalière décennale (mm/j). Dans notre cas, on a utilisé la P (24h), c'est-à-dire la pluie journalière recentrée.
- P_a : Pluie moyenne interannuelle sur le bassin versant (mm/an)
- T_a : Température moyenne interannuelle en °C ramenée au niveau de la mer d'après la figure ci-contre.
- b : paramètre de Montana (pris à la station de Bourg-Saint-Maurice, soit 0.795 pour la période de retour 10 ans)

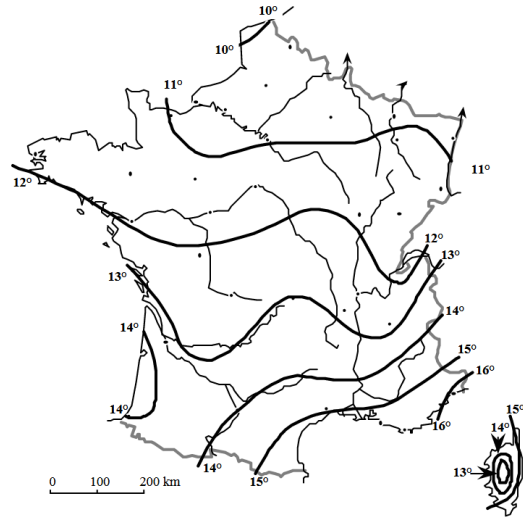


Figure 46 Température moyenne interannuelle ramenée au niveau de la mer

La méthode nécessite le calcul de paramètres intermédiaires tels que D (durée pour laquelle le débit est supérieur à la moitié du débit de pointe), J (interception potentielle), k (indice volumétrique) ou ρ (nombre intermédiaire). Le coefficient ξ déterminé à partir de l'abaque suivant :

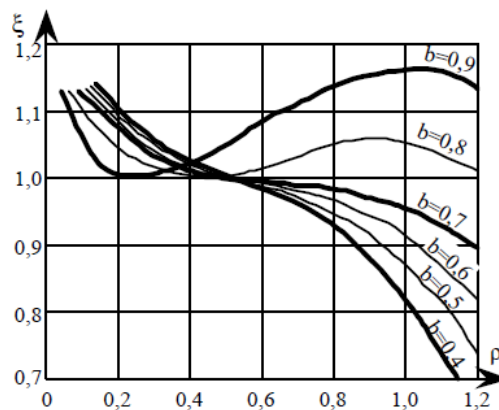


Figure 47 Abaque Socose pour déterminer ξ

Finalement on obtient le débit décennal par la relation :

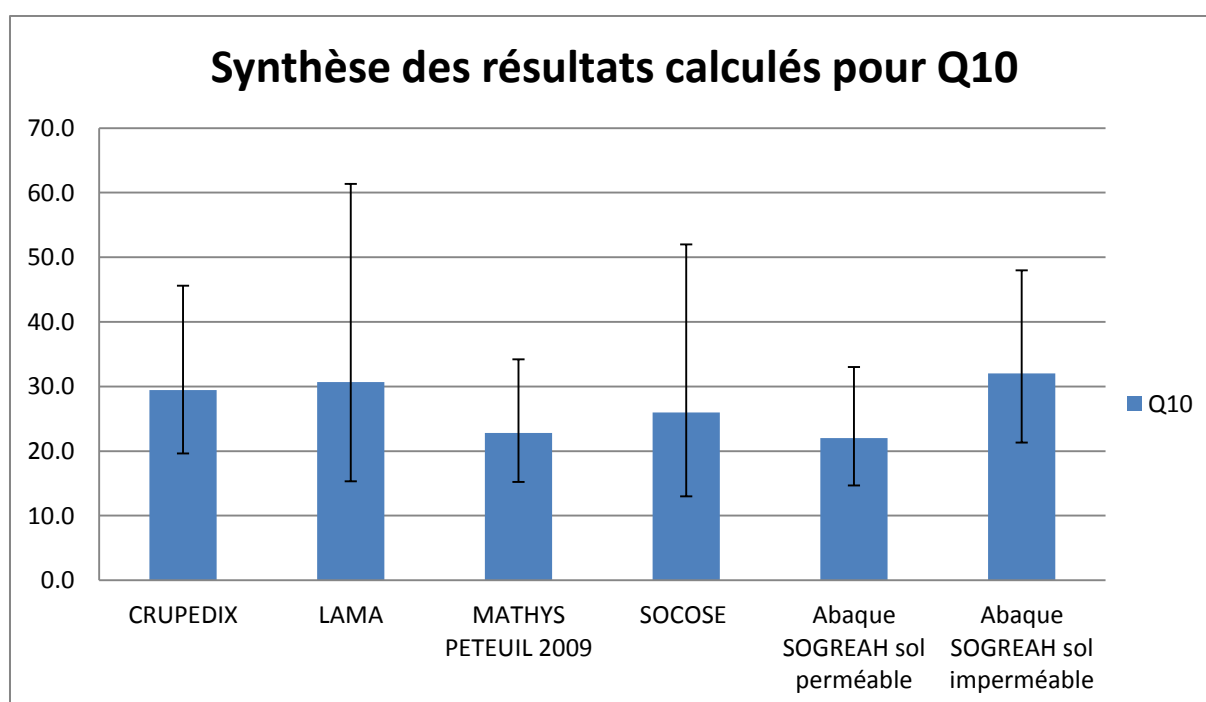
$$Q = \xi \frac{kS}{(1.25D)^b} \frac{\rho^2}{15 - 12\rho}$$

4.5.1.3. Abaque Sogreah

Cette méthode graphique a été établie d'après l'analyse par la Sogreah en 1968 des mesures de 105 stations hydrométriques équipant des bassins versants de 1 à 100km². Elle se base sur la relation entre débit de pointe décennal, la pente du thalweg principal (%), la surface du bassin versant (km²), la pluie journalière décennale (mm/j) et une estimation de la perméabilité des terrains. N'ayant pas d'information sur ce dernier paramètre, on a effectué un test de sensibilité ce qui nous permet d'estimer une fourchette de débits décennaux dont on retiendra la valeur médiane. La lecture de l'abaque effectuée est présentée en **ANNEXE 3 – Abaque Sogreah**.

4.5.1.4. Valeur de la crue décennale retenue

Le graphique suivant fait figurer les résultats des différentes méthodes présentées. Un intervalle de confiance à 70% est également représenté.



On a décidé de conserver une valeur de Q10 légèrement sécuritaire en retenant **30 m³/s**.

4.5.2. Débit de crue centennale : méthode du Gradex progressif

La méthode du Gradex est développée par EDF depuis 1966 pour estimer les débits de crues extrêmes. Elle consiste à extrapoler les débits de fréquence rare parallèlement à la loi de distribution des pluies à partir d'une valeur pivot fixée à Q10. L'hypothèse faite est que le bassin versant atteint la saturation pour des conditions pluviométriques voisines de celles engendrant la crue décennale. Ainsi, à partir de Q10, on considère que tout surcroît de pluie se transforme intégralement en surcroît de débit. Cette méthode est en générale très sécuritaire et surestime le débit de pointe centennale.

Le Gradex progressif (aussi appelé Gradex esthétique ou méthode agrégée) est une adaptation de la méthode du Gradex qui permet de mieux traiter les bassins versants perméables. Ainsi, le raccordement de la loi de distribution des débits à l'asymptote parallèle à celle des pluies est plus progressif et prend en compte la diminution progressive des capacités d'infiltration. On ne considère plus un refus à l'infiltration à partir de la crue décennale (cas de la méthode du Gradex), mais des capacités d'infiltration diminuant progressivement à partir de ce seuil.

Le Gradex progressif se calcule d'après la formule suivante :

$$Q(T) = Q_{10} + G_p \cdot C_p \cdot \ln \left(1 + \frac{G_D}{G_p} \cdot \frac{T - 10}{10} \right)$$

Avec :

- $Q(T)$: Débit maximal de période de retour $T > 10$ ans (m^3/s)
- Q_{10} : Débit maximal de période de retour 10 ans (m^3/s)
- C_p : Coefficient de pointe (fixé à 1.6, en cohérence avec les résultats obtenus par les approches de Fuller, SOCOSE et Sogreah)
- G_p : Gradex des pluies exprimé en m^3/s .

Ce paramètre est calculé avec la formule intermédiaire suivante :

$$G_p(m^3/s) = \frac{S * G_{p_{tb}}(mm) * 24}{t_b * 86.4}$$

Dans laquelle S est la surface du bassin versant et $G_{p_{tb}}$ est le Gradex des pluies recalé sur la durée du temps de base (T_b) de l'hydrogramme. Dans notre cas, on a pris $T_b = 2T_c$ (temps de concentration) correspondant à la durée de la pluie de projet plus la durée du temps de concentration. En effet, si l'on considère que la pluie aux conséquences les plus graves a une durée de T_c , on peut estimer que le ruissellement aura une durée de $2T_c$ (Laborde, 2003). Le Gradex des pluies (mm) a été déterminé graphiquement à partir d'un ajustement des pluies calculées avec les coefficients de Montana aux stations de Bourg Saint-Maurice (73) et Chamonix (74) et fixé à 5.95.

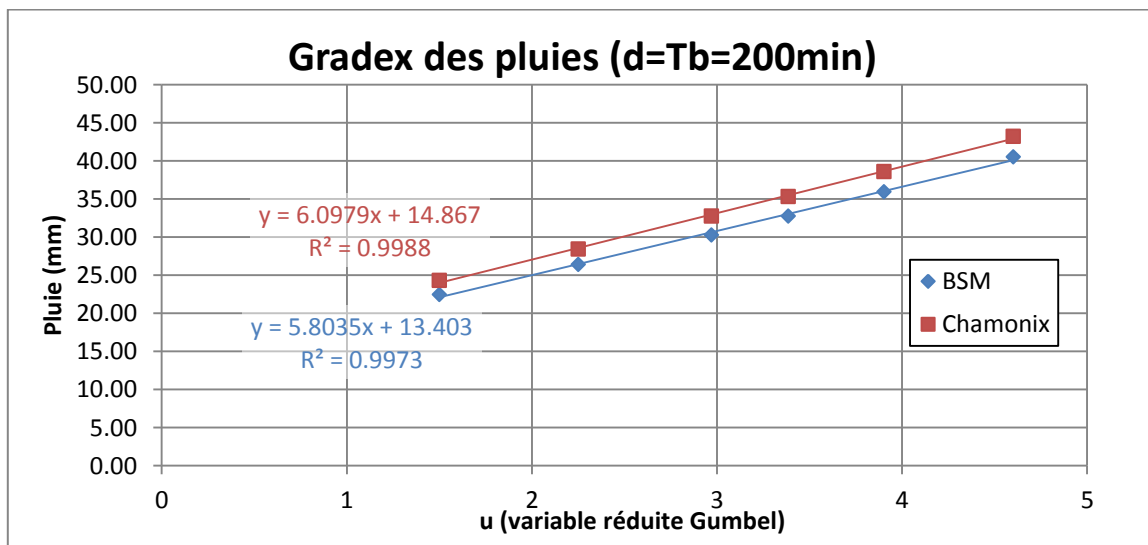


Figure 48 Gradex des pluies sur le temps de base

Après l'application d'un coefficient d'abattement spatial sur $G_{p_{tb}}$, G_p a été calculé à $17.45 \text{ m}^3/\text{s}$.

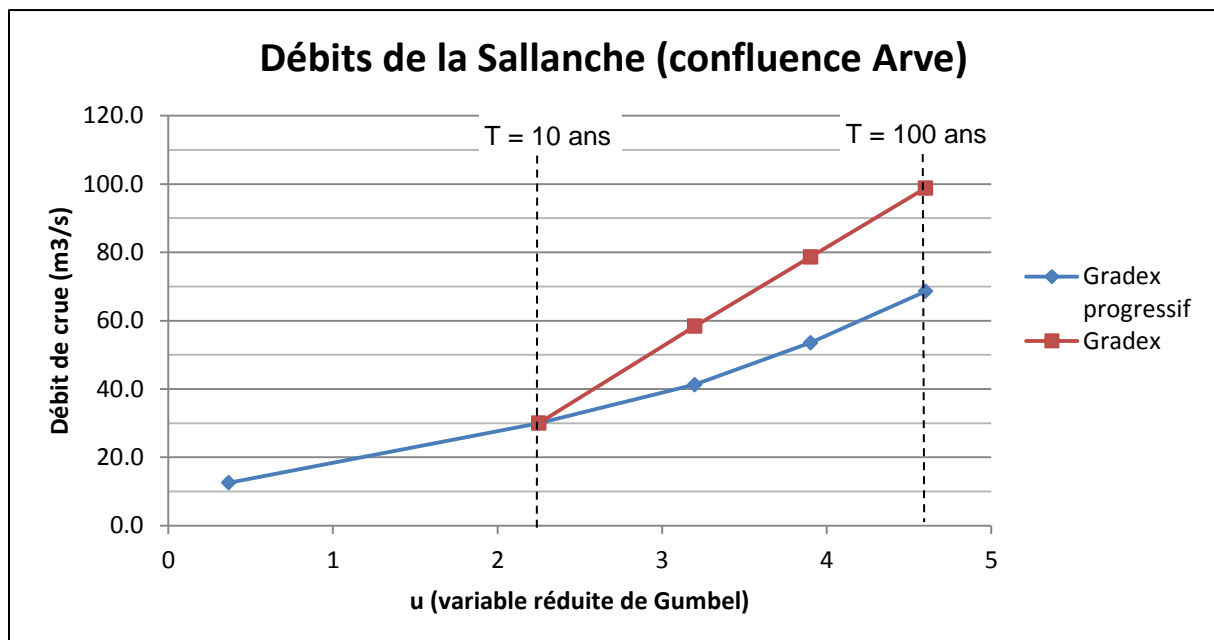
- G_D : Gradex des débits exprimé en m^3/s .

En l'absence de mesures à des stations hydrométriques permettant de faire un ajustement statistique des débits, on a estimé un Gradex des débits entre Q2 et Q10 à partir des méthodes empiriques Crupèdeux et Crupédix. La méthode Crupèdeux, inspiré de Crupédix est formulée ainsi :

$$Q_{i2} = S^{0.8} * \left(\frac{P_{j2}}{106} \right)^2 * R$$

Comme pour la P_{j10} , la pluie journalière bisannuelle a été déterminée à partir des ajustements statistiques réalisés par ISL (ISL, 2016) sur les postes de Combloux, Sallanches, Megève et Contamines-Montjoie puis application de la méthode du gradient hypsométrique.

Les résultats des calculs d'extrapolations des débits sont présentés dans le graphique suivant :



Les résultats obtenus avec la méthode du Gradex sont exposé à titre informatif mais ne sont pas retenus car trop surestimés. Le débit de période de retour centennal retenu est donc **Q100 = 69m3/s**.

4.6. Détermination des hydrogrammes de projet

4.6.1. Choix du modèle : HEC HMS

Le bassin versant de la Sallanche présente une configuration (nature du sol, pentes...) qui laisse penser que le phénomène dominant intervenant dans la transformation de la pluie en débit est le ruissellement. On a donc choisi d'utiliser le modèle HEC-HMS développé par l'US Army Corps of Engineers, qui est adapté à notre cas d'étude.

Ce modèle est conçu pour prédire une hauteur d'eau, un débit ou une vitesse en un point de calcul du bassin versant à partir de données de précipitations ou d'un débit amont (USACE, 2015). Il intègre un grand nombre de méthode pour décrire le comportement d'un bassin versant, dont le choix est laissé à l'utilisateur. Ces différentes méthodes permettent de caractériser :

- La distribution temporelle et spatiale des précipitations et de l'évaporation
- Les volumes ruisselés ou infiltrés (quantité, début d'apparition du ruissellement, durée...)
- Le comportement du ruissellement de surface ou de subsurface
- Le débit de base du chenal d'écoulement principal
- Les phénomènes de routage dans le chenal d'écoulement principal

Dans notre cas, le modèle hydrologique sera utilisé pour distribuer les débits entre les deux principaux bassins versants et déterminer des hydrogrammes qui pourront être utilisés comme condition aux limites amont du modèle hydraulique.

4.6.2. Hypothèses retenues

4.6.2.1. Structure du modèle

La structure du modèle permettant de modéliser la transformation pluie-débit sur le bassin versant de la Sallanche est très simple. Elle consiste en deux sous bassins, une jonction et un exutoire. Aucun chenal d'écoulement n'est modélisé, on ne prend donc pas en considération le phénomène de laminage de crue lié aux fonctions de routage.

On a opéré une simplification du modèle, car ni le bassin versant du ruisseau de Bellegarde, ni la zone densément urbanisée de Sallanches ne sont directement représentés. Or, le calage du modèle est basé sur les débits de crue retenus grâce aux méthodes empiriques et statistiques de transformation pluie débit pour la Q10 et la Q100, respectivement 30 m³/s et 69m³/s. Ces méthodes considéraient l'intégralité du bassin versant de la Sallanche.



Figure 49 Schéma de la structure du modèle hydrologique (icônes et traits noirs)

Cette hypothèse simplificatrice revient à distribuer le débit du ruisseau de Bellegarde (BV représentant 3.2% du BV total) et du bassin urbain aval (1.2% du BV total) sur les hydrogrammes des sous-bassins de la Sallanche et du torrent de la Croix. Les conséquences sont les suivantes :

- BV de Bellegarde : légère surestimation du débit du torrent de la Croix et de la Sallanche en amont de la restitution du ruisseau de Bellegarde et sous-estimation sur le tronçon de 100 mètres entre la restitution de Bellegarde et la confluence avec le torrent de la Croix.
- BV urbain aval : Très légère surestimation du débit, dégressive de l'amont vers l'aval.

Outre le court tronçon de la Sallanche pour lequel on a une sous-estimation du débit, ces erreurs vont dans le sens de la sécurité et sont donc compatibles avec notre objectif. On précise par ailleurs que les débits en jeu, estimés par application de la méthode rationnelle, sont relativement faibles: de l'ordre de 2 à 3 m³/s. Cette hypothèse a également une légère incidence sur le calage des coefficients de ruissellement.

4.6.2.2. Méthode de transformation

La transformation des pluies est effectuée selon le modèle de l'hydrogramme unitaire. Il s'agit d'une méthode empirique qui établit un lien direct entre la pluie excédentaire et le ruissellement, sans chercher à comprendre les phénomènes physiques de conversion (USACE, 2000). Elle implique les hypothèses suivantes :

- La distribution spatiale de la pluie nette est uniforme et son intensité est constante sur le pas de temps choisi (5 minutes dans notre cas).
- Le rapport entre la pluie nette et le volume ruisselé est linéaire.
- Propriété d'invariance temporelle : la transformation pluie-débit à un pas de temps donné ne dépend pas du pas de temps précédent.
- Le temps de base de l'hydrogramme de sortie dépend de la durée de la pluie nette mais pas de son intensité.

Hydrogramme unitaire de Clark :

Cette méthode dérivée de l'hydrogramme unitaire représente deux processus : la translation de la pluie nette vers l'exutoire du bassin versant et le stockage à court terme de l'eau sur le bassin versant (dans le sol, à la surface, dans les chenaux...). La translation découle directement de la méthode de l'hydrogramme unitaire. Le stockage est modélisé d'après la théorie des réservoirs linéaires (USACE, 2000). Cette dernière considère le bassin versant comme un réservoir qui temporise de manière linéaire l'arrivée des pluies pour en restituer du débit, tout en conservant le volume. Elle repose sur les équations suivantes (Hydratec, 2007):

- Temporalisation linéaire :

$$V(t) = K \cdot Q_s(t)$$

- Conservation du volume :

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$$

Dans lesquelles :

- $V(t)$ est le volume de stockage,
- $Q_e(t)$ est le débit d'entrée, correspondant à la pluie nette,
- $Q_s(t)$ est le débit de sortie, c'est-à-dire l'hydrogramme du bassin versant,
- K est le coefficient de linéarité de la temporisation, homogène au temps. Il est aussi appelé « temps de réponse du bassin versant » (*Lag time*). Dans notre cas il s'agira du temps de concentration car il n'y a pas de lac ou de réservoir créant un laminage important.

4.6.2.3. Choix du temps de concentration

On a vu précédemment que le temps de concentration du sous-bassin versant du torrent de la Croix était différent selon que l'on considère le torrent de Zarzillat ou le torrent de la Croix comme branche principale (respectivement 75 min et 85 min). Une analyse de sensibilité a été menée sur ce paramètre et montre un impact de sur la valeur du pic de crue à la confluence de l'ordre 4.5%. Le cas le plus défavorable a été retenu et les résultats présentés par la suite ont été obtenus en considérant que la branche principale est le torrent de Zarzillat.

4.6.2.4. Paramètres de calage du modèle

L'objectif de la phase de calage consiste à faire en sorte que le pic de l'hydrogramme de sortie après la confluence de la Sallanche et du torrent de la Croix corresponde aux débits de crue retenus, c'est-à-dire $30\text{m}^3/\text{s}$ pour la Q10 et $69\text{m}^3/\text{s}$ pour la Q100. Le principal paramètre d'ajustement pour parvenir à ce résultat est le coefficient de ruissellement.

4.7. Résultats du modèle hydrologique

Hydrogramme Q10

Rappel des paramètres caractéristiques de la modélisation :

Nom simulation:	P10N_ZAR
Calcul des pertes:	Pluie nette calculée à partir du coefficient de ruissellement décennal
Modèle transformation pluie-débit:	ClarkUnit Hydrograph
Cr10 Sous-BV SAL	20%
Cr10 Sous-BV CRO	15%
Tc BV SAL (min)	75
Tc BV CRO (min)	75

Tableau 8 Caractéristique de la modélisation pluie-débit décennale

Hydrogrammes obtenus :

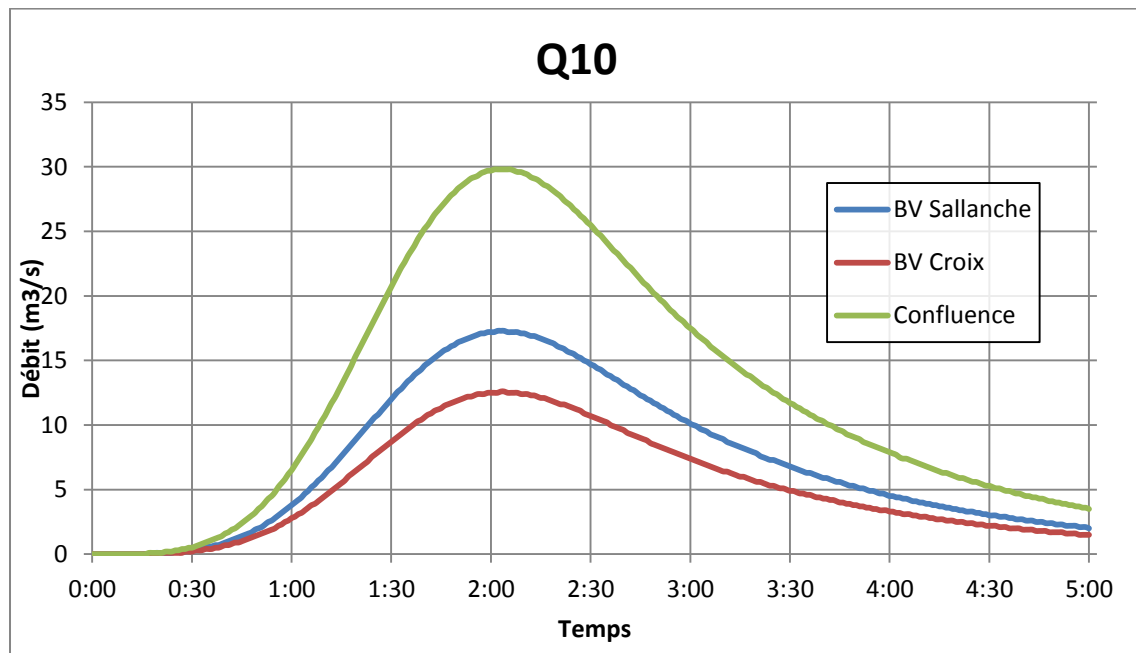


Figure 50 Hydrogrammes Q10

Cours d'eau	Pic de crue (m ³ /s)	Temps de montée	Temps de réponse
La Sallanche	17.3	1 h 40 min	1 h 13 min
Torrent de la Croix	12.6	1 h 40 min	1 h 13 min
Confluence	29.9	1 h 40 min	1 h 13 min

Tableau 9 Caractéristiques des hydrogrammes Q10

Le temps de montée est la durée entre le début de l'augmentation du débit et le pic de crue. Le temps de réponse est la durée entre le pic de précipitations (50min, cf. Fig.43) et le pic de crue.

Hydrogramme Q100

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Nom simulation:	P100N_ZAR
Calcul des pertes:	Calcul de la pluie nette à partir du coefficient de ruissellement centennal
Modèle transformation pluie-débit :	ClarkUnit Hydrograph
Cr10 Sous-BV SAL	33%
Cr10 Sous-BV CRO	28%
Tc BV SAL (min)	75
Tc BV CRO (min)	75

Tableau 10 Caractéristique de la modélisation pluie-débit centennale

Hydrogrammes obtenus :

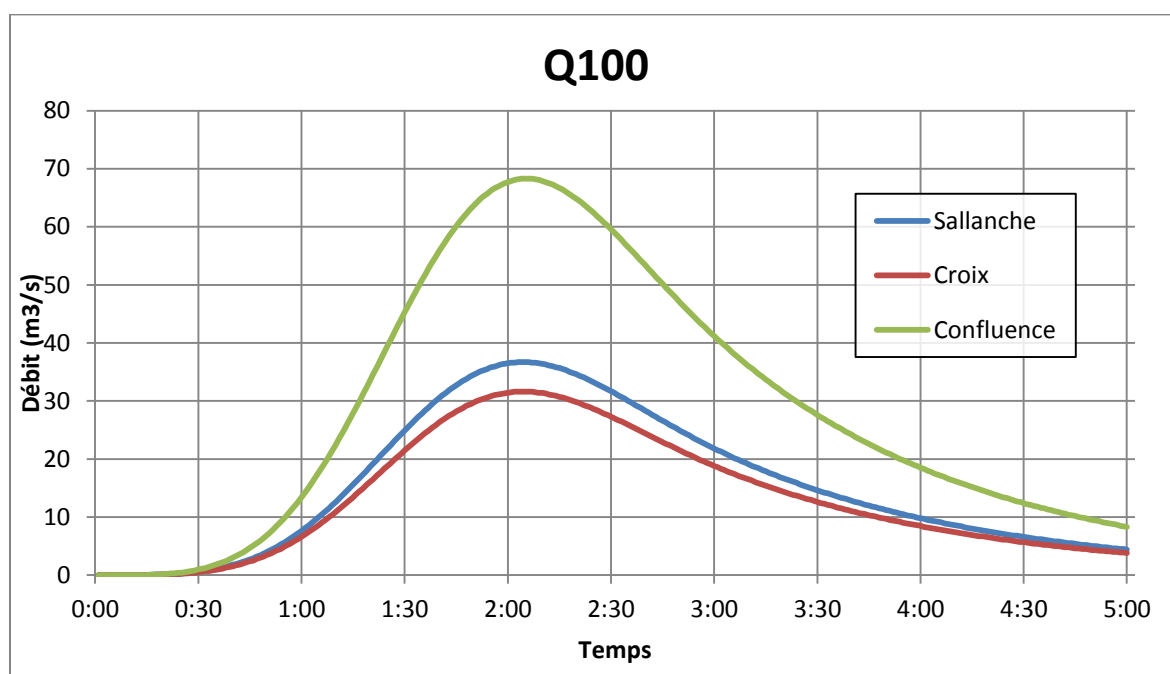


Figure 51 Hydrogrammes Q100

Cours d'eau	Pic de crue (m ³ /s)	Temps de montée	Temps de réponse
La Sallanche	36.7	1 h 30 min	1 h 13 min
Torrent de la Croix	31.6	1 h 30 min	1 h 13 min
Confluence	68.3	1 h 30 min	1 h 13 min

Tableau 11 Caractéristiques des hydrogrammes Q100

Le temps de montée est la durée entre le début de l'augmentation du débit et le pic de crue. Le temps de réponse est la durée entre le pic de précipitations (50min, cf. Fig.43) et le pic de crue.

5. Analyse hydraulique

5.1. Emprise du modèle

L'analyse du risque d'inondation menée dans cette étude repose sur une modélisation 1D des écoulements dans le secteur urbanisé du bassin versant de la Sallanche. Le modèle se compose d'une géométrie, établie à partir d'éléments topographiques relevés sur le terrain ou obtenus par télédétection, et de données hydrologiques, déterminées dans la partie précédente de l'étude.

Le modèle couvre :

- la Sallanche depuis sa confluence avec l'Arve jusqu'au PM1700, environ 50 mètres en aval du pont de la voie communale n°3 ;
- le torrent de la Croix, depuis sa confluence avec la Sallanche jusqu'au PM 340, à proximité de la restitution de la centrale de la Frasse.

Une représentation cartographique de l'emprise du modèle figure en **ANNEXE 4 – Emprise du modèle hydraulique 1d**. Par la suite, de nombreuses analyses et descriptions font référence à des numéros de profils ou des ponts qui sont localisés sur cette même carte.

5.2. Données topographiques

Les données topographiques utilisées pour la géométrie du modèle hydraulique proviennent de deux sources :

- Le MNT LiDAR levé en 2015 par Sintegra pour le compte du SM3A.
- Des profils en travers terrestres et levés d'ouvrages produits par le cabinet Sintegra au mois de mars 2018.

5.2.1. MNT LiDAR 2015

La technologie LiDAR (Light Detection And Ranging) permet de réaliser des levés topographiques sur de grandes surfaces à l'aide d'un LASER embarqué sur un aéronef. En octobre 2015, le SM3A a mené une campagne LiDAR haute-résolution permettant d'établir un MNT d'une grande partie de l'Arve et de sa plaine alluviale, comprenant la partie aval de la Sallanche et du torrent de la Croix.

Par la suite, on pourra simplement utiliser le terme LiDAR en référence au MNT réalisé avec cette technologie.

Les caractéristiques techniques du MNT LiDAR de 2015 sont les suivantes :

- Résolution spatiale : 1 mètre
- Précision altimétrique (écart-type) : 10 cm
- Précision planimétrique (écart-type) : 25 cm

Il est important de noter ici que le LiDAR ne permet pas de faire de la bathymétrie. Ainsi, les points bas des profils en travers qui en sont issus correspondent à la cote de la surface de l'eau et non à celle du fond du lit. On a tout de même une bonne approximation puisque le levé a été fait en période d'étiage, comme permet de l'attester l'orthophotoplan réalisé simultanément.



Figure 52 Orthophotoplan SM3A 2015: confluence du torrent de la Croix et de la Sallanche à l'étiage.

Dans le cadre de la présente étude, un complément de traitement des données LiDAR brutes a été commandé pour que le MNT couvre l'intégralité du linéaire que l'on souhaite modéliser. L'ombrage ci-dessous montre que la donnée est largement disponible au niveau dans la traversée urbaine, mais l'emprise est plus faible et la qualité moins bonne dans la zone correspondant à la sortie des gorges.

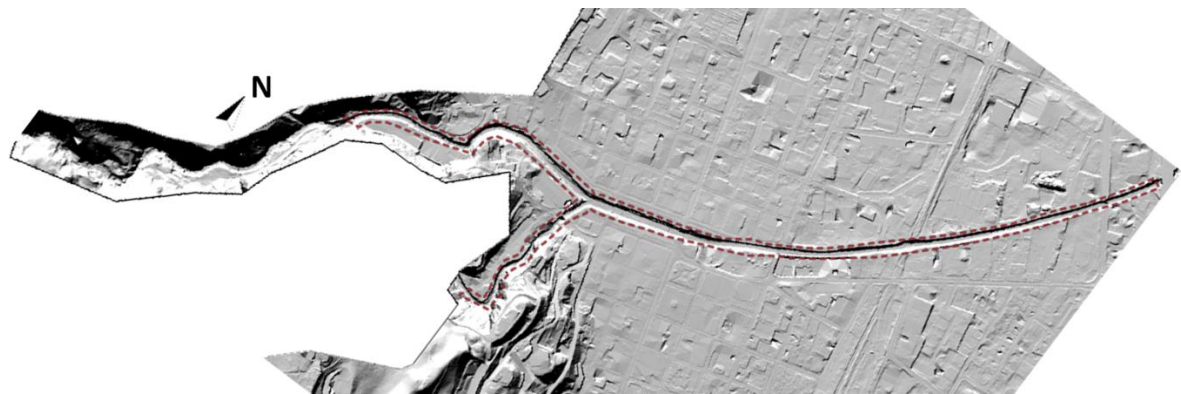


Figure 53 Ombrage du MNT LiDAR 2015

Le LiDAR peut présenter une qualité parfois insuffisante par rapport à ce que requiert la modélisation, en particulier lorsque la végétation de berge est dense et surplombe le lit du cours d'eau. On note par ailleurs quelques défauts de traitements au niveau de certains ponts (A40 et RD114) pour lesquels on a la cote du tablier et non pas celle du fond du lit (obtenue par interpolation sur les autres ouvrages). Un autre défaut se situe en rive droite, entre les profils P800 et P655. Il est dû au fait que le LiDAR a été levé pendant la réalisation des fondations des immeubles situés à cet endroit.

5.2.2. Topographie terrestre

Profils en travers :

Des visites de terrains ont permis d'identifier les zones potentiellement exposées à un risque d'inondation. Afin de vérifier la qualité du LiDAR sur ces secteurs et de le corriger sur les zones qui présentent des défauts, une dizaine de profils en travers ont été levés. Ces derniers comptent de 15 à 20 points pour une vingtaine de mètres en moyenne. Ils font figurer le fond du lit ainsi que la cote de la surface de l'eau au moment du levé.

Les profils terrestres et LiDAR correspondants ont été superposés pour évaluer la qualité du LiDAR. Cela nous a permis de constater une qualité plutôt bonne du LiDAR dans l'ensemble, parfois moyenne lorsque la végétation des berges est dense.

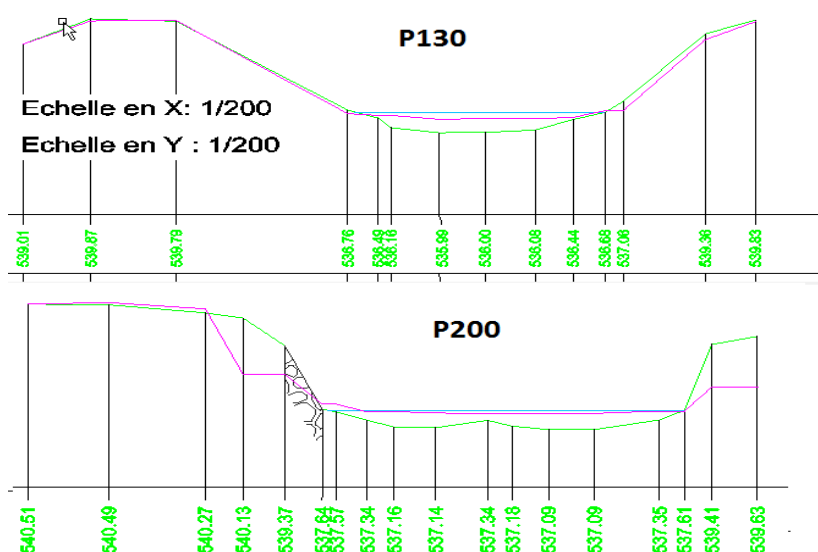


Figure 54 Exemple de variation de qualité du LiDAR (rose) par rapport au profil topo terrestre (vert)

Les points levés par topographie terrestre présentent une excellente précision mais leur densité est faible et ils couvrent une faible largeur du cours d'eau. Dans certains cas, ces profils ont été prolongés avec les données LiDAR pour avoir une meilleure représentation de la plaine inondable.

Ponts :

A l'occasion de la campagne topographique, un certain nombre d'élévations amont de ponts ont également été levées. Six de ces pont ont été implémentés en tant que tels dans le modèle :

PK	Pont
1580	Pont de Lévaud
985	<i>Pont du Mont Blanc</i>
800	Pont de Boccard
560	Passerelle SNCF
550	Pont SNCF
165	Pont RD13

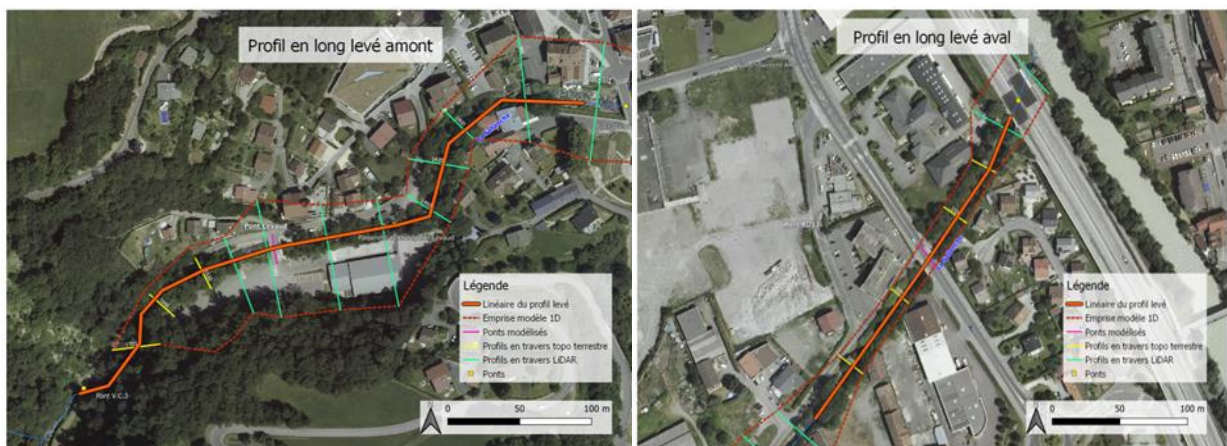
Tableau 12 Ponts implémentés dans le modèle

L'élévation du pont du Mont-Blanc n'a pas été levée par Sintegra mais transmise par la commune. Cette dernière ne faisait pas apparaître de cotes altimétriques mais seulement des dimensions et a de ce fait été complétée avec le LiDAR.

Profils en long :

Au cours de la campagne de mesure, deux profils en long ont été levés sur la Sallanche, au droit des zones pressenties comme les plus risquées. Ils ont permis de valider la pente implémentée dans le modèle.

Les linéaires sont représentés sur la figure suivante :



5.3. Scénarios modélisés

Pour chaque débit de référence (Q10 et Q100), quatre modélisations ont été effectuées, correspondant à différents scénarios ou analyses de sensibilité.

- **Modélisation 1 : Scénario de base**

Cette modélisation constitue le point de référence pour la suite des analyses. L'objectif visé est de représenter au mieux la crue dans la situation actuelle.

- **Modélisation 2 : analyse de sensibilité des coefficients de Strickler**

Cette modélisation vise à quantifier l'impact d'une variation des coefficients de Strickler sur les lignes d'eau. Pour cela, on a repris la modélisation de base dans laquelle on a diminué tous les coefficients de Strickler des chenaux principaux de 20%.

- **Modélisation 3 : analyse de sensibilité de la condition limite aval**

Cette modélisation consiste à élever de 1 mètre la cote de la ligne d'eau renseignée comme condition limite aval. Ce scénario correspond à une concomitance de la crue étudiée avec une crue centennale de l'Arve. La cote imposée à l'aval est en effet tirée de la modélisation ISL 2016 réalisée dans le cadre de l'étude globale du bassin versant de l'Arve. Cette situation est assez improbable dans la réalité étant donné la différence de fonctionnement des deux bassins versants. Ce scénario permet toutefois d'évaluer la sensibilité de la condition à la limite aval sur la ligne d'eau calculée.

- **Modélisation 4 : Obstruction du pont de Lévaud**

Cette modélisation reprend le paramétrage du scénario de base mais utilise une géométrie dans laquelle le pont de Lévaud est remplacé par un profil en travers dont la cote du fond du lit se situe à la cote du tablier supérieur. Ce scénario correspond à un cas d'obstruction par exhaussement du lit par dépôt sédimentaire combiné avec des embâcles importants issus de l'amont. Il est intéressant car le pont de Lévaud se situe juste après une rupture de pente qui favorise le dépôt sédimentaire. De plus, de par sa situation proche de la sortie des gorges du cours d'eau, il est fortement exposé au risque d'embâcle. Enfin, le centre sportif de Lévaud et la future centrale hydro-électrique de la Sallanche se situent à proximité en rive droite et sont des enjeux importants.

5.4. Paramétrage du modèle

5.4.1. Géométrie du modèle

Le modèle est composé de deux rivières et trois biefs correspondant au torrent de la Croix et au torrent de la Sallanche, en amont et en aval de la confluence.

Les profils ont été importés à partir d'un fichier « .csv » afin de conserver le géo-référencement et permettre de faire facilement le lien entre le modèle et le SIG. Les distances d'un profil à l'autre renseignées ont en revanche été mesurées « à la main » sur le SIG, HEC-RAS n'étant capable d'utiliser les coordonnées des points pour les évaluer. Pour valider la bonne représentativité du modèle, on a donc procédé à une comparaison du profil en long du modèle avec les profils en long levés par Sintegra.

Les visites de terrains ont permis de relever quelques points particuliers qui ont été pris en compte dans la géométrie du modèle :

- Au P1235 se trouve l'aération du parking souterrain de la place du Pré de Foire dont l'ouverture débouche sur le lit du cours d'eau en rive droite (ci-contre).
- Au P930, la berge semble être formée par un bâtiment. Ce dernier semble être un ancien bâtiment industriel équipé d'une prise d'eau mais cette information n'est pas confirmée. Dans le modèle, la cote de berge a été placée sur le mur, à la cote du terrain naturel à côté du bâtiment.
- La cote prise en compte au droit du nouveau lotissement d'immeuble, entre les profils P800 et P655, en rive droite correspond au terrain à l'arrière du muret en gabions et non pas au sommet de celui-ci.



Figure 55 Parking ouvert sur le lit au P 1235

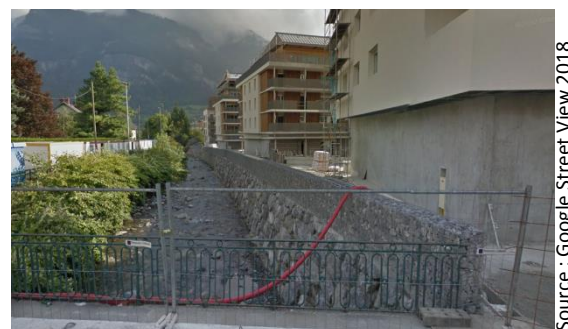


Figure 56 Muret en gabion à l'aval du pont de Boccard

5.4.2. Conditions aux limites

Les paragraphes suivants font état de la réflexion menée pour fixer les conditions aux limites dans le cas du scénario de base.

Aval :

Le profil le plus à l'aval du modèle se situe à la confluence de la Sallanche et de l'Arve. C'est pourquoi la condition imposée à la limite aval est la cote de la surface d'eau correspondant à une crue décennale de l'Arve soit **537.7m**. Cette valeur est issue du modèle réalisé par ISL en 2016 dans le cadre de l'étude globale du bassin versant de l'Arve. Cette hypothèse semble raisonnable, tout en restant légèrement pessimiste.

On a constaté par ailleurs qu'en remplaçant cette condition limite par la hauteur normale, l'influence sur la ligne d'eau calculée était quasiment nulle.

Amont :

La principale condition amont est le débit injecté mais du fait que l'on modélise en régime permanent, le logiciel requiert également une hauteur d'eau. Or on ne dispose pas d'informations permettant de la déterminer. Par défaut, on a choisi d'imposer une hauteur normale en renseignant la pente mesurée sur le LiDAR comme pente énergétique. On a remarqué que remplacer les hauteurs normales par des hauteurs critiques ne change pas les résultats.

Sur le bief amont de la Sallanche, on a observé un régime fluvial à proximité de la condition limite amont (hauteur normale au-dessus de la hauteur critique). Le point de contrôle se situe donc à l'aval et la condition limite amont n'a aucune influence.

La partie amont du bief du torrent de la Croix apparaît en régime torrentiel. Sur le premier profil, HEC-RAS ne trouve pas de solution lorsqu'on impose une hauteur normale et place donc par défaut la ligne d'eau à la hauteur critique.

Jonction :

Au niveau de la confluence, le débit injecté dans le bief aval correspond à la somme des débits des deux biefs amont. La méthode choisie pour calculer l'évolution de la charge à la confluence et un simple bilan énergétique qui ne prend pas en compte l'angle de confluence des deux rivières.

5.4.3. Coefficients de Strickler (Ks)

Les coefficients de Strickler ont été attribués aux profils sur la base de comparaison d'observations de terrain et de l'orthophotoplan avec des valeurs issues de la littérature (USACE, 2016 ; Vazquez, Dufresne, 2016).

On a choisi de conserver la configuration de base de HEC-RAS qui permet d'attribuer la rugosité sur trois portions d'un profil en travers : le chenal d'écoulement principal, la rive gauche et la rive droite.

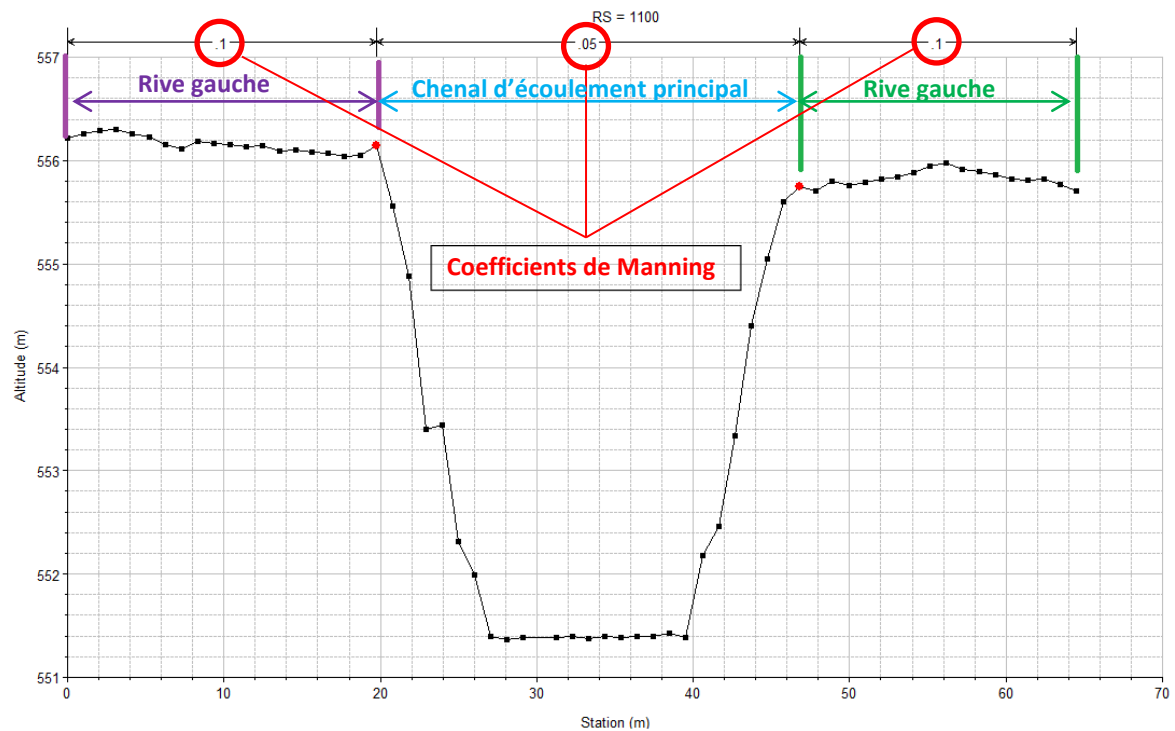


Figure 57 Distribution des coefficients de Manning-Strickler sur un profil type

En première approche, les coefficients de Strickler sur les rives ont été fixés uniformément à 10. Ces derniers pourront éventuellement être ajustés au droit des zones sollicitées par des débordements. On retient notamment la valeur de 62 pour les surfaces en asphalté (Chow, 1959).

Le coefficient de Strickler du chenal d'écoulement principal, qui comprend de manière générale le fond du lit et les talus de berges, s'applique en réalité à des substrats hétéroclites. En particulier pour le tronçon chenalisé de la Sallanche, entre les profils P1350 et P985 notamment, les berges ont été placées à la cote de la route et le chenal principal intègre la risberme en bord de cours d'eau. Cet élément a été pris en compte pour attribuer les Ks du chenal.

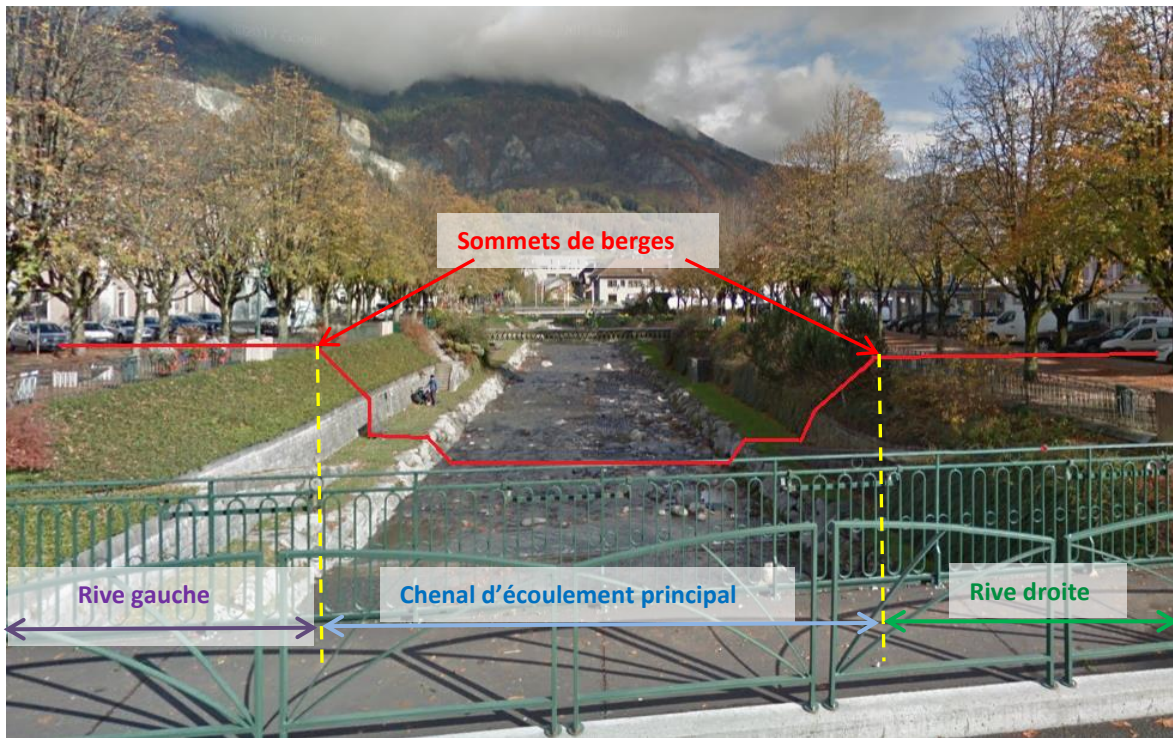


Figure 58 Placement des sommets de berges sur le tronçon chenalisé de la Sallanche (vue depuis le pont de St-Eloi)

Les valeurs affectées aux chenaux d'écoulements principaux sur l'ensemble du modèle dans le scénario de base varient de 15 à 25. Elles sont représentées sur la cartographie suivante :

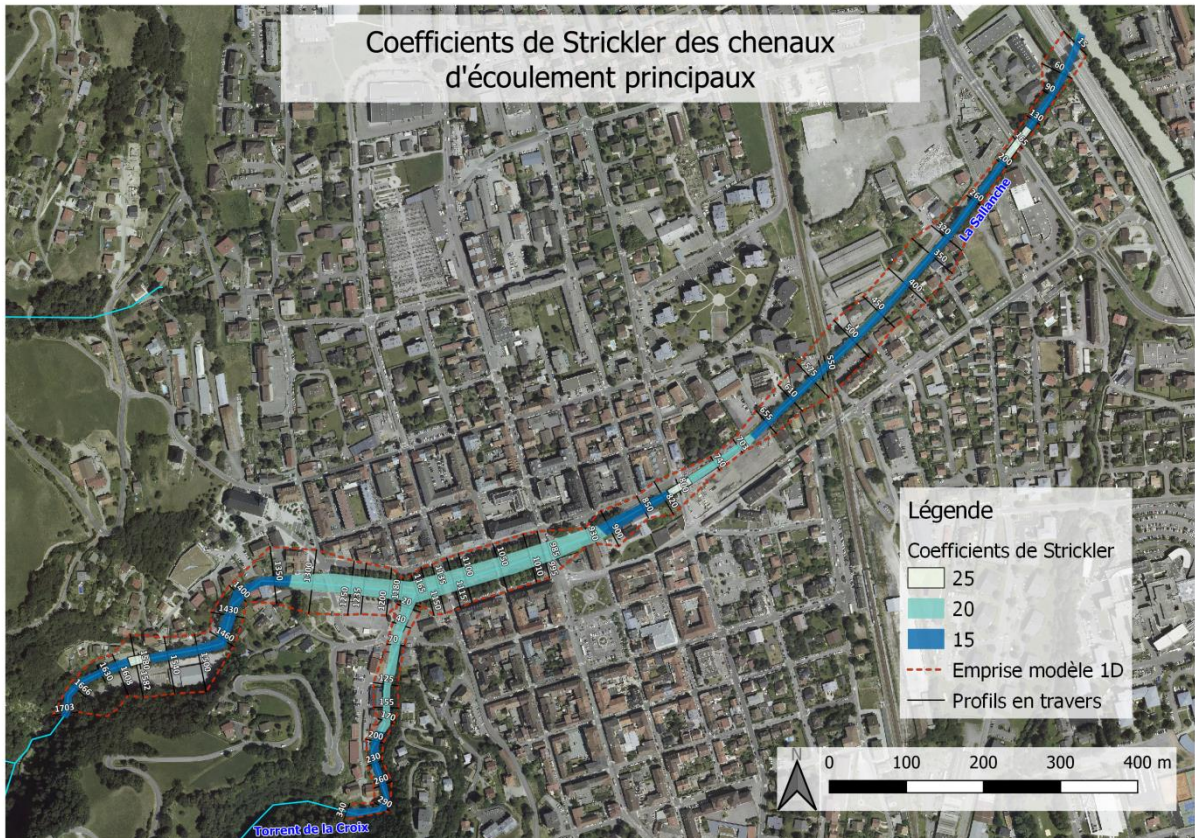


Figure 59 Coefficients de Strickler utilisés pour le "Scénario 1"

5.4.4. Transport solide

L'analyse hydro-morphologique a montré que le fonctionnement sédimentaire de la Sallanche est assez atypique. De plus, la grande amplitude de la granulométrie, avec des sédiments très fins ou très grossiers et structurants le lit rend délicat le calcul d'un profil d'équilibre.

Le modèle ne prend pas en compte le transport solide. Toutefois, les dépôts observés lors de la crue de mai 2015 montrent que ce paramètre ne doit pas être négligé. Il sera donc pris compte au travers d'une expertise à l'occasion de l'analyse des résultats.

5.4.5. Calage

Comme mentionné au 4.2. *Équipement métrologique régional*, le torrent de la Sallanche n'est pas équipé de station de mesure de débit. Il n'y a donc pas d'évènement de référence suffisamment documenté qui nous permette de procéder à un véritable calage du modèle.

Toutefois, des observations ont été effectuées pendant la crue de mai 2015. D'après des photos de laisses de crues et le témoignage de Franck BAZ, technicien de rivière sur ce secteur, la Sallanche atteignait au plus fort de la crue le sommet des bancs localisés en rive gauche entre les profils 1010 et 1050. Un repère de crue correspondant à ce niveau a été posé par le SM3A.



Figure 60 Repère et laisses de la crue de mai 2015

La cote NGF de ce repère n'a pas été levée. Cependant, d'après le LiDAR, la terrasse sur laquelle se trouvent les bancs est à la cote 551.5m (entre les deux bancs). En estimant la hauteur d'un banc à 1 mètre, on retiendra la cote de 552.5m pour le niveau de l'eau lors de la crue.

Les précipitations enregistrées par les stations pluviométriques avoisinantes au cours de cet épisode de crue sont les suivantes :

Station	Précipitations (mm)
Sallanches	59.4
Combloux	90.7
Megève	84.8

Tableau 13 Précipitation enregistrées le 1er mai 2015

On remarque que ces valeurs approchent ou dépassent respectivement les valeurs de pluies décennales utilisées pour la détermination de la pluie journalière du bassin versant (cf. Tableau 5 Pluies journalières retenues). On fait donc l'hypothèse que la crue de mai 2015 était proche d'une crue décennale, bien que l'on ignore la durée réelle de la pluie pour cet évènement au regard du faible temps de concentration du bassin versant.

5.5. Résultats du modèle hydraulique

5.5.1. Crue décennale (Q10)

Modélisation 1: Scénario de base Q10

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	17.3	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	12.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	29.9	x	Z _{eau} = 537.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs de base	
Pont de Lévaud		Non obstrué	

Profil en long :

Pour une meilleur lisibilité, le profil en long complet des biefs Sallanche amont et Sallanche aval est disponible en **Annexe 5**. Le profil en long sur le bief du torrent de la Croix met en évidence de très fortes revanches et ne nécessite pas de figurer dans le corps du rapport.

Cartographie des revanches et débordements :

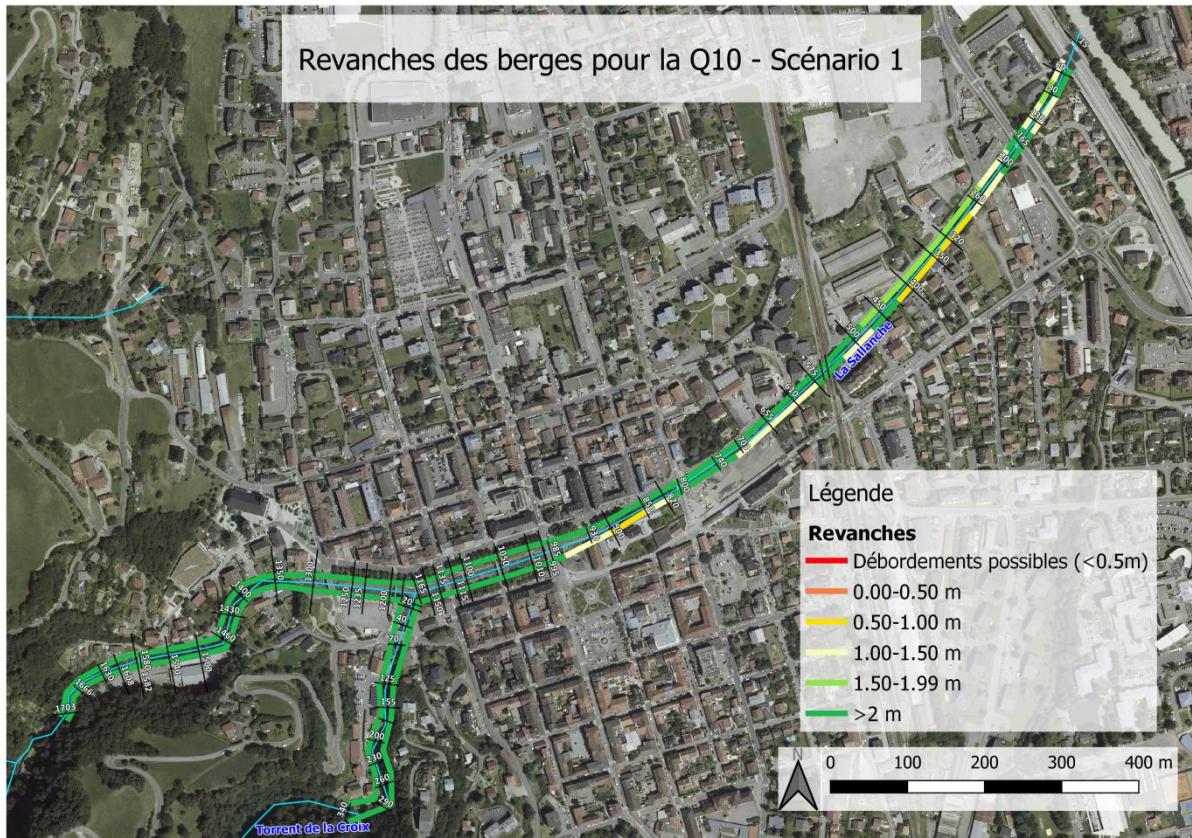


Figure 61 Revanche entre les berges et la ligne d'énergie calculée pour le scénario de base de la Q10

Analyse :

La ligne d'eau présente parfois quelques artefacts, en particulier à proximité des ponts. Il semble plus pertinent sur ces portions du profil de s'intéresser à la ligne d'énergie, d'autant plus que la ligne d'eau tend vers cette dernière en cas d'embâcle.

On s'attend pour ce scénario à retrouver une ligne d'eau proche de celle observée lors de la crue de mai 2015. Or le détail du profil en long suivant montre qu'au droit du repère de crue, les lignes d'eau et d'énergie sont respectivement à près de 90 cm et 70 cm sous la cote estimée du repère (551.65 m et 551.85 m calculés pour 552.5 m attendu).

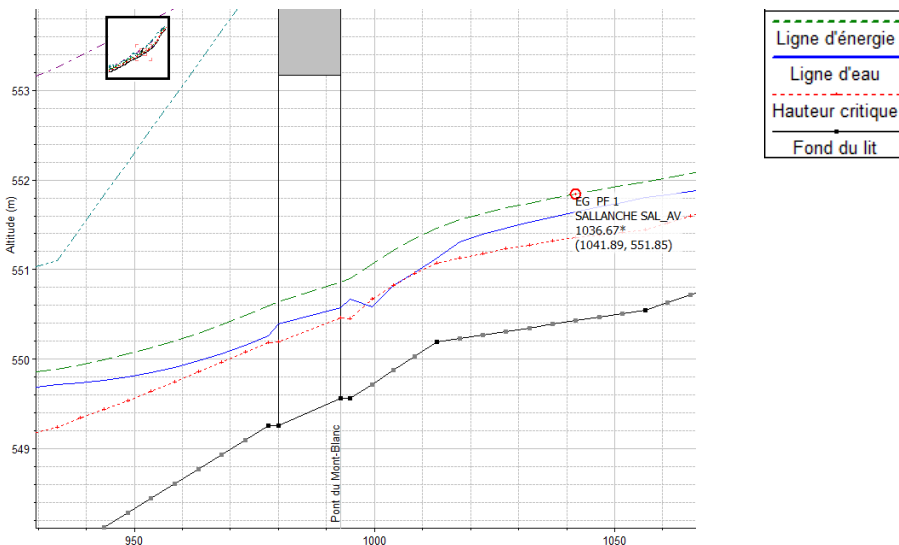


Figure 62 Détail du profil en long au droit du repère de crue

L'imprécision de la mesure LiDAR et de l'estimation de la cote du repère de crue ne permettent pas d'expliquer une telle différence. Une réévaluation raisonnable de la rugosité (K_s retenu = 20 au lieu de $K_s=25$ initialement testé pour cette zone large et a priori peu rugueuse) ne permet pas non plus de retrouver la hauteur d'eau attendue.

L'explication se trouve plutôt dans le fait que l'on se situe dans la zone de dépôt sédimentaire préférentielle, provoquée par l'élargissement du lit et l'adoucissement de la pente (cf. 3.3.3. Cône de déjection). Lors de la crue de 2015, un exhaussement temporaire du lit s'est produit, relevant probablement la ligne d'eau de plus de 50 cm. La présence de banquettes de matériaux d'une hauteur de l'ordre de 70 à 80 cm visibles dans le chenal principal du cours d'eau après la crue confirme bien cette hypothèse.

Une surélévation de 70 cm de la ligne d'eau calculée sur le tronçon chenalisé en amont du Pont du Mont-Blanc correspondrait à une inondation de la risberme sur laquelle se trouvent les bancs, ce qui constitue un impact sur des enjeux très faibles. En revanche, si le phénomène d'exhaussement se produisait en aval jusqu'au pont de Bocard, on pourrait observer une mise en charge de ce dernier. Cette éventualité est d'autant plus probable que le pont repose sur un pilier, ce qui favorise la formation d'embâcles.

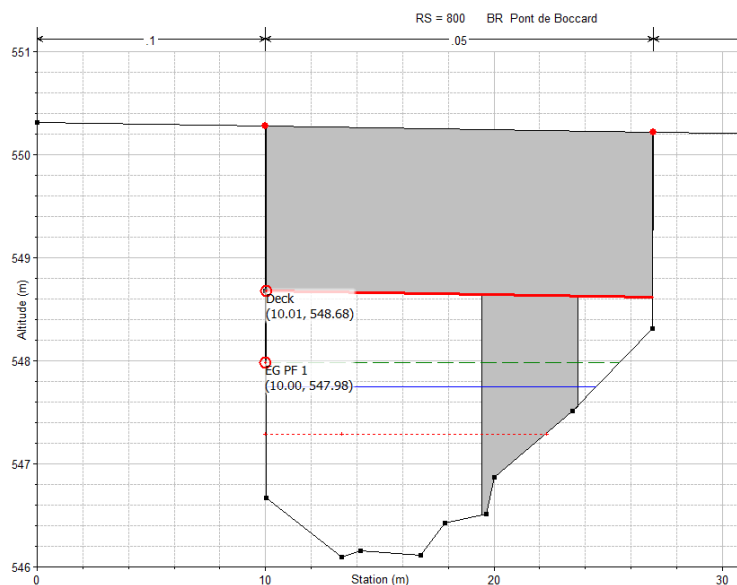


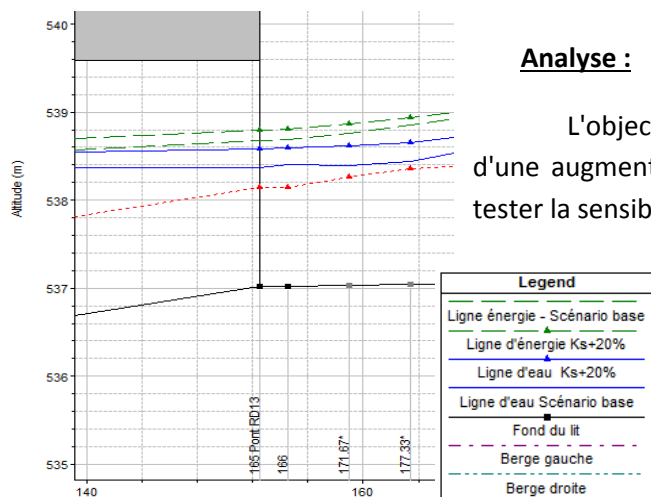
Figure 63 Résultat de la Q10 au Pont de Boccard

Dans l'ensemble, les revanches entre la ligne d'énergie et les berges sont supérieures à 50cm sur l'intégralité du linéaire étudié, ce qui indique un gabarit du lit suffisant pour faire transiter une crue de période de retour décennale.

Modélisation 2: augmentation du coefficient de Strickler de 20% (Q10)

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	17.3	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	12.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	29.9	x	Z _{eau} = 537.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs de base + 20%	
Pont de Lévaud		Non obstrué	



Analyse :

L'objectif de cette modélisation est de mesurer l'impact d'une augmentation de la rugosité de 20% sur la ligne d'eau pour tester la sensibilité de ce paramètre.

Ce test nous permet de conclure que la sensibilité de la rugosité pour la crue décennale est plutôt faible car l'écart avec la ligne d'eau du scénario de base est de 13cm en moyenne avec un maximum à 22 cm, en amont du pont de la RD13.

Figure 64 Impact maximal de l'augmentation de la rugosité de 20% sur la Q10

Modélisation 3: Q10 de la Sallanche concomitante avec Q100 de l'Arve

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	17.3	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	12.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	29.9	x	Z _{eau} = 538.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs de base	
Pont de Lévaud		Non obstrué	

Profil en long:

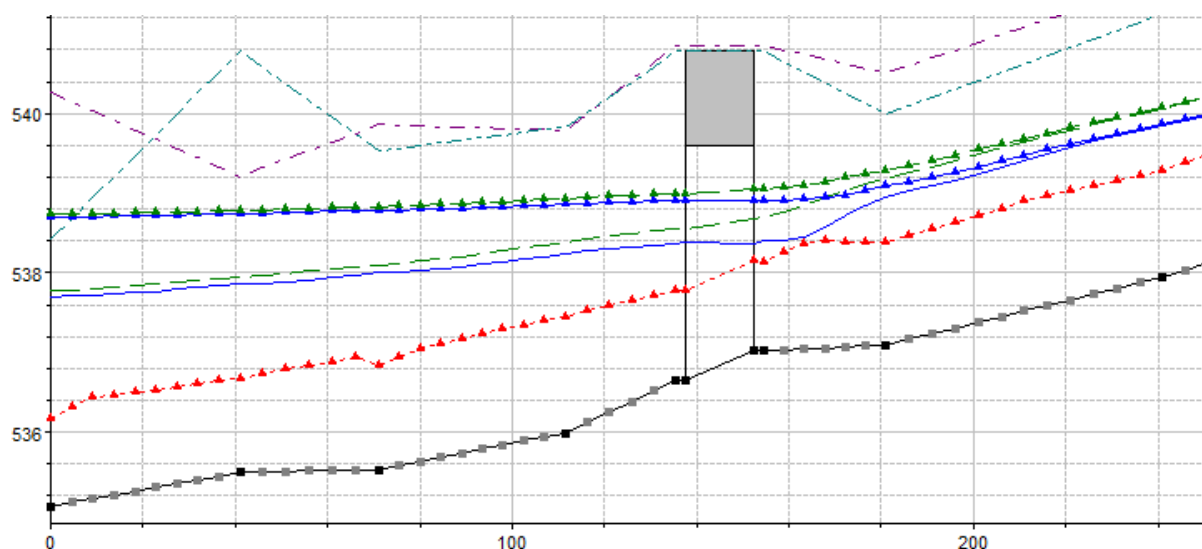


Figure 65 Influence de la CL aval sur le profil en long (Q10)

Analyse:

Cette modélisation correspond à un scénario de crue centennale de l'Arve concomitante avec une crue décennale de la Sallanche. L'influence de la condition limite aval est relativement importante puisque l'on observe une surélévation de la ligne d'eau sur 220 mètres environ depuis la confluence. Le modèle est donc sensible à cette condition jusqu'au pont de Boccard mais en amont, les résultats calculés ne sont pas influencés par ce paramètre.

Même dans cette configuration, les revanches au droit des enjeux restent importante et le risque de débordement faible.

Modélisation 4: Obstruction du pont de Lévaud (Q10)

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	17.3	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	12.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	29.9	x	Z _{eau} = 537.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs du parking Lévaud ajustées (Ks=62)	
Pont de Lévaud		Obstrué	

Profil en long:

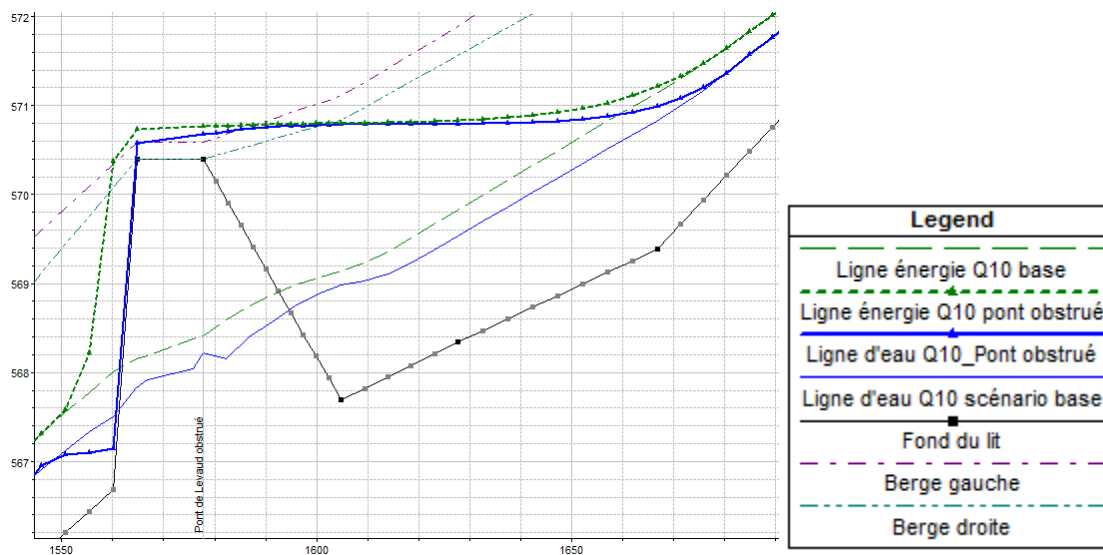


Figure 66 Profil en long au droit du pont de Lévaud obstrué (Q10)

Analyse:

La lame d'eau qui surverse au-dessus du pont lorsque ce dernier est obstrué est de l'ordre de 50 cm. Par ailleurs, l'obstruction du pont provoque une forte élévation de la ligne d'eau amont sur environ 100 mètres. Ceci a pour conséquence des débordements directement en amont du pont, sur une vingtaine de mètres environ. Au droit de ceux-ci, la ligne d'eau se situe jusqu'à 30 cm au-dessus de la berge droite. Le modèle 1D ne permet pas de caractériser le devenir des volumes d'eau débordés. Cependant, étant donné la configuration du terrain, on peut supposer que l'eau s'écoule en direction du centre sportif de Lévaud.

5.5.2. Crue centennale (Q100)

Modélisation 1: Scénario de base

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	36.7	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	31.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	68.3	x	Z _{eau} = 537.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs de base	
Pont de Lévaud		Non obstrué	

Profil en long:

Pour une meilleur lisibilité, le profil en long complet des biefs Sallanche amont et Sallanche aval est disponible en **ANNEXE 5 – Profils en long Q10 et Q100 – Scénario de base.**

Cartographie des revanches et débordements :

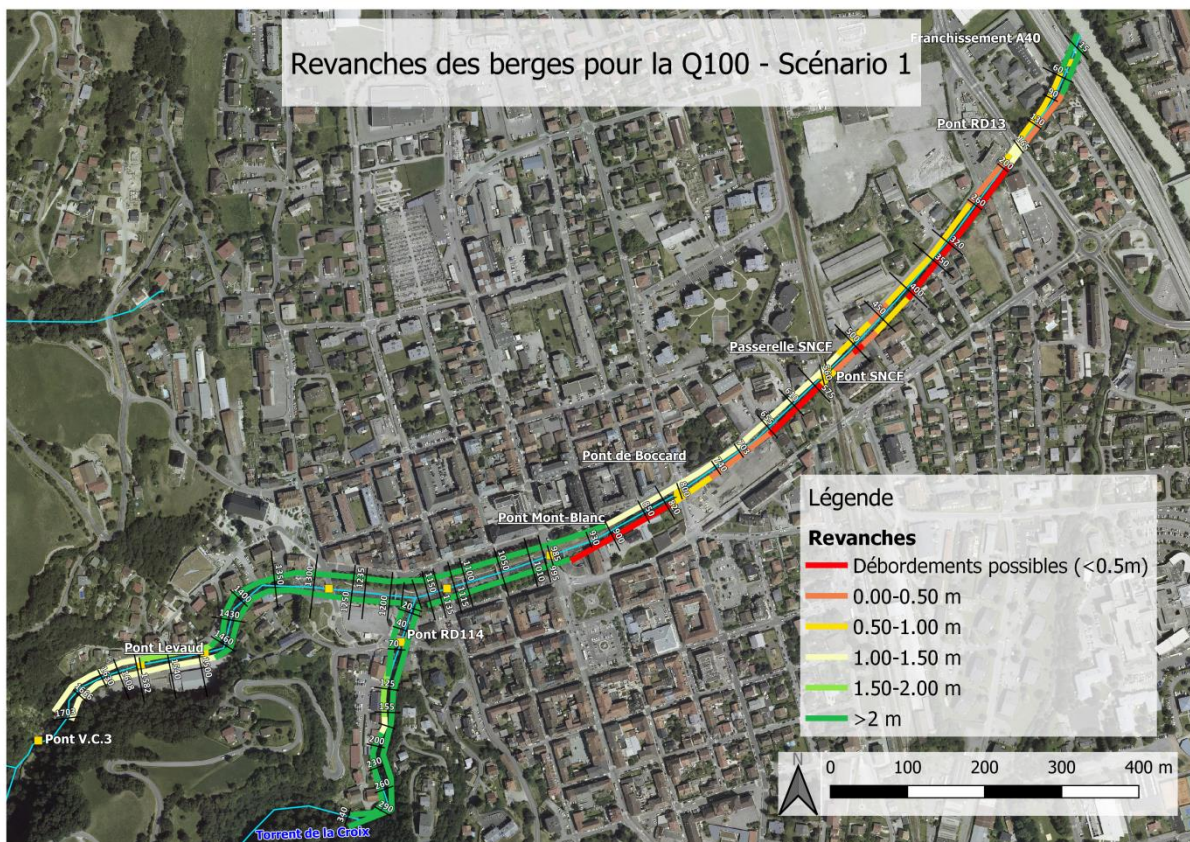


Figure 67 Revanches et débordements entre les berges et la ligne d'énergie pour le scénario de base de la Q100

Analyse:

De l'extrémité amont du modèle jusqu'au pont du Mont-Blanc, la ligne d'eau calculée indique un régime d'écoulement proche du régime critique. Cela a pour effet des instabilités de calcul et l'on préférera étudier la ligne d'énergie plutôt que la ligne d'eau.

Du P1703 (extrémité amont) au P1350 (extrémité amont de la chenalisation):

Sur ce tronçon, le point le plus sensible est le pont de Levaud pour lequel la revanche entre la ligne d'énergie et la partie inférieure du tablier est de 50 cm. Il convient de prendre en considération qu'au droit du profil 1666, soit 90 mètres en amont de l'ouvrage, la pente du fond du lit passe de 6 % à 2,5 %. Cette configuration est favorable à un dépôt de matériaux et un exhaussement du lit sur ce tronçon.

Du P1350 jusqu'au P985 (pont du Mont-Blanc):

Il convient d'étudier ce tronçon en prenant en compte le possible exhaussement du lit. Les enjeux particuliers sur ce tronçon sont le pont du Mont-Blanc et l'aération du parking souterrain du Pré de Foire dont l'ouverture débouche dans le lit de la Sallanche.

Concernant l'aération du parking souterrain, la revanche calculée depuis la ligne d'énergie est de 1,60m. Cela semble suffisant, même en considérant l'exhaussement du lit.

La ligne d'eau et la ligne d'énergie calculées au droit du pont du Mont-Blanc se situent respectivement à 2 m et 1,50 m sous le sommet de l'arche. Du fait de la section particulière du pont en forme d'arche, il est difficile d'évaluer rapidement l'impact qu'aurait un exhaussement de 70 cm du lit sur le comportement du pont. Au-delà de cette hauteur, la mise en charge est très probable. Cette hypothèse nécessiterait une modélisation supplémentaire pour être analysée avec acuité.

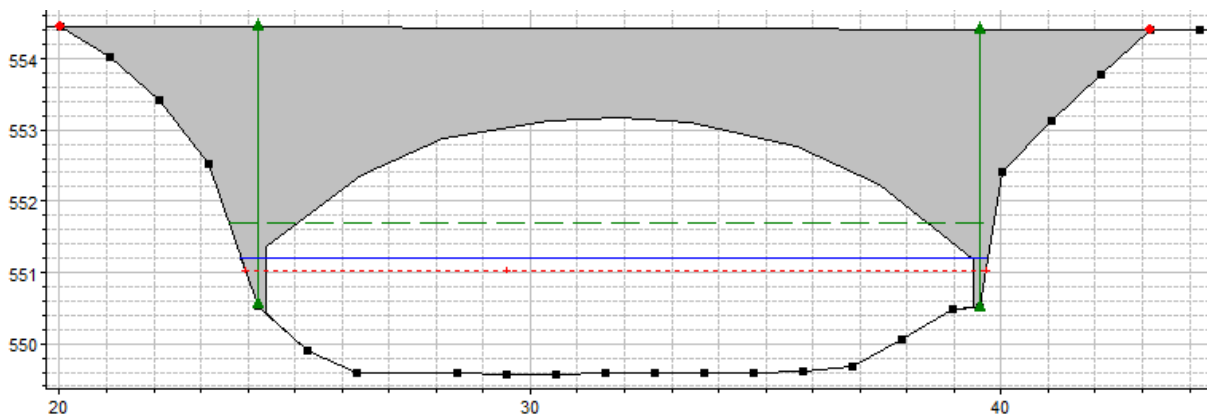


Figure 68 Lignes d'eau et d'énergie calculées au droit du pont du Mont-Blanc (Q100)

Du P985 (pont du Mont Blanc) au P800 (Pont de Bocard):

La rive droite de ce tronçon constitue un point bas, en particulier entre les profils P930 et P850. Sur ce secteur la ligne d'eau calculée est à moins de 50 cm voir 30 cm du sommet de berge tandis que la ligne d'énergie l'affleure ou le dépasse. Ce résultat ne prenant pas en compte le potentiel de dépôt solide sur ce tronçon, le débordement y est en fait assez probable.

On a par ailleurs une mise en charge du pont de Boccard. Cela a pour conséquence une surélévation de la ligne d'eau en amont du pont, sur une vingtaine de mètres environ d'après le profil calculé. Cette distance est trop faible pour avoir une influence sur les débordements amont potentiels décrits précédemment.

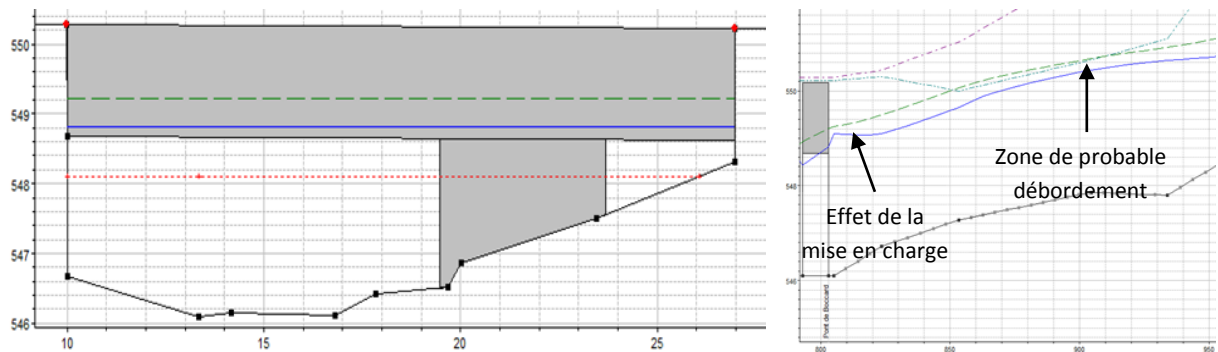


Figure 69 Mise en charge du pont de Boccard (profil en travers et profil en long)

Du P800 (pont de Boccard) au P550 (Pont SNCF):

On observe une diminution progressive de la revanche sur la rive droite qui atteint un point bas entre les profils P655 et P610. A cet endroit, la ligne d'énergie atteint la crête de berge ce qui se traduit par un débordement possible. Il est d'autant plus intéressant d'étudier ici la ligne d'énergie que la passerelle et le pont SNCF sont tous les deux à la limite de la mise en charge. La présence de débris flottants aurait pour conséquence la formation d'un embâcle et la mise en charge des ponts avec pour conséquence une surélévation de la ligne d'eau amont qui tendrait vers la ligne d'énergie. La végétalisation important de la rive droite sur ce tronçon rend ce scénario très crédible. En rive gauche, la revanche est d'environ 1 mètre sur l'ensemble du linéaire.

Du P550 (Pont SNCF) au P165 (Pont RD13):

Ce tronçon est le plus sensible au risque d'inondation. A l'exception d'un point au droit du P450, on a en effet une ligne d'énergie qui affleure ou qui dépasse le sommet de la berge droite. La zone la plus critique se situe entre les profils P400 et P320. Sur ce linéaire, la ligne d'eau calculée affleure avec la berge. Sur quelques profils, on observe un débordement. Néanmoins la surélévation locale de la ligne d'eau sur le profil en long laisse penser qu'il s'agit d'un artefact lié à une forte augmentation de la rugosité sur les sections de calcul où la plaine inondable est prise en compte dans le périmètre mouillé. Le secteur est tout de même particulièrement problématique du fait la présence d'habitations qui constituent un enjeu fort, et d'une déclivité du terrain naturel qui a pour conséquence la propagation des débordements, comme le montre la figure ci-contre.

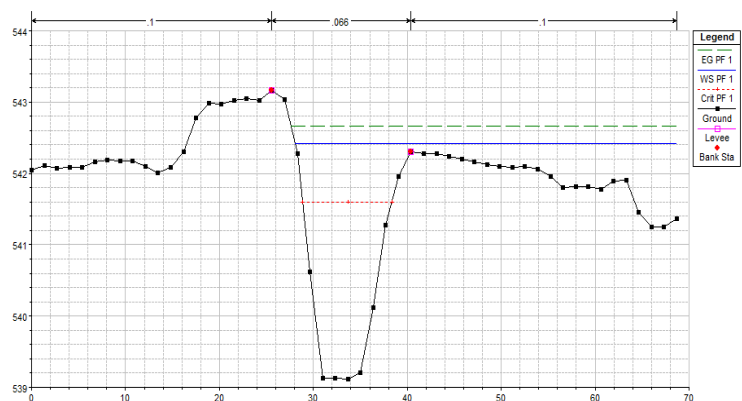


Figure 70 Résultats de la modélisation 1 en Q100 sur le P320

On note sur la Figure 68 que la ligne d'eau calculée ne rencontre pas la limite du terrain naturel sur la droite. Dans ce cas, le logiciel considère qu'il y a un "mur" vertical à l'extrémité du profil. Cela a pour conséquence de surestimer légèrement la ligne d'eau en aval car le volume d'eau débordé est conservé. La surverse reste néanmoins limitée et ne remet pas en cause les résultats en aval.

Au droit du pont de la RD13, la ligne d'énergie est supérieure à la cote inférieure du tablier. La mise en charge de ce pont a pour conséquence probable des débordements en rive droite sur au moins une cinquantaine de mètres linéaires en amont du P200. Elle cause également une accentuation de la mise en charge (passant de 30 cm à 70cm) de la berge en rive gauche sur une dizaine de mètres en amont du pont, qui constitue une digue du fait des terrains qui ont été décaissés à l'arrière de celle-ci.

Du P165 (Pont RD13) à la confluence avec l'Arve:

Sur ce dernier tronçon, les revanches sont également faibles jusqu'au franchissement de l'autoroute A40: de l'ordre de 50 cm en rive droite. Du profil P130 au P60, on observe la mise en charge d'un merlon de protection situé en rive gauche.

Modélisation 2: augmentation du coefficient de Strickler de 20% (Q100)

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	36.7	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	31.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	68.3	x	Z _{eau} = 537.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs de base + 20%	
Pont de Lévaud		Non obstrué	

Analyse:

L'augmentation de la rugosité a pour conséquence une élévation de la ligne d'eau de 22 cm en moyenne. Les zones où la sensibilité est la plus forte se situent en amont du pont de la RD 13 et du pont de la SNCF. En effet, la légère élévation de la ligne d'eau provoque la mise en charge de ces ouvrages. On observe alors des variations de la cote de la surface libre en amont de l'ordre de 50 cm.

La sensibilité de ce paramètre est plus faible sur la ligne d'énergie. En effet la différence moyenne est de l'ordre de 13 cm avec un maximum à 43 cm en amont de la passerelle SNCF.

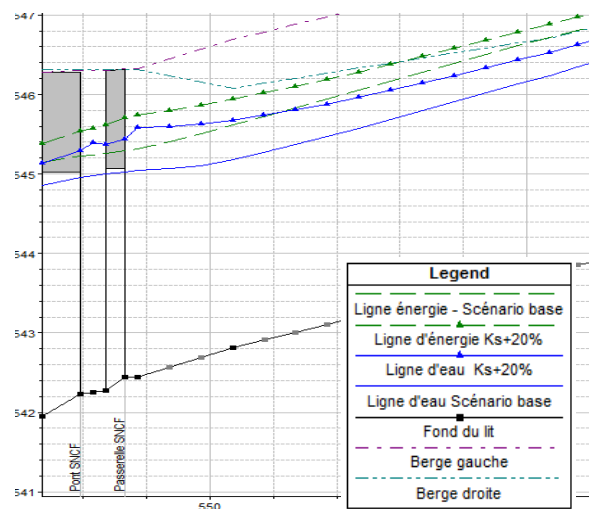


Figure 71 Variation maximale induite par l'augmentation de Ks de 20% pour la Q100

Modélisation 3: Q100 de la Sallanche concomitante avec Q100 de l'Arve

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	36.7	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	31.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	68.3	x	Z _{eau} = 538.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs de base	
Pont de Lévaud		Non obstrué	

Analyse:

Comme pour la Q10, l'influence de la condition limite aval s'étend sur environ 200 mètres en amont de la confluence. L'effet sur la ligne d'eau reste donc assez important, notamment entre les profils P90 et P60 où l'on a une accentuation de la mise en charge du merlon en rive gauche.

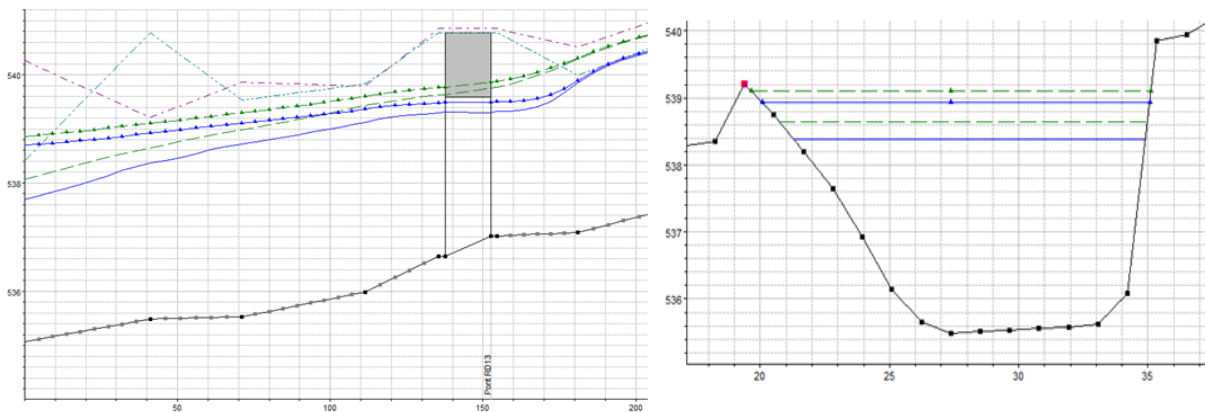


Figure 72 Influence de la condition limite aval sur la ligne d'eau en Q100 (à gauche) - Profil P60 (à droite)

Modélisation 4: Obstruction du pont de Lévaud (Q100)

Rappel des paramètres caractéristiques de cette modélisation :

Données hydrologiques			
Bief	Débit injecté (m3)	Conditions aux limites	
		amont	aval
Sallanche amont	36.7	Hauteur critique	x
Torrent de Croix	31.6	Hauteur critique	x
Sallanche aval	68.3	x	Z _{eau} = 537.7m
Géométrie			
Coefficients de Manning-Strickler		Valeurs ajustées au droit du parking Lévaud	
Pont de Lévaud		Obstrué	

Profil en long:

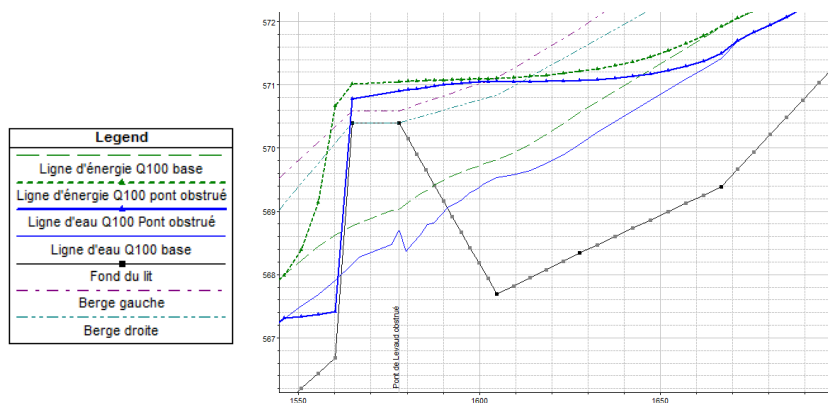


Figure 73 Profil en long au droit du pont de Lévaud obstrué (Q100)

Analyse:

La hauteur de la lame d'eau surversée au-dessus du pont est de l'ordre de 75 cm. L'obstruction du pont influence la ligne d'eau amont sur plus de 90 mètres et provoque un débordement jusqu'à 30 mètres en amont en rive droite et 20 mètres en rive gauche. En amont du pont la ligne d'eau dépasse la berge droite de 50 cm au maximum. Il faut noter que ce débordement est d'autant plus important que la hauteur d'eau calculée est considérée uniforme sur une rive droite large de près de 30 mètres, légèrement en contrebas du sommet de berge et présentant une très faible rugosité ($K_s = 62$).

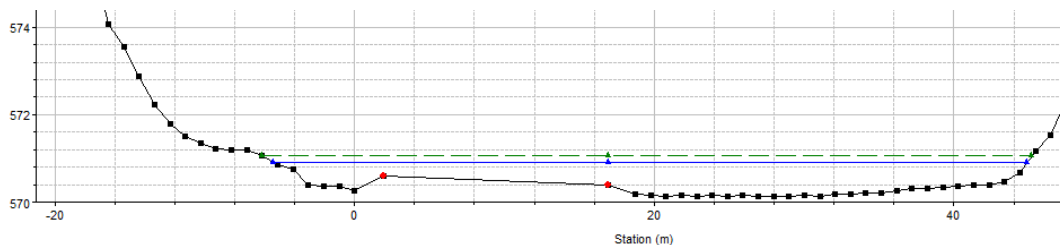


Figure 74 Profil en travers au droit de la surverse du pont.

En rive gauche, la topographie du terrain est favorable à un rapide retour des écoulements dans le lit du cours d'eau en aval du pont. En rive droite, on peut s'attendre à ce que les débordements atteignent le centre sportif situé en contrebas.

5.6. Synthèse et préconisations

5.6.1. Synthèse de l'analyse de la situation actuelle:

La modélisation de la crue décennale a montré que le gabarit du lit est globalement suffisant pour cette crue, avec toutefois quelques tronçons dont la revanche est inférieure à 1 mètre. Pour la crue centennale, on observe des revanches très faibles sur la partie aval du cours d'eau (en aval du pont du Mont-Blanc) et même de légers débordements, ainsi que des mises en charge de ponts. On rappelle de plus que le modèle ne prend pas en considération le transport solide ou les embâcles de flottant. Ces éléments peuvent causer des débordements sur les linéaires de cours d'eau où les revanches sont les plus faibles ou à proximité des ouvrages de franchissement.

Le secteur le plus sensible se situe entre le pont SNCF et le pont de la route départementale 13, particulièrement en rive droite. Les autres secteurs à risque se situent également en rive droite, à proximité du centre sportif de Lévaud, entre les ponts du Mont-Blanc et de Boccard, en amont du pont SNCF sur une centaine de mètres, et dans une moindre mesure, en aval de la RD 13. En rive gauche, on trouve une zone sensible en amont du pont de la RD 13 avec notamment une berge à l'arrière de laquelle les terrains ont été décaissés et qui peut potentiellement se mettre en charge avec un risque de rupture. A l'aval de ce même pont, un merlon en rive gauche présente également un risque de mise en charge.

5.6.2. Préconisations

Approfondir l'étude de l'obstruction des ponts:

La conséquence d'une obstruction du pont de Lévaud est un débordement important en rive droite qui pourrait toucher le centre sportif situé en contrebas. Le modèle 1D réalisé ne permet pas d'effectuer une caractérisation fine de ce risque, ce que seule une modélisation bidimensionnelle et en régime transitoire pourrait faire. De telles analyses sont également préconisées sur les autres ouvrages traversant pris en compte dans le modèle dont on a vu qu'ils présentaient des risques de mises en charge et d'obstruction.

Communication et réduction de la vulnérabilité:

Le nombre de bâtiments exposés au risque d'inondation est assez limité et il s'agit majoritairement d'habitats individuels. Il paraît donc pertinent d'inclure ces nouveaux éléments de connaissance aux documents de gestion et d'information communaux (PCS-DICRIM), et conduire une sensibilisation des riverains au risque auquel ils sont exposés. Par ailleurs, la réalisation de diagnostics de réduction de la vulnérabilité pourrait également être proposée de manière à mettre en place des mesures à l'échelle du bâtiment (adaptation des matériaux, surélévation des installations électriques, mise en place de batardeau, etc.). Ces mesures sont finançables dans le cadre du PAPI (dont le renouvellement est en cours d'élaboration au SM3A).

Adapter les outils de planification:

Le règlement du plan de prévention des risques naturels de Sallanches établit une zone de "risque torrentiel moyen" d'environ 10 mètres de part et d'autre du cours d'eau, depuis le pont du Mont-Blanc jusqu'à la confluence avec la Sallanche. A l'occasion d'une révision du PPRn, ce zonage et les prescriptions qui l'accompagnent devraient être élargis. Une modélisation bidimensionnelle pourrait être menée pour déterminer plus précisément l'étendu de ce zonage.

On attire également l'attention sur les parcelles cadastrales B0813 et B039 en rive droite, à proximité du profil P300, qui sont non construites. Ces dernières sont situées dans une zone libellée « zone d'habitat dense avec logements locatifs sociaux » au PLU. Concernant la construction de ces parcelles, on recommande d'établir des prescriptions qui tiennent compte de la mise en évidence de leur inondabilité pour une crue centennale de la Sallanche.

Entretien du cours d'eau:

Les secteurs les plus exposés au risque de débordement semblent présenter une végétation de berge très dense. Une coupe sélective d'arbres et un entretien de la ripisylve permettrait d'une part de diminuer le risque d'embâcles sur les ponts et d'autre part de diminuer la rugosité du lit et ainsi de faciliter le passage des écoulements. Le déboisement ne doit cependant pas affecter de manière trop sévère l'équilibre du milieu et le rôle de corridor écologique que joue la ripisylve.

Aménagements:

La comparaison des résultats du modèle avec les observations effectuées à la suite de la crue de mai 2015 nous a montré que malgré un transport solide modéré, la Sallanche peut produire des bouffées de matériaux conduisant à un exhaussement du lit au droit des tronçons présentant des enjeux. De plus, les glissements de terrains actifs dans la zone de gorges du torrent produisent de nombreux bois morts qui peuvent potentiellement détériorer les conditions d'écoulements dans la traverse urbaine et obstruer des ouvrages. Environ 250 mètres en amont du secteur modélisé, entre les PK1.95 et PK2.05, les gorges de la Sallanches connaissent un élargissement, passant de 15 mètres à 50 mètres de large environ. Sur cet espace pourrait être aménagé une plage de dépôt sédimentaire ainsi qu'un piège à flottants permettant de sécuriser l'aval du cours d'eau. La piste existante en rive droite permettrait l'accès à cet aménagement par les engins assurant son entretien.



Figure 75 Espace potentiel d'aménagement d'une plage de dépôt sédimentaire et de piège à flottants

Notre analyse nous a permis de mettre en évidence une exposition au risque d'inondation importante de centre sportif de Lévaud en cas de problème de capacité hydraulique du pont du même nom. C'est pourquoi une étude de faisabilité semble pertinente pour la réalisation d'un modelage de terrain (dévers) en rive droite permettant un retour des débordements vers le lit en aval du pont, avant qu'ils n'atteignent le centre sportif.

Enfin, sur la rive gauche du tronçon entre le pont de la RD13 et le franchissement de l'autoroute, on peut envisager un élargissement du lit sur la partie haute de la berge ou le renforcement du merlon afin de se prémunir des dégâts qu'occasionnerait une rupture de ce dernier à la suite de sa mise en charge.

Bibliographie

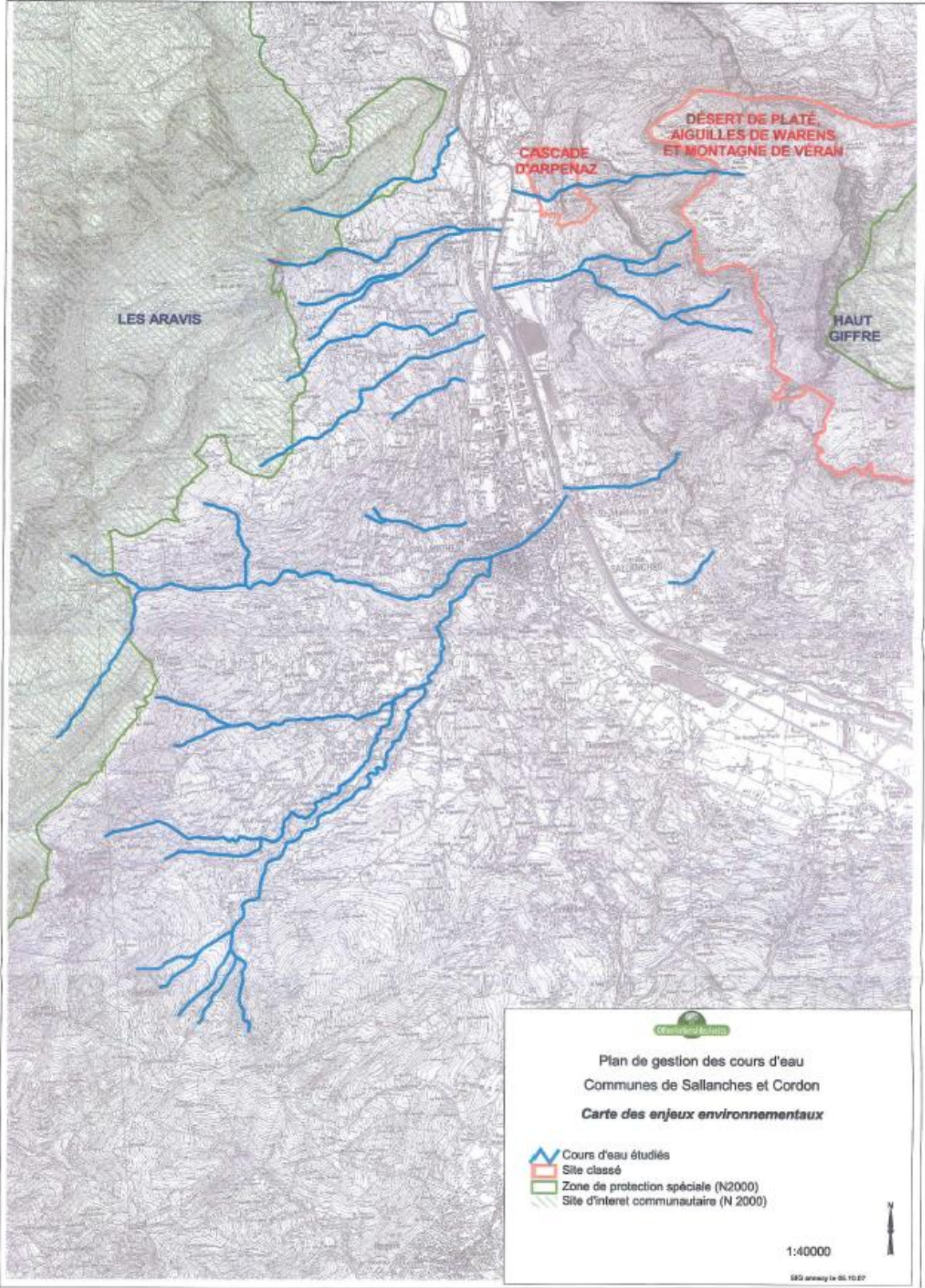
- Dossier de demande d'autorisation de petite centrale hydroélectrique sur la Sallanches (MO : RGE Sallanches) :
 - Dossier administratif et technique – **Setec - 21/03/2018**
 - Annexe 4 – Etude Hydrologique stade AVP – **Setec – 03/02/2017**
 - Annexe 1 pièce IV - Etude d'impact environnemental – **SAGE environnement – Aout 2017**
- **Douguédroit, A., De Saintignon, M.-F., 1984.** Les gradients de températures et de précipitations en montagne. *Revue de Géographie Alpine* 72, 232–240.
- **Faure, D., Galea, G., Mathys, N., Oberlin, G., Edouard, J.-L., Vivian, H., 1991.** Synthèse cartographique des connaissances en crues observables dans le Sud-Est de la France. *La Houille Blanche* 349–364.
- **Gottardi F. (2009)** - Estimation statistique et réanalyse des précipitations en montagne – Utilisation d'ébauches par types de temps et assimilation de données d'enneigement – Application aux grands massifs montagneux français.
- **Hémain, J.-C., (1986),** Service technique de l'urbanisme, Division des équipements urbains. Modélisation de l'écoulement dans les réseaux: guide de construction et d'utilisation des pluies de projet. STU, Paris.
- **Hydratec (2007)** - HYDRA Manuel d'analyse – dossier B : Modélisation hydrologique
- ISL 2016 - Etude de faisabilité pour l'optimisation des aménagements de protections des crues de la moyenne et basse vallée de l'Arve – Phase A2 : Hydrologie globale du bassin versant
- **Johnstone, D., & Cross, W. P. (1949).** *Elements of applied hydrology*. The Ronald Press Company; New York.
- **Laborde, J.-P. (2000)** *Eléments d'hydrologie de Surface*, JP Laborde, 2000
- **Lang, M., Lavabre, J., 2007.** Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations. Editions Quae.
- **Liébault et al. (2013)** - Géomorphologie des rivières de montagne, *Torrents et rivière de montagne, dynamique et aménagement* – A. Recking, D. Richard, G. Degoutte – Editions Quae, 2013, 334p.
- **Mathys, N., Peteuil, C., 2010** - Prédétermination des crues sur les bassins versants torrentiels : faisabilité d'une synthèse hydrologique régionale fondée sur la prise en compte de facteurs géographiques locaux, 67p
- **Te Chow, V. (1959)** - *Open-channel hydraulics* (Vol. 1). New York: McGraw-Hill.
- **US Army Corps of Engineers (2016)** – HEC-HMS Hydrologic Modeling System– User's Manual version 4.2 CPD74A
- **US Army Corps of Engineers (2000)** – HEC-HMS Hydrologic Modeling System– Technical Reference Manual CPD74B
- **US Army Corps of Engineers (2016)** – HEC-RAS River analysis system – User's Manual version 5.0 CPD68
- **US Army Corps of Engineers (2016)** – HEC-RAS River analysis system – Hydraulic Reference Manual version 5.0 CPD69
- **Young C. Bryan, McEnroe Bruce M., 2003** - Sampling Adjustment Factors for Rainfall Recorded at Fixed Time Intervals. *Journal of Hydrologic Engineering* 8, 294–296.

Sites internet:

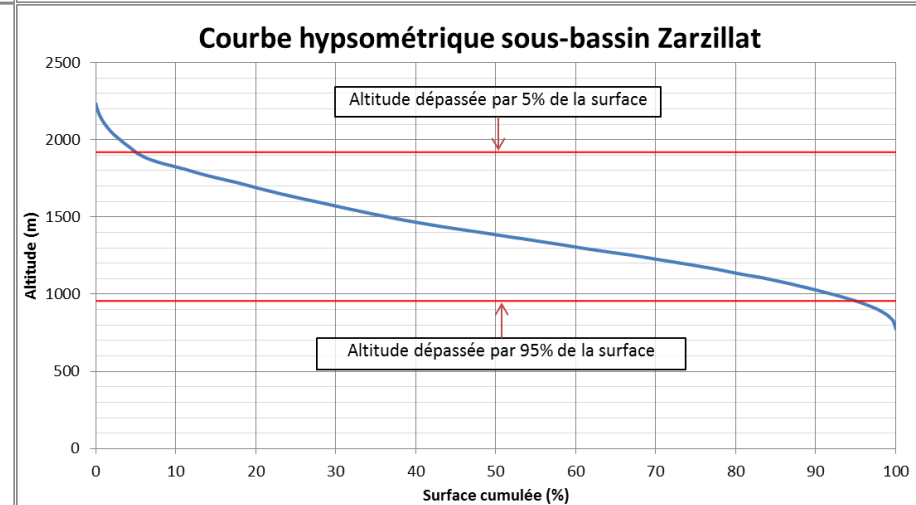
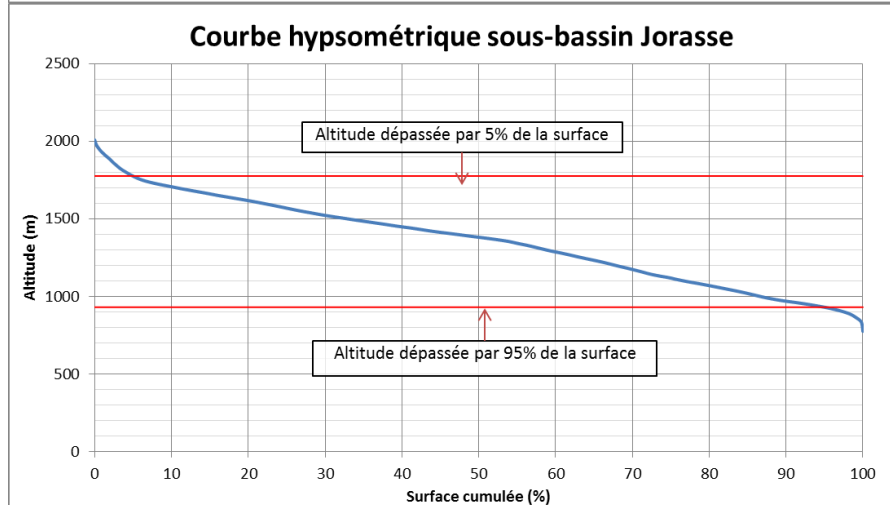
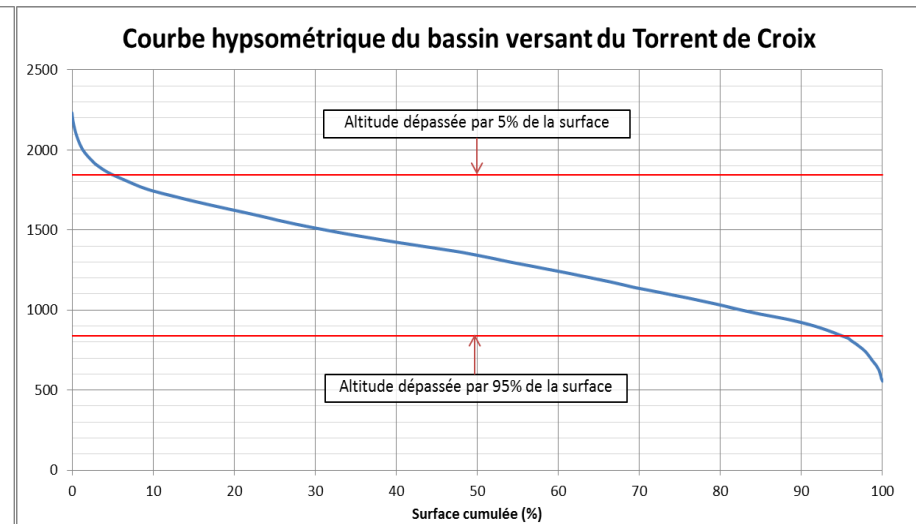
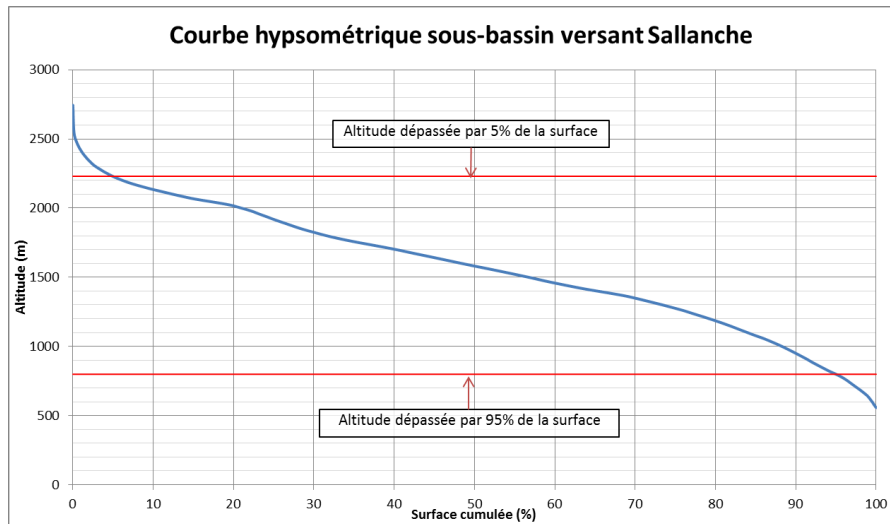
- Barthe-ENR -« Centrale hydroélectrique de la Frasse » http://barthe-enr.fr/index.php?p=2_3_Centrale-hydro-lectrique-de-la-Frasse (consulté le 29/05/18).
- Ecole polytechnique fédérale de Lausanne - Chapitre 7 - La mesure hydrologique - <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre7/chapitre7.html> (consulté le 26/4/18)
- AERMC - Classement des cours d'eau - <http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/milieus-aquatiques/continue-cours-eau/classement-coursdo.php> (consulté le 29/5/18).
- Ecole polytechnique fédérale de Lausanne - Cours Hydrologie générale - prof. André Musy <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre11/main.html> (consulté le 18/7/18)
- La centrale de la Frasse (Sallanches) en chiffres - http://www.eau-zone.eu/sallanches_page3.php (consulté le 29/5/18)
- La rénovation de la centrale hydroélectrique de la Frasse (Sallanches) - http://www.eau-zone.eu/sallanches_page4.php (consulté le 29/5/18)
- Sallanches, Cordon, Combloux [Géologie] http://www.geol-alp.com/bornes/lieux_aravis/Sallanches.html (consulté le 6/6/18)
- Etude hydrologique du bassin versant – Gatimel, Pons (ENSEEIH) - <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9900/travaux/optsee/bei/g13/pa05.htm> (consulté le 18/7/18).

ANNEXES

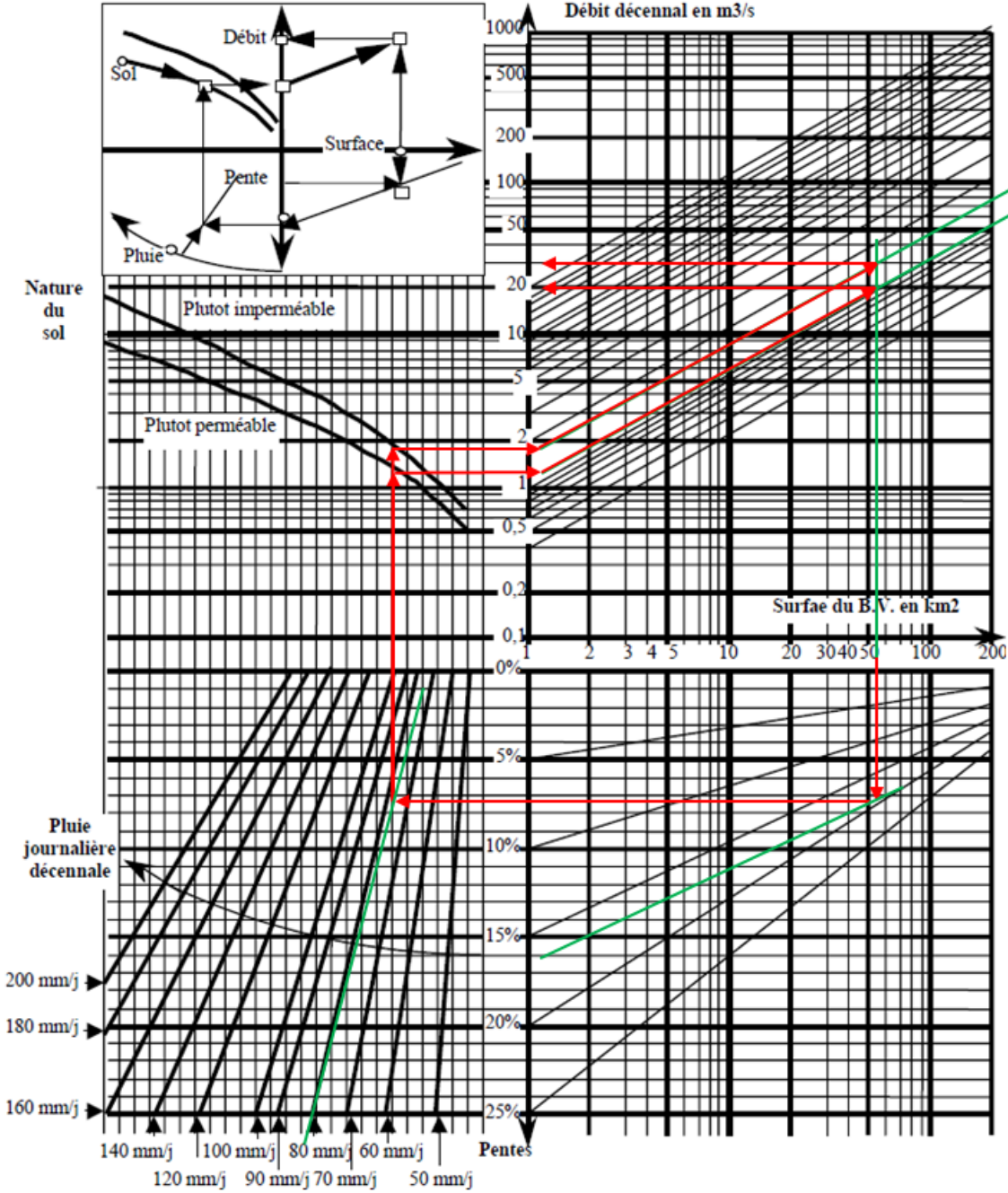
ANNEXE 1 – Cours d'eau concernés par le plan de gestion de la végétation de berges et des bois morts de Cordon et Sallanches



ANNEXE 2 – Courbes hypsométriques des sous-bassins versants de la Sallanche

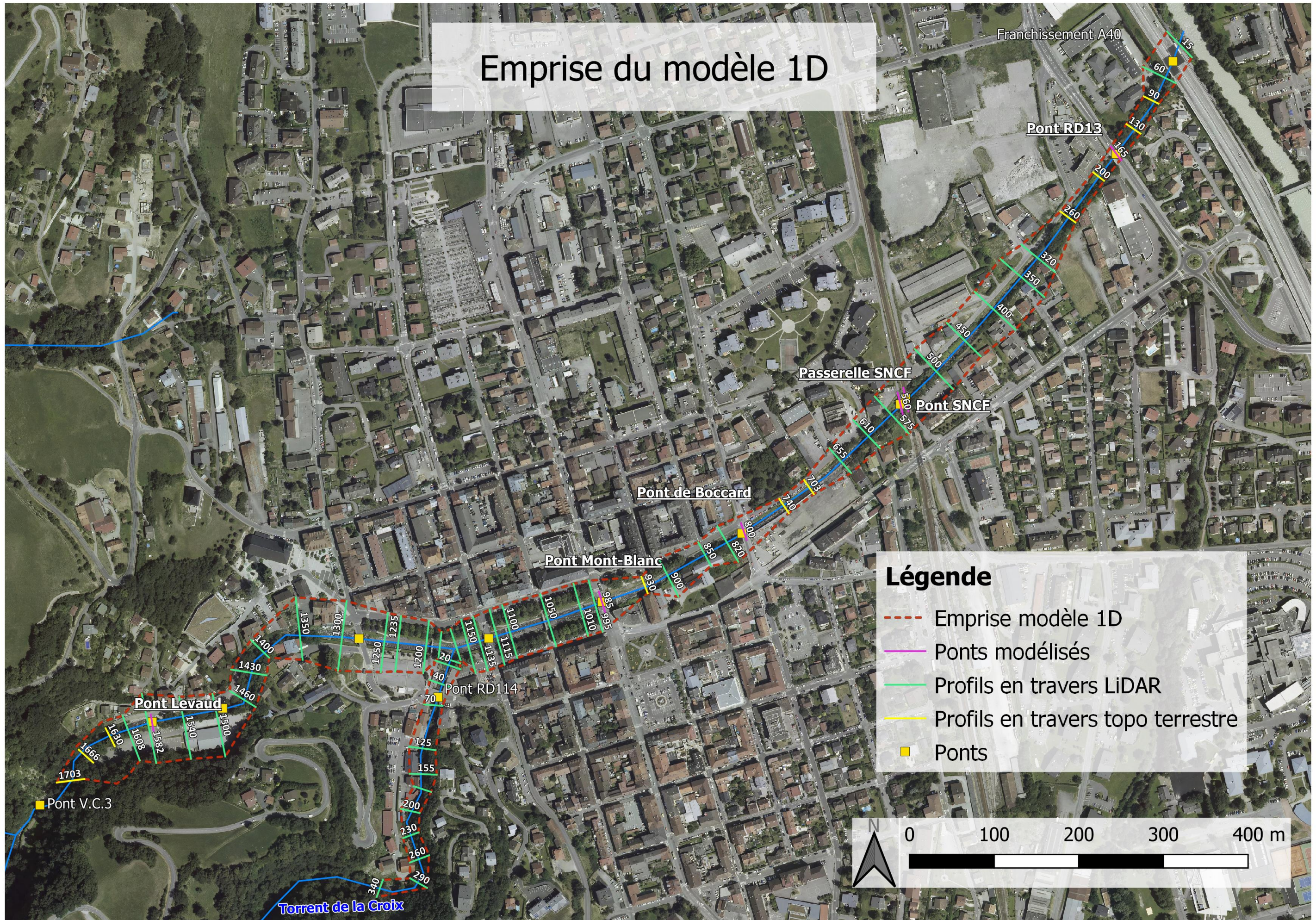


ANNEXE 3 – Abaque Sogreah

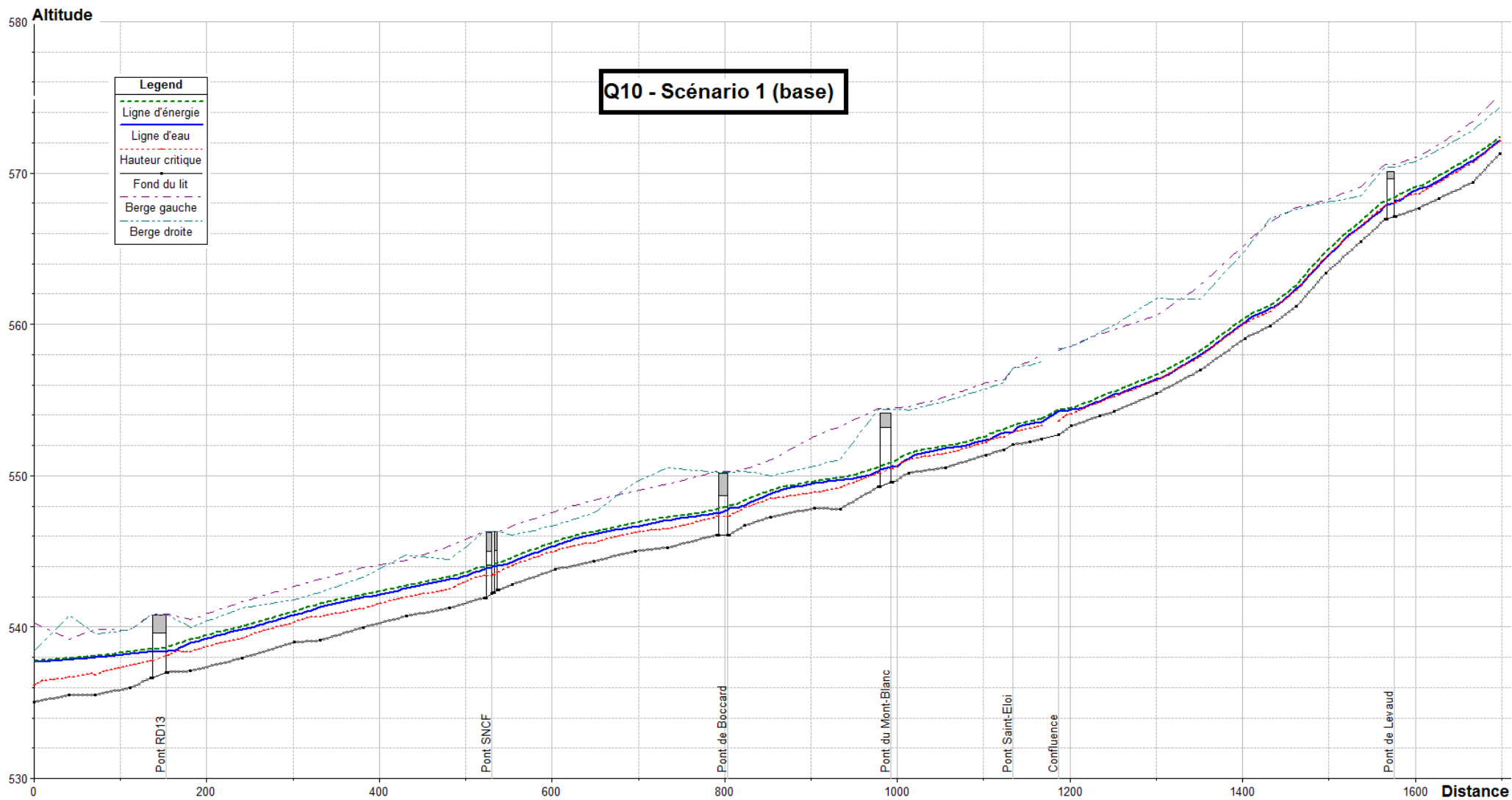


ANNEXE 4 – Emprise du modèle hydraulique 1d

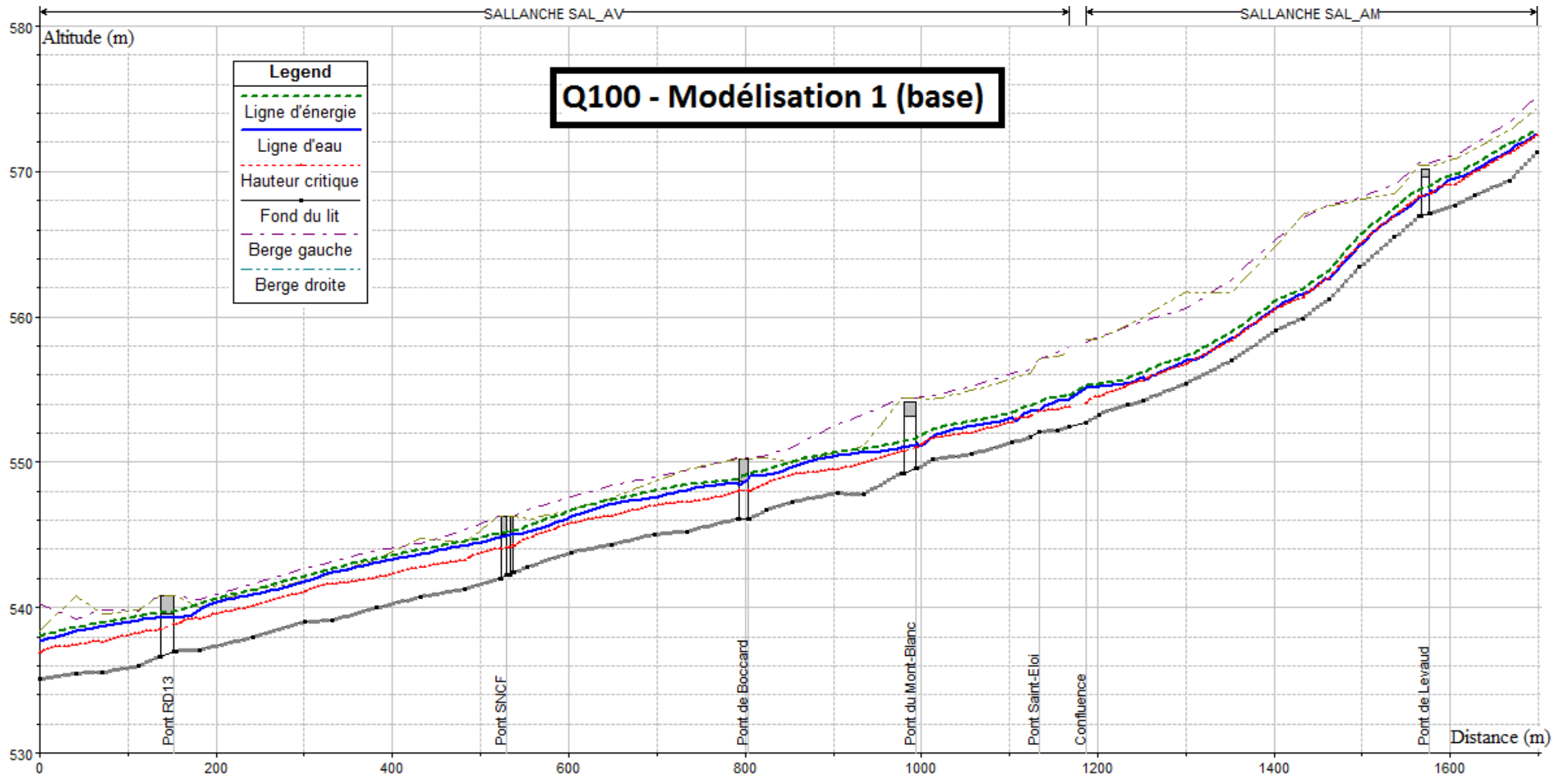
Emprise du modèle 1D



ANNEXE 5 – Profils en long Q10 et Q100 – Scénario de base



Seuls les biefs *Sallanche amont* et *Sallanche aval* sont représentés sur ce profil.



Seuls les biefs *Sallanche amont* et *Sallanche aval* sont représentés sur ce profil.