



Syndicat Mixte d'Aménagement Arve et Affluents (SM3A)

Etude de dangers et mise en conformité du système d'endiguement dit « Protection de Chedde » à Passy (74)

Résumé non technique, Document A, Document B

Référence : 3031.0

Janvier 2024

SUIVI DES MODIFICATIONS

3	13.03.2024	Version 4	PuC	LeR
2	07.04.2023	Version 3	CoIA	LeR
1	29.06.2022	Version 2	CoIA	BoJu
0	25.06.2021	Version initiale	CoIA	BoJu
Version	Date	Modifications	Rédaction	Approbation

SOMMAIRE

0 RESUME NON TECHNIQUE	10
0.1 INTRODUCTION ET CONTEXTE	10
0.2 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	11
0.3 RAPPEL DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	13
0.4 PRESENTATION DE LA ZONE PROTEGEE ET DU NIVEAU DE PROTECTION ASSOCIE	13
0.5 PRESENTATION DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME A L'OCCASION DE DIFFERENTS SCENARIOS DE MONTEE DES EAUX	15
1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	18
1.1 GESTIONNAIRE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	18
1.2 REDACTEUR DE L'ETUDE	18
1.3 RAPPEL DES AUTORISATIONS EXISTANTES EN LIEN AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT	19
1.4 DATE DE REMISE DE L'ETUDE	19
1.5 INFORMATIONS CONCERNANT LES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUE ANNEXES	19
2 OBJET DE L'ETUDE	21
2.1 CADRE DE L'ETUDE	21
2.2 COMMUNE(S) CONCERNEE(S) PAR LA ZONE PROTEGEE	21
2.3 LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE ET DE SES EVENTUELLES SOUS-PARTIES	22
2.4 LA LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES.....	24
3 DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE ET DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	27
3.1 ZONE PROTEGEE.....	27
3.2 DESCRIPTION DES CONDITIONS NATURELLES POUVANT CONDUIRE A DES CRUES / CONDITIONS DE FONDATION DES OUVRAGES ET DES SOLlicitATIONS S'EXERÇANT SUR SES FONDATIONS	32
3.3 DESCRIPTIONS DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES	41
3.4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ANALYSE DES RISQUES DE RUPTURE, NIVEAU DE PROTECTION, ANALYSE DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE ET GESTION EN SITUATION DE CRUE OU DE TEMPETE .	50
4 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS	59
4.1 L'HYDROLOGIE, L'HYDRAULIQUE ET LA MORPHODYNAMIQUE GLOBALE DU COURS D'EAU OU DU SECTEUR HYDROSEDIMENTAIRE MARITIME A L'ECHELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, EN TENANT COMPTE, LE CAS ECHEANT, DE LA PRESENCE DE L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AUTORISE CONJOINTEMENT AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT ...	59
4.2 L'HYDROLOGIE, L'HYDRAULIQUE ET LA MORPHODYNAMIQUE LOCALE AU DROIT DE CHAQUE ELEMENT COMPOSANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT, EN TENANT COMPTE, LE CAS ECHEANT, DE LA PRESENCE DE L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AUTORISE CONJOINTEMENT AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT	69
4.3 EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS	76
4.4 LES TRANSPORTS SOLIDES LORSQU'ILS ONT UN IMPACT SIGNIFICATIF.....	77
4.5 LES LAVES TORRENTIELLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS, SI LEUR SURVENUE EST PLAUSIBLE.....	78
4.6 AUTRES RISQUES NATURELS	79
5 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	84
5.1 OUVRAGES EXISTANTS	84
5.2 OUVRAGE A CONSTRUIRE OU A MODIFIER.....	87
5.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	87
6 RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE	92
6.1 LISTE ET DESCRIPTION DES INCIDENTS ET ACCIDENTS SURVENUS SUR L'OUVRAGE, AU COURS DE SON HISTOIRE	92

6.2	EXEMPLES CONNUS D'INCIDENTS ET D'ACCIDENTS SURVENUS SUR DES OUVRAGES DE MEME TYPE	94
6.3	SCENARIOS DE DEFAILLANCE QUI PEUVENT ETRE MIS EN EVIDENCE PAS L'ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE	101
7	DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES	103
7.1	DIAGNOSTIC APPROFONDI DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT « PROTECTION DE CHEDDE »	103
7.2	RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES	111
7.3	DOCUMENTATION AFFERENTE AU SYSTEME D'ENDIGUEMENT « PROTECTION DE CHEDDE ».	114
7.4	ANALYSE DE LA CAPACITE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT A RESISTER AUX SOLLICITATIONS	118
7.5	NIVEAUX DE REFERENCE DES OUVRAGES.....	120
7.6	ANALYSE DES MOYENS MIS EN ŒUVRE POUR ASSURER L'ENTRETIEN, LA SURVEILLANCE ET LES REPARATIONS COURANTES DES OUVRAGES	124
8	ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE	125
8.1	METHODOLOGIE GENERALE	125
8.2	SCENARIO A	130
8.3	SCENARIO B	131
8.4	SCENARIO C	132
8.5	ENJEUX PRESENTS SUR LA COMMUNE DE PASSY ET IMPACTS POTENTIELS DES VENUES D'EAU.....	135
9	PRESENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS	138
9.1	L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE POUR CE QUI CONCERNE LES ASPECTS LIES AUX PERFORMANCES DU SYSTEME ET A LA SECURITE (Y COMPRIS LA COORDINATION QUE LE GESTIONNAIRE EST AMENE A METTRE EN ŒUVRE AVEC D'AUTRES RESPONSABLES D'OUVRAGES) ;	138
9.2	LES CONSIGNES ECRITES QUI TRADUISENT LES MODALITES OPERATIONNELLES DE MISE EN ŒUVRE DE CETTE ORGANISATION PAR LE SM3A	142
9.3	LA DEFINITION DES PRINCIPALES PROCEDURES QUI ENCADRENT L'IDENTIFICATION ET L'EVALUATION DES PRINCIPAUX RISQUES, LA SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE EN TOUTES CIRCONSTANCES, LA GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE ET LA GESTION DU RETOUR D'EXPERIENCE	142
9.4	LES MOYENS D'INFORMATION SUR LES CRUES OU LES TEMPETES, Y COMPRIS LORSQU'UN AMENAGEMENT HYDRAULIQUE EST MIS EN ŒUVRE EN ASSOCIATION AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT ;	146
9.5	LES PROCEDURES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION AVEC LES AUTORITES COMPETENTES POUR LA MISE EN SECURITE DES POPULATIONS EN PERIODE DE CRUE OU DE TEMPETE, ADAPTEES AUX DIFFERENTS CAS ET A LEURS CINETIQUES	146
9.6	LES DISPOSITIONS PRISES PAR LE RESPONSABLE POUR S'ASSURER EN PERMANENCE DU RESPECT DES PROCEDURES, AUDITER ET REVISER SON ORGANISATION DE GESTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ASSOCIE LE CAS ECHEANT A UN AMENAGEMENT HYDRAULIQUE, DANS LE CADRE DE SON AMELIORATION CONTINUE	157
9.7	LE(S) ROLE(S) DE BARRIERE DE SECURITE POUVANT ETRE ASSURE(S) PAR CERTAINS ELEMENTS DE SON ORGANISATION ET DE SA DEMARCHE DE PREVENTION DES ACCIDENTS	160
9. BIS	RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE	161
9.1	RECOMMANDATIONS VIS-A-VIS DU RISQUE D'INONDATION	161
9.2	RECOMMANDATIONS SUR L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE	163
10	CARTOGRAPHIE (HORS TEXTE)	169
10.1	CARTE ADMINISTRATIVE	169
10.2	CARTES DES VENUES D'EAU	172

10.3	CARTES RELATIVES AU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	175
------	---	-----

ANNEXES

ANNEXE 1	3031.0-R30-RAPPORT HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	176
ANNEXE 2	3031.0 R10-RAPPORT D'ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES_0	177
ANNEXE 3	3031.0-R12-RAPPORT DE DIAGNOSTIC DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT_0	178
ANNEXE 4	3031.0-R11 RAPORT D'ANALYSE HISTORIQUE_A ET ANNEXE 1	179
ANNEXE 5	UMG_RAPPORT_SM3A_PASSY_GEORADAR	180
ANNEXE 6	CARTES DES VENUES D'EAU ET VITESSES D'ECOULEMENT DES SCENARIOS MODELISES ...	181
ANNEXE 7	LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION SUR L'ARVE	182
ANNEXE 8	LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION SUR LE NANT-BORDON	183
ANNEXE 9	LOCALISATION EN PLAN DES OUVRAGES DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	184
ANNEXE 10	PROFILS EN LONG GLOBAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT.....	185
ANNEXE 11	CARTE DES LIMITES ADMINISTRATIVES DU TERRITOIRE DU SM3A ET ZONE PROTEGEE DU SE DE CHEDDE	186
ANNEXE 12	CARTES DE LA ZONE PROTEGEE PAR LE SYSTEMES D'ENDIGUEMENT DE CHEDDE	187
ANNEXE 13	3031.0-R33-RAPPORT HYDRAULIQUE RUPTURE DIGUES_A	188
ANNEXE 14	ANNEXE BIBLIOGRAPHIQUE	189
ANNEXE 15	CONVENTION ENTRE LE SM3A ET SGL CARBON POUR LA GESTION DU MUR EST DE L'USINE AU TITRE DES INONDATIONS	191

LISTE DES FIGURES

Figure 1:	Localisation du site, carte IGN (échelle 1 : 25 000), source Géoportail	10
Figure 2:	Présentation de la zone protégée par le système d'endiguement « Protection de Chedde »	15
Figure 3 :	Illustration en plan de la zone protégée par le système d'endiguement de Passy.....	23
Figure 4 :	Ouvrages constitutifs du système d'endiguement du Passy	25
Figure 5 :	Extrait de cartographie de la zone protégée (voir carte détaillée dans le Chapitre 10)	29
Figure 6 :	Illustration des résultats de modélisations hydrauliques.....	35
Figure 7 :	Principales zones d'instabilité et de ravinement du Nant-Bordon, Source RTM 2008	36
Figure 8 :	Carte géologique de la zone d'étude au 1 : 50 000 (Source : Infoterre – BRGM)	38
Figure 9 :	Carte de zonage sismique de la région Auvergne-Rhône-Alpes, source : site du BRGM	39
Figure 10 :	Localisation des ouvrages du système d'endiguement	42
Figure 11 :	Illustration des caractéristiques de la digue amont (accès, enrochement). Source : Lombardi	43
Figure 12 :	Illustration des caractéristiques de la digue aval (localisation, enrochement). Source : Lombardi	44

Figure 13 : Illustration du mur Est de l'Usine (contreforts, réhausse). Source : Lombardi.....	44
Figure 14 : Profils en long du fond du lit de l'Arve et des crêtes des ouvrages	45
Figure 15 : Extrait du profil en long du système coté, disponible en ANNEXE 10 , source : Lombardi..	46
Figure 16 : Données topographiques, Lidar 2015	50
Figure 17 : Bassin versant de l'Arve, source : site du SANDRE.....	61
Figure 18 : Cours d'eau concernés dans l'étude de dangers.....	62
Figure 19 : Localisation des stations pluviométriques, source : Rapport de l'étude hydrologique réalisée par ISL en 2016	63
Figure 20 : Hydrogrammes à la confluence entre le Nant Bordon et l'Arve.....	66
Figure 21 : Périmètre du plan de gestion des matériaux solides de l'Arve amont, source :	67
Figure 22 : Evolution du transport solide sur le linéaire de l'Arve	68
Figure 23 : Répartition des coefficients de rugosités retenus après calage du modèle.....	70
Figure 24 : Localisation des profils en travers pour la comparaison des revanches entre scénarios	72
Figure 25 : Illustration de divers profils en long historiques de l'Arve	78
Figure 26 : Composition d'une lave torrentielle (source ETRM)	79
Figure 27 : Carte de zonage sismique de la région Auvergne-Rhône-Alpes	81
Figure 28 : Ensemble des risques naturels identifiés dans la limite communale de Passy (source : géorisques).....	82
Figure 29 : Cartographie des aléas « Gonflement des Argiles ».....	83
Figure 30 : Schéma structurel et photographie de la digue amont	85
Figure 31 : Schéma structurel et photographie de la digue aval	85
Figure 32 : Schéma structurel et photographie du mur Est de l'usine de Chedde.....	86
Figure 33 : Fonctionnement hydraulique de la zone d'étude en état actuel, emprise des écoulements pour une modélisation Q100.....	88
Figure 34 : Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge de la digue amont	89
Figure 35 : Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge de la digue aval	89
Figure 36 : Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge du mur Est de l'usine de Chedde dans sa partie amont.....	90
Figure 37 : Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge du mur Est de l'usine de Chedde dans sa partie aval.....	90
Figure 38 : Photographies de l'usine de Chedde sous les eaux lors de la crue de 1968, source : Annexe 4 (page 25)	94
Figure 39 : Photographies aériennes de la localisation du système d'endiguement et du passage de l'Arve au-droit de l'usine de Chedde entre 1950 et aujourd'hui, source : Remonter dans le temps de l'IGN	94
Figure 40 : Mécanisme de rupture de digue par surverse (source : CEMAGREF, 2004)	95
Figure 41 : Apperçu des dépôts solides en sortie du lit du Domeynon avec la crue torrentielle survenue sur ce dernier. La digue de protection en remblai n'a pas résisté à la surverse.....	97
Figure 42 : Mur anti-crue situé sur la Marne, surverse sans rupture.....	98

Figure 43 : Phénomène d'érosion externe (Source CFBR)	99
Figure 44 : Phénomène de rupture par glissement - côté terre (Source CFBR).....	99
Figure 45 : Phénomène de rupture par glissement - côté cours d'eau (Source CFBR).....	100
Figure 46 : Mécanismes de rupture d'un ouvrage en caisson (construit en béton par exemple), source : CETMEF (centre d'étude technique maritime et fluviale)	101
Figure 47 : Surverse sur le mur Nord de l'usine de Chedde lors de la crue de 1968.....	102
Figure 48 : Buse d'évacuation des eaux présentes dans le fossé derrière le mur nord de l'usine de Chedde et son clapet anti-retour	106
Figure 49 : Ligne d'eau de la crue centennale au-droit du clapet anti-retour de la buse présente sous l'ouvrage digue aval.....	107
Figure 50 : Plage de dépôt (RD13) du Nant-Bordon vue depuis l'aval, source : Acthys Diffusion	110
Figure 51 : Schémas des différents niveaux associés au NP - Digue résistante à la surverse ou non. Source : France-Digues.fr	122
Figure 52 : Étapes de l'approche multi scénario	127
Figure 53 : Qualification des probabilités de défaillance des scénarios considérés dans l'analyse multi-scénario.....	128
Figure 54 : Illustration de la zone protégée pour une crue cinquantennale	131
Figure 55 : Résultats du scénario 3.....	134
Figure 56 : Estimation du nombre de personnes protégées par le système d'endiguement « Protection de Chedde » à Passy	137
Figure 57 : Graphique représentant les conditions d'entraînement par les eaux d'écoulement	137
Figure 58 : Organisation d'un désordre détecté sur l'ouvrage	141
Figure 59 : Zones de surveillance sur le Nant Bordon	162

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Rappel des ouvrages constitutifs du système d'endiguement du Villard.....	13
Tableau 2 : Cadre réglementaire de l'étude	21
Tableau 3 : Commune dont le territoire appartient à la zone protégée	30
Tableau 4 : Liste des communes relevant de l'autorité du SM3A pour la prévention des inondations.....	31
Tableau 5 : Synthèse des données hydrologiques de l'étude.....	33
Tableau 6 : Études d'hydrologie réalisées par le passé	40
Tableau 7 : Présentation détaillée des digues, source VTA 2020	48
Tableau 8 : Présentation détaillée Mur Est de l'usine de Chedde, source VTA 2020	49
Tableau 9 : Fonctionnement des composants du système d'endiguement (hors blocs béton)	54
Tableau 10 : Sensibilités des composants du système d'endiguement face aux phénomènes de rupture (1 peu sensible à 5 très sensible – NC – Non concerné)	55
Tableau 11 : Liste des stations pluviométriques retenues par ISL pour son étude hydrologique sur le secteur d'étude en 2016.....	64

Tableau 12 : Résumé des débits de crues retenus au niveau de la confluence, en noir données existantes rapportées à la confluence, en rouge données reconstituées rapportées à la confluence.....	65
Tableau 13 : Mises en charge observées pour 4 profils en travers et pour tous les scénarios	73
Tableau 14 : Descriptif des incidents survenus sur les ouvrages	93
Tableau 15 : Exemple de crue torrentielle survenue sur le ruisseau du Domeynon avec rupture d'une digue par surverse. Source : IRMA Grenoble.....	97
Tableau 16 : Synthèse du diagnostic approfondi sur les digues	105
Tableau 17 : Synthèse du diagnostic approfondi du mur Est de l'usine de Chedde	109
Tableau 18 : Résultats des reconnaissances par panneaux électriques réalisées dans le cadre de l'étude de dangers.....	114
Tableau 19 : Résultats des reconnaissances Géoradar réalisées dans la cadre de l'étude de dangers.....	114
Tableau 20 : Liste des études à disposition pour la réalisation de l'étude de dangers.....	115
Tableau 21 : Liste des études antérieures existantes sur le secteur ou à proximité du secteur	116
Tableau 22 : Seuils de caractérisation des probabilités de défaillance	119
Tableau 23 : Bilan sur les niveaux de protection	124
Tableau 24 : Matrice de catégorisation des risques occasionnés par les venues d'eau	126
Tableau 25 : Analyse des vraisemblances de sollicitation et de capacité à y résister	129
Tableau 26 : Débits pointes des hydrogrammes d'entrée du modèle	130
Tableau 27 : Débits pointes des hydrogrammes d'entrée du modèle	132
Tableau 28 : Synthèse des estimations de personnes protégées	136

RESUME NON TECHNIQUE

0 RESUME NON TECHNIQUE

0.1 INTRODUCTION ET CONTEXTE

Disposant de la compétence GEMAPI, « Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations », le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A) se doit d'assurer la défense contre les inondations sur son territoire qui représente l'ensemble du bassin versant de l'Arve (2060 km²). Il doit pour cela définir les zones protégées, les ouvrages associés à ces zones et le cas échéant, les mises en conformité des ouvrages en Système d'Endiguement (Un **système d'endiguement** (SE) se compose d'une ou plusieurs digues conçues pour défendre une **zone protégée** contre les inondations et/ou submersions et cela jusqu'à un niveau d'événement précis nommé le « **niveau de protection** ».).

L'Etude de Dangers (EDD) inondations est réalisée pour la commune de Passy (74) située en Haute-Savoie. Cette-dernière est bordée en rive droite par l'Arve et limitée au Nord par la confluence entre l'Arve et le Nant-Bordon, torrent de montagne très actif. Le SM3A se doit de mettre en conformité le système d'endiguement dit « protection de Chedde », localisé sur la **Figure 1**.

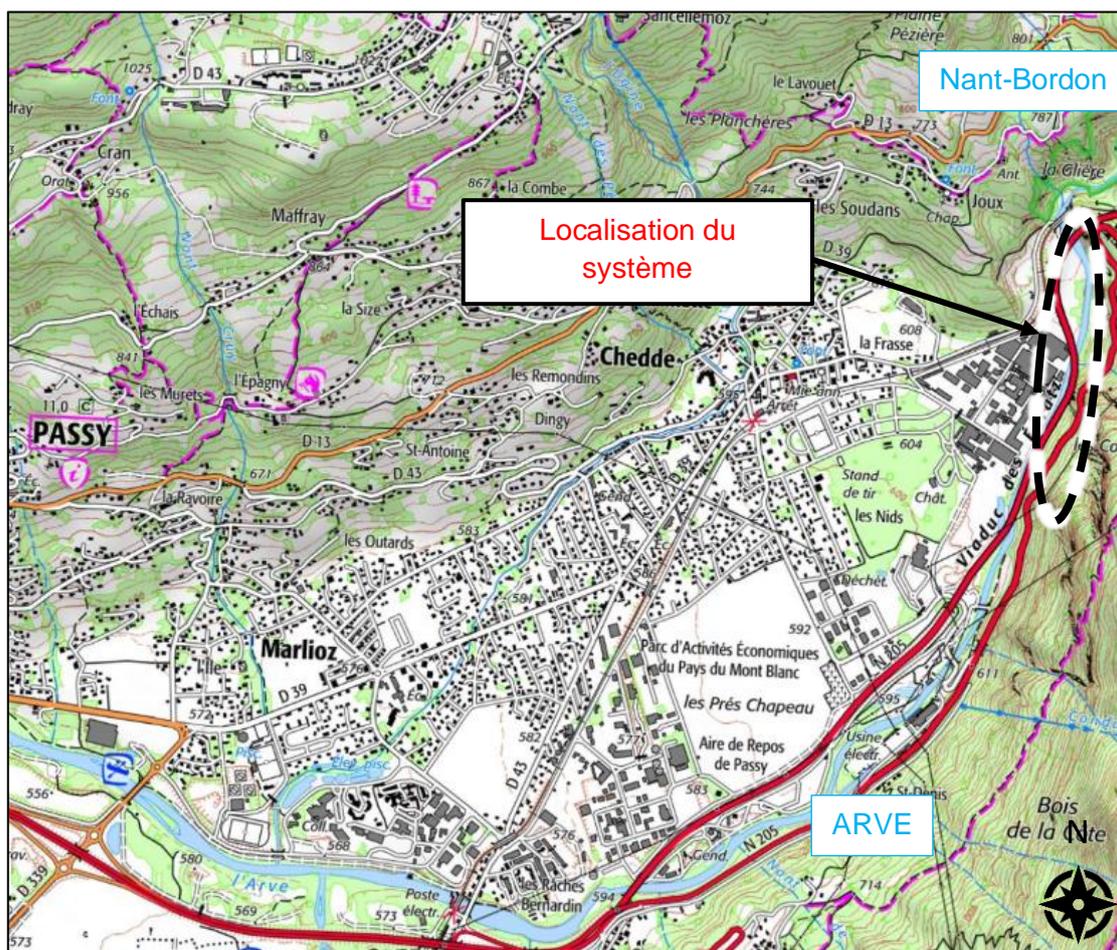


Figure 1: Localisation du site, carte IGN (échelle 1 : 25 000), source Géoportail

Ce système d'endiguement est composé de 2 digues, nommées **digue amont** et **digue aval** et situées successivement en aval de la confluence et en rive droite de l'Arve, ainsi que du **mur Est de l'usine de Chedde**, construit en bordure immédiate (rive droite) de l'Arve. La fonction principale des digues est d'assurer la protection contre les inondations de la commune de Passy par le Nord de l'usine. Quant au mur Est de l'usine de Chedde, du fait de sa localisation, il constitue la première ligne de défense face aux inondations.

Le présent chapitre constitue le résumé non technique des études menées dans le cadre de l'EDD du système d'endiguement de Passy (74).

0.2 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Les aménagements en rive droite de l'Arve sur la commune de Passy, pouvant être référencés depuis la fin du XVIIIème siècle, ont évolué au fil du temps pour prévenir du risque d'inondation sur le territoire et s'adapter à la complexité du site. Cette dernière tient à la fois aux aménagements anthropiques tels que l'établissement industriel (usine de Chedde) et la création de réseau de communication (routier et ferroviaire), mais également au contexte hydrogéomorphologique de l'Arve, marqué par le déplacement, le rehaussement/incision du lit en lien avec les apports du Nant-Bordon et les extractions massives de matériaux plus en aval.

Actuellement le système d'endiguement se compose de **2 digues et d'un mur en béton** couvrant un linéaire de près de 700m depuis l'aval de la confluence entre l'Arve et le Nant-Bordon et jusqu'à la zone de décharge située en aval de l'usine de Chedde. Les digues se situent en bordure d'une zone de dépôts/extractions de matériaux localisée au Nord de l'usine de Chedde. Il n'y a pas de continuité entre les linéaires respectifs de ces digues, il sera donc à noter la présence d'un entre-deux digues.

0.2.1 Digue amont



Il s'agit du premier ouvrage de protection situé en rive droite de l'Arve, en aval de la confluence entre l'Arve et le Nant-Bordon. Cette digue est localisée entre la partie amont de la zone de dépôt jusqu'à hauteur du milieu de cette zone. Elle s'étend sur un linéaire d'environ 145 m.



En protection de talus on distingue des enrochements liaisonnés bétonnés côté cours d'eau sur une portion de 80m et un merlon en terre pour la crête où une population arbustive jeune se développe. Cette digue en remblai a été construite par le SM3A en 2003-2004 et ne présente à ce jour aucun défaut.

0.2.2 Digue aval



Cette seconde digue est située en aval de la première. Elle est limitée en amont par la fin du chemin longeant l'Arve et en aval par le début du mur d'enceinte de l'usine de Chedde. Son linéaire s'étend sur environ 50m. Le talus de la digue est en enrochements liaisonnés et sa crête est de type merlon. La liaison entre le talus et la crête, nommée risberme, est difficilement identifiable du fait de la végétation dense.



0.2.3 Mur d'enceinte de l'usine de Chedde



Après avoir parcouru environ 600m depuis sa confluence avec le Nant-Bordon, l'Arve subit un effet d'entonnement à son arrivée en bordure du mur Est de l'usine de Chedde. Ce-dernier correspond au troisième et dernier ouvrage de protection constitutif du système d'endiguement.

La hauteur du mur est irrégulière, elle décroît à mesure que l'on descend le cours d'eau. Sur la portion amont on distingue deux parties distinctes du mur, une plus ancienne surplombée d'une réhausse construite à la suite de la crue survenue en 1968. Concernant ses caractéristiques physiques, le mur a été construit en béton armé et on peut distinguer localement des contreforts. L'état du mur est globalement bon.



0.3 RAPPEL DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

0.3.1 Ouvrages existants

Le **Tableau 1** suivant rappelle le fonctionnement des ouvrages constitutifs du système d'endiguement dit « protection de Chedde ». Ces ouvrages sont tous situés en rive droite de l'Arve entre sa confluence avec le torrent Nant-Bordon (limite amont de la zone d'étude) et la fin du mur Est de l'usine de Chedde.

	Ouvrages existants		
	(1) Digue amont	(2) Digue aval	(3) Mur d'enceinte De l'usine de Chedde
	Protection au-delà de Q_{1000} ($\sim 468 \text{ m}^3/\text{s}$). Le niveau d'eau pour Q_{1000} est en-dessous du pied de la digue	Protection au-delà de Q_{1000} . La hauteur d'eau pour Q_{1000} atteint tout juste 15% de la hauteur de digue.	Les premiers débordements de l'Arve apparaissent sur la partie aval du mur de l'usine pour un débit de pointe d'environ $230 \text{ m}^3/\text{s}$ (entre Q_{20} et Q_{22}).

Tableau 1 : Rappel des ouvrages constitutifs du système d'endiguement du Villard

0.3.2 Aménagement hydraulique

Aucun aménagement hydraulique annexe n'est considéré avec le système d'endiguement à l'étude.

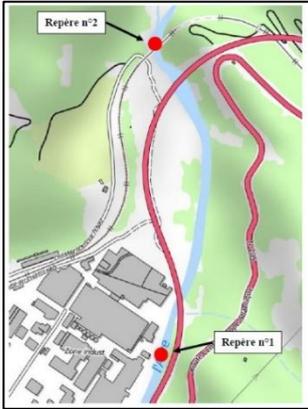
0.4 PRESENTATION DE LA ZONE PROTEGEE ET DU NIVEAU DE PROTECTION ASSOCIE

La zone protégée est définie comme le périmètre qui serait inondé dans le cas de l'effacement du système d'endiguement et pour une crue d'intensité équivalente au niveau de protection défini pour le système d'endiguement.

Dans le cas présent, le niveau de protection global associé au système d'endiguement existant est évalué à un débit d'intensité $Q_{20} - Q_{22}$ s'écoulant dans l'Arve, soit environ $230 \text{ m}^3/\text{s}$, associé à une probabilité de 4.5%. Ce niveau a été calculé à partir de modélisations hydrauliques 1D/2D réalisées sous le logiciel HecRas en considérant 2 niveaux altimétriques de fond du lit :

- L'un correspondant à une situation sans engrèvement du lit (topographie Lidar 2015) : tous les matériaux solides sont charriés par l'Arve plus en aval du système d'endiguement. Par ailleurs il est précisé que les apports solides de l'Arve sont fortement restreints par la présence de la retenue des Houches. Sur le secteur de Passy, l'analyse du transport solide montre que les matériaux solides pouvant être mobilisés sont essentiellement issus du torrent du Nant-Bordon, torrent aménagé pour la gestion du transport solide.

Ce niveau de protection est également décrit plus précisément par les cotes altimétriques du fond du lit et de la cote d'eau de Q20-Q22 (prises et obtenues dans le modèle hydraulique) au-droit de 2 repères définis dans le Plan Communal de Sauvegarde (PCS).

Repères posés par le SM3A :	
<ul style="list-style-type: none"> - <u>Repère n°1</u> : au même emplacement que les repères de SGL Carbon ; - <u>Repère n°2</u> : En amont du Viaduc SNCF ; 	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Repère 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cote du fond du lit : Sans matériaux solides déposés : 610.67 mNGF - Cote de Q20-22 (230 m³/s) : Sans matériaux solides déposés : 613.95 mNGF <p>Repère 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cote du fond du lit : Sans matériaux solides déposés : 639.29 mNGF - Cote de Q20-22 (230 m³/s) : Sans matériaux solides déposés : 642.08 mNGF

La **Figure 2** représente la zone protégée par le système d'endiguement dit « Protection de Chedde ». Cette zone englobe en particulier :

- Des habitations individuelles ou collectives ;
- Des zones industrielles et économiques ;
- Des terrains agricoles.

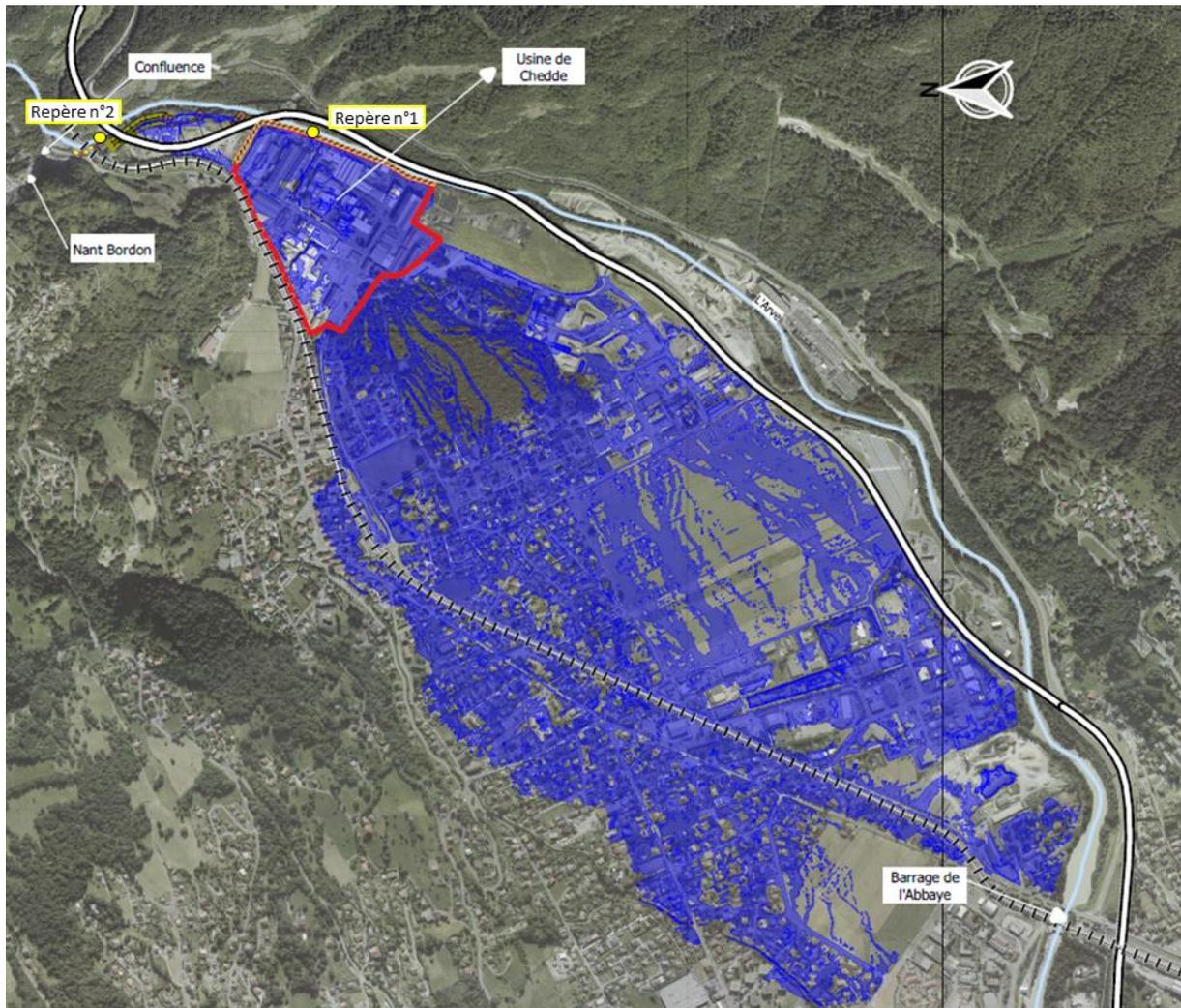


Figure 2 : Présentation de la zone protégée par le système d'endiguement « Protection de Chedde »

0.5 PRESENTATION DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME A L'OCCASION DE DIFFERENTS SCENARIOS DE MONTEE DES EAUX

Dans le cadre de cette EDD, 3 scénarios de montée des eaux ont été considérés pour le système d'endiguement. Ils sont présentés plus en détail dans le **DOCUMENT B**.

1) Scénario A : Il s'agit du scénario représentatif 'une situation de fonctionnement de l'Arve en crue sans dépôt de matériaux solide au fond du lit sur le linéaire total modélisé (fond Lidar 2015). Les résultats des modélisations hydrauliques ont permis de conclure quant au niveau de protection apparent estimé entre Q_{20} et Q_{22} ($\sim 215 - 230 \text{ m}^3/\text{s}$). Au-delà d'un tel débit, des débordements de l'Arve apparaissent au niveau du mur d'enceinte de l'usine, dans sa partie aval, là où la hauteur de ce dernier est la plus faible.

2. Scénario B : Il s'agit d'un scénario avec engravement du lit de l'Arve. Ce scénario se justifie par l'importance du transport solide sur la zone d'étude ; dû au possible charriage de matériaux en provenance du Nant-Bordon.

L'engravement est issu d'un dépôt d'un volume de matériaux solides en provenance du Nant-Bordon dans l'Arve qui viendrait s'étaler depuis la confluence jusqu'à hauteur du mur d'enceinte de l'usine de Chedde. L'augmentation des côtes du fond du lit aura ainsi comme effet d'augmenter les niveaux d'eaux en cas de crue et de mettre en charge les ouvrages de protection pour des débits inférieurs à ceux obtenus lors de la modélisation de l'état actuel. Néanmoins les résultats des modélisations hydrauliques ont permis de conclure quant au niveau de protection apparent relatif à ce scénario estimé ici aussi entre Q_{20} et Q_{22} (~ 215 - 230 m³/s). Au-delà d'un tel débit, des débordements de l'Arve apparaissent au niveau du mur d'enceinte de l'usine, dans sa partie aval, là où la hauteur de ce dernier est la plus faible.

- **3. Scénario C : simulation d'une défaillance structurelle du système d'endiguement (montée des eaux provoquant une défaillance structurelle des ouvrages).**

La défaillance structurelle retenue correspond à une rupture (brèche) au niveau du mur de l'usine de Chedde après une sollicitations hydrauliques fortes (crue centennale), dans sa partie amont où la hauteur est maximale. Ce choix s'est porté sur cette défaillance en raison d'un mauvais état du mur et d'une absence partielle de ferrailage révélée par les investigations géotechniques.

DOCUMENT A

1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

1.1 GESTIONNAIRE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Depuis le 1^{er} janvier 2017, le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A) dispose de la compétence GEMAPI (« Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations »). À ce titre il se doit d'assurer la gestion des systèmes d'endiguement présents sur son territoire d'actions, le bassin versant de l'Arve.

Le SM3A se doit en outre d'assurer la prévention contre les inondations de la commune de Passy (74) et de mettre en conformité le système d'endiguement dit « protection de Chedde », ceci en réalisant la présente Etude de Dangers.

Le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A)

 300 chemin des Près Moulin
74800 Saint-Pierre-en-Faucigny
 04 50 25 60 14
sm3a@sm3a.com



Le territoire géré par le SM3A s'étend sur 93 communes du département de la Haute-Savoie pour une superficie totale d'environ 1960 km². Le périmètre des communes sous la gestion du SM3A est représenté sur carte, disponible dans le **Chapitre 9.4** ainsi qu'en **ANNEXE 11** de ce présent document.

Le SM3A constitue un syndicat mixte à la carte, qui exerce un tronc commun de compétences telles que :

- La prévention et la défense contre les inondations,
- La gestion des cours d'eau, domaniaux et non domaniaux, et des milieux aquatiques,
- La gestion équilibrée et durable de la ressource en eau.

1.2 REDACTEUR DE L'ETUDE

Cette étude de dangers a été élaborée par :

Lombardi Ingénierie

 70 rue de la Villette
69003 Lyon
 +33 (0)4 26 84 26 10



Avec la participation de :

Julien BOUTAGHANE, responsable du pôle hydraulique et environnement

Carlos BUÑAY, ingénieur hydraulicien

Alexia COLOMBIER, ingénieure hydraulicien

Valentin LEMAIRE, ingénieur hydraulicien

Le bureau d'études Lombardi Ingénierie, fait partie des organismes agréés dans le cadre de l'Arrêté du 12 février 2019 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques et ce jusqu'au 30/04/2027.

1.3 RAPPEL DES AUTORISATIONS EXISTANTES EN LIEN AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Le système d'endiguement « Protection de Chedde » serait classé « B » mais n'a jusqu'à ce jour fait l'objet d'aucun classement. Aucun des ouvrages liés au système d'endiguement étudié n'est autorisé au titre des « digues intéressant la sécurité publique » et ne bénéficient d'aucune antériorité. Il n'existe donc pour l'heure actuelle aucune autorisation en lien avec le système d'endiguement.

Toutefois, un récépissé concernant les travaux de confortement des digues amont et aval ont été fournis par les services d'état.

Pour rappel, les trois classes réglementaires d'endiguement sont définies par la population protégée :

- A : Plus de 30 000 personnes protégées ;
- B : Entre 3 000 et 30 000 personnes protégées ;
- C : Entre 30 et 3 000 personnes protégées.

Au vu de l'estimatif du nombre de personnes pouvant se situer dans la zone protégée (supérieur à 12 000, voir **Chapitre 8**), le présent système d'endiguement serait de classe B.

1.4 DATE DE REMISE DE L'ETUDE

La remise officielle de l'étude de dangers au préfet est le **XX XXX XX**.

1.5 INFORMATIONS CONCERNANT LES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUE ANNEXES

Lors de l'analyse hydraulique réalisée pour cette étude de dangers l'impact des écoulements du Nant-Bordon, en particulier son débit solide, sur les risques d'inondation de la commune de Passy a été mis en avant.

L'apport de matériaux en provenance du Nant-Bordon dans l'Arve est, d'une part, un événement probable et constitue, d'autre part, une des causes vraisemblablement responsable des inondations qui se sont produites historiquement sur la commune de Passy.

De ce fait, tout aménagement construit sur le Nant-Bordon, en amont de la confluence dans le but de réguler et contrôler les écoulements solides et liquides de ce dernier devient contributif du bon fonctionnement du système d'endiguement.

Les ouvrages à mentionner sur le Nant-Bordon sont les suivants :

- **La plage de dépôt** : Elle se situe sur le Nant-Bordon, au-dessus de la RD13. Le volume de stockage est estimé à 30 000 m³. Son rôle principal est de réguler le dépôt de sédiments et autres matériaux plus volumineux de ce torrent actif. Elle joue ainsi un rôle positif pour la prévention des inondations à Passy dans la mesure où elle permet de réduire l'apport de matériaux dans le lit de l'Arve et donc de diminuer le risque d'engravement de ce dernier.

Ces ouvrages précédemment cités sont gérés par le SM3A hormis pour les seuils en aval gérés par RTM, et les ouvrages en gabions. Ces éléments sont localisables sur une carte de l'**Annexe 8**.

2 OBJET DE L'ETUDE

2.1 CADRE DE L'ETUDE

Le cadre de l'étude est rappelé dans le **Tableau 2** :

Tableau 2 : Cadre réglementaire de l'étude

Cocher la case, en rappelant, pour les cas 3, 4 et 5, la référence et la date de l'étude de dangers précédente. Dans le cas 4, préciser en outre la nature de la modification à l'origine de la mise à jour de l'étude de dangers.	
<input checked="" type="checkbox"/> Cas 1	Autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 2 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> Cas 2	Autorisation initiale du système d'endiguement, avec travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 3 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> Cas 3	Modification substantielle d'un système d'endiguement déjà autorisé. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 4 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> Cas 4	Mise à jour de l'étude de dangers du système d'endiguement exigée par arrêté préfectoral de prescription complémentaire en application des articles R. 181-45 et R. 214-117-III en raison d'une modification non substantielle du système d'endiguement. La mise à jour de l'étude de dangers est conforme aux dispositions de l'article 5 du présent arrêté.
<input type="checkbox"/> Cas 5	Actualisation d'une étude de dangers en application du II de l'article R. 214-117. Cette actualisation est réalisée conformément aux dispositions de l'article 6 du présent arrêté.

Cette étude de dangers s'inscrit dans le cadre d'une **Autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux. (Cas 1)**. Le contenu du présent document, constitutif du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 3 de l'arrêté du 30 septembre 2019.

Le système d'endiguement considéré par l'étude relève de la **classe B** au sens de l'article R.214-113 du code de l'environnement. Dans le cadre de cette réglementation, le SM3A a chargé Lombardi Ingénierie de mener l'étude de dangers du système d'endiguement contre les inondations afin d'être conforme avec le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques.

2.2 COMMUNE(S) CONCERNEE(S) PAR LA ZONE PROTEGEE

L'unique commune concernée par la zone protégée définie dans cette présente étude de dangers est la commune de Passy (code postal : 74190 – code INSEE : 74208).

2.3 LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE ET DE SES EVENTUELLES SOUS-PARTIES

Le guide technique établi par le CEREMA : Étude de dangers de systèmes d'endiguement - Concepts et principes de réalisation des études paru en juin 2018 définit la zone protégée comme :

Le « secteur géographique que souhaite protéger le gestionnaire et pour lequel est fixé l'objectif de protection du système d'endiguement. Pour le niveau de protection défini, cette zone doit être hors d'eau, à l'exception de franchissements non dangereux et pouvant faire l'objet d'un ressuyage rapide. Son extension maximale possible correspond ainsi à l'enveloppe des zones soustraites à l'inondation par un fonctionnement nominal du système d'endiguement et pour un phénomène naturel correspondant à son objectif de protection. Le gestionnaire est libre de ne considérer qu'une zone plus restreinte à l'intérieur de cette enveloppe. »

La zone protégée est donc définie comme étant une zone non inondée par la crue pour laquelle les ouvrages de protection, en l'occurrence les digues « amont » et « aval » et le mur d'enceinte de l'usine de Chedde fonctionnent et protègent la commune. Un extrait du plan de cette dernière est présenté sur la **Figure 3**.

Le plan de la zone protégée est disponible sous le nom **3031-P-120-001-Limite de la zone protégée_0** en **ANNEXE 12** de ce présent document. Une représentation de la zone protégée est illustrée sur la **Figure 3**.

Sont exclus de la protection les événements suivants :

- Remontée de nappe
- Eaux pluviales

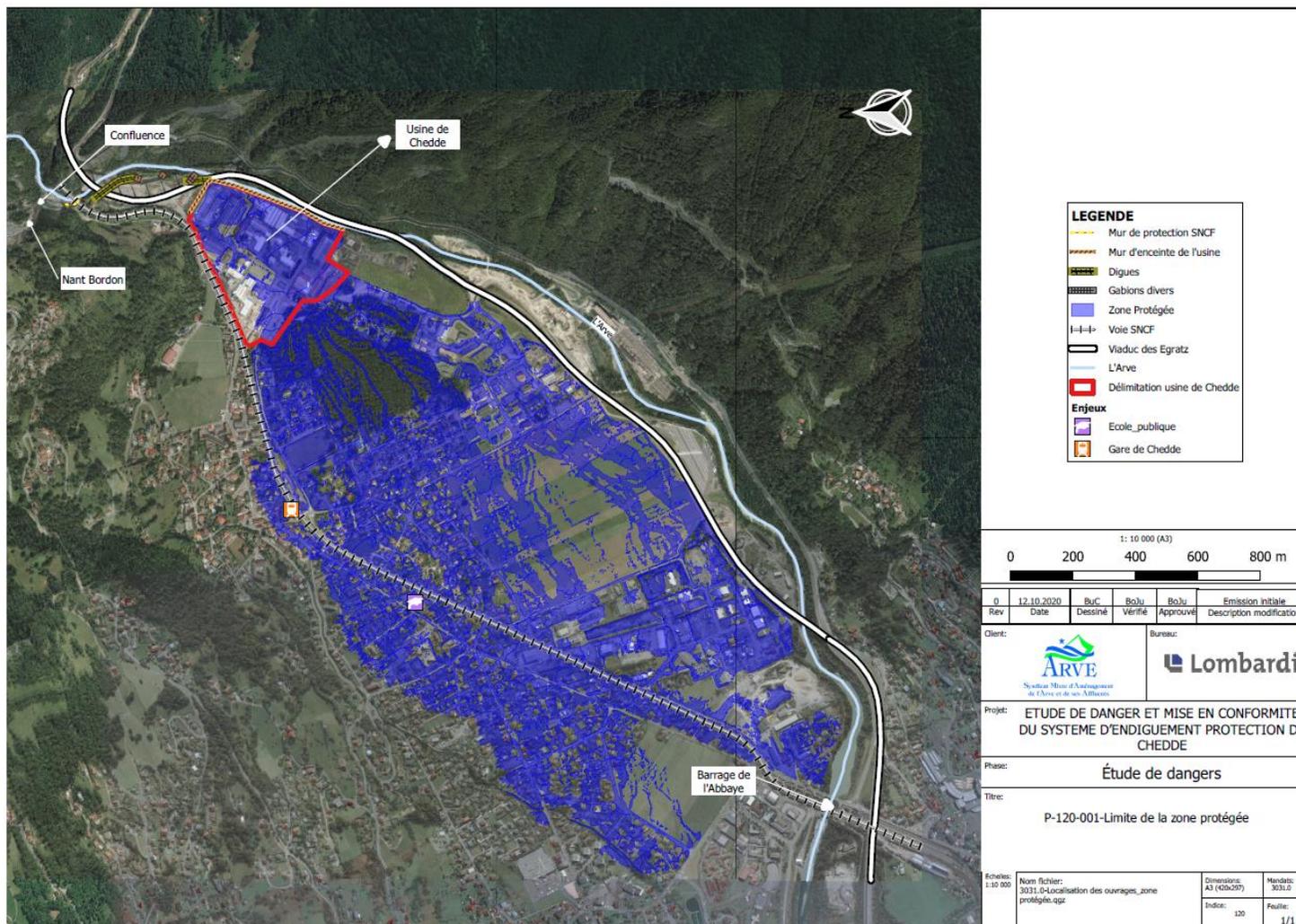


Figure 3 : Illustration en plan de la zone protégée par le système d'endiguement de Passy

2.4 LA LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES

2.4.1 Localisation en plan des ouvrages concernés par l'étude de dangers

Les ouvrages constitutifs du système d'endiguement sont représentés sur la **Figure 4**. Ils sont également représentés sur le plan **3031-P-120-002-Localisation en plan des ouvrages du système d'endiguement_0** disponible en **ANNEXE 9**.

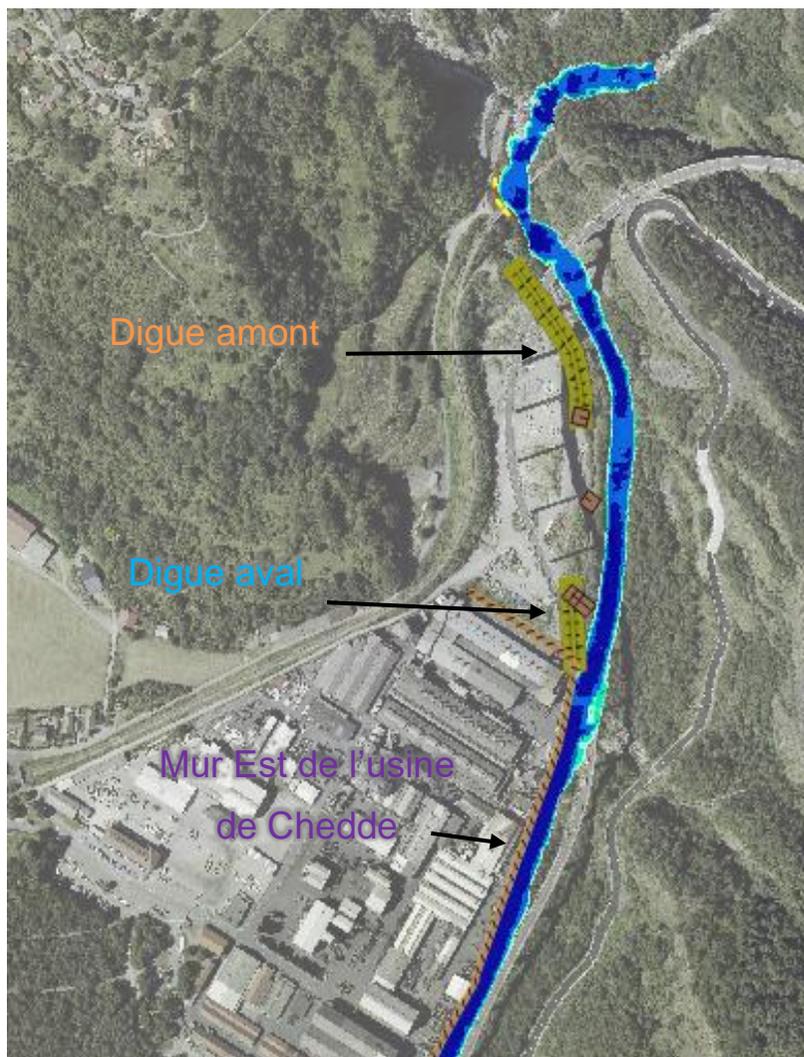


Figure 4 : Ouvrages constitutifs du système d'endiguement du Passy

2.4.2 Description sommaire des ouvrages concernés

Digue amont

Cette première digue est localisée entre la partie amont de la zone de dépôt, environ 50m en aval du chemin présent sous le pont SNCF et desservant la zone d'extraction/dépôt de matériaux, jusqu'à hauteur du milieu de cette zone. Elle s'étend sur un linéaire d'environ 145 m.

En protection de talus, on distingue des enrochements liaisonnés bétonnés côté cours d'eau sur une portion de 80m et un merlon en terre pour la crête où une population arbustive jeune se développe. Cette digue en remblai a été construite par le SM3A en 2003-2004 et ne présente à ce jour aucun défaut.

Digue aval

Cette seconde digue est située en aval de la première. Elle est limitée en amont par la fin du chemin longeant l'Arve et en aval par le début du mur d'enceinte de l'usine de Chedde. Son linéaire s'étend sur environ 50m. Le talus de la digue est en enrochements liaisonnés et sa crête est de type merlon. La liaison entre le talus et la crête, nommée risberme, est difficilement identifiable du fait de la végétation dense.

Mur d'enceinte de l'usine de Chedde

Après avoir parcouru environ 580m depuis sa confluence avec le Nant-Bordon, l'Arve subit un effet d'entonnement à son arrivée en bordure du mur Est de l'usine de Chedde. Ce-dernier correspond au troisième et dernière ouvrage de protection constitutif du système d'endiguement.

La hauteur du mur est irrégulière, elle décroît à mesure que l'on descend le cours d'eau. Sur la portion amont on distingue deux parties distinctes du mur, une plus ancienne surplombée d'une réhausse construite à la suite de la crue survenue en 1968. Il est noté que le mur d'enceinte de l'usine constitutif du système d'endiguement ne comporte que la partie en bordure d'Arve. Le retour au Nord-Est, ne participe pas au système de protection.

Concernant ses caractéristiques physiques, le mur a été construit en béton armé et on peut distinguer localement des contreforts.

3 DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE ET DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Les objectifs de ce chapitre sont d'une part de présenter de façon détaillée la zone protégée définie dans le cadre de la présente étude de dangers et d'autre part d'apporter tout élément relatif aux phénomènes naturels pouvant conduire à considérer des risques pour cette zone : inondations en particulier et autres risques naturels pouvant être rencontrés sur le secteur alpin de Passy.

Enfin, il s'agit aussi d'analyser le fonctionnement du système d'endiguement, qui représente la première ligne de défense face au risque d'inondation sur la zone d'étude.

Aussi, le paragraphe 3.1 s'intéresse de façon descriptive à la zone protégée, le paragraphe 3.2 aux conditions naturelles pouvant conduire à des crues dans la zone protégée et autres risques naturels possibles sur la zone d'étude. Quant aux paragraphes 3.3 et 3.4, ils ont vocation à décrire les composants du système d'endiguement en s'attardant sur leur environnement (localisation, cours d'eau concernés), leurs historiques et leurs fonctions.

3.1 ZONE PROTEGEE

3.1.1 Cartographies

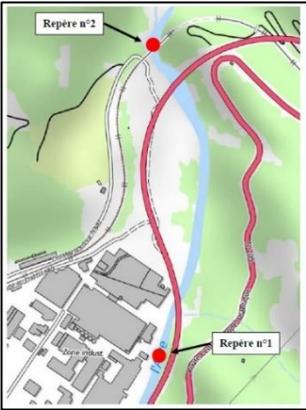
La zone protégée par le système d'endiguement « Protection de Chedde » comprend :

- La plaine de Chedde : lieu d'implantation de diverses usines et industries, quartiers résidentiels commerces.
- Le quartier Marlioz, plus au Sud-Ouest de la commune, essentiellement résidentiel.
- Tout le parc d'activités économiques du pays du Mont Blanc, situé en bordure de l'Arve sur la partie Sud-Est de la commune de Passy.
- Le terrain agricole situé au sud de l'usine de Chedde.

La **Figure 5** illustre la zone protégée inscrite dans le territoire du SM3A, un zoom de la zone est visible sur la carte.

Cette zone protégée correspond à l'emprise des inondations si on considère l'effacement du système d'endiguement et ceci pour une crue équivalente au niveau de protection du système, c'est-à-dire une crue d'intensité comprise entre Q_{20} et Q_{25} ($\sim 215 - 230 \text{ m}^3/\text{s}$) déterminé dans le **Chapitre 4**.

Les cotes associées à ce niveau de protection sont présentées ci-dessous :

Repères posés par le SM3A :	
<ul style="list-style-type: none">- <u>Repère n°1</u> : au même emplacement que les repères de SGL Carbon ;- <u>Repère n°2</u> : En amont du Viaduc SNCF ;	 <p>Repère 1 :</p> <ul style="list-style-type: none">- Cote du fond du lit : Sans matériaux solides déposés : 610.67 mNGF- Cote de Q20-22 (230 m³/s) : Sans matériaux solides déposés : 613.95 mNGF <p>Repère 2 :</p> <ul style="list-style-type: none">- Cote du fond du lit : Sans matériaux solides déposés : 639.29 mNGF- Cote de Q20-22 (230 m³/s) : Sans matériaux solides déposés : 642.08 mNGF

Cette zone protégée est également consultable sur le plan **3031-P-120-001-Limite de la zone protégée_0**. Ce dernier est disponible dans le **Chapitre 10** et en **ANNEXE 12**.

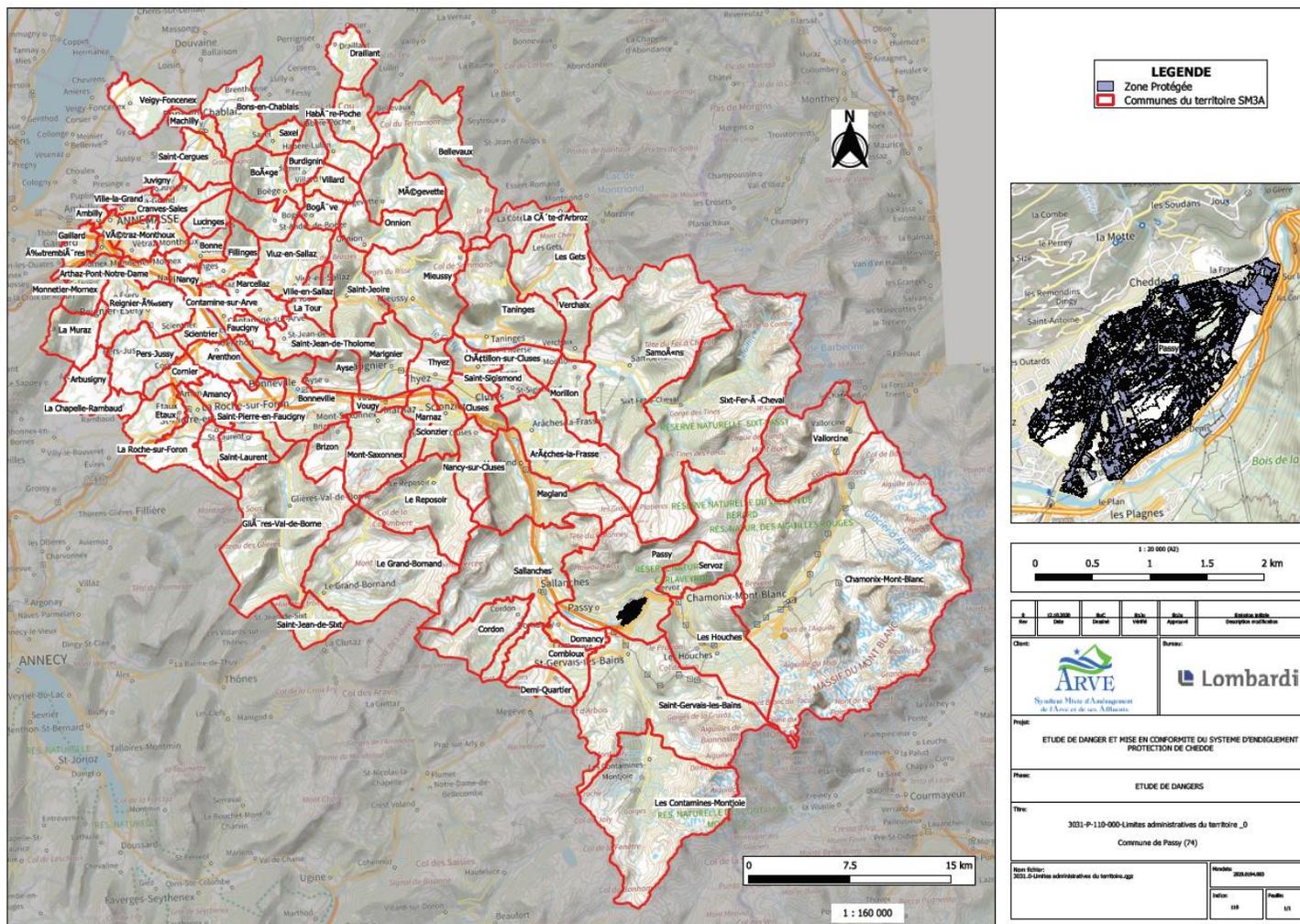


Figure 5 : Extrait de cartographie de la zone protégée (voir carte détaillée dans le Chapitre 10)

3.1.2 Liste des communes dont le territoire est intégré dans la zone protégée

Au-regard de la zone d'étude, une seule commune est concernée par la zone protégée, à savoir la commune de Passy. Les informations relatives à cette commune sont rappelées dans le **Tableau 3** :

Commune	Superficie	Population totale
Passy (74)	~ 80.03 km ²	10 863 hab. (INSEE)
Informations importantes à souligner : <ul style="list-style-type: none">- La présence d'une ligne ferroviaire dans la zone d'étude (Gestionnaire : SNCF)- Les axes routiers- Autres gestionnaires : Commune, Privé, Etat, ONF, EDF, SNCF ...		

Tableau 3 : Commune dont le territoire appartient à la zone protégée

3.1.3 Liste récapitulative des autres communes qui relèvent de l'autorité compétente pour la prévention des inondations visée au a du chapitre 1

93 communes sont sous l'autorité du SM3A, elles sont listées dans le **Tableau 4** ci-contre.

Liste des communes relevant de l'autorité du SM3A				
Peillonex	Sixt-Fer-à-Cheval	Passy	Les Contamines-Montjoie	Nangy
Scionzier	Viuz-en-Sallaz	Glières-Val-de-Borne	Saint-Gervais-les-Bains	Saint-Cergues
La Chapelle-Rambaud	Arâches-la-Frasse	Reignier-Esery	Cluses	Thyez
La Tour	Cordon	La Roche-sur-Foron	Estrembières	Pers-Jussy
Le Reposoir	Cornier	Saint-Jeoire	Ville-la-Grand	Châtillon-sur-Cluses
Villard	Cranves-Sales	Sallanches	Morillon	Demi-Quartier
Faucigny	Nancy-sur-Cluses	Samoëns	Verchaix	Vallorcine
Saint-Laurent	Marignier	Servoz	Bellevalux	Saxel
Bogève	La Côte-d'Arbroz	Vougy	Habère-Poche	Machilly
Saint-Jean-de-Sixt	Etaux	Mieussy	La Rivière-Enverse	Domancy
Saint-Pierre-en-Faucigny	Lucinges	Les Houches	Fillinges	Boège
Saint-Sigismond	Ville-en-Sallaz	Vétraz-Monthoux	Saint-Jean-de-Tholome	Taninges
Saint-Sixt	Veigy-Foncenex	Amancy	Bonneville	Draillant
Arbusigny	Burdignin	Annemasse	Le Grand-Bornand	
Ambilly	Mont-Saxonnex	Onnion	Monnetier-Mornex	
Arthaz-Pont-Notre-Dame	Mégevette	Les Gets	Juvigny	
Marcellaz	Magland	Combloux	Bonne	
Marnaz	La Muraz	Gaillard	Contamine-sur-Arve	
Ayse	Chamonix-Mont-Blanc	Habère-Lullin	Scientrier	
Bons-en-Chablais	Brizon	Saint-André-de-Boège	Arenthon	

Tableau 4 : Liste des communes relevant de l'autorité du SM3A pour la prévention des inondations

3.2 DESCRIPTION DES CONDITIONS NATURELLES POUVANT CONDUIRE A DES CRUES / CONDITIONS DE FONDATION DES OUVRAGES ET DES SOLlicitATIONS S'EXERÇANT SUR SES FONDATIONS

Ce sous chapitre est une synthèse des données de l'étude hydrologique et hydraulique présentée dans le **Chapitre 4**. Il traite des risques naturels présents sur la zone d'étude.

Les risques naturels peuvent être classés en 6 catégories :



Inondations



Mouvements de terrain



Cavités souterraines



Séismes



Radon



Retrait-Gonflements des sols argileux

Le principal risque naturel étudié ici est le **risque d'inondation en lien avec un régime torrentiel spécifique**. Afin de le comprendre et de l'analyser au mieux, il a été nécessaire de mener au préalable une étude hydrologique et hydraulique. La synthèse de ces dernières est présentée ci-après et plus en détails dans le **Chapitre 4** et en **ANNEXE 1**.

Le système d'endiguement est situé aux confins de l'Arve, une rivière torrentielle et d'un torrent à laves, le Nant-Bordon, les caractéristiques de fondation des ouvrages ont été étudiées plus spécifiquement dans le cadre d'une étude géotechnique (7.2) qui a nécessité la réalisation de sondages et essais laboratoires spécifiques. Cette étude est présentée en **ANNEXE 5**.

3.2.1 Description des principaux facteurs naturels déterminant les risques contre lesquels le système d'endiguement apporte une protection

3.2.1.1 Synthèse des facteurs hydrologiques

Le régime hydrologique de la zone d'étude est nival et torrentiel.

- Il est caractérisé par un apport lié à la fonte nivale ;
- Un fort charriage possible de matériaux, bien que limité par la plage de dépôt de la RD13, en provenance du torrent Nant-Bordon et déversé dans l'Arve après la confluence ;
- Un charriage limité dans l'Arve par la présence d'aménagements hydroélectriques qui régulent le transport solide et le débit liquide pour des faibles débits ;
- Des épisodes de crue/décruie rapides, de l'ordre de quelques heures

Le **Tableau 5** reprend les résultats de l'étude hydrologique sur la zone concernée par cette étude de dangers :

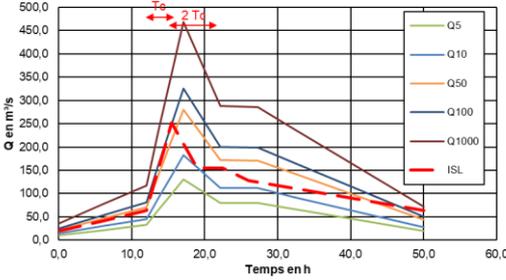
Éléments	Valeurs					Obtention/hypothèses	
Surface du bassin versant de l'Arve à la confluence Arve-Nant-Bordon	333.8 km ²						Tracé manuellement et comparé à la valeur relevée par le SM3A
Débits de crue	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀		
Débit pointe de l'hydrogramme d'entrée (en m ³ /s)	130	182	280	326	468	Débits obtenus après actualisation des études antérieures.	
Hydrogrammes de crues : Temps de concentration Tc Forme de l'hydrogramme	<ul style="list-style-type: none"> - Tc ~ 6.05 h - Forme de l'hydrogramme de type triangulaire : temps de montée égale à Tc et temps de décrue pris égale à 2 Tc. 						La forme des hydrogrammes de crue a été choisie pour conserver une cohérence avec les hydrogrammes établis dans les précédentes études.

Tableau 5 : Synthèse des données hydrologiques de l'étude

A noter, qu'il n'y a aucun apport hydrologique à considérer en rive gauche de l'Arve sur le secteur étudié.

3.2.1.2 Synthèse des facteurs hydrauliques

Les modélisations hydrauliques réalisées dans le cadre de cette étude de dangers ont permis de définir le fonctionnement hydraulique du système d'endiguement, **en l'état actuel**, pour deux situations distinctes :

- Lorsque le lit de l'Arve n'est pas engravé, c'est-à-dire qu'aucun dépôt de matériaux n'est envisagé après la confluence.

- Lorsque ce-dernier présente un engravement, situation représentative de la crue survenue en 1992, et qui permet de prendre en compte le caractère torrentiel du Nant-Bordon dans cette zone d'étude. Le confortement torrentiel de l'Arve est quant à lui fortement limité et il pourrait être assimilé à un comportement majoritairement fluvial sur le secteur de Passy.

Les résultats et interprétations suivantes sont ressortis des modélisations hydrauliques, ces résultats sont applicables aux situations avec-engravement du lit de l'Arve et sans-engravement :

- Les premiers débordements présentant un risque d'inondation pour la commune ont tous lieu au droit du mur de l'usine dans sa partie aval, là où la hauteur du mur est la plus basse, ceci pour des débits de crue de période de retour compris entre 20 et 25 ans ($Q_{20-25} \sim 230 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Les digues amont et aval protègent la commune pour des crues d'une période de retour supérieure à mille ans, dans l'hypothèse où aucun défaut structurel n'est pris en compte.

De plus, les modélisations hydrauliques réalisées ont permis d'observer l'étendue des inondations dans la plaine de Passy selon les différents débits de crue modélisés (Q_5 , Q_{10} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{1000}) et d'estimer les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement des eaux de débordements. Ces éléments sont représentés sur les cartes de venues d'eau disponibles en **ANNEXE 6**. Les conclusions suivantes sont retenues :

- Les hauteurs maximales sont d'autant plus importantes ($\sim 50-80 \text{ cm}$ selon l'intensité du débit de crue entre un débit Q_{50} et un débit Q_{1000}) que l'on se situe à proximité direct de la zone de débordement. Dans la plaine d'inondation, elles restent comprises autour de 30cm quelques soient les débits (Q_{50} , Q_{100} ou Q_{1000}), expliqué par le fait que la commune de Passy est dans toute sa largeur en pente vers l'aval.
- Dans l'ensemble, les vitesses d'écoulement dans la plaine d'inondation ne sont pas très élevées, elles restent inférieures à 0.5m/s. Il existe cependant des chemins d'écoulements qui ont tendance à être privilégiés, en particulier l'impasse des garages en aval immédiat de l'usine de Chedde), du fait de la topographie et de la rugosité favorable de la route.

L'ensemble des résultats précédemment décrit est représenté sur la **Figure 6** qui se veut synthétique de l'étude hydraulique.

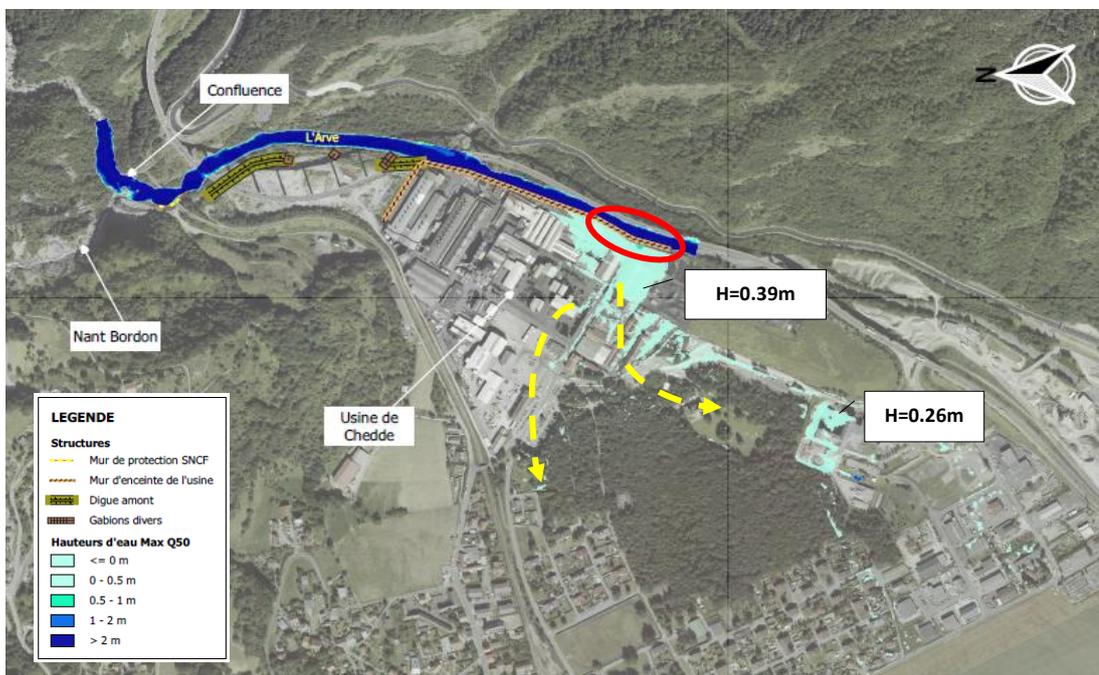


Figure 6 : Illustration des résultats de modélisations hydrauliques

3.2.1.3 Synthèse de l'analyse du transport solide

➤ Préambule

Le système d'endiguement objet de cette étude de dangers se situe exclusivement en rive droite de l'Arve. Sur le secteur de la commune de Passy, l'Arve présente davantage un déficit sédimentaire, expliqué par la présence du barrage de Houches peu en amont de la commune, plutôt qu'un transport solide fort, pouvant influencer l'aléa inondation de la commune de Passy. Néanmoins pour caractériser l'aléa inondation sur le secteur, il est essentiel d'évaluer la contribution hydrosédimentaire du Nant-Bordon, son affluent rive droite, situé moins de 200m en amont de la première digue. En effet l'historique des crues sur le secteur indique un fort charriage sur ce torrent, dont les matériaux peuvent atteindre la confluence et engraver le fond du lit de l'Arve lors d'une crue. Le Nant-Bodon a fait l'objet d'études spécifiques de transports solides et laves torrentielles et il est aujourd'hui bien aménagé pour la régulation du transport solide. La **Figure 7** illustre le linéaire du torrent et met en évidence les zones d'instabilités ainsi que la localisation des ouvrages de régulation du transport solide.

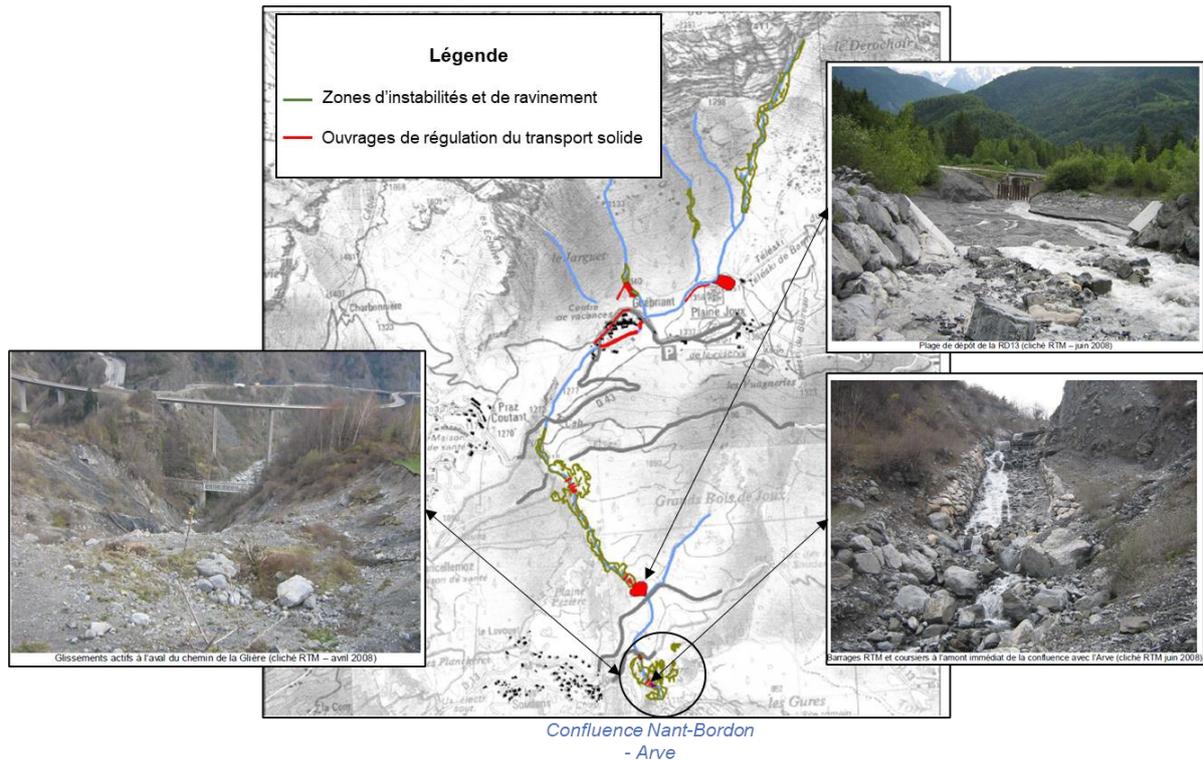


Figure 7 : Principales zones d'instabilité et de ravinement du Nant-Bordon, Source RTM 2008

Le SM3A est gestionnaire des plages de dépôt situé sur le Nant-Bordon : la plage de dépôt Plaine de Joux et celle de la RD13. La seconde, en amont de la route départementale RD13 joue un rôle important pour minimiser les apports solides du torrent dans l'Arve qui se situe 700m en aval. Cet ouvrage est donc contributif du bon fonctionnement du système d'endiguement de Passy.

➤ Prise en compte du transport solide dans l'étude de dangers

Au-regard de l'historique des crues et des aménagements hydroélectriques existants sur le linéaire de l'Arve (barrage des Houches), seul le transport solide en provenance du Nant-Bordon est considéré dans cette étude de dangers. En 2008, le RTM a réalisé une analyse historique, hydrogéologique, hydraulique et morphologique du Nant-Bordon pour le compte de la commune de Passy. L'ensemble du linéaire du torrent est analysé et distingué en 3 tronçons morphologiquement homogènes, séparés par des zones de replat, favorables aux dépôts des matériaux mobilisés et transportés depuis l'amont. Concernant la possibilité d'apports solides du torrent dans l'Arve, le RTM conclue en fin de rapport :

« Par ailleurs, les risques d'inondation à l'aval de la confluence suite à une crue exceptionnelle du Nant Bordon (éventualité redoutée suite à la crue de 1992) sont très fortement limités depuis la réalisation de deux seuils et du coursier en amont de la confluence et surtout des importants travaux entrepris sur l'Arve en 2003-2004 entre la confluence et l'usine de Chedde. ».

Néanmoins, il est également mis en évidence l'existence d'une zone active en aval du bassin versant de l'Arve, bien identifiée sur la **Figure 7**. Un volume de 13 000 à 30 000 m³ pourrait exceptionnellement être arraché au versant et former une lave torrentielle pour rejoindre l'Arve en aval. Ce scénario est jugé fortement sécuritaire et nommé « improbable » du fait de la courte distance entre la plage de dépôt de la RD13 et la confluence avec l'Arve.

Dans le cadre de la présente étude de dangers, la problématique de transport solide est prise en compte dans le scénario de fonctionnement nominal du système d'endiguement, au-travers d'une démarque multi-scénario (voir **Chapitre 8**) : un engravement du lit de l'Arve est considéré dans la modélisation hydraulique correspondant au dépôt de 50 000 m³ de matériaux en provenance du Nant-Bordon. Ce volume correspond à celui qui aurait été déposé dans le lit de l'Arve lors de la crue historique du Nant-Bordon en 1992. Cet engravement s'inscrit dans une approche sécuritaire et présente une influence négligeable sur la ligne d'eau résiduelle dans l'Arve lors d'une crue de cette-dernière.

3.2.1.4 Synthèse des facteurs géologiques

La commune de Passy située dans la vallée de Chamonix est bordée sur toute sa longueur par l'Arve, rivière torrentielle. Le système d'endiguement considéré est localisé en rive droite le long de l'Arve après sa confluence avec le Nant-Bordon, en limite Nord de la commune.

Les alluvions, formant le lit de la rivière, sont de type torrentiel, elles sont composées de débris de tailles très variables et hétérogènes dans une matrice plus fine. Elles reposent sur le socle Alpin schisteux pouvant contenir des failles.

La carte géologique (1/50 000) du BRGM (infoterre.fr) est présenté en **Figure 8**.

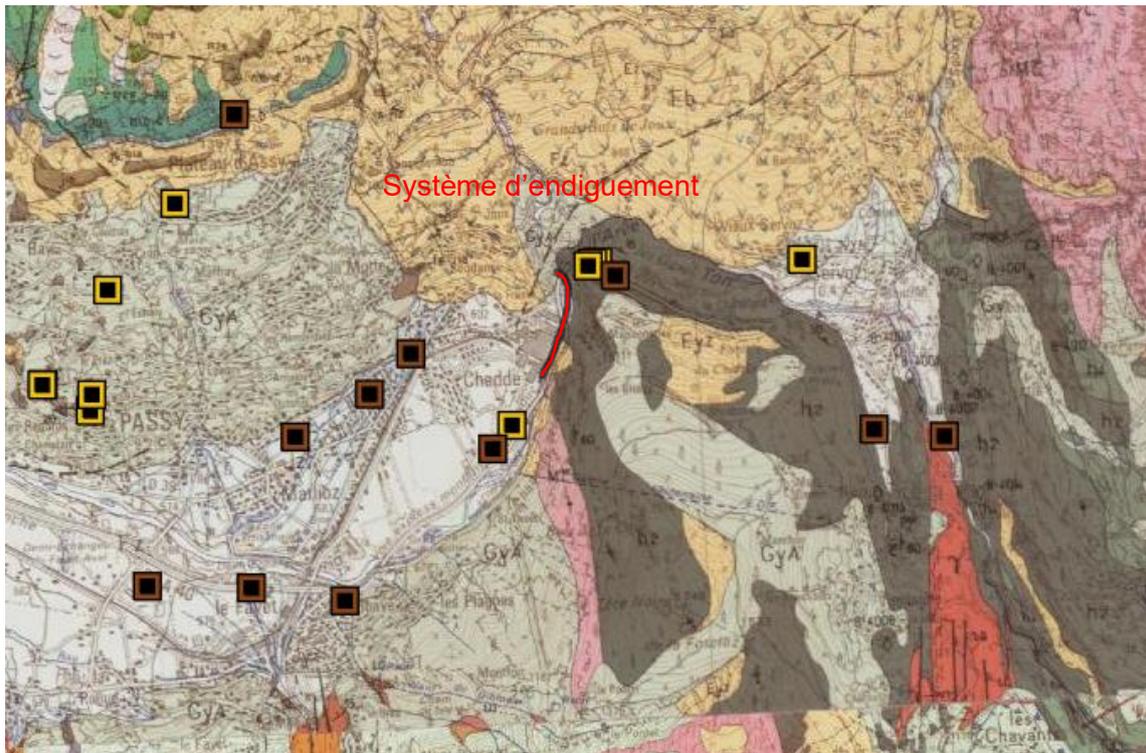


Figure 8 : Carte géologique de la zone d'étude au 1 : 50 000 (Source : Infoterre – BRGM)

3.2.1.5 Synthèse du contexte sismique

Source : Géorisques, BRGM-Infoterre, DICRIM Passy

Généralités

Le séisme est l'une des manifestations de la tectonique des plaques et se produit le long d'une faille généralement préexistante. Lorsque les frottements au niveau de ces failles sont importants, le mouvement entre deux plaques est bloqué et de l'énergie s'y accumule. La libération brutale de cette énergie entraîne un déplacement instantané de la plaque, constituant la cause du séisme. Il se traduit en surface par des vibrations du sol. Un tel évènement est constitué d'une secousse principale, souvent suivie par des répliques pouvant être meurtrières.

L'analyse de la sismicité historique (à partir de témoignage et d'archive) et de la sismicité instrumentale ainsi que l'identification des failles actives ont permis de définir l'aléa sismique sur le territoire français, c'est-à-dire l'ampleur des mouvements sismiques attendus sur une période donnée (aléa probabiliste). Un zonage sismique a été élaboré et est entré en vigueur depuis le 1^{er} mai 2011. Il divise le territoire national en 5 zones de sismicité croissantes selon les articles R.563-1 à R.563-8 du code de l'environnement, modifiés par le décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010, et article D.563-8-1 du code de l'environnement :

- **Zone 1** : Sismicité très faible
- **Zone 2** : Sismicité faible

- **Zone 3** : Sismicité modérée
- **Zone 4** : Sismicité moyenne
- **Zone 5** : Sismicité forte.

Contexte sismique de la zone d'étude

La commune de Passy, située dans la région de Haute-Savoie est classée en **Zone 4 – zone de sismicité moyenne (Figure 9)**.

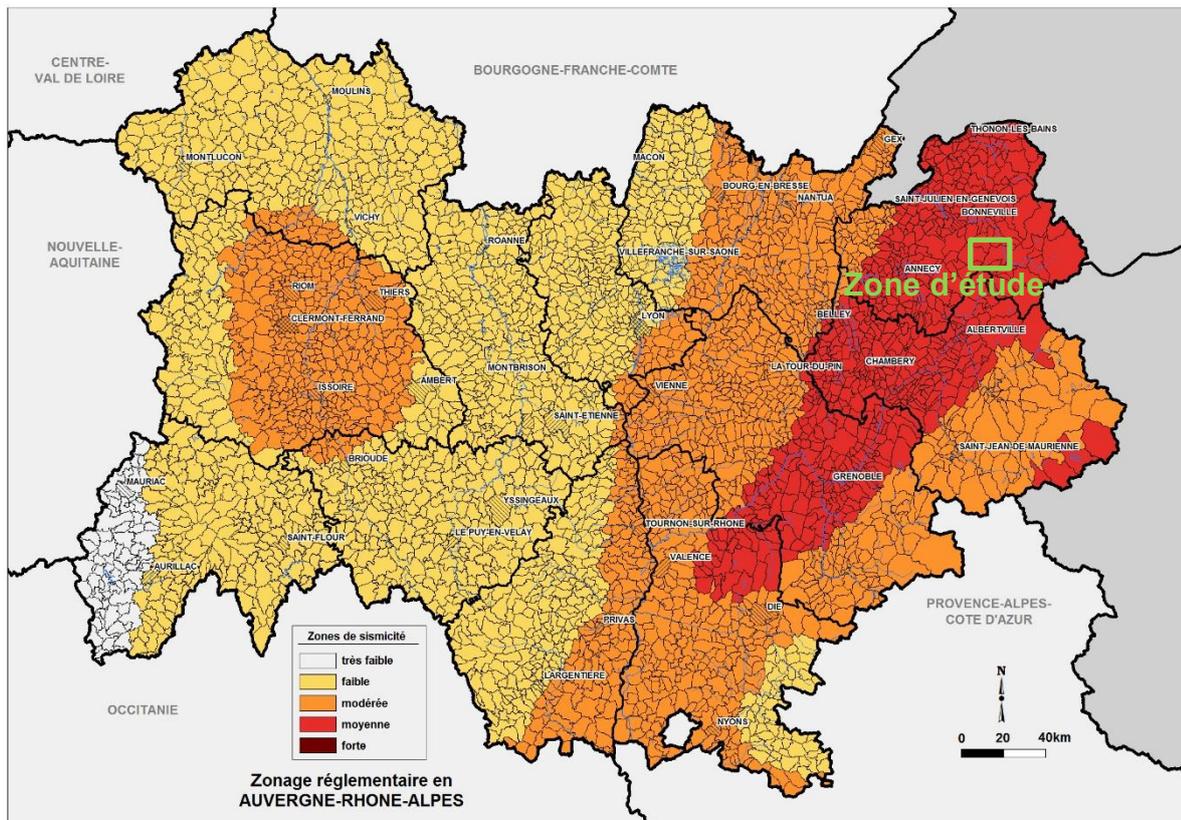


Figure 9 : Carte de zonage sismique de la région Auvergne-Rhône-Alpes, source : site du BRGM

Depuis le Moyen Age, au moins une dizaine de séismes d'intensité moyenne (comprise entre 5 et 7) ont été enregistrés dans la commune. La sismicité historique est basée sur la compilation d'archives. L'intensité maximale ressentie serait de niveau VIII (dommage prononcés) lors de séisme en 1905 et 1996.

Les conséquences d'un séisme peuvent être multiples en surface. Dans la zone d'étude, un tel évènement peut dégrader ou détruire des bâtiments et des murs de soutènements, produire des décalages de la surface de part et d'autre des failles. Il peut également engendrer des glissements de terrains, des chutes de blocs ou potentiellement une liquéfaction des sols meubles imbibés d'eau. Tous ces risques peuvent affecter de manière significative le système d'endiguement.

Dans la zone d'étude, la concomitance d'un séisme avec une crue a une probabilité nulle.

Risque de liquéfaction

Le risque de liquéfaction correspond à une perte de résistance brutale d'un sol saturé et lâche lors d'un épisode de type sismique. En effet, lors d'un séisme, les contraintes de cisaillement sur un sol lâche et gorgé d'eau engendrent un réarrangement des grains qui permet la remontée de l'eau interstitielle et provoque l'effondrement du sol. Les données liées aux investigations géotechniques ne sont pas suffisantes pour caractériser le risque de liquéfaction. Le gestionnaire se doit donc d'être vigilant quant à ce risque.

Sont exclus de la protection, les aléas suivants :

- Remontées de nappe
- Eaux pluviales

3.2.2 Données historiques essentielles connues expliquant l'analyse scientifique de ces facteurs.

Les valeurs proposées et retenues dans la présente EDD s'appuient sur les rapports d'hydrologie réalisés par le passé et cités dans le **Tableau 6** :

Titre	Date	Auteur
[1] Détermination du risque de crues extrêmes de l'Arve à Chamonix par la méthode SCHADEX	2018	EDF
[2] Etude de faisabilité pour l'optimisation des aménagements de protection des crues de la moyenne et basse vallée de l'Arve. Analyse de l'hydrologie globale du bassin versant	2016	ISL
[3] Etude d'inondabilité de la vallée de l'Arve	2012	EGIS
[4] Etude hydrologique	2007	SM3A
[5] Etude d'aménagement de l'Arve et de ses berges au confluent du Nant Bordon	2001	HYDRETTUES
[6] Document cité dans l'étude de 2001 (Hydrétudes)	1991	SOGREAH

Tableau 6 : Études d'hydrologie réalisées par le passé

Les données hydrologiques retenues ont été reconstruites via l'utilisation de formules employées régulièrement dans le domaine de l'hydraulique afin de reconstituer des débits au droit du secteur étudié (superficie du bassin versant différent de ceux étudiés antérieurement) :

- Méthode statistique de Gumbel
- Méthode de transfert de bassin versant, utilisation de la formule de Myer.

Ces deux méthodes ont été utilisées pour reconstituer les débits de crues à partir de ceux établis dans les études antérieures concernant toute ou une partie de la zone d'étude et principalement à partir de l'étude d'ISL de 2016 et de Hydrétudes de 2001.

De plus, il a été appliqué des formules empiriques pour le calcul du temps de concentration (GIANDOTTI, HASPERS, VENTURA, TURRAZZA-PASSINI) au droit du point d'entrée du modèle permettant de simuler les écoulements de crue au droit du système d'endiguement.

3.3 DESCRIPTIONS DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES

Ce sous-chapitre correspond à une synthèse des éléments fournis et demandés avec précision dans le **Chapitre 5**.

3.3.1 Identification du cours d'eau

Deux cours d'eau sont concernés par la zone d'étude : l'**Arve** et le **Nant-Bordon**.

- L'**Arve** est un cours d'eau torrentiel à forte pente et affluent du Rhône. Il prend sa source dans le versant des Posettes. Son linéaire total est de 107 km pour une surface de 2 078 km². À son arrivée à la confluence avec le Nant-Bordon, qui représente la limite amont de la zone d'étude, l'Arve a parcouru près de 35 km depuis sa source. Enfin, les caractéristiques à retenir pour l'Arve sur ce secteur d'étude sont : un fort charriage et un linéaire fortement endigué sur toute sa longueur.
- Le **Nant Bordon**, quant à lui, est un torrent de montagne drainant un bassin versant raide d'environ 4,7 km² et dont la confluence avec l'Arve se situe à Passy. Le torrent est très actif. L'historique de la région recense de très nombreuses crues dommageables notamment dues aux laves torrentielles. Le Nant Bordon a ainsi fait l'objet de nombreux aménagements sur sa partie amont (Guébriant, Lac gris) consistant en la réalisation de plages de dépôt, de barrages, de seuils et d'endiguement. L'instabilité de la partie aval du Nant-Bordon mérite également d'être mentionnée. Un glissement de terrain actif dans sa partie aval peu avant la confluence avec l'Arve pourrait conduire à l'apport de 13 000 à 30 000 m³ supplémentaires de matériaux (sous forme de laves torrentielles) qui pourraient se déposer dans l'Arve (source RTM).

3.3.2 Plan d'ensemble localisant et identifiant les différents éléments constituant le système d'endiguement

Le plan d'ensemble suivant, illustré sur la **Figure 10** localise les trois ouvrages constitutifs du système d'endiguement à l'étude, à savoir la digue amont, la digue aval ainsi que le mur Est de l'usine de Chedde. Un plan plus complet **3031-P-120-001-Localisation en plan des ouvrages du système d'endiguement _0** est également disponible en **ANNEXE 9**.

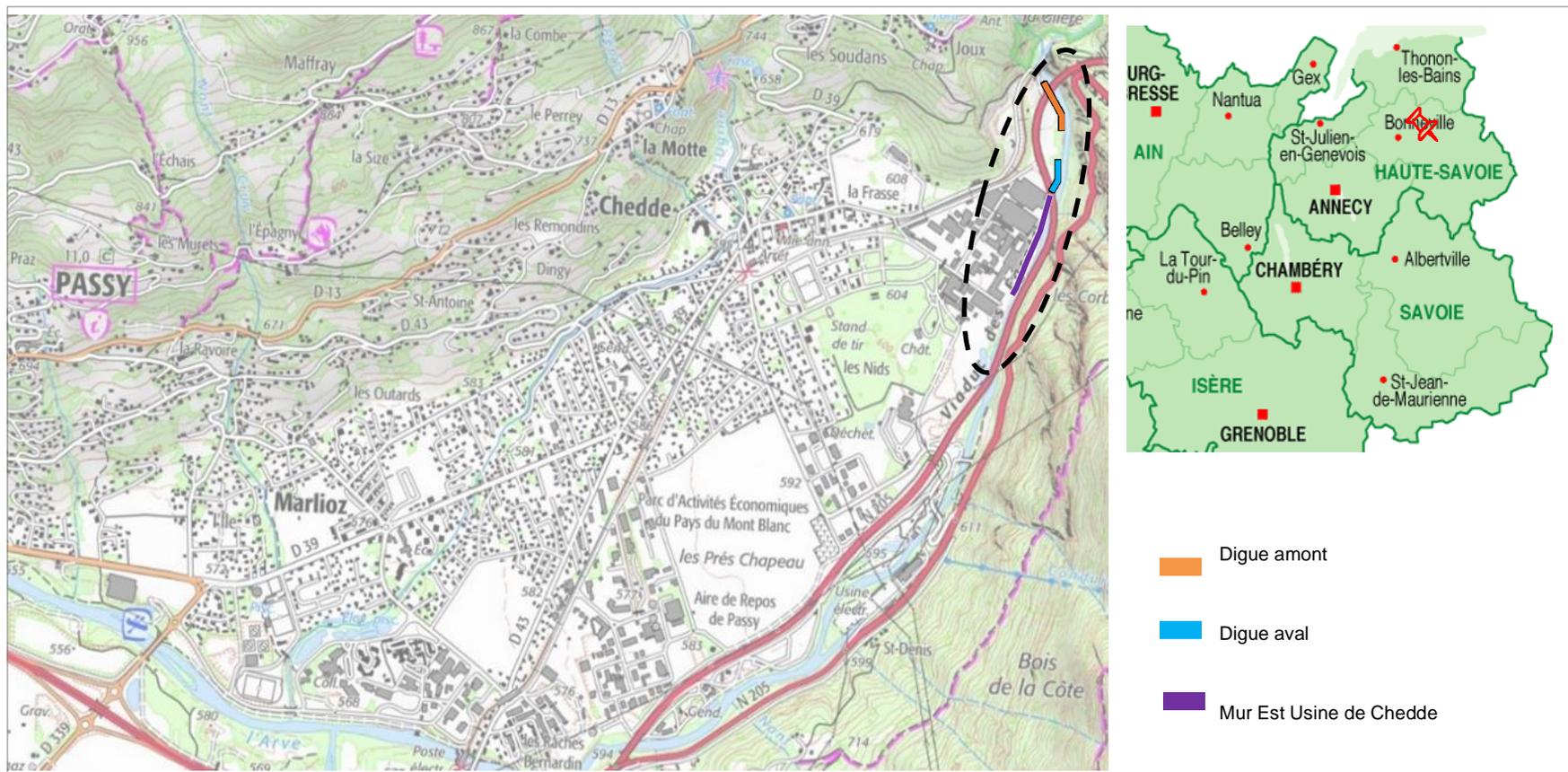


Figure 10 : Localisation des ouvrages du système d'endiguement

3.3.3 Localisation et caractéristiques des différents éléments du système d'endiguement

Digue amont

Cette première digue est localisée entre la partie amont de la zone de dépôt, environ 50 m en aval du chemin présent sous le pont SNCF et desservant la zone d'extraction/dépôt de matériaux, jusqu'à hauteur du milieu de cette zone. Elle s'étend sur un linéaire d'environ 145 m.

En protection de talus on distingue des enrochements liaisonnés bétonnés illustrés sur la **Figure 11** côté cours d'eau sur une portion de 80 m et un merlon en terre pour la crête où une population arbustive jeune se développe. Cette digue en remblai a été construite par le SM3A en 2003-2004 et ne présente à ce jour aucun défaut.



*Figure 11 : Illustration des caractéristiques de la digue amont (accès, enrochement).
Source : Lombardi*

L'accès à cette première digue se fait en empruntant le *Chemin rural de Chedde au Chatelard* situé au Nord de Passy, à l'Ouest de l'usine de Chedde. Il suffit ensuite de descendre, dans la direction d'amont à aval, le chemin longeant l'Arve et passant sous le viaduc des Egratz.

Digue aval

Cette seconde digue est située en aval de la première. Elle est limitée en amont par la fin du chemin longeant l'Arve et en aval par le début du mur d'enceinte de l'usine de Chedde. Son linéaire s'étend sur environ 50m. Le talus de la digue est en enrochements liaisonnés et sa crête est de type merlon. La liaison entre le talus et la crête, nommée risberme, est difficilement identifiable du fait de la végétation dense.



*Figure 12 : Illustration des caractéristiques de la digue aval (localisation, enrochement).
Source : Lombardi*

L'accès à cette seconde digue se fait en empruntant le *Chemin rural de Chedde au Chatelard* situé au Nord de Passy, à l'Ouest de l'usine de Chedde. Il suffit ensuite de descendre, dans la direction d'amont à aval, le chemin longeant l'Arve et passant sous le viaduc des Egratz.

Mur Est de l'usine de Chedde

Après avoir parcouru environ 580 m depuis sa confluence avec le Nant-Bordon, l'Arve subit un effet d'entonnement à son arrivée en bordure du mur Est de l'usine de Chedde. Ce-dernier correspond au troisième et dernier ouvrage de protection constitutif du système d'endiguement.

La hauteur du mur est irrégulière, elle décroît à mesure que l'on descend le cours d'eau. Sur la portion amont on distingue deux parties distinctes du mur, une plus ancienne surplombée d'une réhausse construite à la suite de la crue survenue en 1968.

Concernant ses caractéristiques physiques, le mur a été construit en béton armé et on peut distinguer localement des contreforts. L'état du mur est globalement bon.

L'accès au mur de l'Usine de Chedde peut se faire directement en entrant avec accord sur le site de l'Usine ou bien en longeant l'Arve depuis les digues situées en amont de celui-ci selon la possibilité vis-à-vis des hauteurs d'eau dans le lit mineur.



Figure 13 : Illustration du mur Est de l'Usine (contreforts, réhausse). Source : Lombardi

3.3.4 La présentation globale en carte et en profil en long côté de la structure complète du système d'endiguement

Le profil en long de la structure complète du système d'endiguement « Protection de Chedde » est disponible sur le plan **3031-P-120-001-Profil en long du Système d'endiguement _0**, présenté en **Annexe 10**. Deux extraits sont représentés sur les **Figure 14** et **Figure 15** ci-contre permettent néanmoins :

- De repérer sur le profil en long les ouvrages constitutifs du système d'endiguement, en particulier le niveau des crêtes.
- D'observer le niveau d'eau correspondant au niveau de protection du système d'endiguement.

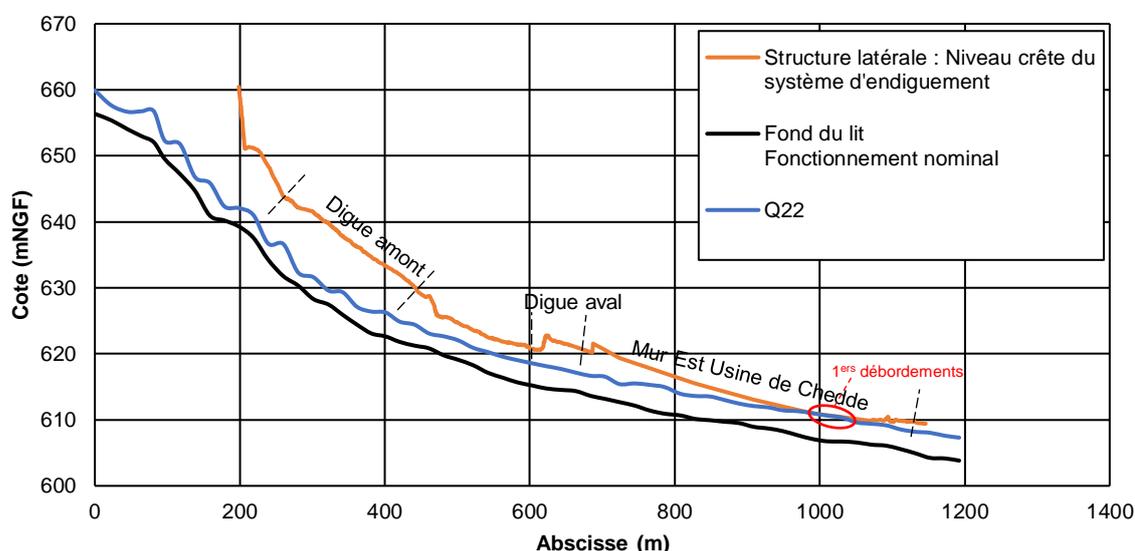


Figure 14 : Profils en long du fond du lit de l'Arve et des crêtes des ouvrages

Pour le niveau de protection retenu, les digues amont et aval ne sont pas mises en charge. En revanche, le mur Est de l'Usine de Chedde est mis en charge sur tout son linéaire.

Le tableau ci-dessous reprend les mises en charge calculées pour plusieurs abscisses du profil en long au-droit du mur de l'usine.

Abscisses profil en long (m)	Cote du TN derrière le mur (mNGF)	Cote de la crête mur (mNGF)	Cote d'eau Q22 (mNGF)	Hauteur mur (m)	Mise en charge (m)
732.3	614.1	619.4	615.5	5.23	1.34
814.6	612.8	615.5	613.9	2.75	1.10
916.1	610.0	613.1	612.0	3.02	1.97
1003.1	608.6	611.0	616.4	2.42	7.86
1082.9	608.5	609.9	609.3	1.34	0.71
1152.9	609.0	609.4	609.5	0.44	0.54

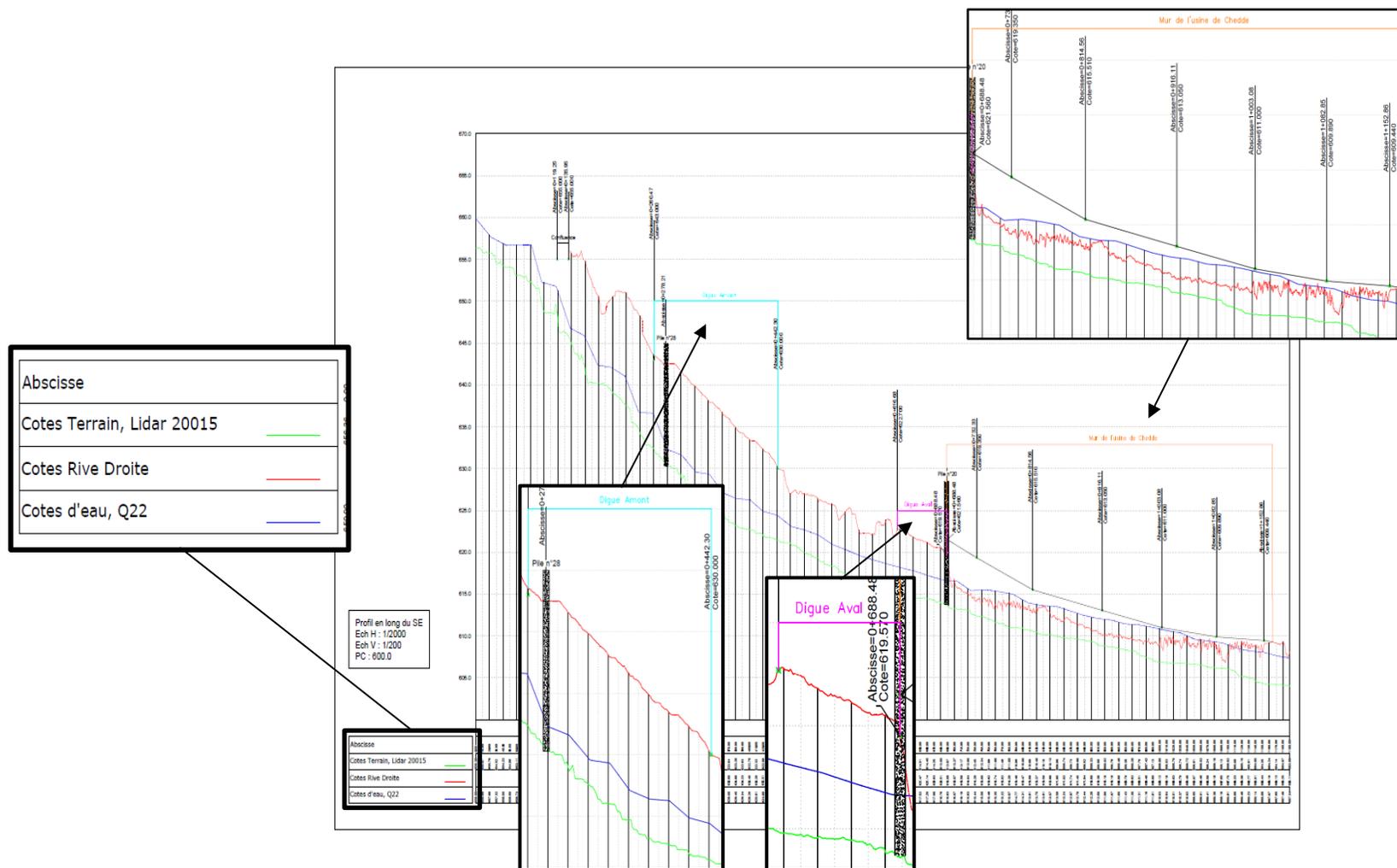
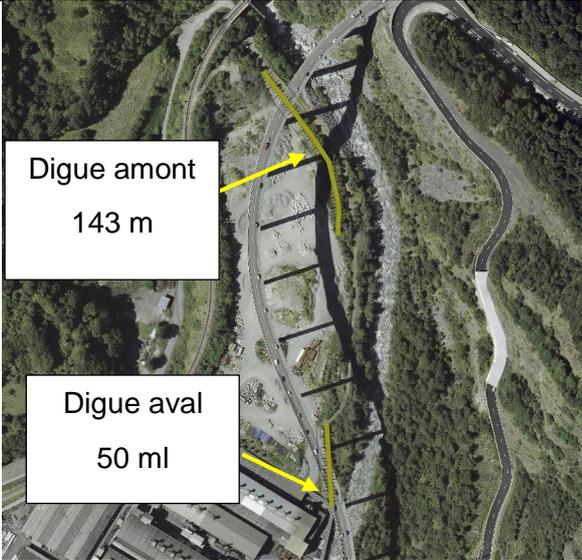
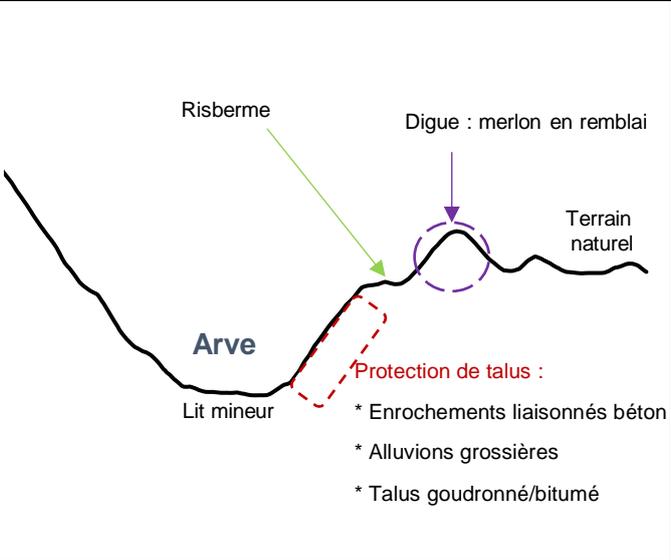


Figure 15 : Extrait du profil en long du système coté, disponible en ANNEXE 10, source : Lombardi

3.3.5 Présentation détaillée par éléments

Une visite technique approfondie (VTA) réalisée en janvier 2020 a permis de réaliser un bilan précis de l'état des ouvrages de protection constitutifs du système d'endiguement (**ANNEXE 3**). Les résultats de cette VTA sont présentés ci-après et se veulent ici être une présentation détaillée de chaque élément constitutif du système d'endiguement. L'analyse des éléments contributifs sont donnés dans le **Chapitre 5** en détails.

Les digues amont et aval :

Digue construite en remblai par le SM3A en 2003-2004			
			
	<p>Protection de talus :</p> <ul style="list-style-type: none"> * Enrochements liaisonnés béton * Alluvions grossières * Talus goudronné/bitumé 		
Linéaire des deux digues		193 m	
Structure		Digue composée d'une protection du talus côté cours d'eau en enrochements liaisonnés béton et d'un merlon en terre en crête.	
		Bon	Moyen
Etat général d'entretien de la végétation			X
Etat général de la sureté de l'ouvrage		X	
Observations	Talus côté cours d'eau	<p><u>Concernant la digue amont</u> Le talus en enrochements liaisonnés béton est en très bon état. Le talus du merlon présente un développement d'une population arbustive encore jeune.</p> <p><u>Concernant la digue aval</u> Le talus en enrochements liaisonnés est en bon état. Certains enrochements sont reliés par des câbles en aciers. Le liant entre les enrochements n'est pas constitué de béton mais d'un matériau non clairement identifié de type bitumineux. Une bande fortement végétalisée relie le talus au merlon. Le talus du merlon présente un développement d'une population arbustive encore jeune moins dense que pour la digue amont.</p>	
	Crête de l'ouvrage	<p><u>Concernant la digue amont</u></p>	

		Développement d'une population arbustive encore jeune. <u>Concernant la digue aval</u> Absence d'arbres en crête sur le merlon
	Talus côté plaine	<u>Concernant la digue amont</u> Développement d'une population arbustive encore jeune moins dense que du côté amont <u>Concernant la digue aval</u> Absence d'arbres, couvert herbacé bien entretenu
	Ouvrages annexes	<ul style="list-style-type: none"> • Présence ponctuelle d'anciennes cages de gabions souvent fortement végétalisées • Présence d'une buse de rejet en aval immédiat de la digue aval

Tableau 7 : Présentation détaillée des digues, source VTA 2020

Le mur Est de l'usine de Chedde :

Mur d'enceinte de l'usine de Chedde			
	Linéaire	470m (garde-corps exclu)	
Structure	Mur en béton armé avec localement des contreforts		
	Bon	Moyen	Mauvais
Etat général d'entretien de la végétation	X		
Etat général de la sureté de l'ouvrage		X	

Observations	Murs côté cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Béton globalement en bon état, quelques fissures et éclats légers • Développement ponctuel d'arbuste
	Crête de l'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> • Béton globalement en bon état, • Eclats importants et garde-corps ponctuellement apparents dans le mur Est au niveau de sa partie aval
	Mur côté usine	<ul style="list-style-type: none"> • Béton globalement en bon état, quelques fissures et éclats légers qui pourraient avoir des conséquences sur la sureté de l'ouvrage • Le raccord entre mur EST et mur NORD est renforcé par des contreforts présentant des éclats superficiels généralisés avec acier apparent. Ces éclats bien qu'impressionnants par leur ampleur n'altèrent pas significativement les propriétés mécaniques des contreforts.
	Ouvrages annexes	<ul style="list-style-type: none"> • Echelle de mesure des hauteurs dans le cours d'eau au droit de l'Usine • Le mur est prolongé au sud par un garde-corps transparent à l'écoulement

Tableau 8 : Présentation détaillée Mur Est de l'usine de Chedde, source VTA 2020

3.3.6 Présentation et analyse critique des données topographiques disponibles et leur précision

Les données topographiques utilisées pour la réalisation de cette étude de dangers sont listées ci-dessous :

- **Profil en long, levé de 1991.** Il a été utilisé afin d'identifier l'évolution du fond du lit, comparé avec tous les profils en long historiques disponibles. Les différents points du levé correspondent aux points de rupture de pente (source : HYDRETUDES).

- Profil en long, levé de juillet et septembre 1992. Il a été utilisé afin d'identifier l'évolution du fond du lit, comparé avec tous les profils en long historiques disponibles, spécialement avec le fond du lit de 1991 pour comparer l'étalement de laves avant (1991) et après (crue 1992).
- Profil en long, levé de 2001. Il a été utilisé afin d'identifier l'évolution du fond du lit, comparé avec tous les profils en long historiques disponibles. En fait, seuls les levés de 1992 et 2001 ont un nombre bien défini (profils indiqués ou points cotés)
- Un LIDAR de 2015. Ce dernier couvre une bonne partie de la commune de Passy et de l'Arve. Il a été utilisé puisqu'il englobe toute la plaine d'inondation de la commune de Passy, ce qui permet de modéliser tout le terrain, la précision du MNT est de 1m*1m.
- Le profil en long et 35 profils en travers issus des levés de 2018. Il a été utilisé pour compléter le MNT de 2015 sur lequel le mur de l'usine de Chedde n'était pas visible. La précision du levé est variable : dans la zone amont de l'Arve des profils en travers ont été levés tous les 25 m en amont et tous les 80 m en aval (zone plate), dans les zones de virages les profils en travers sont espacés tous les 3m et tous les 18 m dans les zones de rupture de pentes.

Les données topographiques du Lidar de 2015 sont illustrées sur la **Figure 16**.

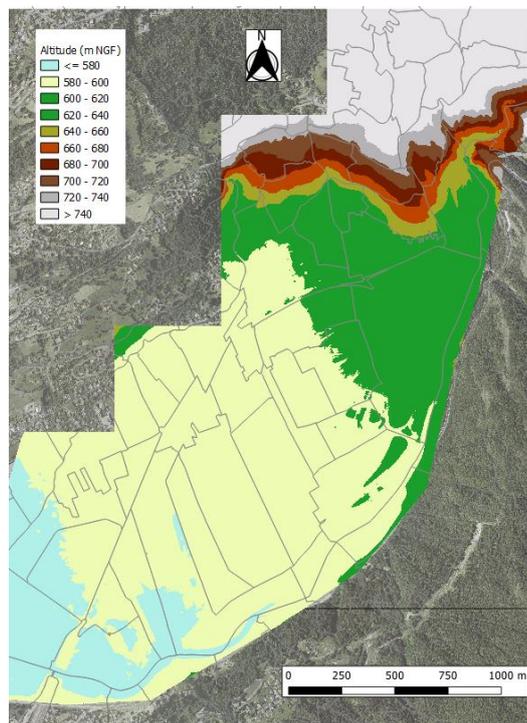


Figure 16 : Données topographiques, Lidar 2015

3.4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ANALYSE DES RISQUES DE RUPTURE, NIVEAU DE PROTECTION, ANALYSE DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE ET GESTION EN SITUATION DE CRUE OU DE TEMPETE

3.4.1 Données historiques essentielles connues sur le comportement structurel

Une étude historique a été réalisée par ACTHYS diffusion, sous-traitant du bureau d'étude LOMBARDI Ingénierie dans le cadre de la réalisation de l'étude de dangers et la mise en conformité du système d'endiguement dit « Protection de Chedde », en janvier 2020.

Un travail approfondi a été réalisé par l'historien Denis Cœur sur le secteur d'étude, basé sur les données recueillies aux archives, sur une enquête auprès des habitants de la commune et complété par une visite des sites (les rives du Nant-Bordon et celles de l'Arve).

Ce travail a permis de retracer l'évolution des ouvrages de protection situés en rive droite de l'Arve, d'identifier en particulier leurs compositions, leurs structures.

L'ensemble des informations recueillies sur les ouvrages est disponible dans le rapport **3031.0-R11-Rapport d'analyse historique_A** consultable en **Annexe 4**.

3.4.2 Description et indication de la fonction structurelle de chaque composant des éléments du système d'endiguement et la présentation du fonctionnement d'ensemble du système d'endiguement constitué avec ces composants

3.4.2.1 Contexte

Par rapport à la conception traditionnelle des digues fluviales, les digues torrentielles se différencient par un contexte hydraulique de courte durée induisant une faible durée de mise en charge et par un contexte événementiel par bouffée à forte capacité érosive (apports sédimentaires grossiers) qui s'accompagne généralement d'une grande respiration verticale et horizontale des lits.

La conception et la réalisation de ce type d'ouvrage sont donc très spécifiques. Les dysfonctionnements sont donc différents également. En effet, les digues torrentielles sont conçues pour contenir des écoulements liquides et solides et doivent s'attacher à prendre en compte au mieux l'évolution du fond du lit. Mais il est évident qu'une simulation de l'évolution du lit reste encore très difficile et bien moins fiable qu'une simulation hydraulique. Aussi, l'évaluation des capacités fonctionnelles de ce type d'ouvrage restera toujours soumise à une incertitude. A contrario, les phénomènes d'érosion interne sont plus limités que sur des digues fluviales.

3.4.2.2 Fonctionnement des composants du système d'endiguement

Le **Tableau 9**, ci-dessous, présente le fonctionnement des composants du système d'endiguement :

Composant	Fonction	Illustration
Digues amont et aval		
Merlon en remblai	Augmentation de la capacité de protection vis-à-vis des phénomènes de surverse .	
Perré en enrochements liaisonnés	Résistance aux phénomènes d'érosion externe et affouillement (transports sédimentaires forts, blocs (affluent – Nant Bordon) et embâcles divers)	
Risberme	Stabilité talus contre les phénomènes de glissement .	
Talus goudronné Talus (Alluvions grossières)	Résistance irrégulière aux phénomènes d'érosion externe . Capacité de résistance éparses aux phénomènes d'érosion externe .	

		
Mur Est de l'usine de Chedde		
Béton armé	<p>Augmentation de la capacité de protection vis-à-vis des phénomènes de surverse.</p> <p><u>Fondation du mur côté rivière</u></p> <p>Résistance aux phénomènes d'érosion externe et d'affouillement (transports sédimentaires forts, blocs (affluent – Nant Bordon) et embâcles divers)</p>	 <p><i>Partie amont du mur : mur construit en 1969 avec une réhausse.</i></p>
Contreforts en béton armé	<p>Augmentation de la capacité de protection vis-à-vis des phénomènes de surverse.</p> <p style="text-align: center;"><u>Contrefort</u></p> <p>Renforcement du mur contre les phénomènes de renversement.</p>	
Béton non armé Pied du mur renforcé	<p>Augmentation de la capacité de protection vis-à-vis des phénomènes de surverse.</p> <p><u>Fondation du mur côté rivière</u></p> <p>Résistance aux phénomènes d'érosion externe et d'affouillement (transports sédimentaires forts, blocs (affluent – Nant Bordon) et embâcles divers)</p>	 <p><i>Mur en béton, partie aval</i></p>

<p>Blocs de béton préfabriqués</p> <p>Ces blocs béton ne font pas partis du système d'endiguement retenu dans l'étude de dangers. Leurs présences restent néanmoins importantes à mentionner dans la mesure où ils jouent un rôle bénéfique pour le maintien de la ligne d'eau dans le lit mineur.</p>	<p>Un manque d'étanchéité entre deux blocs pourrait conduire au risque d'infiltration en cas de mise en charge des composants.</p>	
---	--	---

Tableau 9 : Fonctionnement des composants du système d'endiguement (hors blocs béton)

3.4.2.3 Sensibilités des composants des ouvrages aux phénomènes de rupture

Dans le paragraphe précédent (3.4.2.2), les phénomènes pouvant conduire à des éventuelles ruptures ont été introduits dans la description du fonctionnement des composants des ouvrages. Ce paragraphe synthétise les sensibilités que peuvent présenter les différents composants vis-à-vis des phénomènes de rupture et permet également d'introduire les notions relatives aux défaillances abordées dans le **Chapitre 6**. L'échelle de sensibilité est fixée qualitativement, à dire d'expert. Elle permet d'obtenir une première approche des différentes sensibilités auxquelles l'ouvrage peut être soumis.

Le **Tableau 10** résume ces sensibilités :

Composant/Ouvrage	Rupture par surverse	Surverse sans rupture	Rupture par érosion externe	Rupture par glissement/r enversement	Rupture par érosion interne
Digues Amont et aval	Echelle de sensibilité				
	1	2	3	4	5
Perré en enrochement	1	1	2	1	1
Risberme	1	1	2	1	1
Merlon en remblai	1	1	1	1	1
Talus : alluvions grossières	1	1	2	2	1
Talus goudronné	1	1	2	2	1
Mur Est de l'usine	Echelle de sensibilité				
	1	2	3	4	5

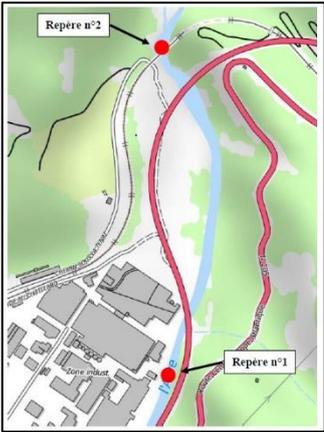
Mur en béton armé sans contrefort	1	1	4	1	NC
Mur en béton armé avec contrefort	1	1	4	1	NC
Contrefort en béton armé endommagé	1	1	4	1	NC
Mur en béton coulé, sans réhausse	2	5	3	1	NC
Mur en béton préfabriqué <i>A titre indicatif. Non compris dans le système d'endiguement.</i>	3 (renversement (sans fondation))	5	3	1	NC

Tableau 10 : Sensibilités des composants du système d'endiguement face aux phénomènes de rupture (1 peu sensible à 5 très sensible – NC – Non concerné)

3.4.3 La présentation du niveau de protection du système d'endiguement (ou des niveaux de protection différenciés si la zone protégée a été partitionnée), conformément à l'article 11 ainsi qu'une estimation de la probabilité associée à ce niveau de protection, conformément au III de l'article R. 214-119-1 et à l'article 12 du présent arrêté.

Le niveau de protection du système d'endiguement dit « Protection de Chedde » correspond à un débit compris entre Q_{20} et Q_{22} , c'est-à-dire au débit d'une crue d'occurrence 20-22 ans dont le débit est d'environ 215 - 230 m³/s dans l'Arve.

Ce niveau de protection est également décrit plus précisément par les cotes altimétriques du font du lit et de la cote d'eau de Q_{20} - Q_{22} (prises et obtenues dans le modèle hydraulique) au-droit de 2 repères définis dans le Plan Communal de Sauvegarde.

Repères posés par le SM3A :	
<ul style="list-style-type: none">- Repère n°1 : au même emplacement que repères de SGL Carbon ;- Repère n°2 : En amont du Viaduc SNCF ; 	<p>Repère 1 :</p> <ul style="list-style-type: none">- Cote du font du lit : Sans matériaux solides déposés : 610.13 mNGF Avec matériaux solides déposés : 610.13 mNGF- Cote de Q20-22 (230 m³/s) : Sans matériaux solides déposés : 613.61 mNGF Avec matériaux solides déposés : 613.37 mNGF <p>Repère 2 :</p> <ul style="list-style-type: none">- Cote du font du lit : Sans matériaux solides déposés : 639.29 mNGF Avec matériaux solides déposés : 643.64 mNGF- Cote de Q20-22 (230 m³/s) : Sans matériaux solides déposés : 642.35 mNGF Avec matériaux solides déposés : 646.02 mNGF

Dès lors que ce débit est dépassé, le système d'endiguement ne protège plus la zone protégée et les premiers débordements s'effectuent à hauteur de la partie aval du mur de l'usine.

La méthodologie employée afin de déterminer les vraisemblances des mécanismes de défaillance à se produire sur les ouvrages sont présentés en détail dans le **Chapitre 6**. Cette méthodologie prend notamment en compte :

- L'état de l'ouvrage
- Les différents modes de ruptures envisageables
- Les éventuelles protections mises en œuvre
- Le retour d'expérience historique de l'ouvrage. Peu existant dans le cadre de cette étude de dangers.

3.4.4 Présentation des situations pouvant survenir pour des niveaux dépassant les performances du système ;

En cas de situation dépassant les performances du système d'endiguement (Q_{22} pour l'ensemble du système d'endiguement), des surverses seront observées en particulier sur le mur Est de l'Usine de Chedde. Au-delà du débit correspondant au niveau de protection du système d'endiguement, les eaux de débordement pourront se propager sur la quasi-totalité de la surface de la commune pour de fort débits (Q_{50} , Q_{100} , Q_{1000} observés dans le cadre de cette étude de dangers). Les conséquences de ces débordements sont visibles sur les cartes de venues d'eau présentées dans le **Chapitre 10** et disponibles en **ANNEXE 6**.

Le cas d'une rupture, qui surviendrait après une surverse sur le mur Est de l'usine est également présenté dans le **Chapitre 8**.

3.4.5 Description et évaluation de l'organisation du gestionnaire intégrant celles de ses consignes de surveillance, d'entretien et de surveillance en crue ou lors de tempêtes, notamment pour répondre aux situations entraînant un dépassement des performances du système

3.4.5.1 Description de l'organisation du gestionnaire

SM3A – point abordé dans **chapitre 9**.

3.4.5.2 Evaluation de l'organisation du gestionnaire

SM3A – point abordé dans **chapitre 9**.

DOCUMENT B

4 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS

L'objectif de ce chapitre est de présenter les aléas naturels présents sur la zone d'étude et de faire ressortir les éléments permettant d'appréhender le contexte particulier de la zone vis-à-vis du risque d'inondation.

Il s'agira de décrire dans le paragraphe 4.1 le contexte global des cours d'eau étudiés et de se recentrer progressivement sur la zone d'étude. Le paragraphe 4.2 présentera ensuite en détails les modélisations hydrauliques réalisées pour pouvoir analyser le contexte local des cours d'eau et comprendre au mieux le comportement hydraulique de ces derniers ; des prémices de résultats permettant de donner le niveau de protection ayant déjà été introduits dans le **Chapitre 3**.

Enfin, les paragraphes 4.3 à 4.6 complètent ce chapitre en décrivant les phénomènes de risques naturels fréquemment rencontrés dans un contexte alpin tel que celui étudié dans la présente EDD.

De ces phénomènes en découlent un certain nombre d'hypothèses qui sont retenues pour analyser au mieux leurs causes et conséquences sur le risque inondation de la plaine de Passy.

En effet, le lit du torrent du Nant Bordon s'inscrit presque intégralement dans des terrains en glissement actif, inclus dans un très vaste mouvement de terrain ancien. Ce contexte et l'état actuel des rives laissent paraître une évolution naturelle rapide des terrains à l'occasion des crues. Même s'il est toutefois difficile d'estimer le rythme de progression des phénomènes érosifs et des surfaces déstabilisées du Nant Bordon, les conséquences d'une crue particulièrement morphogène pouvant impacter l'Arve sont étudiées avec vigilance dans cette étude de dangers.

4.1 L'HYDROLOGIE, L'HYDRAULIQUE ET LA MORPHODYNAMIQUE GLOBALE DU COURS D'EAU OU DU SECTEUR HYDROSEDIMENTAIRE MARITIME A L'ECHELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, EN TENANT COMPTE, LE CAS ECHEANT, DE LA PRESENCE DE L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AUTORISE CONJOINTEMENT AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

4.1.1 Régimes hydrologiques du bassin versant de l'Arve

Le bassin versant de l'Arve peut être divisé en trois bassins de régimes hydrologiques différents. Ils sont décrits ci-dessous (source : **SM3A**) :

- **Le haut bassin de l'Arve**, constitué par la vallée de Chamonix, des Contamines-Monjoie et de la Diosaz. Il est caractéristique des torrents de régime glaciaire. La présence des glaciers et les altitudes élevées ont deux conséquences essentielles :
 - o Elles permettent un apport d'eau non négligeable en période d'été dû à la fonte des neiges et des glaces pérennes ;
 - o Elles favorisent également un stockage des précipitations sous forme solide, ce qui a tendance à limiter la violence des crues.

Mais persiste cependant le risque de débâcles glaciaires et de crues de fonte (redoux). Les fortes crues locales sont de type orageux et surviennent en fin d'été (juillet à septembre).

- **Le bassin intermédiaire de l'Arve** : il est représenté par la vallée alluviale de l'Arve entre le Fayet et Bonneville ainsi que par les vallées affluentes du Giffre, du Borne et de multiples torrents qui parviennent directement à l'Arve sur ce tronçon.

Cette zone est exposée aux perturbations les plus fréquentes d'ouest (d'origine océanique) et est soumise par conséquent à un régime pluvio-nival de forte intensité. Les précipitations y sont fortes et se traduisent par des débits très abondants ; les crues qui en résultent se manifestent surtout au printemps (pluie et fonte) et dans une moindre mesure en fin d'été (orages).

- **Le bassin aval de l'Arve** : Le relief du bassin aval de l'Arve et de son principal affluent la Menoge, constituent les premiers contreforts du massif alpin, peu abrité par le Jura des perturbations d'Ouest dominantes. Il reçoit à ce titre des précipitations pluviales importantes dont les maximas se situent entre l'automne et le printemps. Ce type de crue peut donc survenir en hiver.

On remarque donc que le régime du bassin aval est à peu près inverse de celui du bassin amont : il en résulte pour l'ensemble du bassin un étalement des probabilités de crue, qui peuvent survenir en toutes saisons, même si les mois de juin-juillet-août puis octobre-novembre restent privilégiés.

A noter également que les crues de l'Arve sont très rapides : quelques heures à l'amont et moins d'une journée à l'aval.

Le bassin versant complet de l'Arve est représenté sur la **Figure 17**.

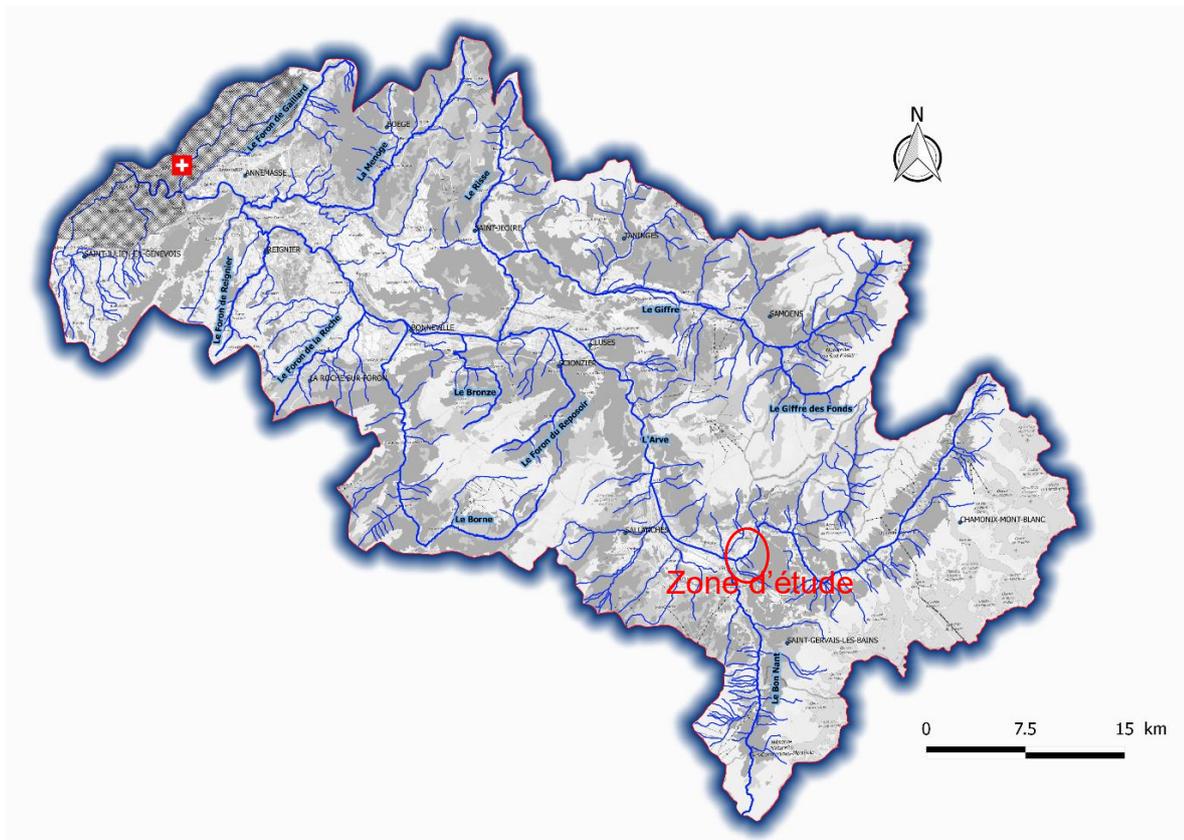


Figure 17 : Bassin versant de l'Arve, source : site du SANDRE

La commune de Passy, seule commune concernée par cette étude de dangers est située à la limite entre le haut bassin versant de l'Arve et le bassin intermédiaire.

Les cours d'eau concernés par la zone d'étude, dont les limites amont et aval sont la confluence Arve-Nant-Bordon et le barrage de l'Abbaye, sont les suivants :

En rive droite :

- L'**Arve** : rivière principale qui borde la commune de Passy sur toute sa longueur. Au niveau de la confluence avec le torrent Nant-Bordon, la superficie de son bassin versant s'étend à 334 km².
- Le **Nant-Bordon**, torrent de montagne très actif. Il se déverse dans l'Arve au nord de la commune où son bassin versant présente une superficie de 4.7 km².
- Le Nant des Pénys dont une grande partie des eaux est rejetée par un canal de dérivation dans le torrent de l'Ugine.
- Le torrent de l'Ugine, il traverse la plaine de Chedde et l'ensemble de la commune de Passy à l'Ouest et se déverse dans l'Arve en aval du barrage de l'Abbaye.

En rive gauche :

- Une série de ruisseaux intermittents coulant à l'aplomb de l'usine de Chedde, ou naissants sur les contreforts de Tête Noire (Bois de la Côte)
- Le Nant de l'Adret
- Le Nant Vernay
- Le Nant Gibloux
- Le Nant Ferney, en grande partie sur St Gervais et qui conflue avec le Nant Gibloux juste en limite communale
- Le Bon Nant, qui draine le Val Montjoie.

Seuls l'Arve et le Nant-Bordon sont considérés dans cette étude de dangers. Ces cours d'eau sont mis en évidence sur la Figure 18.

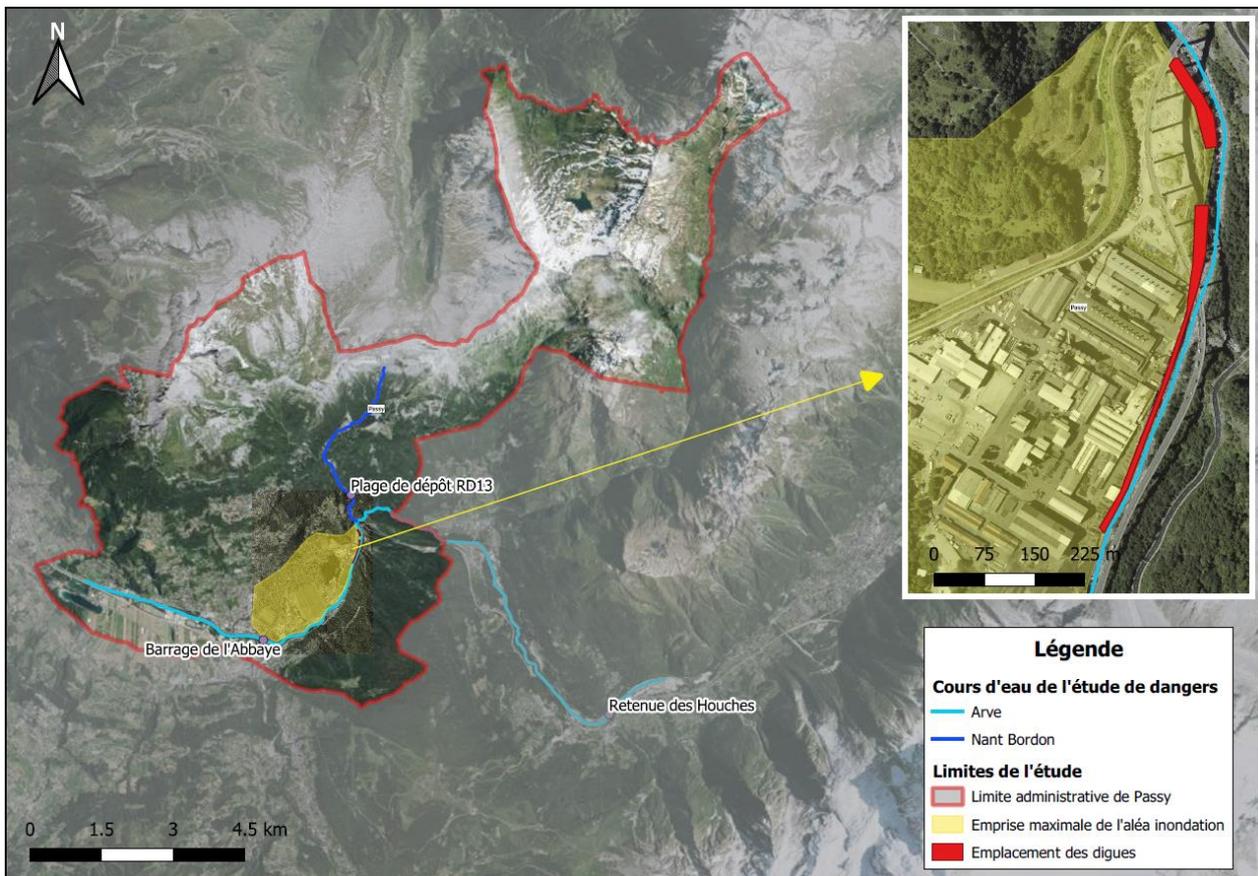


Figure 18 : Cours d'eau concernés dans l'étude de dangers

4.1.2 Pluviométrie du bassin versant de l'Arve

De nombreuses stations pluviométriques sont présentes sur le bassin versant de l'Arve, voir **Figure 19**. Pour l'analyse des pluies, ISL a dans son étude en 2016 opéré les choix suivants :

- Toutes les stations ayant des chroniques courtes (inférieures à 30 - 40 ans, sauf exception) sont exclues de l'analyse.
- Les stations retenues sont choisies en fonction de leur répartition spatiale et altimétrique : en effet, la météorologie sur l'Arve varie fortement selon l'altitude et l'orientation du versant, il est donc nécessaire de couvrir uniformément l'ensemble du bassin avec ces spécificités.

Certaines stations retenues se trouvent en limite extérieure du bassin versant : il s'agit des stations de Vallorcine, Mégève, et Les Gets. Ce choix se justifie pour analyser l'influence de l'effet des versants et des crêtes (effet orographique).

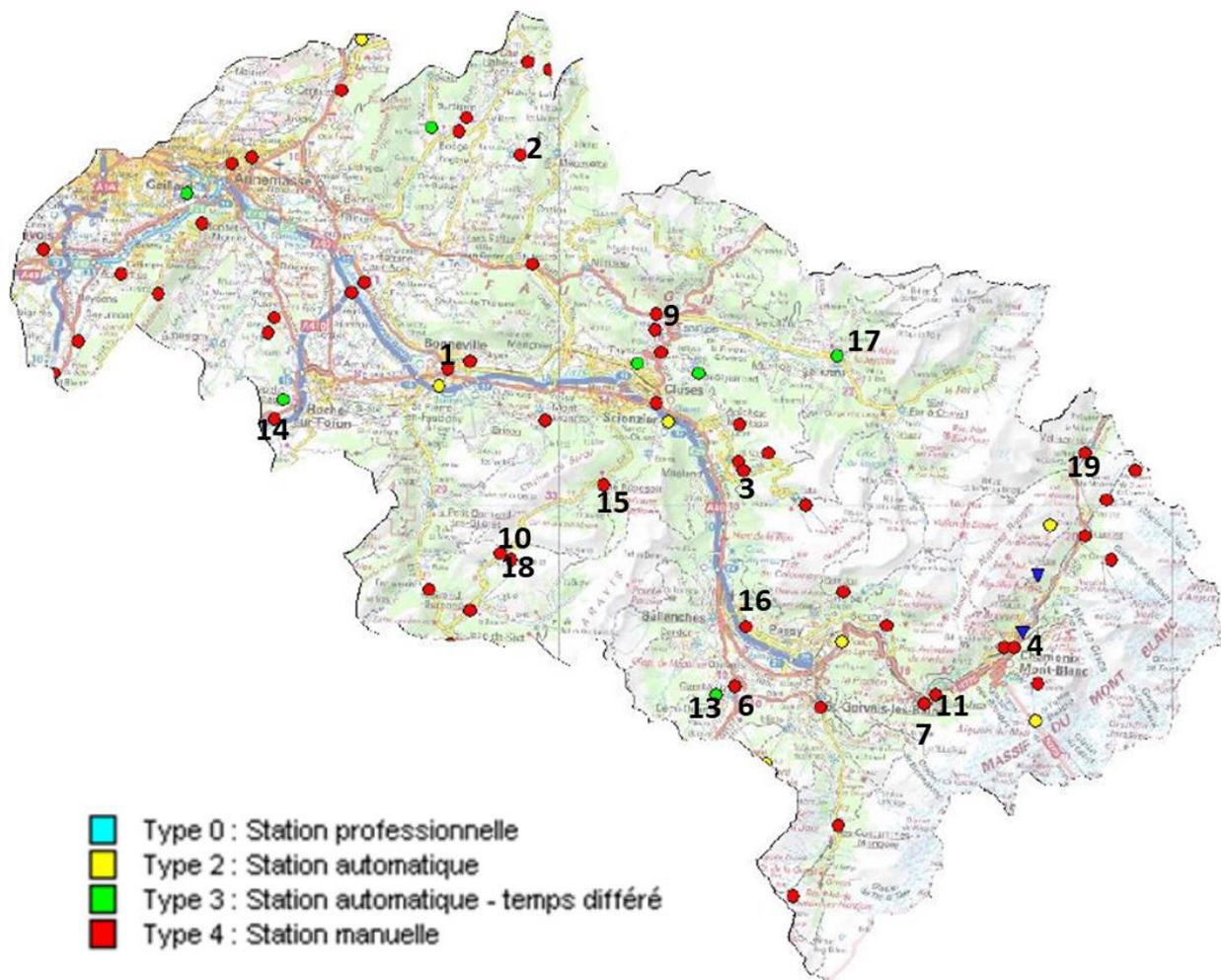


Figure 19 : Localisation des stations pluviométriques, source : Rapport de l'étude hydrologique réalisée par ISL en 2016

Le **Tableau 11** synthétise les stations pluviométriques retenues par ISL pour effectuer l'analyse des pluies sur le secteur d'étude.

Numéro station	Station pluviométrique	Numéro de la station	Altitude (m NGF)	Période d'ouverture	Chronique fournie	type	Nombre d'années de mesures	Nombre d'années de mesures utilisées
1	Ayse	74024001	450	1938 à aujourd'hui	1944-2015	4	77	72
2	Boège	74037002	750	1973 à aujourd'hui	1974-2015	3	42	38
3	Les Carroz				1996-2015		20	20
4	Chamonix	74056001	1042	1876 à aujourd'hui	1934-2015	1	139	81
5	Cluses	74081002	500	1947 à aujourd'hui		3	68	
6	Combloux	74083002	1183	1950-1981 et 1982 à aujourd'hui	1950-1981 et 1983-2015	3	67	65
7	Les Contamines	74085001	1180	1881 à aujourd'hui		4	134	
8	Contamine/Arve	74087001	452	1944 à aujourd'hui	1949-2015	4	71	64
9	Les Gets	74134002	1172	1876 à 1985 1987 à aujourd'hui	1949-2015	3	136	64
10	Grand Bornand				1969-2015		51	46
11	Houches			1946-2015	1953-1972 et 1992-2015			42
12	Aiguilles du midi	74056006	3845	1989 - 2004		2	15	
13	Megève				1944-2015		72	65
14	Pers Jussy	74211002	580	1907 à 1998	1939-2015	4	91	75
15	Le Reposoir	74221001	965	1952 à aujourd'hui	1953-2015	4	63	54
16	Sallanches	74256001	541	1870 à aujourd'hui	1930-2015	4	145	83
17	Samoëns	74258002	749	1860 à aujourd'hui	1932-2015	3	155	71
18	Grand Bornand	74136003	1300	1968 à aujourd'hui	1969-2015	4	47	
19	Vallorcine	74290002	1300	1949 à aujourd'hui	1950-2015	4	66	52

Tableau 11 : Liste des stations pluviométriques retenues par ISL pour son étude hydrologique sur le secteur d'étude en 2016

Il est à noter que pour l'établissement des débits utilisés dans l'analyse hydraulique de cette étude de dangers, le bureau d'étude Lombardi Ingénierie a essentiellement repris et actualisé les débits estimés par ISL dans son rapport en 2016. Voir le rapport d'analyse hydrologique et hydraulique réalisé par Lombardi : **3031.0-R30-Rapport hydrologique et hydraulique_A**, et disponible en ANNEXE 1.

4.1.3 Synthèse des débits considérés pour l'étude de dangers et hydrogrammes de crue

Débits retenus :

Les débits de crues retenus par Lombardi sont résumés dans le **Tableau 12** :

Débits de crues (m ³ /s) Bassin versant au niveau de la Confluence ARVE / NANT BORDON 333.8 km ²	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀
SOGREAH (1991)	/	/	/	220	/	/	/	330	/
HYDRETTUDES (2001)	89	118	160	187	228	252	270	326	408
ISL (2016)	/	59	130	182	214	248	280	326	468
EDF (2018)	/	56	123	176	209	234	257	298	448
Débits retenus (Lombardi 2020)	/	59	130	182	214	248	280	326	468

Tableau 12 : Résumé des débits de crues retenus au niveau de la confluence, en noir données existantes rapportées à la confluence, en rouge données reconstituées rapportées à la confluence

Justification du choix des débits :

- Pour des temps de retour faibles (1, 2 et 5 ans), les débits de crues définis par HYDRETTUDES semblent surestimés. Nous retenons donc les débits de crues calculés à partir des données de ISL, une étude hydrologique complète et plus récente. Ces derniers sont également similaires, tout en restant un peu supérieurs, à ceux déduits des données de EDF.
- Pour les temps de retour supérieurs à 10 ans, les données des débits de crues de HYDRETTUDES, ISL et EDF sont assez proches avec des débits maximums pour les données issues de l'étude ISL. Nous retenons ces débits-là.
- Les débits de crues établis par la SOGREAH sont relativement anciens et les conditions météorologiques et topographiques ont évolué depuis, nous ne les prenons donc pas en compte puisqu'ils nous semblent largement surestimés et la méthodologie retenue pour les déterminer n'est pas détaillée dans les documents mis à notre disposition.

Hydrogrammes de crue :

Le tracé des hydrogrammes de crues est réalisé par homothétie de ceux tracés par ISL à Passy.

Le temps de montée est pris égal au temps de concentration. Ces hydrogrammes sont représentés sur la **Figure 20**.

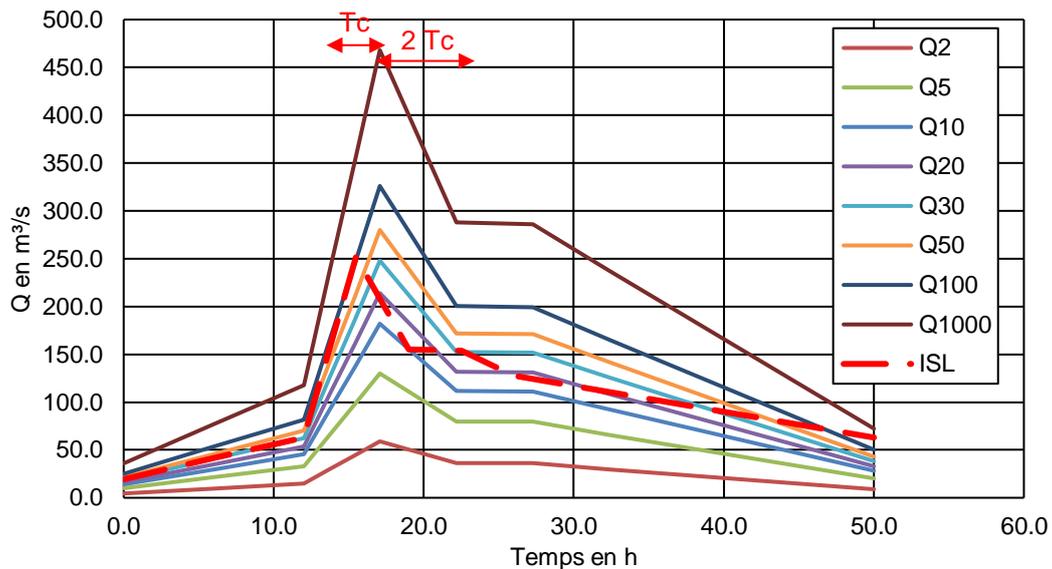


Figure 20 : Hydrogrammes à la confluence entre le Nant Bordon et l'Arve

4.1.4 Le transport solide à l'échelle du bassin versant

Un plan de gestion des matériaux solides sur le réseau hydrographique du bassin versant de l'Arve jusqu'à Cluses a été réalisé entre 2018 et 2021 par Artelia, simultanément à la présente étude de dangers, pour le compte du SM3A. Le périmètre concerné est illustré sur la **Figure 21** ci-dessous.

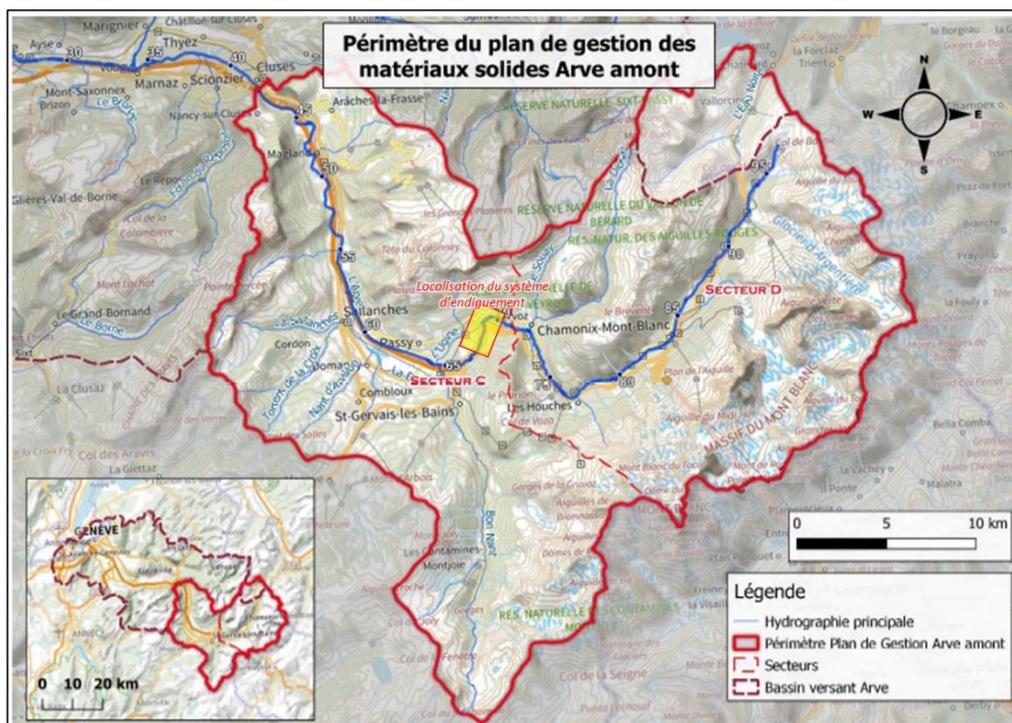


Figure 21 : Périmètre du plan de gestion des matériaux solides de l'Arve amont, source : SM3A

Il existe également un plan de gestion des matériaux solides sur l'Arve aval.

Le constat pouvant être fait est que sur quasiment tout le long de son linéaire l'Arve a été fortement aménagée et elle ne présente plus de nos jours une morphologie adaptée au fonctionnement historique et naturel du lit. Les aménagements de régulation du transport solide situés sur l'Arve et ses torrents affluents (bassins de décantation, plages de dépôts, zone de régulation) captent environ 90% des apports solides (estimation de l'étude morphologique du SAGE).

La commune de Passy se situe dans l'emprise du secteur C, peu en aval du barrage des Houches qui marque une rupture importante de la continuité du transport solide. Il marque la limite du tronçon excédentaire en matériaux, nécessitant des curages réguliers pour la protection des biens et des personnes. Depuis la mise en place de ce barrage les volumes de transport solide se sont fortement vus diminuer en aval (divisé par 3), comme l'illustre la **Figure 22**. Bien qu'historiquement l'Arve s'écoulait en tresses sur le secteur de Passy, le cours d'eau a alors été endigué et a fait l'objet d'importants prélèvements de matériaux entre les années 1950 à 1990. Cette chenalisation est aujourd'hui bien visible et le lit est davantage sujet au phénomène d'incision qu'à celui d'engravement, pour ce qui concerne le fonctionnement seul de l'Arve.

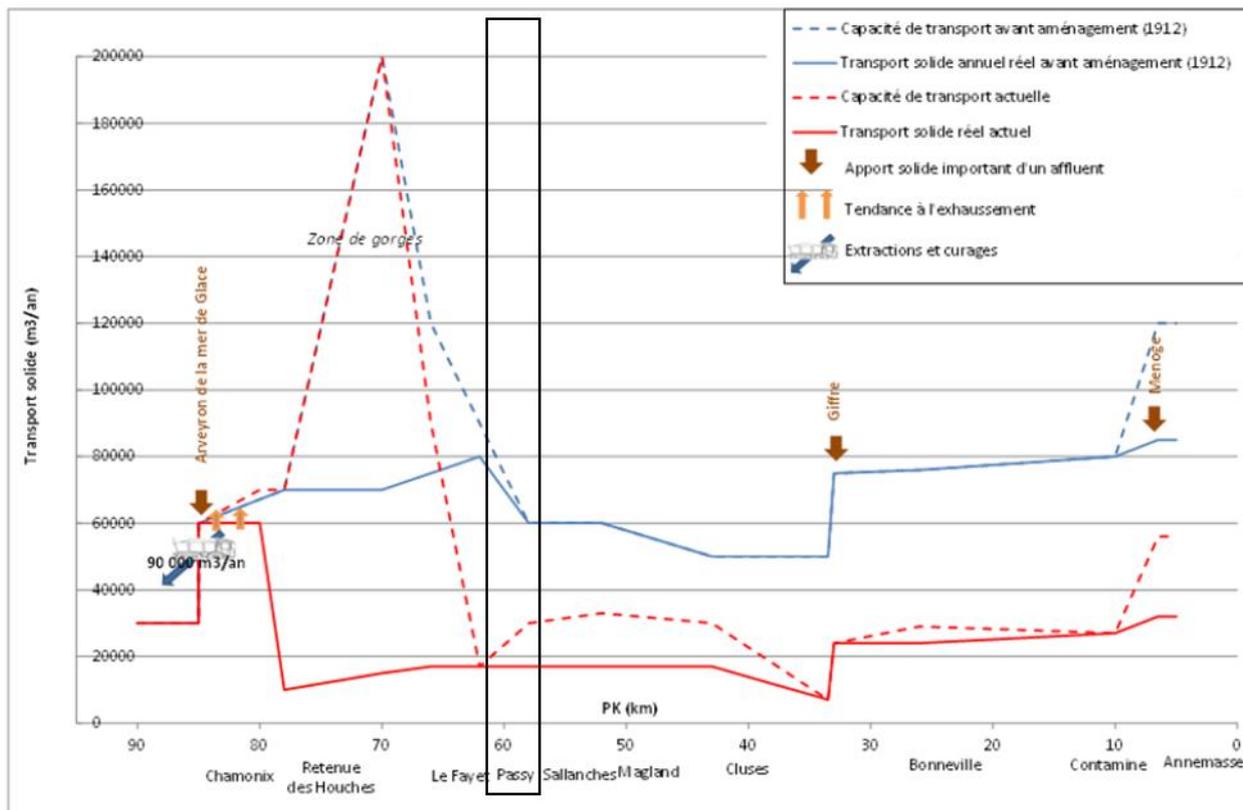


Figure 22 : Evolution du transport solide sur le linéaire de l'Arve

4.2 L'HYDROLOGIE, L'HYDRAULIQUE ET LA MORPHODYNAMIQUE LOCALE AU DROIT DE CHAQUE ELEMENT COMPOSANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT, EN TENANT COMPTE, LE CAS ECHEANT, DE LA PRESENCE DE L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AUTORISE CONJOINTEMENT AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Afin d'apprécier l'aléa hydraulique local, un modèle hydraulique a été réalisé par Lombardi dans le cadre de l'étude de dangers et la mise en conformité du système d'endiguement « protection de Chedde ». En complément des éléments apportés dans la sous partie 4.1, les paragraphes suivants détaillent les hypothèses considérées et présentent les principales conclusions de l'étude hydraulique menée.

4.2.1 Ensemble des hypothèses retenues pour la création des modèles hydrauliques

Hypothèses sur les débits utilisés :

- Les débits retenus pour les modélisations sont ceux présentés dans le **Tableau 12**.
- Seul le débit liquide de l'Arve a été pris en compte. En effet, La concomitance d'une crue avec un temps de retour élevé du Nant Bordon et de l'Arve est très peu probable. Les débits avec une période de retour faible sont relativement bas par rapport à ceux de l'Arve. Pour ces raisons l'apport liquide du Nant Bordon n'a été pas pris en compte pour la modélisation.

Le transport solide :

- Il a été pris en compte à travers des simulations avec réhausse du lit mineur de l'Arve correspondant à un dépôt de matériaux provenant des crues exceptionnelles du Nant-Bordon. (Voir description dans le §4.4 et 4.5)

Le choix des coefficients de Strickler : Ce choix est représenté sur la **Figure 23**.

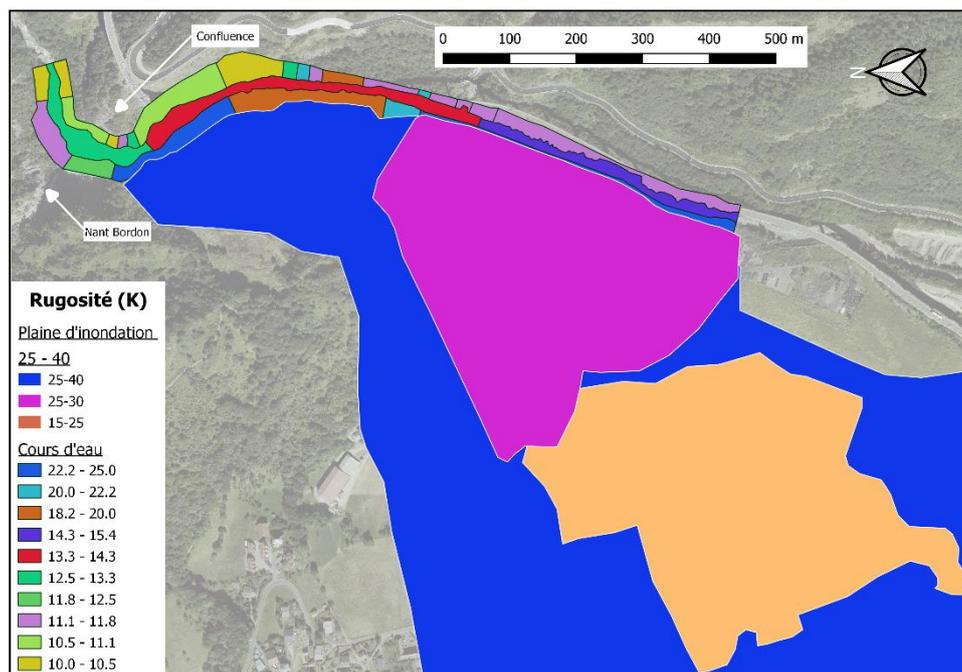


Figure 23 : Répartition des coefficients de rugosités retenus après calage du modèle

4.2.2 Modélisation hydraulique

L'ensemble des modélisations hydrauliques ont été réalisées sur le logiciel HEC-RAS, version 5.05.

4.2.2.1 Construction et emprise du modèle

Modèle hydraulique 1D

Un premier modèle 1D a permis de connaître le fonctionnement du lit mineur de la rivière, à savoir la capacité du lit avant débordement mais aussi les vitesses de l'écoulement.

La partie 1D du modèle s'étend sur un linéaire d'environ 0.85 km, qui démarre 140 m depuis l'amont de la confluence entre l'Arve et le Nant-Bordon jusqu'à 100 m à l'aval du début du mur de l'usine de Chedde.

Ce modèle a pu être calé à partir du modèle hydraulique établi par Hydrétudes en 2001, dont l'emprise était similaire, en utilisant les mêmes profils en travers et le même fond du lit pour la construction de la géométrie et en injectant la même donnée d'entrée dans le modèle, à savoir le même débit fixe. Cette partie « calage » a permis d'ajuster les coefficients de rugosité de la zone d'étude qui seront ensuite réutilisés dans le modèle 1D couplé 2D.

Modèle hydraulique 1D couplé 2D

L'objectif de la modélisation couplée 1D-2D était d'étudier plusieurs scénarios, à partir des paramètres obtenus lors de la phase de calage. La modélisation couplée 1D-2D permet :

- De mettre en évidence les zones de débordement de l'Arve et la plaine d'inondation ;

- De visualiser en 2D l'impact d'une crue majeure ;
- De déterminer les ouvrages hydrauliques constitutifs du système d'endiguement.

Concernant la zone 1D du modèle, celle-ci a été prolongée. Elle s'étend désormais sur un linéaire d'environ 1.17 km, commençant 140 m à l'amont de la confluence entre l'Arve et le Nant Bordon et se terminant à la limite aval de la parcelle cadastrale de l'usine (n°5089), soit 200m après la limite du mur considéré dans le système d'endiguement. Ensuite, un maillage 2D a été mis en place pour couvrir la plaine d'inondation.

Remarque : La continuité entre les zones 1D et 2D correspond à la structure latérale. Sur cette dernière, on peut notamment visualiser le profil de crête des ouvrages de protection du système d'endiguement.

Une présentation détaillée de la construction du modèle hydraulique (des profils en travers, des analyses des sensibilités des paramètres, de l'emprise de la géométrie etc) est consultable dans le rapport 3031.0-R30-Rapport hydrologique et hydraulique_A rédigé par Lombardi pour le SM3A en 2020. A consulter en ANNEXE 1.

4.2.2.2 Résultats des modélisations hydrauliques

Les modèles :

Afin d'analyser le fonctionnement hydraulique des ouvrages de protection constitutifs du système d'endiguement 3 scénarios ont été étudiés :

- Un premier scénario représentatif du fonctionnement hydraulique nominal, **Scénario A**. Pour ce dernier le fond du lit de l'Arve et de la plaine d'inondation correspond au fond du lidar de 2015.
- Deux scénarios avec engravement du lit de l'Arve pour tenir compte du caractère particulièrement morphogène du Nant Bordon dans cette étude de dangers, **Scénario B** et **Scénario C**.
 - o **Scénario B** : Il s'agit d'un scénario où la réhausse du lit de l'Arve est représentative du fond du lit résultant après la crue de 1992 où le Nant-Bordon aurait déversé près de 50 000 m³ de matériaux dans l'Arve. Pour ce scénario l'étalement des laves était connu et à disposition dans l'étude réalisée par Hydrétudes en 2001.
 - o **Scénario C** : Il s'agit d'un scénario plus extrême, à savoir un engravement maximal du lit de l'Arve : 50 000 m³ de matériaux déposés par le Nant Bordon et 30 000 m³ de matériaux supplémentaires issus du glissement de terrain reconnus comme instable sur la partie aval du Nant Bordon (estimation RTM), soit un engravement total de 80 000 m³.

Remarque importante : le scénario C évoqué ici ne correspond pas au scénario C présenté dans la démarche multi-scénario du **chapitre 8**.

Les résultats :

Ces différentes modélisations ont conduit aux conclusions suivantes :

- Les premiers débordements ont tous lieu au droit du mur de l'usine dans sa partie aval, là où la hauteur du mur est la plus basse.
- Les débits de premiers débordements correspondent à des débits de période de retour compris entre 20 et 25 ans pour l'ensemble des scénarios. Il est cependant à noter que dans le cas d'un scénario avec engravement du lit de l'Arve, un léger débordement apparaît entre les digues. Une partie des écoulements est contenu entre les digues, sans toutefois présenter un risque d'inondation à ce niveau.

Les modifications de l'engravement du lit n'engendrent donc pas de différences notables sur le débit conduisant à l'inondation de la commune.

- Les digues amont et aval protègent la commune pour des crues d'une période de retour supérieure à mille ans, ceci pour les 3 scénarios, de l'état actuel (Scénario A) à l'engravement le plus important (Scénario C).
- La largeur du lit de l'Arve au droit du mur de l'usine se rétrécit, induisant une augmentation locale du niveau d'eau.

Ensuite, pour pouvoir juger de l'impact de l'engravement sur les ouvrages de protections, 4 profils en travers ont été étudiés, leur position respective est représentée sur la figure ci-contre :

- Un premier profil (1) situé au droit de la digue amont.
La hauteur de digue à ce niveau est de 3.67 m.
- Un deuxième profil (2) illustrant la digue aval, située en amont direct de l'usine. La hauteur de la digue sur ce profil est de 2.86 m.
- Un troisième profil au droit du mur de l'usine (3), dans sa partie amont. Sur ce dernier le mur s'élève à près de 3 m par rapport à la plateforme de l'usine.
- Un quatrième profil (4) au droit du mur dans sa partie aval. Ici le mur a une hauteur estimée à moins de 70 cm.

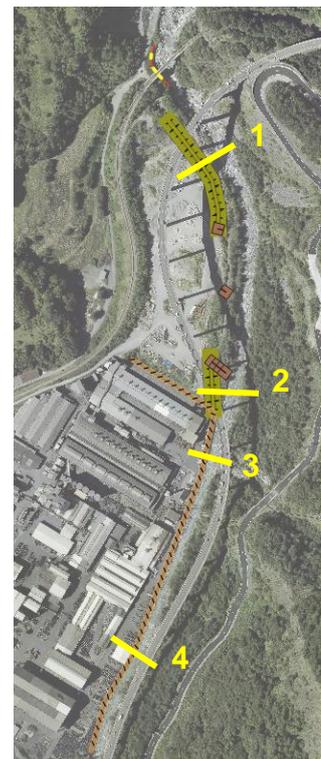


Figure 24: Localisation des profils en travers pour la comparaison des revanches entre scénarios

Le **Tableau 13** suivant résume les **revanches** obtenues pour chaque débit et chaque scénario et si l'ouvrage est ou non mis en charge :

	Q5	Q10	Q50	Q100	1000
Scénario A : Etat Actuel					
Digue amont ~ 3.67 m	Aucune mise en charge				
Digue aval ~ 2.86 m	Aucune mise en charge	Revanche 2.64 m			
Mur amont ~ 3 m	Aucune mise en charge				
Mur aval ~ 0.70 m	Aucune mise en charge	Revanche 51 cm	Débordement	Débordement	Débordement
Scénario B : Engrèvement crue 1992 (50 000 m³)					
Digue amont ~ 3.67 m	Aucune mise en charge	Aucune mise en charge	Revanche 3.25 m	Revanche 2.44 m	Revanche 1.25 m
Digue aval ~ 2.86 m	Aucune mise en charge	Aucune mise en charge	Aucune mise en charge	Revanche 1.94 m	Revanche 1.24 m
Mur amont ~ 3 m	Aucune mise en charge	Aucune mise en charge	Revanche 2.15m	Revanche 1.76m	Débordement
Mur aval ~ 0.70 m	Aucune mise en charge	Revanche 48 cm	Débordement	Débordement	Débordement
Scénario C : Engrèvement 80 000 m³					
Digue amont ~ 3.67 m	Revanche 3.21 m	Revanche 3 m	Revanche 2.3 m	Revanche 1.52 m	Revanche 0.82 m
Digue aval ~ 2.86 m	Aucune mise en charge	Revanche 2.45 m	Revanche 1.77 m	Revanche 1.21 m	Léger débordement
Mur amont ~ 3 m	Revanche 2.68m	Revanche 2.15m	Revanche 1.15m	Revanche 0.7m	Débordement
Mur aval ~ 0.70 m	Aucune mise en charge	Revanche 53 cm	Débordement	Débordement	Débordement

Tableau 13 : Mises en charge observées pour 4 profils en travers et pour tous les scénarios

L'ensemble des cartographies simulant l'emprise des zones inondées est disponible dans le cahier de plan, disponible en **ANNEXE 6**.

Interprétations :

La modification de l'engrèvement du lit impacte considérablement la mise en charge des ouvrages de protection.

Pour l'état actuel, sans engravement, les digues amont et aval permettent de protéger la commune pour des débits de crue de période supérieure à 1000 ans, elles sont très peu mises en charge. Cependant, dès lors que le lit est engravé, à la suite d'un dépôt de matériaux provenant du Nant Bordon ou à la suite d'une crue, elles sont rapidement mises en charges (Scénarios B et C). Leurs revanches restent suffisamment importantes pour assurer leur sécurité et protéger la commune.

Concernant le mur de l'usine, du fait de sa faible hauteur dans sa partie aval, il est mis en charge très vite et les débordements se font essentiellement à ce niveau en lien également avec la contraction du cours d'eau sur ce secteur.

Les eaux de débordement qui s'écoulent dans la plaine présentent toutefois des hauteurs et vitesses plutôt faibles.

Au-regard des très faibles mises en charge possibles sur les digues amont et aval, obtenues pour des situations de crues rares : cumul d'engravement du lit et du passage d'une crue supra-cinquantennale, il peut être conclu que seul le mur Est de l'usine de Chedde joue un réel rôle de protection contre l'aléa inondation de la commune dès des crues courantes. Néanmoins, ces digues sont positionnées à un endroit stratégique du linéaire de l'Arve, après sa sortie des gorges et de sa confluence avec le Nant-Bordon. Elles ont également historiquement joué un réel rôle de protection et ont été recalibrées après avoir été jugées limitantes. Bien que leur géométrie et la configuration du lit aient été modifiés depuis les crues historiques de 1968 et 1992, ces digues ont par choix été conservées dans la définition du système d'endiguement. Il n'est cependant pas pertinent d'associer à ces-dernières des niveaux de protection apparents et des niveaux de suretés dans la mesure où ces-derniers dépassent largement le niveau minimal de sollicitations hydrauliques nécessaires pour obtenir les premières eaux dans la plaine d'inondation. (Voir le paragraphe 7.5.2)

4.2.3 Le risque d'affouillement

Bien que des apports solides en provenance du Nant-Bordon ne sont pas exclus dans cette étude de dangers et auraient pour conséquence l'engravement du lit de l'Arve au-droit du système d'endiguement, le phénomène d'incision du lit de l'Arve est constaté sur le secteur depuis l'existence des aménagements hydroélectriques en amont. Ainsi, un risque d'affouillement en pied de talus des ouvrages de protection côté cours d'eau mérite d'être analysé, dans la mesure où ce phénomène peut dégrader les ouvrages de protection. Ce phénomène ou du moins les prémices de ce-derniers n'ont cependant pas été constaté lors des visites terrains réalisées au-cours de la présente étude de dangers.

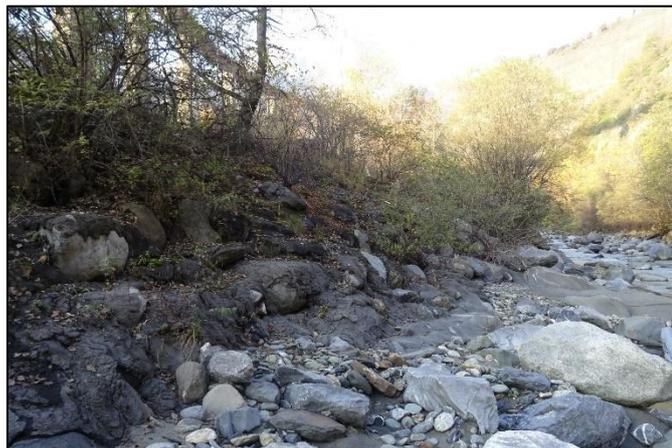
A l'heure actuelle :

- Le pied de talus de la digue amont est constitué de gros enrochements structurés et liaisonnés au-devant desquels des blocs rocheux sont déposés.



Talus côté cours d'eau de la digue amont

- Le pied de talus de la digue aval est quant à lui constitué d'une banquette de végétation et de blocs rocheux de diamètres importants dans le lit mineur. Aucun signe d'affouillement n'est constaté.



Talus côté cours d'eau de la digue aval

- Quant au pied du mur de l'usine de Chedde côté cours d'eau, il peut également être constaté une banquette de matériaux fins et de végétation ponctuellement établie, sur laquelle repose de nombreux blocs rocheux d'importants diamètre ici aussi. Ceci va en faveur de la protection du pied de l'ouvrage contre le risque d'affouillement. Il est également à noter que le cours d'eau présente sur ce tronçon un profil homogène en termes de :
 - o Pente et largeur du lit,
 - o Absence d'ouvrage traversant ou d'éléments latéraux perturbants l'écoulement),
 - o Substrat rocheux faiblement mobile.



Talus côté cours d'eau du mur d'enceinte de l'usine de Chedde, vues de l'amont vers l'aval (gauche) et de l'aval vers l'amont (droite)

Ces éléments concourent à considérer que malgré des phénomènes de charriage pouvant se produire en crue, le risque d'affouillement (généralisé et/ou locale) est considéré comme peu probable et non dimensionnant pour la présente étude de dangers, malgré l'impossibilité de réaliser des sondages géotechniques depuis le lit mineur de l'Arve pour connaître la profondeur d'ancrage (fondation) du mur de l'usine de Chedde.

4.3 EMBACLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS

Des courants forts durant une crue couplés à un entretien insuffisant de la végétation sur les digues peut engendrer un apport non négligeable de matériaux (branches etc.) dans le cours d'eau. L'absence d'ouvrages traversants sur l'Arve limite de fait la possibilité d'embâcle.

Cependant, la contraction du lit à hauteur du mur de l'usine de Chedde pourrait conduire à une réduction de section dans le cas d'apport de matériaux volumineux et larges.

Ceci conduirait à une augmentation locale du niveau d'eau ce qui d'une part fragiliserait le mur Est de l'Usine de Chedde (augmentation de la mise en charge) et d'autre part entraînerait un risque de débordement sur le mur de l'usine.

Etant donné la distance entre le barrage de l'Abbaye et l'usine (>700 m), il est peu probable de voir ce phénomène s'amplifier de par la rétention d'embâcles qui pourrait s'observer au droit du barrage.

4.4 TRANSPORTS SOLIDES

➤ Particularité du secteur

Le contexte torrentiel est particulièrement présent dans la zone d'étude, comme mentionné au paragraphe 4.1.4. Plus localement, au-droit du système d'endiguement de la présente étude de dangers, le transit et possible dépôt de matériaux solides s'explique par une combinaison des fonctionnements du torrent du Nant-Bordon (majoritairement responsable des apports solides sur le secteur) et l'Arve susceptible de mobiliser et transporter les matériaux reçus à la confluence avec le Nant-Bordon, 200m en amont de la première digue constitutive du système d'endiguement.

Les impacts d'un engravement du lit de l'Arve, connus historiquement, sont rappelés dans les paragraphes ci-dessous et font l'objet d'un chapitre à part entière dans le document **3031.0-R30-Rapport hydrologique et hydraulique** rédigé par Lombardi pour le SM3A en 2020.

➤ Rappel des éléments historiques d'un point de vue transports solides

La crue de 1968

Pendant la crue de 1968, l'Arve se retrouve partiellement obstruée par suite d'un dépôt de matériaux provenant vraisemblablement du Nant Bordon. Il est retenu que le niveau de l'Arve s'est rehaussé de 11,5 mètres en sortie des gorges, juste en amont de la confluence Arve-Nant Bordon.

Au nord de l'usine Péchiney, la digue en remblai haute de 6 m est éventrée. Le mur-digue en amont immédiat du site est submergé par les alluvions, les eaux et la boue envahissent les ateliers jusqu'à une hauteur de 2 mètres.

La crue de 1992

Il s'agit de la plus forte crue du Nant Bordon tant par son débit de pointe liquide (entre 16 et 28 m³/s selon le RTM, le CEMAGREF) que par le volume de matériaux déposés (150 000 m³). Les plages de dépôt amont absorbent quelques 100 000 m³ de matériaux, 50 000 m³ atteignent donc le lit de l'Arve (estimation SOGREAH) et l'obstruent. Des blocs de 10 à 40 m³ sont charriés jusqu'à la plage de dépôt de la RD13. Le lit est profondément entaillé en amont immédiat de la confluence avec déstabilisation des berges. Une coulée de lave torrentielle du Nant Bordon a conduit au rehaussement du lit de l'Arve depuis la confluence jusqu'à l'aval de l'usine. Cet événement a fait l'objet d'un levé topographique. Le seuil présent au niveau du pont SNCF est totalement effacé par les dépôts qui atteignent jusqu'à 8 mètres d'épaisseur entre la confluence et la pile n°28, 6 à 3 m jusqu'à l'amont de l'usine et 1,5 à 2 m le long de l'usine. On relève de nombreux désordres (érosions de berges, destruction de protection d'ouvrages) jusqu'à 500 mètres en aval de la confluence.

Profils en long historiques de l'Arve

Plusieurs levés topographiques représentant le fond du lit historique de l'Arve permettent d'illustrer son évolution au cours du temps et la sensibilité au dépôt de matériaux dans l'Arve.

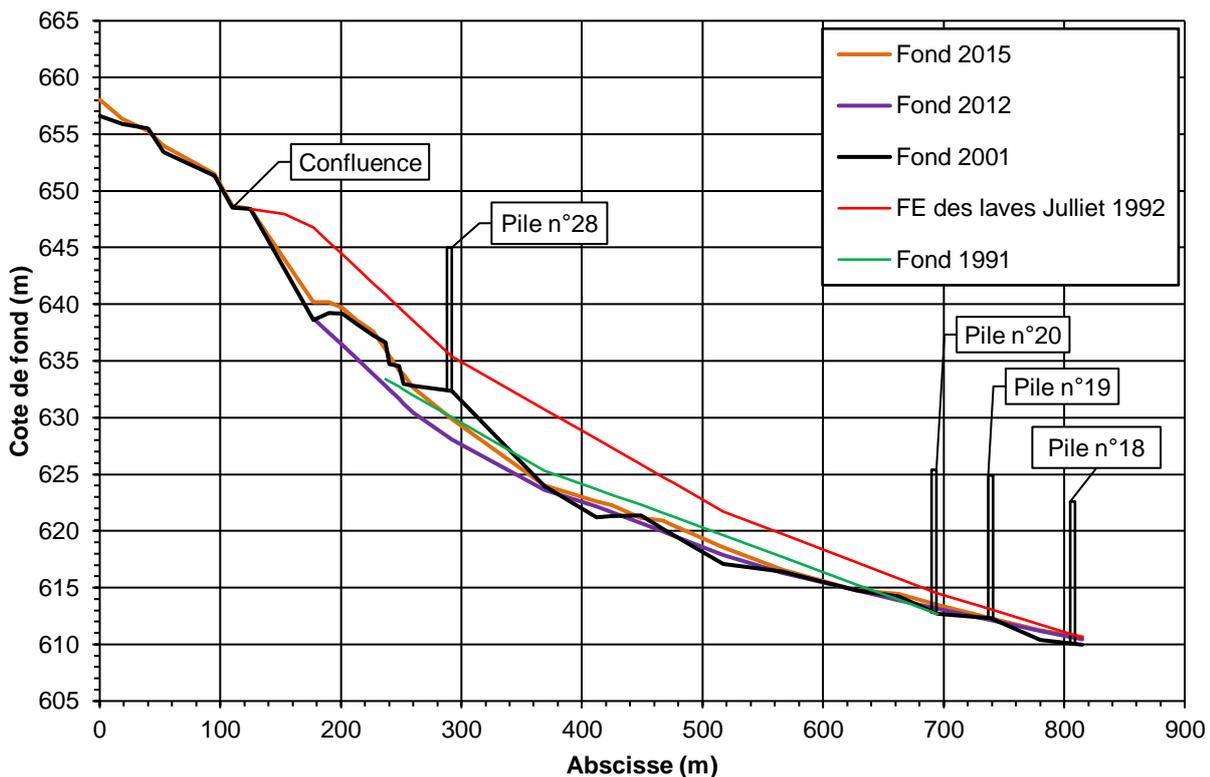


Figure 25 : Illustration de divers profils en long historiques de l'Arve

Remarque : Sur la **Figure 25**, les piles correspondent aux piles du viaduc routier des Egratz.

4.5 LES LAVES TORRENTIELLES ET LEURS EFFETS POTENTIELS, SI LEUR SURVENUE EST PLAUSIBLE.

Les laves torrentielles sont des écoulements qui se produisent dans des bassins versants à forte pente et à concentration volumique supérieure ou égale à 30-50%.

Les caractéristiques de ce type d'écoulement sont différentes des fluides newtoniens, et sont fortement transitoires. Elles se produisent par bouffées.

Une lave torrentielle est composée :

- D'un bourrelet frontal constitué principalement de gros blocs pouvant atteindre plusieurs dizaines à centaines de tonnes poussés par la coulée ;
- D'un corps de lave composé d'un mélange boueux à large granulométrie ;
- D'une queue de lave moins concentrée en matériaux solides.

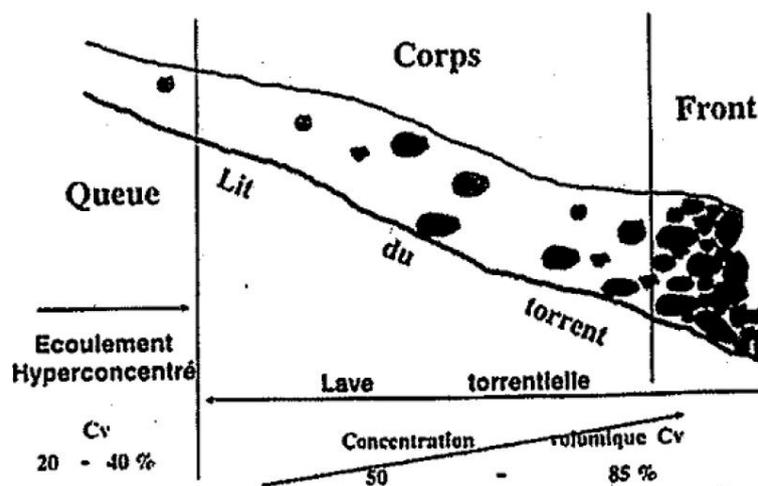


Figure 26 : Composition d'une lave torrentielle (source ETRM)

Les laves torrentielles alpines ont généralement pour caractéristiques d'être plus fortement composées d'eau et sont donc par conséquent plus boueuses.

Le torrent du Nant Bordon est caractérisé par un bassin versant dont les pentes alternent entre des forts pourcentages et des zones de replats boisées. Etant donné la configuration de la tête du bassin versant naturel dont les massifs présentent des surfaces à matériaux érosifs et au regard des crues historiques, la formation de coulées boueuses est très fortement probable.

Malgré l'estimation d'un débit liquide qui peut sembler modeste de 3 à 20 m³/s environ en période de crue, ses crues se sont toujours montrées dévastatrices et particulièrement morphogènes, avec plus de 15 épisodes ayant entraînés des dégâts, recensés depuis 1830. Le volume solide pouvant se déverser à la confluence de l'Arve a été retenu comme paramètre dimensionnant dans l'analyse hydraulique : des scénarios d'engravement du lit sont considérés.

4.6 AUTRES RISQUES NATURELS

4.6.1 Aléas sismiques

Source : DDRM 30, Géorisques, BRGM-Infoterre

Le séisme est l'une des manifestations de la tectonique des plaques. Il se traduit par la fracturation brutale de roche en profondeur, le long des failles généralement à proximité des frontières entre les plaques. Lorsque les frottements au niveau de ces failles sont importants, le mouvement entre deux plaques est bloqué et un stock d'énergie se crée le long de la faille. La libération brutale de cette énergie entraîne un déplacement instantané de la plaque, constitue la cause du séisme.

Le séisme se traduit alors par des vibrations du sol. Un tel événement est constitué d'une secousse principale, souvent suivie par des répliques pouvant être meurtrières.

Un séisme est caractérisé par :

- Son foyer (ou hypocentre) : zone de rupture des roches le long de la faille. Il s'agit de l'endroit d'où se propage les ondes sismiques ;
- Son épicentre : point situé à la surface, à la verticale du foyer ;
- Sa magnitude : Energie libéré par le séisme, propre à chaque événement. Elle est mesurée à l'aide de l'échelle de Richter et est constante pour un séisme donné ;
- Son intensité : mesure les effets et dommage du séisme en un lieu donné. Cette donnée est variable selon la localisation ;
- Les ondes sismiques : libération de l'énergie se propageant dans le sol. La fréquence et la durée des vibrations qu'elles entraînent peuvent augmenter la gravité des dégâts.

L'analyse de la sismicité historique (à partir de témoignage et d'archive) et de la sismicité instrumentale ainsi que l'identification des failles actives ont permis de définir l'aléa sismique sur le territoire français, c'est-à-dire l'ampleur des mouvements sismiques attendus sur une période donnée (aléa probabilistique). Un zonage sismique a été élaboré et est entré en vigueur depuis le 1^{er} Mai 2011. Il divise le territoire national en 5 zones de sismicité croissante selon les articles R.563-1 à R.563-8 du code de l'environnement, modifiés par le décret no 2010-1254 du 22 octobre 2010, et article D.563-8-1 du code de l'environnement :

- **Zone 1** : Sismicité très faible
- **Zone 2** : Sismicité faible
- **Zone 3** : Sismicité modérée
- **Zone 4** : Sismicité moyenne
- **Zone 5** : Sismicité forte.

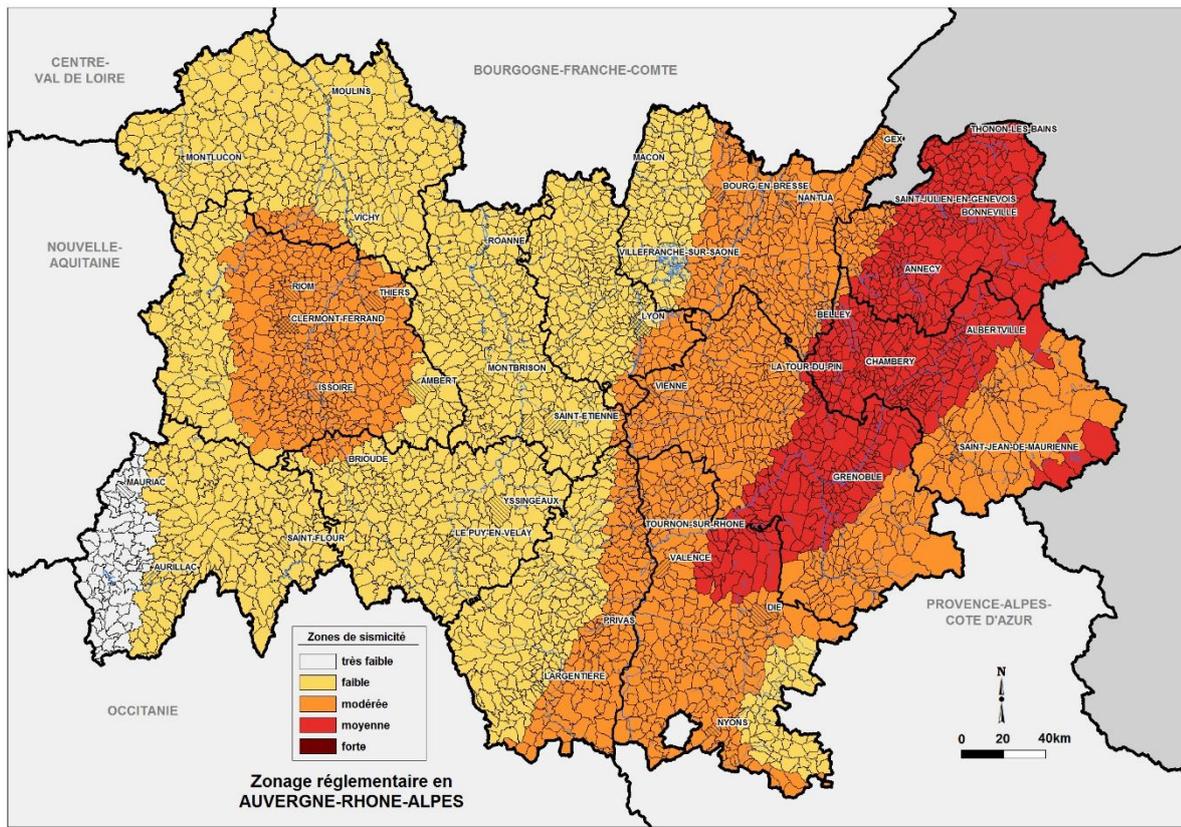


Figure 27 : Carte de zonage sismique de la région Auvergne-Rhône-Alpes

La Haute-Savoie se situe intégralement en **zone de sismicité moyenne**.

À proximité de Passy, zone d'étude, les derniers séismes notables enregistrés datent de 1962, 1988 et 1996.

La concomitance séisme crue est peu probable et est ici écartée de la présente étude. Cependant, il est à considérer que le système d'endiguement présente une exposition à l'aléa sismiques non négligeable.

Compte-tenu de l'exposition au risque sismique du système d'endiguement, l'organisation du gestionnaire devra notamment prévoir le déclenchement d'une visite post-événement, à partir d'un seuil qui devra être défini dans son document d'organisation (voir chapitre 9).

4.6.2 Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un déplacement d'une partie du sol ou du sous-sol. Le sol est déstabilisé pour des raisons naturelles (la fonte des neiges, une pluviométrie anormalement forte...) ou occasionnées par l'homme : déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères... Un mouvement de terrain peut prendre la forme d'un affaissement ou d'un effondrement, de chutes de pierres, d'éboulements, ou d'un glissement de terrain.

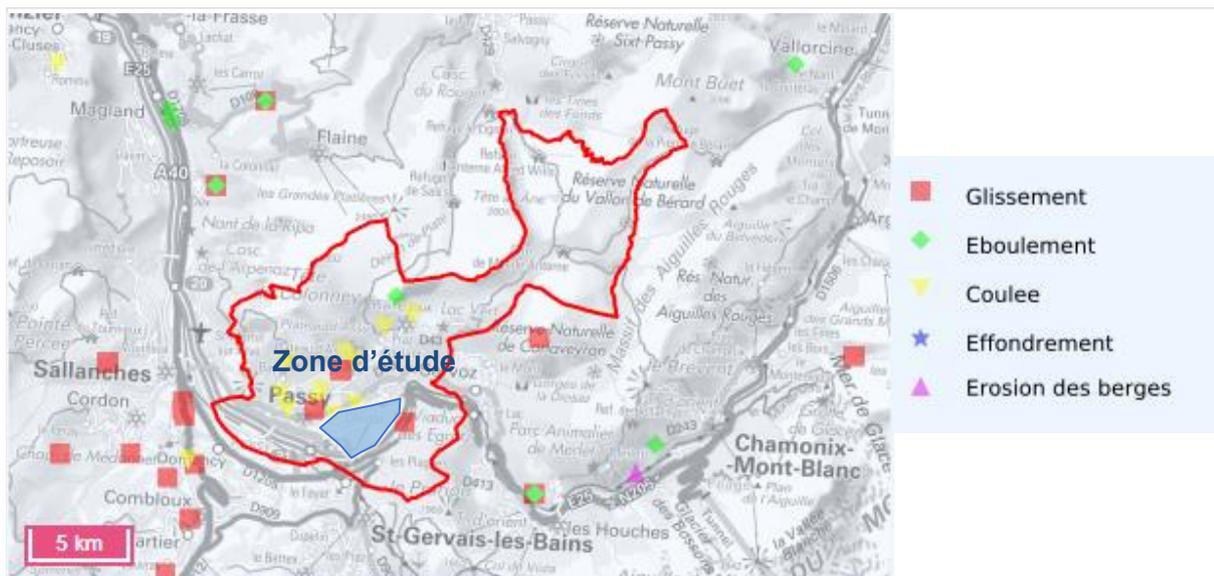


Figure 28 : Ensemble des risques naturels identifiés dans la limite communale de Passy (source : géorisques)

La zone d'étude se situe à proximité d'un glissement de terrain situé en rive gauche de l'Arve et en aval de la zone d'étude (**Figure 28**)

Le risque mouvement de terrain ne sera pas étudié en détails dans cette étude de danger car les conséquences du glissement de terrain n'influent pas directement sur le système d'endiguement. Ils sont simplement présentés à titre indicatif.

4.6.3 Retrait-gonflements des sols argileux

La consistance et le volume des sols argileux se modifient en fonction de leur teneur en eau :

- Lorsque la teneur en eau augmente, le sol devient souple et son volume augmente. On parle alors de « gonflement des argiles ».
- Un déficit en eau provoquera un assèchement du sol, qui devient dur et cassant. On assiste alors à un phénomène inverse de rétractation ou « retrait des argiles ».

Un « aléa fort » signifie que des variations de volume ont une très forte probabilité d'avoir lieu. Ces variations peuvent avoir des conséquences importantes sur le bâti (comme l'apparition de fissures dans les murs).

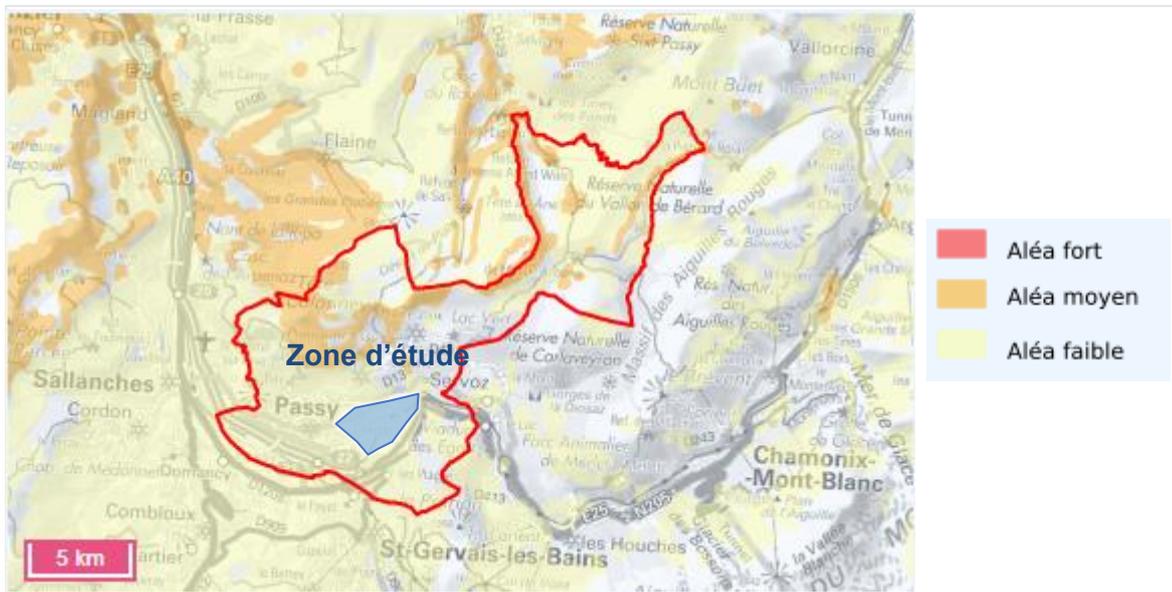


Figure 29 : Cartographie des aléas « Gonflement des Argiles »

La zone d'étude se situe en aléa faible.

Le risque gonflement des argiles ne sera pas donc traité dans cette étude de danger du fait de l'aléa faible de la zone et de la non-présence d'argile dans les corps de digues.

5 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Ce chapitre a pour principal objectif de décrire le système d'endiguement de la présente étude de dangers :

- Le paragraphe **5.1** décrit succinctement les ouvrages constitutifs du système d'endiguement : type d'ouvrage, caractéristiques et accès. Il présente également les ouvrages relatifs à la régulation des écoulements hydrauliques.
- Le paragraphe **5.2** s'attarde sur les ouvrages à construire ou à modifier si tel est le cas. Etant donnée que cette étude de dangers s'inscrit dans le **cas n°1**, « Autorisation initiale du système d'endiguement, sans travaux. Le contenu de l'étude de dangers, qui fait partie du dossier de demande d'autorisation, est conforme aux dispositions de l'article 2 du présent arrêté. », cette sous-partie n'est pas abordée ici.
- Le paragraphe **5.3** s'intéresse au fonctionnement hydraulique en état actuel du système d'endiguement, et donc à chacun des ouvrages le composant.

5.1 OUVRAGES EXISTANTS

5.1.1 Localisation et caractéristiques des digues et ouvrages assimilés existants ainsi que l'indication de leurs voies d'accès ;

5.1.1.1 Digue amont

Cette première digue est localisée entre la partie amont de la zone de dépôt, environ 50m en aval du chemin présent sous le pont SNCF et desservant la zone d'extraction/dépôt de matériaux, jusqu'à hauteur du milieu de cette zone. Elle s'étend sur un linéaire d'environ 145 m.

En protection de talus on distingue des enrochements liaisonnés bétonnés illustrés sur la **Figure 30** côté cours d'eau sur une portion de 80m et un merlon en terre pour la crête où une population arbustive jeune se développe. Cette digue en remblai a été construite par le SM3A en 2003-2004 et ne présente à ce jour aucun défaut.

L'accès à cette première digue se fait en empruntant le *Chemin rural de Chedde au Chatelard* situé au Nord de Passy, à l'Ouest de l'usine de Chedde. Il suffit ensuite de descendre, dans la direction d'amont à aval, le chemin longeant l'Arve et passant sous le viaduc des Egratz.

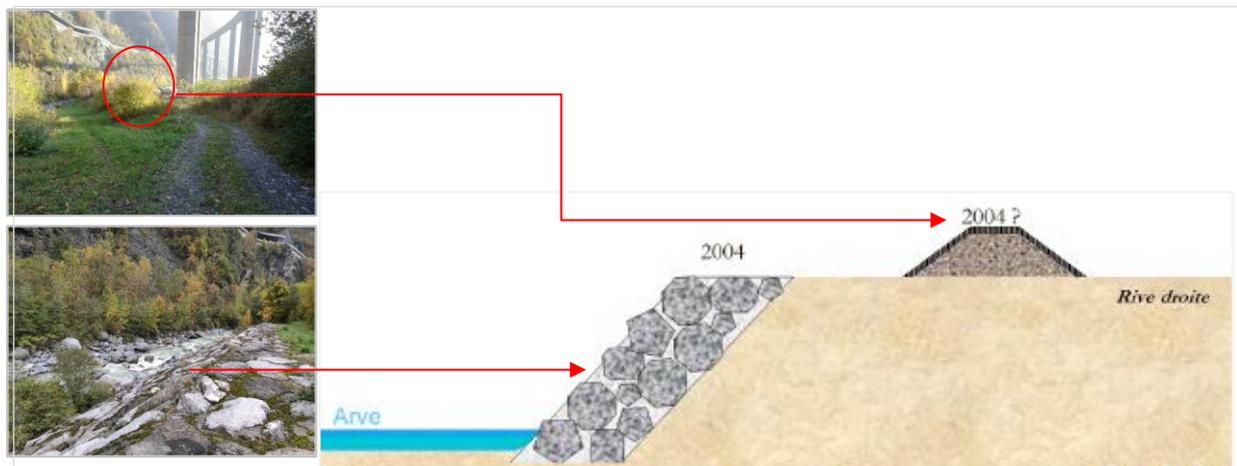


Figure 30: Schéma structurel et photographie de la digue amont

5.1.1.2 Digue aval

Cette seconde digue est située en aval de la première. Elle est limitée en amont par la fin du chemin longeant l'Arve et en aval par le début du mur d'enceinte de l'usine de Chedde. Son linéaire s'étend sur environ 50 m. Le talus de la digue est en enrochements liaisonnés et sa crête est de type merlon comme illustré sur le schéma structurel de la **Figure 31**. La liaison entre le talus et la crête, nommée risberme, est difficilement identifiable du fait de la végétation dense.

L'accès à cette seconde digue se fait en empruntant le *Chemin rural de Chedde au Chatelard* situé au Nord de Passy, à l'Ouest de l'usine de Chedde. Il suffit ensuite de descendre, dans la direction d'amont à aval, le chemin longeant l'Arve et passant sous le viaduc des Egratz.

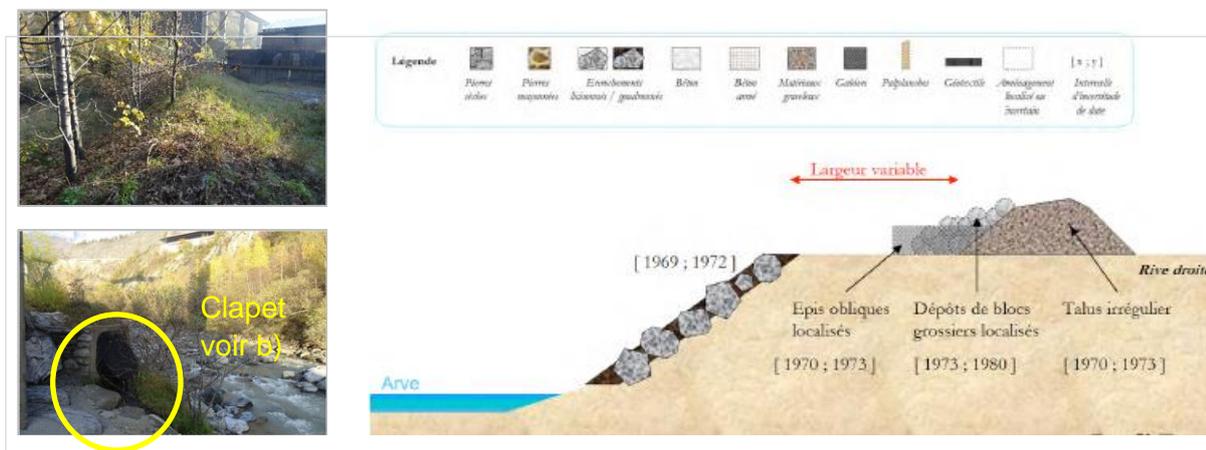


Figure 31: Schéma structurel et photographie de la digue aval

5.1.1.3 Mur Est de l'usine de Chedde

Après avoir parcouru environ 580m depuis sa confluence avec le Nant-Bordon, l'Arve subit un effet d'entonnement à son arrivée en bordure du mur Est de l'usine de Chedde. Ce-dernier correspond au troisième et dernière ouvrage de protection constitutif du système d'endiguement.

La hauteur du mur est irrégulière, elle décroît à mesure que l'on descend le cours d'eau. Sur la portion amont on distingue deux parties distinctes du mur, une plus ancienne surplombée d'une réhausse construite à la suite de la crue survenue en 1968, illustrée sur la **Figure 32**.

Concernant ses caractéristiques physiques, le mur a été construit en béton armé et on peut distinguer localement des contreforts. L'état du mur est globalement bon.

L'accès au mur de l'Usine de Chedde peut se faire directement en entrant avec accord sur le site de l'Usine ou bien en longeant l'Arve depuis les digues situées en amont de celui-ci.

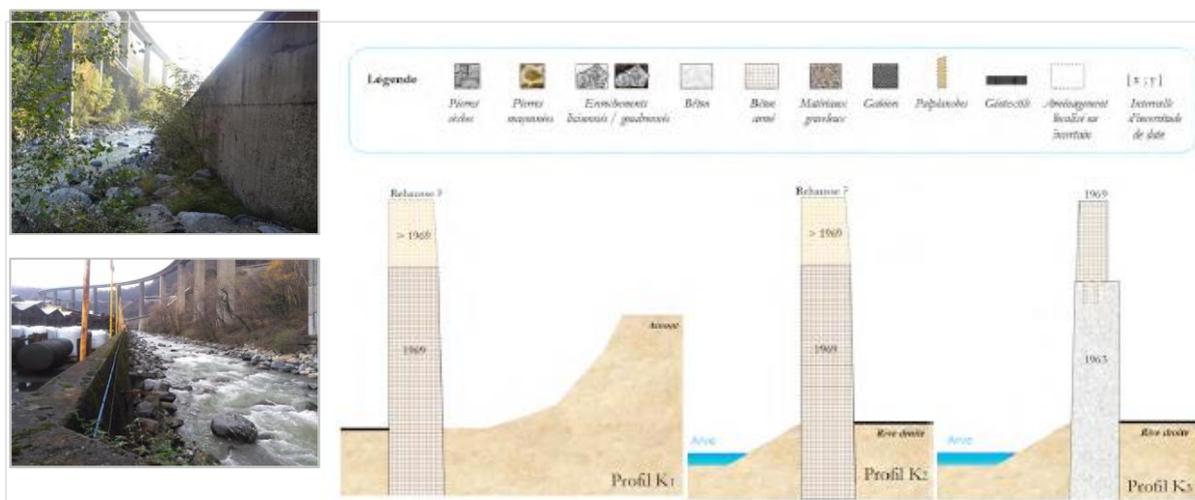


Figure 32: Schéma structurel et photographie du mur Est de l'usine de Chedde

Un rapport historique réalisé par Acthys est disponible en **ANNEXE 4**, et détaille notamment les coupes types des digues ainsi que l'historique des ouvrages concernés par la présente étude de dangers.

5.1.2 Localisation et caractéristiques des dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques tels que vannes et stations de pompage existants ainsi que l'indication de leurs voies d'accès.

On peut noter la présence d'un clapet situé sur la digue aval, en amont direct du mur nord de l'usine et passant sous la digue. Il permet aux eaux qui pourraient stagner derrière le mur nord de l'usine de Chedde, du fait de la présence d'un fossé, de s'écouler vers le lit de l'Arve. Ceci est facilité par la pente naturelle du terrain en direction du cours d'eau. L'entrée d'eau de l'Arve par le clapet n'est pas possible étant donné la configuration topographique du site. Elle ne constitue pas un risque d'inondation.

5.2 OUVRAGE A CONSTRUIRE OU A MODIFIER

Dans le cadre de cette étude de dangers, aucun ouvrage n'est à construire ou à modifier.

5.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

5.3.1 Fonctionnement hydraulique en état actuel

Les sous-parties suivantes (5.3.1.1, 5.3.1.2, 5.3.1.3) détaillent le fonctionnement hydraulique de chaque ouvrage constitutif du système d'endiguement. Les résultats présentés ici s'appuient notamment sur les résultats des modélisations hydrauliques menées lors de la réalisation de cette étude de dangers.

Dans sa globalité le système d'endiguement présente un fonctionnement hydraulique jusqu'à un niveau de protection correspondant à une crue d'occurrence 20-25 ans. Ceci représente un débit estimé à hauteur de 230 m³/s et une probabilité d'occurrence de 4.5%. A ce niveau sont également précisées les cotes altimétriques atteintes par l'Arve pour une telle crue, au-droit de repères placés par le SM3A (3.4.4).

Plus spécifiquement, le fonctionnement hydraulique dans la zone d'étude est décrit comme tel :

- Les cours d'eau Arve et Nant-Bordon se rencontrent au niveau de la limite Nord de Passy. Au niveau de la confluence les surfaces de leurs bassins versants respectifs sont 334 km² et 4.7 km². Après cette confluence l'Arve suit son cours dans un unique bras où elle est endiguée en rive droite.
- L'Arve subit un effet d'entonnement à son arrivée à proximité du mur Est de l'usine de Chedde. Son lit est étroit sur tout le passage en bordure de mur. Ceci est expliqué par la présence d'un terrain relativement élevé en rive gauche.
- Il est à noter que l'ensemble des débordements qui apparaîtraient dès lors que le débit de l'Arve atteint à débit Q₂₂ (~ 230 m³/s) est localisé au niveau du mur de l'usine de Chedde, dans sa partie aval.

Pour illustrer cette remarque les mises en charge des ouvrages du système d'endiguement obtenues après modélisation hydraulique sont illustrées sur les figures suivantes : **Figure 34**, **Figure 35**, **Figure 36** et **Figure 37**.

Les résultats de l'étude hydraulique menée pour la réalisation de cette étude de dangers sont disponibles en **ANNEXE 1**, à travers notamment la lecture des cartes de venues d'eau dans la commune de Passy : **ANNEXE 6**.

Enfin, la **Figure 33** illustre le fonctionnement hydraulique de la zone d'étude en état actuel. Cette dernière permet notamment d'illustrer :

- La position des ouvrages constitutifs du système d'endiguement
- Le sens des écoulements dans le lit de l'Arve

- Le sens des écoulements en cas de débordement dans la plaine d'inondation avec les directions des eaux de débordement prises en priorité selon l'intensité du débit.

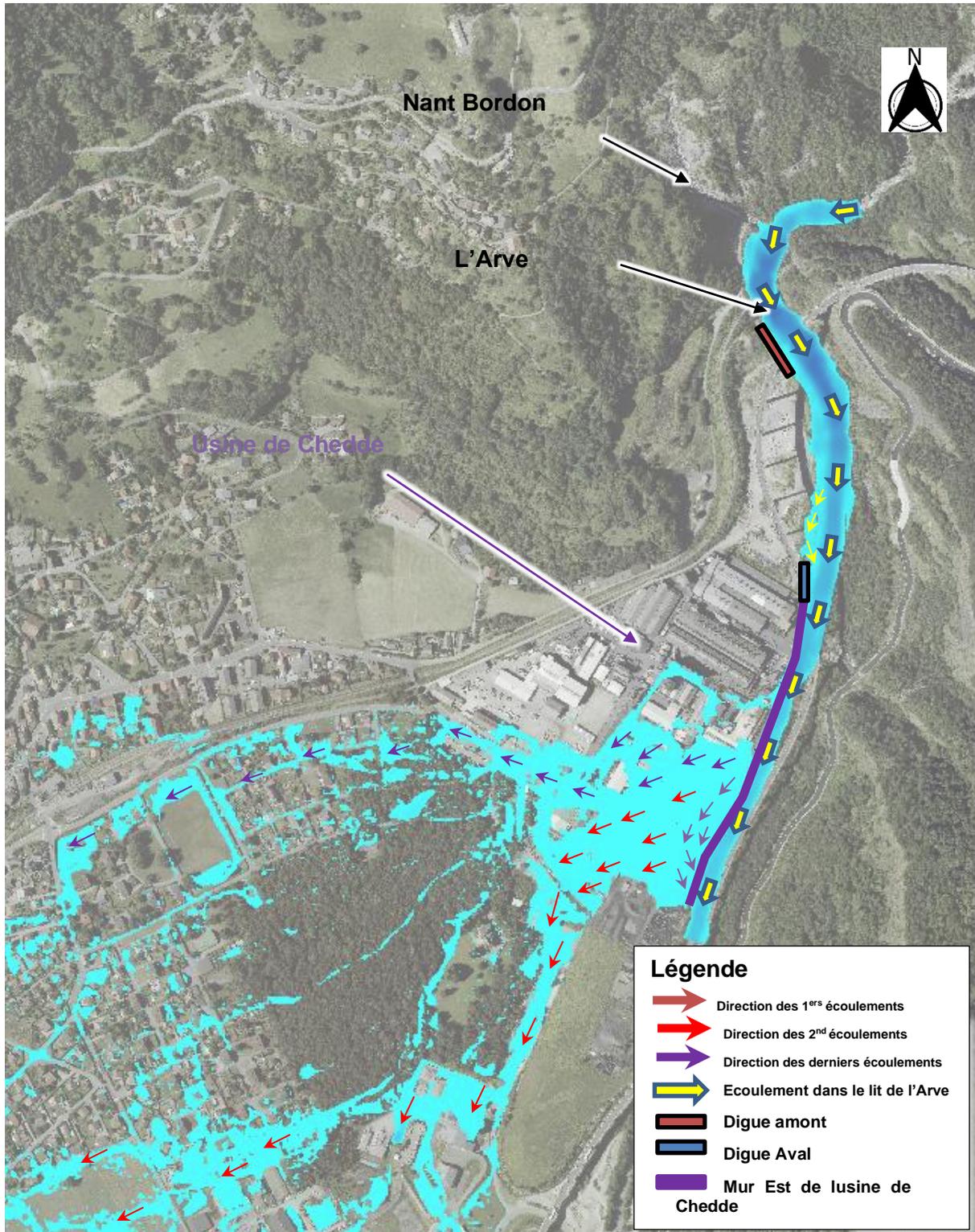


Figure 33 : Fonctionnement hydraulique de la zone d'étude en état actuel, emprise des écoulements pour une modélisation Q100

5.3.1.1 Mises en charge de la digue amont

Ce profil en travers est localisé au milieu de la **digue amont**.

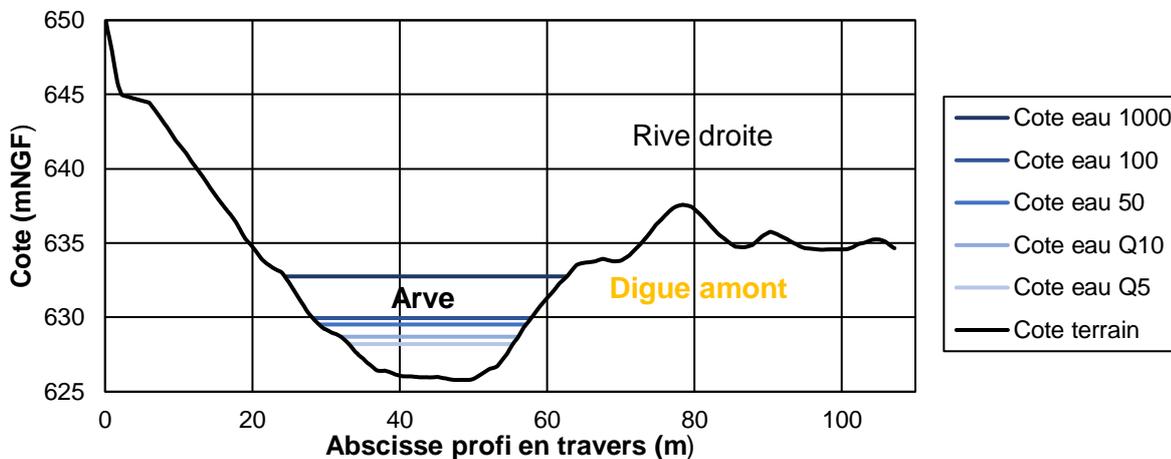


Figure 34: Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge de la digue amont

5.3.1.2 Mises en charge de la digue aval

Ce profil en travers est localisé au milieu de la **digue aval**.

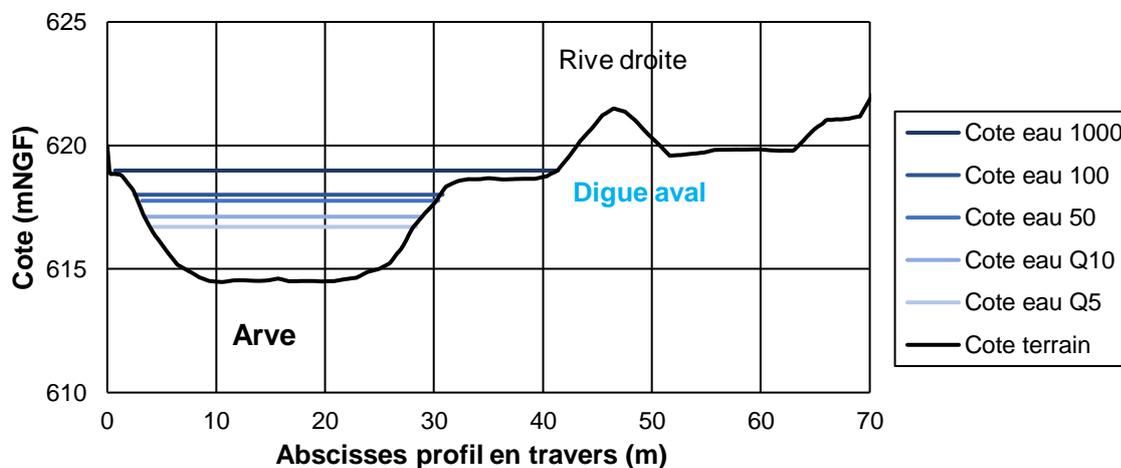


Figure 35: Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge de la digue aval

5.3.1.3 Mises en charge du mur Est de l'usine de Chedde

Ce profil en travers est localisé au début du **mur Est de l'usine de Chedde**, 65 m à l'aval du début du mur. La hauteur de mur est de 2.85m.

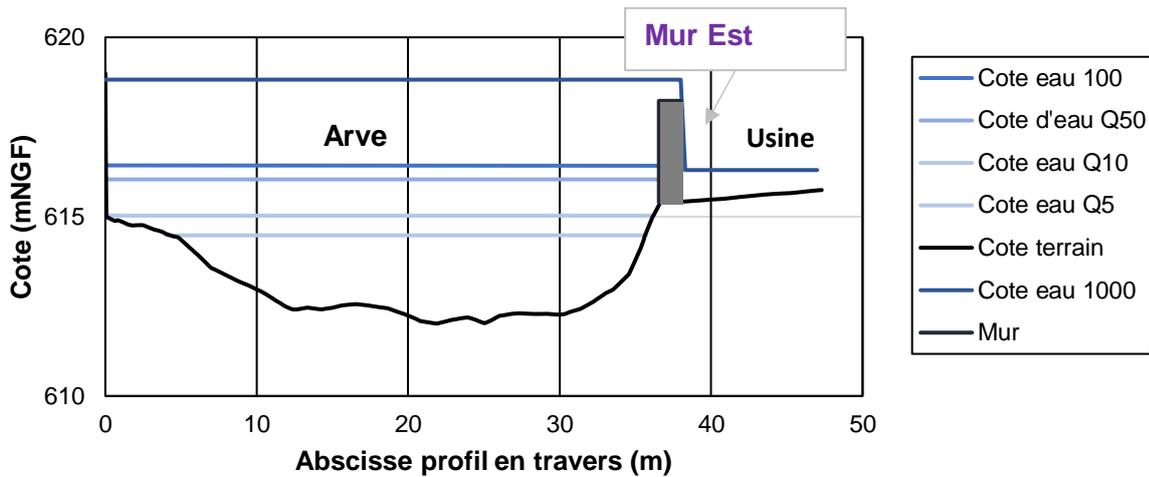


Figure 36: Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge du mur Est de l'usine de Chedde dans sa partie amont

Q5	Q10	Q50	Q100	Q1000
Pas de mise en charge	Pas de mise en charge	Mise en charge : 0.6m	Mise en charge : 0.9m	Surverse
		Revanche : 1.45m	Revanche : 1.85m	

Ce profil en travers est localisé dans la partie aval du mur Est de l'usine de Chedde, là où s'effectuent les débordements lorsque le débit devient supérieur au débit du niveau de protection Q₂₀₋₂₂. La hauteur du mur est ici de 55cm.

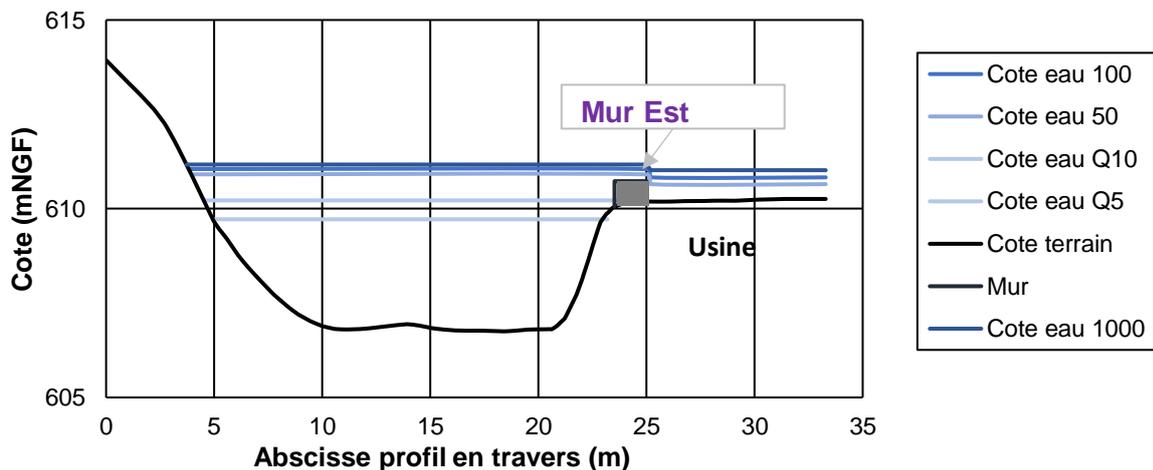


Figure 37: Résultat de modélisation pour un fonctionnement nominal : Mises en charge du mur Est de l'usine de Chedde dans sa partie aval

Q5	Q10	Q50	Q100	Q1000
Pas de mise en charge	Mise en charge : 5 cm Revanche : 50cm	Surverse Remarque : pour Q20-22, limite de surverse.		

6 RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE

Ce chapitre se consacre au retour d'expérience sur la zone protégée et le système d'endiguement. Ces-derniers ont déjà été présentés dans la sous-partie 3.1 du présent document.

Il s'agira donc ici de mettre en avant l'historique de cette zone protégée, les incidents et accidents qui se sont produits par le passé sur les ouvrages, ceci fera l'objet du paragraphe 6.1.

Le paragraphe 0 complète la description des incidents déjà connus sur la zone d'étude par d'autres incidents survenus sur des ouvrages similaires.

Enfin, une analyse détaillée des défaillances possiblement rencontrées sur les ouvrages est présentée dans le paragraphe 6.3. L'intérêt est, dans un premier temps, de recenser de manière générale les défaillances probables sur les digues ou ouvrages en béton, puis, dans un second temps, de présenter pour le cas d'étude, les défaillances retenues, car possibles, et les scénarios de rupture envisagés sur les ouvrages constitutifs du présent système d'endiguement.

6.1 LISTE ET DESCRIPTION DES INCIDENTS ET ACCIDENTS SURVENUS SUR L'OUVRAGE, AU COURS DE SON HISTOIRE

Une étude historique des ouvrages d'endiguement sur la commune de Passy (Arve à Chedde et Nant-Bordon) a été réalisée en fin d'année 2019 par Acthys diffusion. Le principal objectif était d'établir une chronique détaillée :

- Des constructions, modifications ou extensions de ces ouvrages d'endiguement depuis le XVIII^{ème} siècle ;
- Des dommages et réparations courantes ;
- Des crues remarquables et de leurs impacts sur ces mêmes ouvrages.

Plus précisément l'enquête s'est portée sur :

- Les digues en rive droite de l'Arve comprise entre le viaduc ferroviaire et le mur d'enceinte de l'usine de Chedde.
- Les aménagements du Nant-Bordon sur sa partie aval (plage de dépôt de la RD13, aménagements zone de captages, seuils partie terminale)

Au terme de l'enquête réalisée par l'historien Denis Cœur, la recherche a permis de dresser, pour ces aménagements, deux fiches d'information historique (FIH) comprenant pour chacune :

- Une chronique détaillée des crues remarquables sur la période XVIII^e-XX^e siècles, avec quelques éléments sur le contexte hydrogéomorphologique ;
- Un état des impacts sur le site des ouvrages et sur les ouvrages eux-mêmes au cours de la période ;
- La chronique détaillée de leurs constructions, modifications ou extensions, l'évolution de leurs profils ainsi que l'état des derniers ouvrages tels que la documentation nous les restitue.

Autant que faire se peut, ces informations ont été croisées avec celles relevées lors de la visite de terrain réalisée en novembre 2019.

L'ensemble des éléments détaillés recueillis peut être consulté dans le rapport **3031.0-R11-Rapport d'analyse historique_A** complété par son annexe.

Le **Tableau 14** reprend les incidents et accidents survenus sur les ouvrages du système d'endiguement qui ont été considérés pour la réalisation de cette étude de dangers.

Date	Cours d'eau	Caractéristiques	Conséquences
22/09/1968	Arve	<ul style="list-style-type: none"> - Débit estimé par la SOGREAH de 840 m³/s à Passy. Valeur douteuse. - + 11.5m du niveau de l'Arve à la sortie des gorges 	<ul style="list-style-type: none"> - La digue en remblais au nord de l'Usine s'est éventrée - Eaux et boue envahissent les ateliers
21/07/1992	Nant-Bordon	<ul style="list-style-type: none"> - Débit de pointe liquide entre 16 et 28 m³/s selon le RTM, le CEMAGREF et SEEE - Volume de matériaux déposé : 150 000 m³ 	<ul style="list-style-type: none"> - Le barrage grille est submergé - Les captages d'eau de l'usine de Chedde sont affouillés. - Déstabilisation des berges an amont de la confluence
21/07/1992	Arve	<ul style="list-style-type: none"> - Rehaussement du lit : - Un volume de matériaux du Nant-Bordon ayant atteint l'Arve : 50 000 m³ 	<ul style="list-style-type: none"> - Usine de Chedde inondée (+1.5 à 2m)

Tableau 14 : Descriptif des incidents survenus sur les ouvrages

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre l'usine de Chedde, en eau, lors de la crue de 1968. A cette époque, la configuration du lit de l'Arve n'était pas la même (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et les digues amont et aval n'étaient pas protégées en pieds côté cours d'eau. L'Arve avait débordé en amont de l'usine et inondé cette-dernière par surverse du mur Nord. Cela est bien visible que les photographie de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

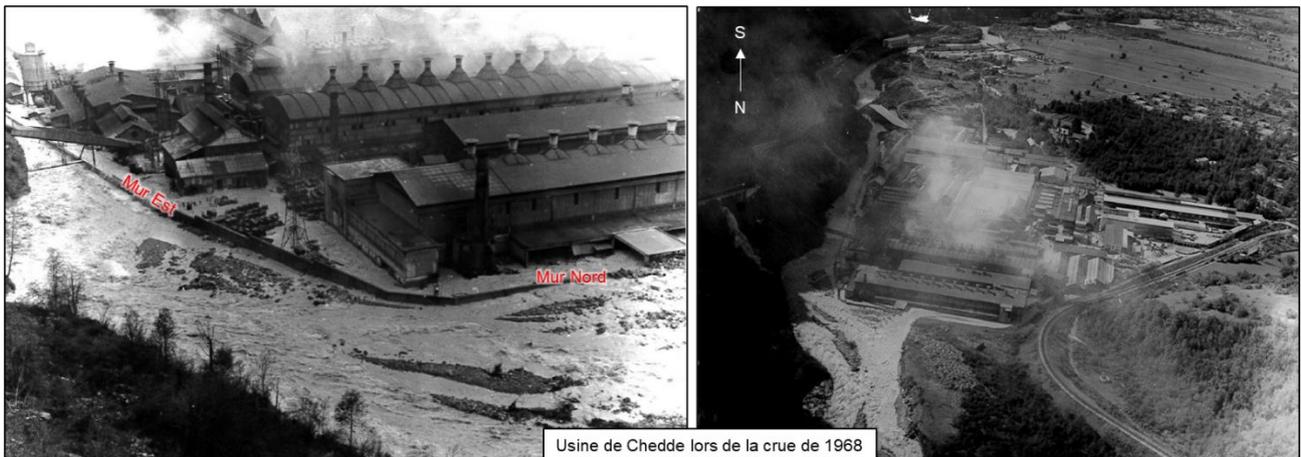


Figure 38 : Photographies de l'usine de Chedde sous les eaux lors de la crue de 1968, source : Annexe 4 (page 25)

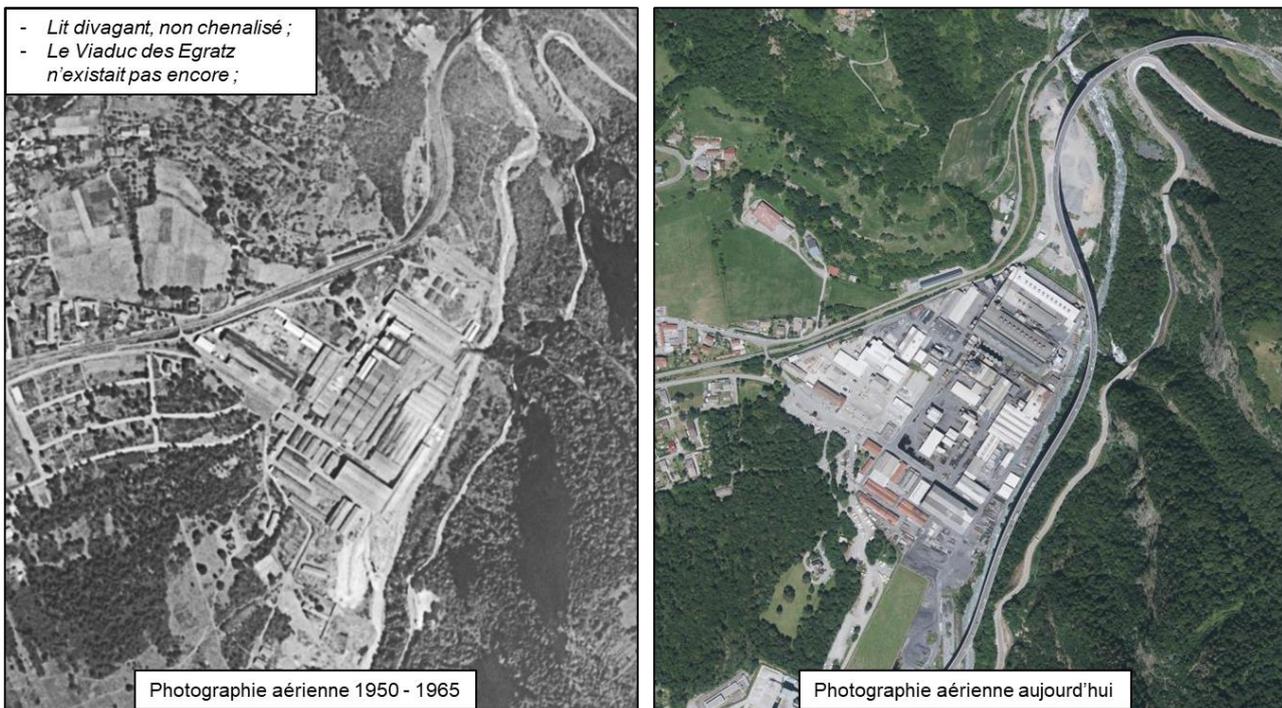


Figure 39 : Photographies aériennes de la localisation du système d'endiguement et du passage de l'Arve au-droit de l'usine de Chedde entre 1950 et aujourd'hui, source : Remonter dans le temps de l'IGN

6.2 EXEMPLES CONNUS D'INCIDENTS ET D'ACCIDENTS SURVENUS SUR DES OUVRAGES DE MEME TYPE

6.2.1 Pour les ouvrages type remblai

Il existe 4 catégories de rupture possible pour une digue en remblai :

- La rupture par surverse

- La rupture par érosion externe
- La rupture par glissement d'ensemble
- La rupture par érosion interne

Dans le cadre de cette étude de dangers, les 3 premières ruptures sont probables de se produire, elles sont présentées ci-dessous. Quant à la rupture par érosion interne, cette possibilité est écartée pour la présente étude puisque la probabilité d'écoulement dans le corps des digues est quasi nulle. La pente naturelle du terrain vers l'aval favorise la dispersion des écoulements en cas de crue. De plus, les temps caractéristiques de ces dernières ne sont pas assez importants pour mettre en eau les ouvrages sur une longue durée (~ 2h) et le débit conduisant à une forte mise en charge des digues est supérieur à un Q_{1000} (~ 470 m³/s), probabilité de 0.1%.

6.2.1.1 Rupture par surverse

Le phénomène de surverse est défini par une soudaine montée des eaux entraînant un débordement du cours d'eau sur l'ouvrage. Les écoulements à forte vitesse sur le parement aval de la digue peuvent alors entraîner une érosion régressive du talus pouvant ainsi très rapidement conduire à une brèche. Une fois la brèche créée, les eaux issues de la surverse peuvent endommager davantage la digue en l'érodant de part et d'autre de la brèche formée.

La rupture par surverse est illustrée sur la **Figure 40. Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

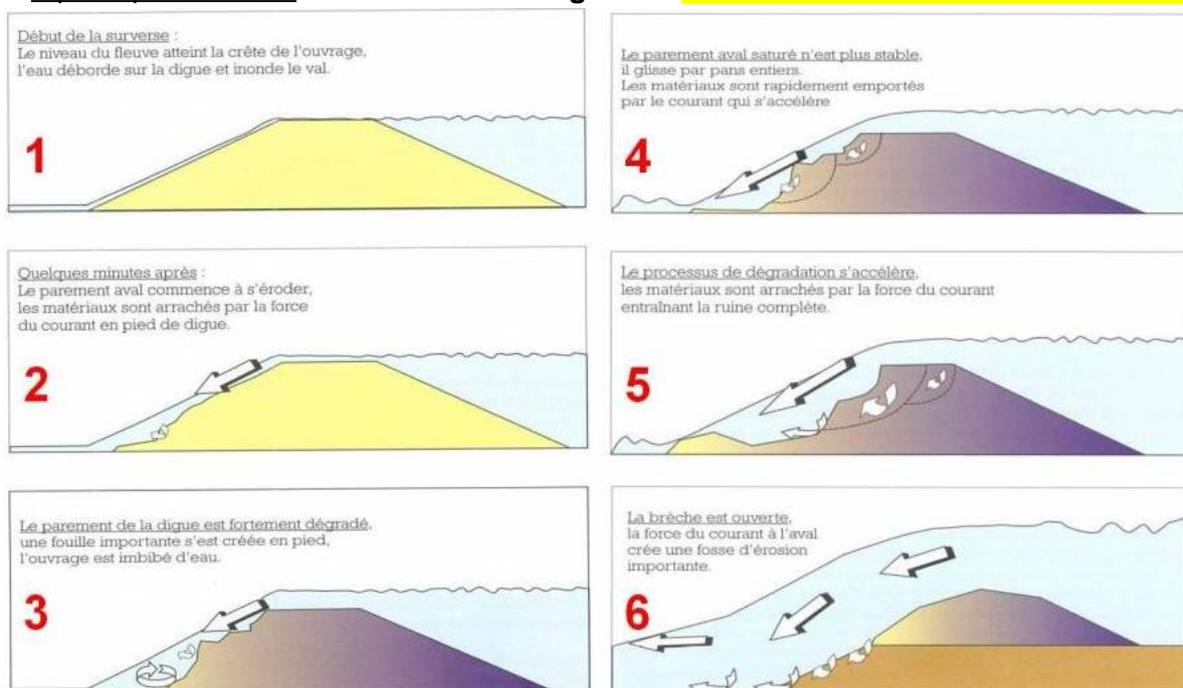


Figure 40 : Mécanisme de rupture de digue par surverse (source : CEMAGREF, 2004)

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- L'importance de la crue, soit la hauteur de charge. Il s'agit de la différence de hauteur entre la charge en lit mineur (niveau d'eau) et le niveau du terrain naturel dans la plaine. Ce paramètre est fondamental dans l'appréciation de l'aléa d'inondation par rupture de digue
- La hauteur de charge constitue l'élément déclencheur du phénomène de rupture par surverse
- Le profil en long de la crête : cet élément augmente le risque de surverse lorsque le profil en long de la crête est irrégulier et présente des points bas. Ces derniers peuvent concentrer localement les débits de surverse pouvant entraîner une brèche
- Les caractéristiques géotechniques : c'est-à-dire les propriétés mécaniques des sols constitutifs de la digue. Dans le but d'étudier le comportement du matériau en présence d'eau, il est nécessaire de définir le type de sol avec notamment le caractère plus ou moins sableux de la composition du remblai ainsi que l'hétérogénéité
- La nature du revêtement du talus aval
- La hauteur de l'endiguement

Exemple de rupture par surverse : La crue torrentielle du Domeynon survenue sur la commune de Domène en Isère le 22 août 2005. Le **Tableau 15** détaille cet évènement et la **Figure 41** illustre les conséquences de la rupture du remblai à la suite de la formation d'une brèche.

Commune	DOMENE
Département	ISERE
Type de risque	crue torrentielle
Date	22/08/2005
Secteur	Les Chenevières, ensemble sportif Salvador Allende
Observations	Crue torrentielle très violente du Domeynon qui a commencé à grossir vers 17 heures le lundi 22. Le pic de crue a eu lieu dans la nuit du 22 au 23 entre minuit et quatre heures du matin. D'après les habitants, un embâcle s'est formé environ 200 mètres en aval du pont SNCF. Des débordements se sont alors produits en rive droite et en rive gauche jusque vers 3 heures du matin. La digue rive gauche s'est alors rompue et le flot du Domeynon a envahie l'ensemble du lotissement de la Chenevières causant des dégâts très importants mais heureusement sans faire de victime. Dès le matin une pelleuse travaillait à reconstruire la digue pour ramener le Domeynon dans son lit.
Dégâts/victimes	Environ 200 habitants ont dû être évacués. Environ 70 habitations ont été fortement endommagées. Le transport solide par le torrent (cailloux, galets, blocs...) a été très important comme en témoigne les terrains et les premières maisons engravées, immédiatement en aval de la brèche (sur près de 2 mètres de hauteur). Plus bas le débit était plus liquide et les habitations ont été envahies par l'eau jusqu'à 1,5 mètres de hauteur par endroit (voir les différentes laisses de crues sur les photos). Lorsque l'eau s'est évacuée, il restait partout, dans les rues et les maisons environ 30 à 40 cm d'une boue très épaisse et collante.
Source	Institut des Risques Majeurs

Tableau 15 : Exemple de crue torrentielle survenue sur le ruisseau du Domeynon avec rupture d'une digue par surverse. Source : IRMA Grenoble



Figure 41 : Aperçu des dépôts solides en sortie du lit du Domeynon avec la crue torrentielle survenue sur ce dernier. La digue de protection en remblai n'a pas résisté à la surverse

6.2.1.2 Surverses sans rupture

Comme expliqué dans le paragraphe précédent, la surverse correspond au débordement du cours d'eau par-dessus la digue. Lorsqu'une surverse ne conduit pas à la rupture, on parle de dépassement de la fonction de l'ouvrage.

Les facteurs de sensibilité associés à ce mode de défaillance sont :

- L'importance de la crue et notamment de la hauteur de charge ;
- Le profil en long de la crête : cet élément augmente le risque de surverse lorsque le profil en long de la crête est irrégulier et présente des points bas. Ces derniers peuvent concentrer localement les débits de surverse pouvant fragiliser l'ouvrage sans nécessairement entraîner la formation d'une brèche.

Les surverses surviennent principalement dans les zones où se situent des déversoirs de sécurité. Ces ouvrages permettent notamment de diminuer le dénivelé amont/aval et de réduire ainsi l'apparition des brèches dans le corps de digues.

Actuellement, ce type d'ouvrage n'existe pas sur le système d'endiguement concerné par l'étude. Cependant, l'irrégularité du niveau de la crête du mur de l'usine réduit localement la hauteur d'endiguement et favorise les surverses sans rupture.

La **Figure 42** illustre une surverse sur un mur anti-crue situé sur la Marne lors d'une crue en février 2018.



Figure 42 : Mur anti-crue situé sur la Marne, surverse sans rupture

6.2.1.3 Rupture par érosion externe

L'érosion externe est le mécanisme d'affouillement du pied de digue ou érosion du talus ou du parement d'un mur qui se développe coté eau sous l'effet des vagues (batillage), des courants et des turbulences. Le pied de digue se dégrade progressivement et des glissements de masse se produisent dans les matériaux saturés en eau. Cette dégradation évolue dans le temps jusqu'à entrainer une déstabilisation du talus et une rupture de la digue. Ce phénomène est représenté sur la **Figure 43**.

Les facteurs de sensibilité à cette défaillance sont :

- La morphologie du cours d'eau ;
- La durée et l'importance de la crue ;
- La vitesse moyenne de l'écoulement le long du talus ;
- Les perturbations hydrauliques locales (piles de ponts, végétation abondante etc.). Ces dernières peuvent entraîner des courants et des tourbillons ayant des vitesses locales plus élevées ;
- Les matériaux transportés par la crue, leur présence induit des risques de chocs ;
- La nature et l'état de la protection du talus coté rivière de la digue.

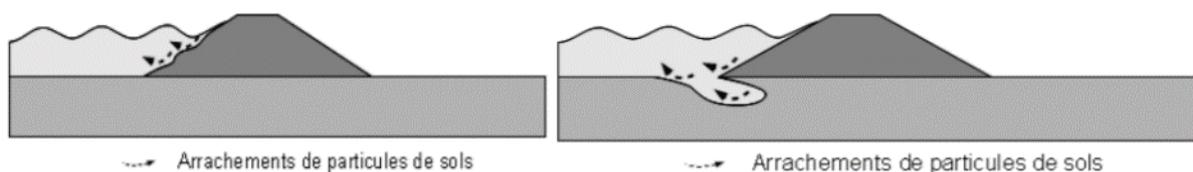


Figure 43 : Phénomène d'érosion externe (Source CFBR)

6.2.1.4 Rupture d'ensemble par glissement

Ce phénomène de rupture est différent selon l'endroit où il se produit (coté terre ou côté rivière).

Côté terre :

Les fortes pentes de talus ainsi que la saturation en eau du remblai peuvent provoquer des ruptures de masses par glissement de talus (**Figure 44**).

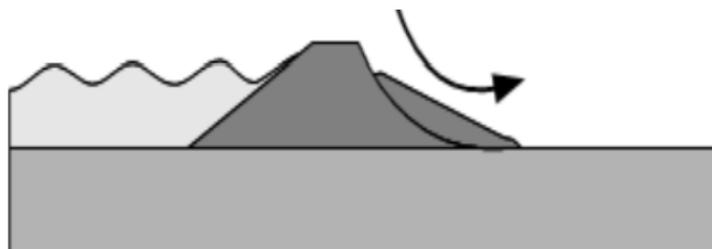


Figure 44 : Phénomène de rupture par glissement - côté terre (Source CFBR)

Coté rivière :

Ce phénomène peut se produire côté rivière au moment de la décrue, lorsque la digue reste saturée en eau, conséquence d'un mauvais drainage, alors que le niveau du cours d'eau a diminué.

Ces instabilités sont notamment dues aux sous-pressions développées lors de la période des hautes eaux (**Figure 45**).

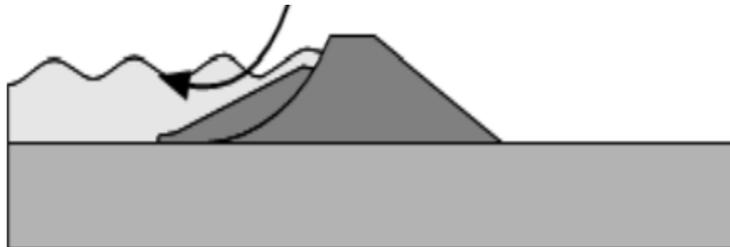


Figure 45 : Phénomène de rupture par glissement - côté cours d'eau (Source CFBR)

Les facteurs de sensibilité associés à cette défaillance sont :

- Le profil de la digue en remblai : un profil étroit avec des talus à forte pente (supérieur à 3H/2V) favorisent ce phénomène
- La piézométrie : la rupture d'ensemble par glissement est favorisée pas une piézométrie élevée dans la digue liée à l'absence de drainage et à la présence de couches hétérogènes
- Les caractéristiques géotechniques (notamment la nature des matériaux constitutifs du remblai), une faible compacité ou la présence d'une sous-couche argileuse au niveau de la fondation peut jouer le rôle de « couche-savon »

6.2.2 Pour les ouvrages type mur en béton

A la différence des digues en remblai, le retour d'expérience est limité sur les mécanismes de ruptures des ouvrages de protection (système d'endiguement) de type mur. Les ouvrages en béton de type mur poids sont néanmoins plus connus dans le cas des grands barrages. Concernant les murs de protection en bordure de cours d'eau, c'est dans le domaine de la conception des ouvrages en bordure de mer que l'on peut retrouver de la bibliographie sur les mécanismes de ruptures à considérer.

La **Figure 46** illustre 7 instabilités pouvant être à l'origine d'un mécanisme ou d'une suite de mécanismes de rupture sur un ouvrage comparable à un mur en béton.

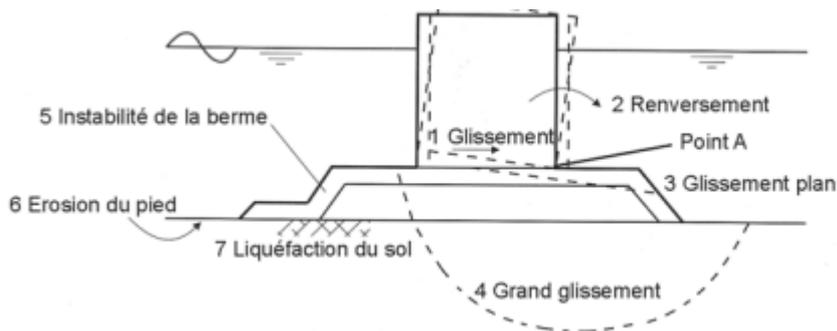


Figure 6.12
Mécanismes de
rupture d'une
digue en caisson

Figure 46 : Mécanismes de rupture d'un ouvrage en caisson (construit en béton par exemple),
source : CETMEF (centre d'étude technique maritime et fluviale)

Dans le cas de la présente étude de dangers, le mur Est de l'usine de Chedde pourraient être sujet aux instabilités suivantes :

- Le renversement ;
- Un glissement d'ensemble, en effet un glissement plan n'est pas possible dans la mesure où le mur de l'usine est remblayé côté terre. Cependant la condition pour initier un glissement d'ensemble est davantage de l'ordre géologique qu'hydraulique ;
- L'érosion en pied de mur côté cours d'eau pouvant alors conduire au renversement du mur dans le lit mineur ;

6.3 SCENARIOS DE DEFAILLANCE QUI PEUVENT ETRE MIS EN EVIDENCE PAR L'ACCIDENTOLOGIE

L'objectif de cette sous-partie est de présenter les scénarios de défaillance possibles pour le système d'endiguement à l'étude. Pour ce faire, l'analyse est inspirée des conclusions de l'accidentologie et historique réalisée par Acthys Diffusion (**Annexe 4**) et complétée par le retour d'expérience de Lombardi sur les digues en contexte torrentiel.

Historique des défaillances :

Les défaillances qui se sont produites sur le système d'endiguement au cours de son histoire sont les suivantes :

- Surverse sans rupture au niveau du mur Nord et Est de l'Usine de Chedde lors de la crue de 1968.
- Création d'une brèche à l'extrémité Ouest de la digue au Nord de l'Usine lors de la crue de 1968

Seules ces défaillances ont été prises en compte du fait de l'évolution progressive des ouvrages de protection - leur géométrie, leur emprise et composition - en rive droite de l'Arve depuis le milieu du XIX^{ème} siècle.

L'analyse des incidents historiques révèle l'importance du contexte torrentiel sur le secteur : les événements majeurs qui se sont produits par le passé ont pour la plupart tous été marqués par l'apport de matériaux solides dans l'Arve en provenance uniquement du torrent Nant-Bordon qui a conduit à la réhausse du fond du lit entre la confluence et l'usine de Chedde, sensibilisant ainsi la zone face aux débordements et au risque d'endommagement des ouvrages en rive droite. La rive gauche, quant à elle, est nettement plus élevée et correspond au versant du « Bois de la Côte ».

La **Figure 47** illustre les venues d'eau dans l'enceinte de l'usine de Chedde qui ont eu lieu à l'époque par surverse du mur nord de l'usine et rupture du remblai au Nord de l'usine (appelé digue aval dans l'étude de dangers). On visualise également les importants apports solides ou remobilisation des matériaux solides lors de la crue.



Figure 47 : Surverse sur le mur Nord de l'usine de Chedde lors de la crue de 1968

7 DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES

Ce chapitre établit le diagnostic approfondi des digues, ouvrages contributifs faisant office de digues et autres ouvrages associés composant le système d'endiguement. Il comporte

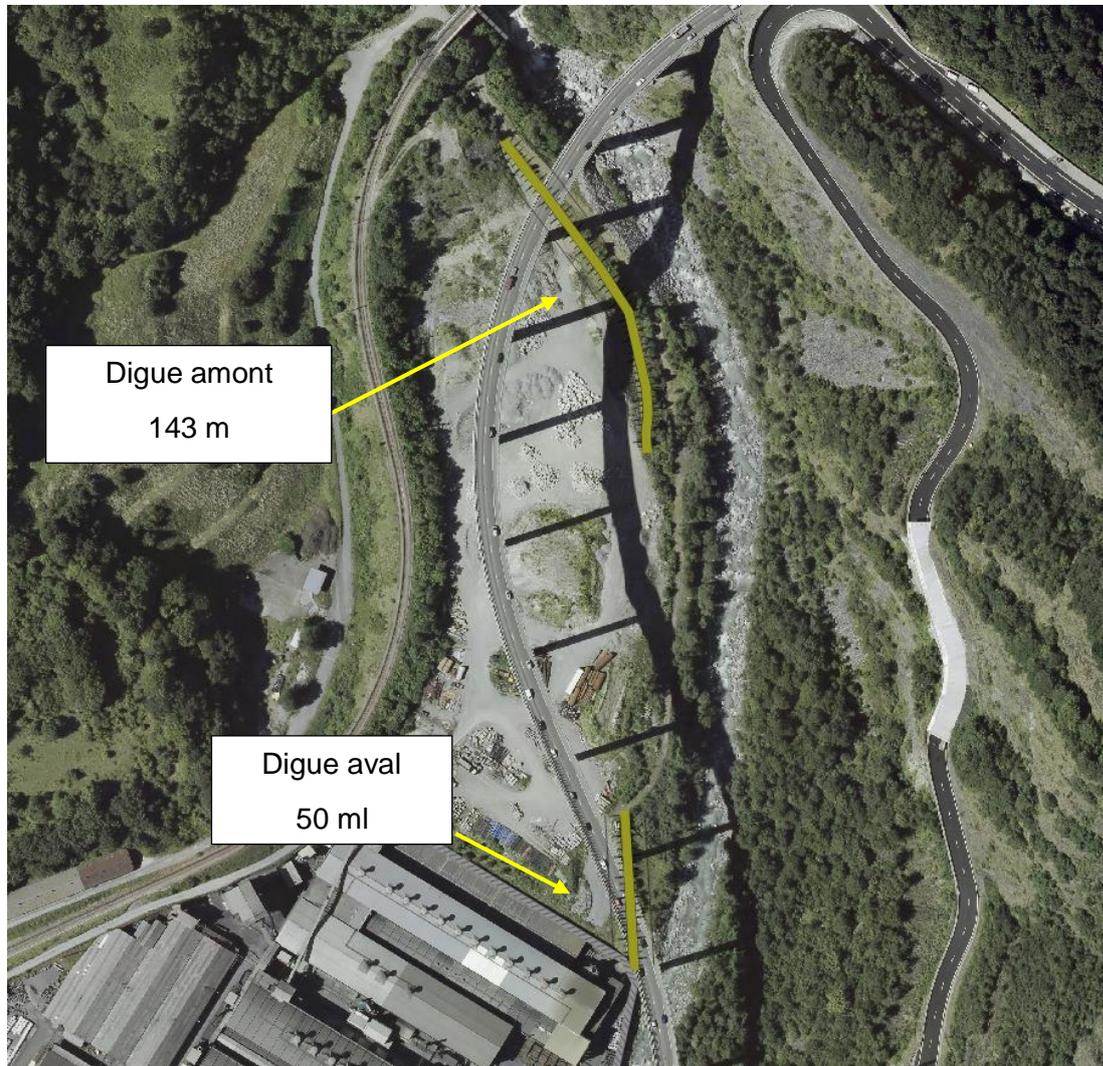
- Les résultats du diagnostic approfondi effectué par Lombardi. Lombardi en tant que bureau d'étude agréé par l'Etat Français a réalisé le diagnostic approfondi des éléments du système d'endiguement. Il est présenté dans le paragraphe **7.1**.
- Les résultats des investigations géotechniques réalisées par le groupe Hydrogéotechnique en mai 2020, dans la cadre de la réalisation de cette étude de dangers. Ces résultats viennent compléter le diagnostic approfondi des ouvrages et sont présentés et interprétés dans le paragraphe **7.2**.
- La Documentation afférente au système d'endiguement « Protection de Chedde ». La liste exhaustive des études existantes concernant le système d'endiguement dit « Protection de Chedde » est présentée dans le paragraphe **7.3** ainsi que le résumé des études principales permettant de faire ressortir les principales caractéristiques des ouvrages.
- L'analyse de la capacité des ouvrages constitutifs du système d'endiguement à résister aux sollicitations et la définition des niveaux de référence retenus dans cette étude de dangers. (7.4 et 7.5)
- L'Analyse des moyens mis en œuvre pour assurer l'entretien, la surveillance et les réparations courantes des ouvrages. Ces mesures présentées en détail au chapitre 9 sont rappelées dans le paragraphe **7.6**.

7.1 DIAGNOSTIC APPROFONDI DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT « PROTECTION DE CHEDDE »

Les parties **7.1.1** et **7.1.2** présentent les observations visuelles de la visite technique approfondie (VTA) des ouvrages du système d'endiguement. Cette-dernière a été effectuée par Lombardi en janvier 2020.

7.1.1 Les digues « amont » et « aval »

Digue construite en remblai par le SM3A en 2003-2004



Linéaire des deux digues	193 m		
Structure	Digue composée d'une protection du talus côté cours d'eau en enrochements liaisonnés béton et d'un merlon en terre en crête		
	Bon	Moyen	Mauvais
Etat général d'entretien de la végétation		X	
Etat général de la sureté de l'ouvrage	X		
Observations	Talus côté cours d'eau	<u>Concernant la digue amont</u>	

		<p>Le talus en enrochements liaisonnés béton est en très bon état. Le talus du merlon présente un développement d'une population arbustive encore jeune.</p> <p><u>Concernant la digue aval</u></p> <p>Le talus en enrochements liaisonnés est en bon état. Certains enrochements sont reliés par des câbles en aciers. Le liant entre les enrochements n'est pas constitué de béton mais d'un matériau non clairement identifié de type bitumineux. Une bande fortement végétalisée relie le talus au merlon. Le talus du merlon présente un développement d'une population arbustive encore jeune moins dense que pour la digue amont.</p>
	Crête de l'ouvrage	<p><u>Concernant la digue amont</u></p> <p>Développement d'une population arbustive encore jeune.</p> <p><u>Concernant la digue aval</u></p> <p>Absence d'arbres en crête sur le merlon</p>
	Talus côté plaine	<p><u>Concernant la digue amont</u></p> <p>Développement d'une population arbustive encore jeune moins dense que du côté amont</p> <p><u>Concernant la digue aval</u></p> <p>Absence d'arbres, couvert herbacé bien entretenu</p>
	Ouvrages annexes	<ul style="list-style-type: none"> • Présence ponctuelle d'anciennes cages de gabions souvent fortement végétalisées • Présence d'une buse de rejet en aval immédiat de la digue aval avec clapet anti-retour fonctionnel
Points de faiblesses structurelles.	<p>Développement de la végétation</p> <p>Léger affaissement en pied du merlon de la digue amont</p> <p>Le linéaire endigué n'est pas continu.</p>	
Mécanismes de défaillance potentiels.	<p>En cas d'apport solide de matériaux dans le lit provenant du Nant Bordon, le risque de surverse ou de contournement des ouvrages est à envisager et cette possibilité est à vérifier avec les modélisations hydrauliques.</p> <p>L'incision du lit de l'Arve ne semble pour le moment pas avoir d'influence sur la protection du talus en enrochement (pas d'affouillement) mais reste à surveiller à long terme.</p>	

Tableau 16 : Synthèse du diagnostic approfondi sur les digues

Précisions concernant la buse d'évacuation des eaux présentes dans le fossé situé derrière le mur nord de l'usine de Chedde :

Cet ouvrage présente un diamètre de 1000 mm et est équipé d'un clapet anti-retour jugé en bon état de fonctionnement, illustré sur la photographie de la



Figure 48 : Buse d'évacuation des eaux présentes dans le fossé derrière le mur nord de l'usine de Chedde et son clapet anti-retour

Les simulations hydrauliques réalisées dans le cadre de la présente étude de dangers ont permis d'écarter le risque de venues d'eau dans la plaine d'inondation par cette buse en cas de crue importante. Ceci pour les raisons suivantes :

- D'une part le clapet anti-retour est fonctionnel ;
- D'autre part, dans une situation hypothétique où le clapet ne fonctionnerait pas ou serait bloqué, il semble très peu probable de voir venir des eaux du lit mineur de l'Arve dans la plaine d'inondation par le biais de cette buse. Ce point est illustré sur la **Figure 49**.

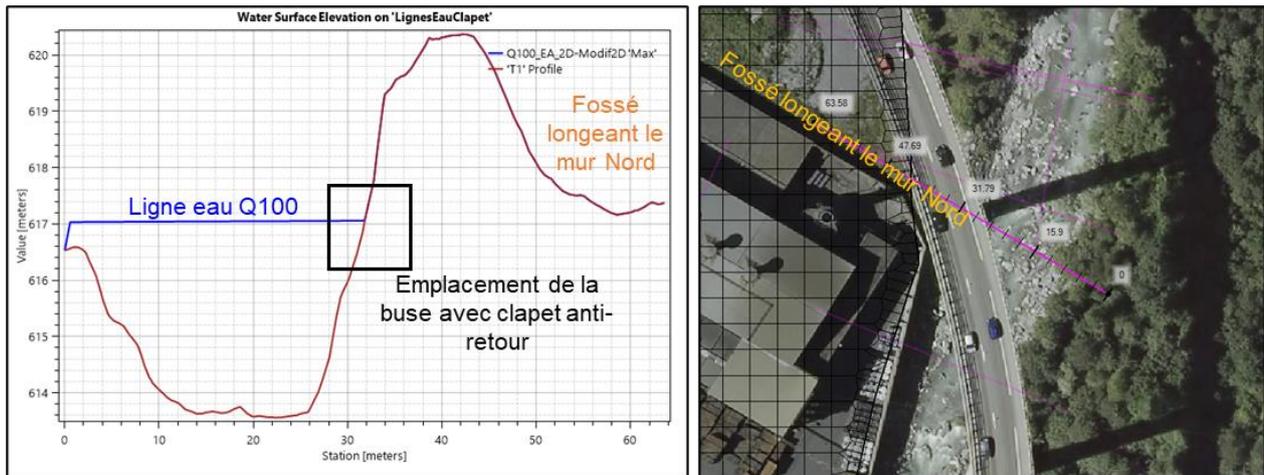
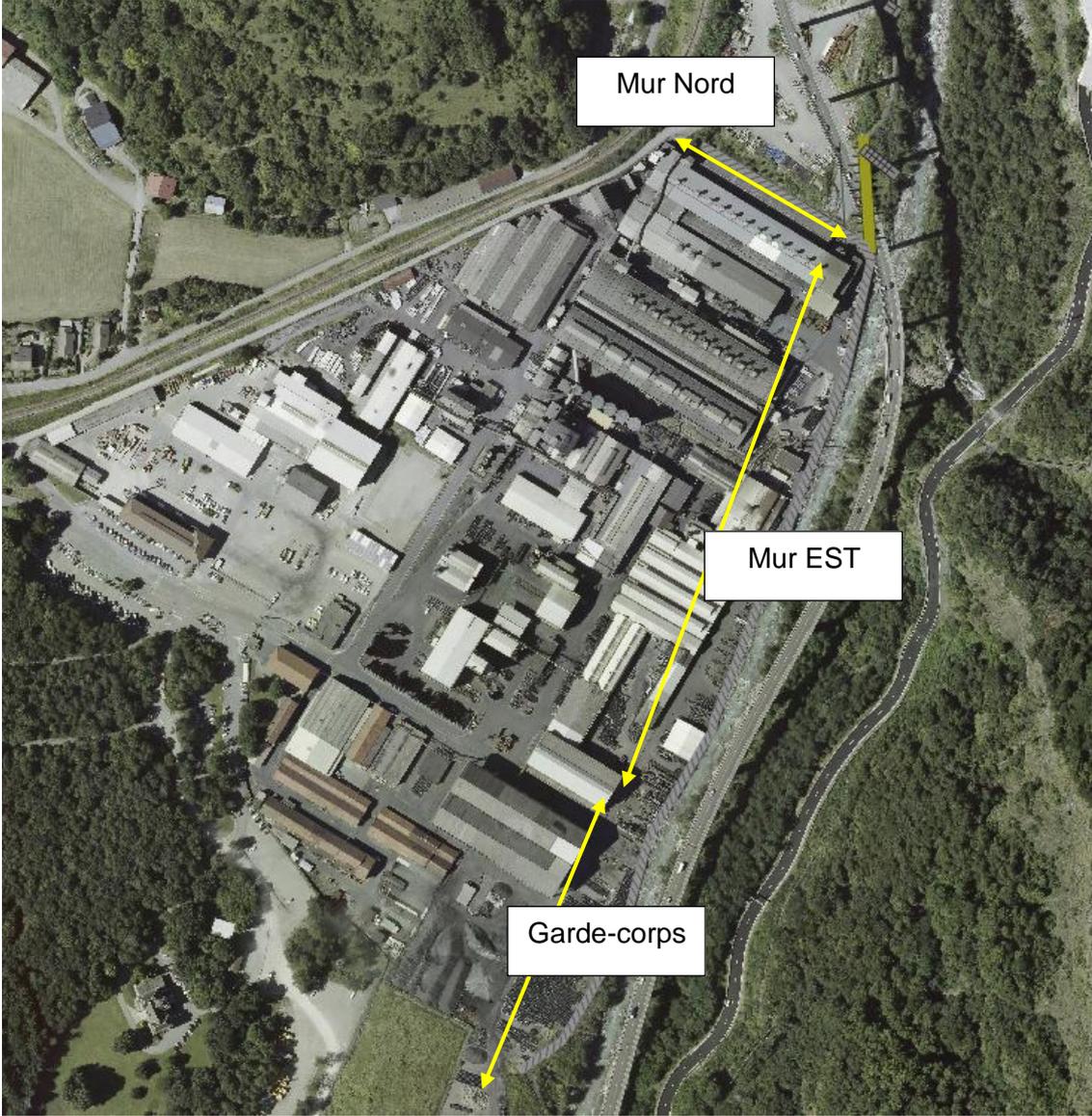


Figure 49 : Ligne d'eau de la crue centennale au-droit du clapet anti-retour de la buse présente sous l'ouvrage digue aval

7.1.2 Le mur d'enceinte/Mur Est de l'usine de Chedde

Mur d'enceinte de l'usine de Chedde			
			
Linéaire	470m : les 364 premiers mètres sont inclus dans le système d'endiguement		
Structure	Mur en béton armé avec localement des contreforts		
	Bon	Moyen	Mauvais
Etat général d'entretien de la végétation	X		
Etat général de la sureté de l'ouvrage		X	
Observations	Murs côté cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> Béton globalement en bon état, quelques fissures et éclats légers Développement ponctuel d'arbustes 	

	<p>Crête de l'ouvrage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Béton globalement en bon état, • Eclats importants et garde-corps ponctuellement apparents dans le mur Est au niveau de sa partie aval
	<p>Mur côté usine</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Béton globalement en bon état, quelques fissures et éclats légers sans conséquence sur la sûreté de l'ouvrage • Le raccord entre mur EST et mur NORD est renforcé par des contreforts présentant des éclats superficiels généralisés avec acier apparent. Ces éclats bien qu'impressionnant par leur ampleur n'altèrent pas significativement les propriétés mécaniques des contreforts.
	<p>Ouvrages annexes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Echelle de mesure des hauteurs dans le cours d'eau au droit de l'Usine • Le mur est prolongé au sud par un garde-corps transparents à l'écoulement
<p>Points de faiblesses structurelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'incision généralisée du lit de l'Arve dans ce secteur risque d'affouiller les fondations qui en raison du niveau d'eau n'ont pu être inspectée. • Les contreforts localisés à l'interface entre les murs Nord et Est présentant des aciers apparents risquent de se dégrader à moyen terme par propagation de la corrosion. 	
<p>Mécanismes de défaillance potentiels</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture du mur par mise en charge hydraulique ou glissement de sa fondation par affouillement avec formation d'une brèche. • L'incision du lit de l'Arve a augmenté les capacités hydrauliques du lit mineur du cours d'eau. Le risque de surverse sur le mur est donc réduit par rapport au fonctionnement hydraulique passé. Cependant, l'apport possible de matériaux par le Nant Bordon est susceptible d'entraîner un rehaussement du lit qui conjugué à une crue importante de l'Arve peut éventuellement entraîner une surverse. 	

Tableau 17: Synthèse du diagnostic approfondi du mur Est de l'usine de Chedde

Un rapport historique réalisé par Acthys est disponible en **ANNEXE 4**, et détaille notamment les coupes types des digues ainsi que l'historique des ouvrages concernés par la présente étude de dangers.

7.1.3 Ouvrage contributif au bon fonctionnement du système d'endiguement : la plage de dépôts du Nant-Bordon

Pour contribuer à assurer le bon fonctionnement du système d'endiguement de Passy, la plage de dépôt du Nant-Bordon, située en amont immédiat de la route départementale RD13 joue un rôle important. En effet sa capacité de retenue de matériaux solides est estimée entre 35 000m³ et 50 000m³ et cette-dernière est positionnée à un endroit stratégique pour retenir les matériaux qui pourraient atteindre l'Arve.

Cette plage de dépôt est sous la gestion du SM3A et son entretien est réalisé régulièrement, selon lorsqu'un curage est jugé nécessaire (points de repères visuels définis et existants).

Une grille est présente en aval de cette plage de dépôt et elle est en bon état. Aussi, à ce jour cet ouvrage est fonctionnel.

La **Figure 50** illustre la plage de dépôt du Nant-Bordon, ouvrage contributif de la présente étude de dangers.



Figure 50 : Plage de dépôt (RD13) du Nant-Bordon vue depuis l'aval, source : Acthys Diffusion

7.2 RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

La société **Ingénierie et Mesures Géophysiques du Groupe HYDROGEOTECHNIQUE** est intervenue pour réaliser une campagne de reconnaissances par la méthode du Panneau Électrique et du géoradar dans le cadre de l'étude de dangers du système de protection de CHEDDE. Les sondages ont été réalisés en mai 2020.

- En Panneau électrique, les reconnaissances avaient pour objectif de caractériser la nature et la répartition des différents matériaux constitutifs de l'ouvrage d'un point de vue granulométrique.
- En géoradar, les mesures visaient à fournir une auscultation détaillée du mur d'enceinte situé sur l'emprise de la société SGL Carbone (usine de Chedde).

Les résultats des panneaux électriques ont permis de bien identifier les caractéristiques des matériaux situés en première ligne de défense, en rive droite de l'Arve, les profils en long réalisés avaient été faits en crête de digues.

7.2.1 Observations et morphologie

En amont du site SGL Carbon, le système d'endiguement présente principalement une structure à deux niveaux avec un ouvrage principal constitué de grands blocs d'enrochement bétonnés, une piste d'accès, puis un merlon de quelques mètres de hauteur, il s'agit de la **digue amont**.

Au niveau du site de l'usine de Chedde, le mur d'enceinte se présente avec une hauteur comprise entre 0.5 et 6 m, avec un premier niveau ancien rehaussé par un ouvrage récent. Le secteur Nord montre l'existence de renforts en béton armé.

7.2.2 Programme réalisé

Le programme de reconnaissances réalisé est constitué de profils acquis par la méthode du Panneau

Électrique et par la méthode du Géoradar :

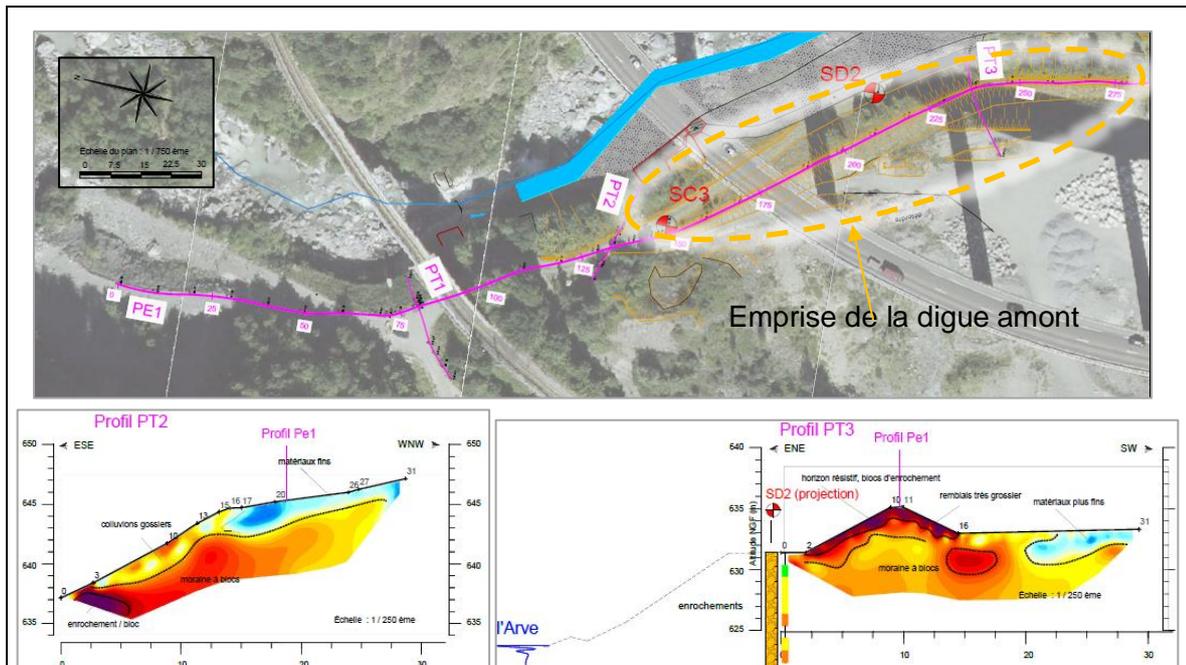
- 4 profils en travers ont été réalisés en panneau électrique, localisés à l'amont, au-droit et entre les **digues amont** et **aval**.
- 1 profil en long s'étendant entre l'aval de la confluence Arve-Nant-Bordon et le mur Est de l'usine de Chedde et passant par les crêtes des **digues amont** et **aval**, réalisé par la méthode du panneau électrique.
- Des investigations géoradar au-droit du **mur de l'usine de Chedde** dans les secteurs Nord et Sud.

La localisation des profils et des sondages réalisés est disponible dans le document **IMG_Rapport_SM3A_Passy_PE_georadar.pdf** de ANNEXE 5.

7.2.3 Résultats et interprétations

Les résultats des reconnaissances géotechniques, tels que décrits dans le rapport du groupe HYDROGÉOTECHNIQUE sont repris dans le **Tableau 18** pour les caractéristiques des digues et le **Tableau 19** pour les caractéristiques du mur Est de l'Usine de Chedde. Voir **ANNEXE 5**.

Pour les digues :



Le profil en travers **PT2** est situé au tout début de la digue amont, le merlon en remblai est de hauteur très faible à ce niveau. Quant au profil **PT3**, il se situe sur la partie aval de la digue amont.

L'ensemble des résultats des panneaux électriques est détaillé ci-dessous.

Du Pm 0 au Pm 90 : merlon + enrochements

Cette section, située en amont de la première digue, présente une rehausse du merlon de plus en plus importante vers l'amont. Celui-ci est caractérisé par la présence de matériaux de remblais grossiers (blocs et cailloutis dans une matrice sableuse). On observe en dessous un horizon très résistif qui traduit la présence probable d'une base d'enrochement. Le terrain naturel est ici à dominante de matériaux plus fins et probablement aussi sous l'influence de la nappe d'accompagnement de l'Arve.

Du Pm 90 au Pm 140 : blocs / enrochements :

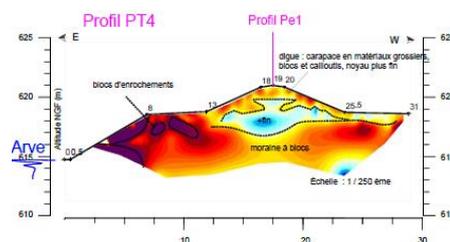
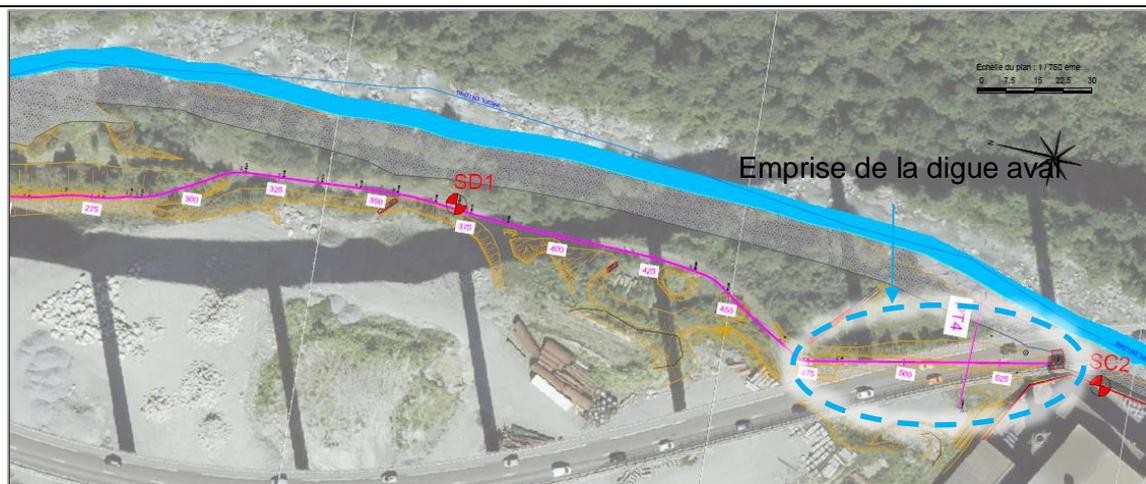
Cette zone intermédiaire, toujours en amont de la première digue, située à proximité et en aval du pont rail SNCF, présente de fortes anomalies résistives interprétées comme la présence de blocs de grande dimension. Il s'agit soit de matériaux utilisés en confortement soit de blocs présents dans le terrain naturel.

Du Pm 145 au Pm 295 : merlon + enrochements :

A partir du PM 145 débute l'ouvrage principal, la digue amont. La morphologie est bien caractérisée par le profil en travers PT3 qui montre un **remblai de matériaux grossiers** surmonté par un horizon très résistif avec la **présence de blocs et de cailloutis**.

Du PM 145 au PM 200, le terrain naturel, constitué de **moraine sableuse à blocs** (teintes jaunes à rouges), montre des anomalies conductrices (teintes bleu) qui traduisent la présence de matériaux dont la proportion limoneuse est plus importante et avec localement une plus forte teneur en eau. Une discontinuité de l'horizon résistif affecte l'ouvrage au PM 185. Il peut s'agir d'une zone localement dégradée.

Sur le reste du linéaire, l'horizon supérieur est continu et homogène et le terrain naturel présente des valeurs élevées sous l'influence de **matériaux graveleux à faible matrice limoneuse** et de **blocs de moraines de dimension importante**. Localement les niveaux de résistivités moyennes (teintes blanches) illustrent une proportion sableuse plus importante.



Du Pm 295 au Pm 370 : zone intermédiaire, zone d'excavation + enrochements :

Cette section présente une zone d'extraction de matériaux à proximité de la piste d'accès. Les valeurs de résistivités sont particulièrement élevées sous l'influence des enrochements latéraux (côté Arve) et sous l'influence de la zone de vide d'une profondeur de 5 à 10 m.

Du Pm 370 au Pm 470 : zone intermédiaire – enrochements :

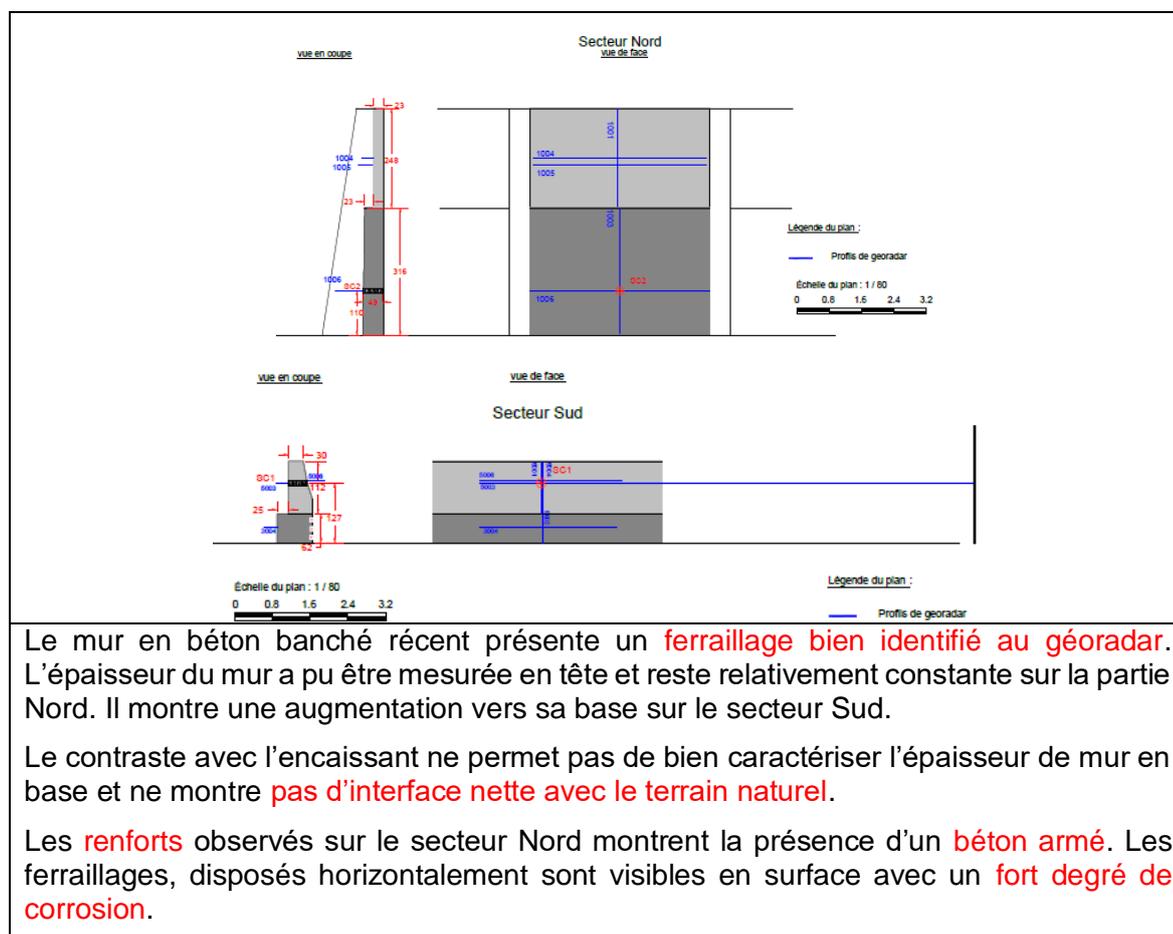
Une anomalie particulièrement conductrice apparaît (teinte bleu foncé) du Pm 370 au Pm 400 qui montre soit la présence de matériaux de remblais avec une proportion argileuse/limoneuse plus importante soit d'une zone à plus forte teneur en eau. La section présente ensuite sur une profondeur de 5 à 7 m des valeurs de résistivité particulièrement élevées qui traduisent l'influence latérale des blocs d'enrochements mais aussi de blocs de grande dimension en place dans les dépôts morainiques. A partir de 10 m de profondeur, on observe une transition vers des valeurs plus faible sous l'influence de la nappe d'accompagnement de l'Arve et avec une transition vers des matériaux probablement plus fins.

Du Pm 470 au Pm 542.5 : merlon + enrochement :

Le profil en travers PT4 illustre bien la morphologie de cette section d'ouvrage, la digue aval, avec un **premier niveau d'enrochement de grands blocs bétonnés en surface** (particulièrement résistifs), le **passage au corps de digue avec un noyau constitué de matériaux fins** (teintes bleu-blanc) **surmontés par un masque de matériaux grossiers** (blocs et cailloutis). Le **terrain naturel** est résistif à très résistif, avec la présence de **moraine à grands blocs**. Le profil en long est largement dominé par l'influence des enrochements latéraux et des blocs de moraine.

Tableau 18 : Résultats des reconnaissances par panneaux électriques réalisées dans le cadre de l'étude de dangers

Pour le mur Est de l'usine de Chedde :



Le mur en béton banché récent présente un **ferraillage bien identifié au géoradar**. L'épaisseur du mur a pu être mesurée en tête et reste relativement constante sur la partie Nord. Il montre une augmentation vers sa base sur le secteur Sud.

Le contraste avec l'encaissant ne permet pas de bien caractériser l'épaisseur de mur en base et ne montre **pas d'interface nette avec le terrain naturel**.

Les **renforts** observés sur le secteur Nord montrent la présence d'un **béton armé**. Les ferraillements, disposés horizontalement sont visibles en surface avec un **fort degré de corrosion**.

Tableau 19: Résultats des reconnaissances Géoradar réalisées dans le cadre de l'étude de dangers

7.3 DOCUMENTATION AFFERENTE AU SYSTEME D'ENDIGUEMENT « PROTECTION DE CHEDDE ».

7.3.1 Liste des études à disposition

Afin de mener l'étude afférente au système d'endiguement « Protection de Chedde », les études antérieures présentées dans le **Tableau 20** étaient à disposition.

Année	Titre	Auteur
2001	Etude d'aménagement de l'Arve et de ses berges au confluent du Nant Bordon	HYDRETUDES
2008	Etude générale du Nant Bordon	RTM
2009	Constructions hydrauliques- Ecoulement stationnaires	Willi H. Hager et Anton J. Schleiss
2015	Modèle Numérique de Terrain (MNT)	SINTEGRA
2016	Diagnostic de la végétation sur la digue de Chedde à Passy RD de l'Arve	ARBEAUSOLutions
2016	Plan de gestion du Nant Bordon	IDEALP
2016	Etude de faisabilité pour l'optimisation des aménagements de protection des crues de la moyenne et basse vallée de l'Arve. Analyse de l'hydrologie globale du bassin versant	ISL
2018	Détermination du risque de crues extrêmes de l'Arve à Chamonix par la méthode SCHADDEX	EDF
2018	Levés topographiques	SINTEGRA
2020	Etude historique	ACTHYS DIFFUSION (sous-traitant de Lombardi)

Tableau 20: Liste des études à disposition pour la réalisation de l'étude de dangers

7.3.2 Résumé des études réalisées sur les ouvrages constitutifs du système d'endiguement

Le tableau suivant répertorie l'ensemble des études à partir desquels la présente étude de dangers a été réalisée.

Année	Etude(s)
2001	Etude d'aménagement de l'Arve et de ses berges au confluent du Nant Bordon ; HYDRETUDES
2003	Aménagement de l'Arve en aval du Nant Bordon- Rapport Géotechnique – HYDRO_GEOTECHNIQUE SUD-EST
2008	Etude générale du Nant Bordon RTM
2015	MNT ; SINTEGRA
2016	Diagnostic de la végétation sur la digue de Chedde à Passy RD de l'Arve – ARBEAUSOLUTIONS

Année	Etude(s)
	Plan de gestion du Nant Bordon – Plan de gestion des matériaux - Phases 1 et 2- IDEALP Etude de faisabilité pour l'optimisation des aménagements de protection des crues de la moyenne et basse vallée de l'Arve - Analyse de l'hydrologie globale du bassin versant (A2) - ISL
2018	Détermination du risque de crues extrêmes de l'Arve à Chamonix par la méthode SCHADEX – EDF Levé topographique ; SINTEGRA
2020	Etude historique ; ACTHYS DIFFUSION (sous-traitant de Lombardi)

Tableau 21: Liste des études antérieures existantes sur le secteur ou à proximité du secteur

Le rapport d'analyse des données existantes **3031.0-R10-Rapport d'analyse des données existantes_0** (voir **ANNEXE 2**) a permis de mettre en avant l'ensemble des données disponibles qui ont été utilisées dans le cadre de la présente étude.

Il présente donc les principales conclusions des études existantes qui nous permettent d'appréhender au mieux le contexte dans lequel s'insère la présente étude de dangers.

Nous retenons notamment les points essentiels d'analyse contextuel suivants :

- L'Arve présente une morphologie de cours d'eau typique des secteurs alpins avec un fort transport solide et des pentes fortes ;
- L'Arve au droit du secteur d'étude présente un profil de lit, d'amont en aval :
 - o A forte pente en amont de la confluence avec le Nant Bordon au sortir des gorges ;
 - o Plus engravé au niveau de la confluence ;
 - o Encombré de gros blocs à l'aval du seuil ;
 - o Avec un parement en enrochements en rive droite et une forte pente en aval du pont SNCF (12%) ;
 - o Un lit moins chaotique au droit de la digue actuelle (6 % de pente) ;
 - o Un pavage du lit et réduction de pente légèrement en amont de l'usine de Chedde (1.5% et 4.5%) ;
 - o Un lit plus confiné par le mur de l'usine de Chedde conforté par des enrochements en pied.
- Le secteur de l'usine de Chedde et de la plaine de Passy est protégé pour plusieurs types d'ouvrages différents en rive droite de l'Arve depuis la confluence avec le Nant Bordon jusqu'à l'usine de Chedde (mur d'entonnement droit SNCF, mur au niveau de la pile n°28 du viaduc, un linéaire de confortement avec un perré en enrochements maçonnés entre les piles n°28 et n°20 du viaduc, le mur de l'enceinte de l'usine de Chedde) ;

- Le Nant Bordon est composé de nombreux aménagements de réduction des effets des laves torrentielles et notamment sur sa partie amont ;
- La crue historique de l'Arve du 22 Septembre 1968 est essentiellement liée à un exhaussement naturel de l'Arve la conséquence de dépôts successifs du Nant Bordon mais non curés qui a entraîné des débordements en amont de l'usine de Chedde pour une crue de période de retour estimée à Q10. En suivant, un plan de gestion de curage important a permis de fortement abaisser le lit ;
- La crue du nant Bordon de 1992 a entraîné un engravement de 7-8 m à la confluence avec l'Arve et 1-2 m au droit de l'usine. Un volume de 50'000 m³ a été estimé par SOGREAH à l'époque ;
- La partie aval du nant Bordon est constituée d'une zone particulièrement sensible au glissement qui pourrait entraîner un engravement supplémentaire au niveau de la confluence ;
- Le lit de l'Arve a évolué dans le temps en présentant après la crue de 1992, un engravement à la confluence qui s'est pérennisé et une incision aval plus marquée liée à une accélération des vitesses (augmentation de la pente à l'aval de l'engravement) – enfouissement de 1 à 2 m à l'aval ;
- Les différentes méthodes de caractérisation des débits qui ont été effectuées par Hydrétudes ou ISL reposent sur l'analyse de données climatologiques et météorologiques plus ou moins récentes et ont été effectuées suivant différentes approches. Elles donnent des valeurs avec des ordres de grandeur similaires mais à des points différents de celui de la présente étude ;
 - On retient pour l'Arve : $Q_{10} = 190-195 \text{ m}^3/\text{s}$ – $Q_{100} = 325-350 \text{ m}^3/\text{s}$ environ
 - On retient pour le Nant Bordon : $Q_{10\text{liquide}} = 13-20 \text{ m}^3/\text{s}$ – $Q_{100\text{liquide}} = 26-34 \text{ m}^3/\text{s}$
- La digue de Chedde présente un bel espace et est réalisée dans les règles de l'Art.

L'analyse de ces données a également montré la nécessité de réaliser des compléments afin de satisfaire au niveau d'exigence d'une étude de dangers.

On retiendra notamment la rédaction des notes spécifiques suivantes par notre cabinet d'études :

- Rédaction d'une note hydrologique et hydraulique complémentaire permettant de justifier les débits au niveau du secteur d'étude et d'arrêter les hydrogrammes de crue à injecter dans le modèle hydraulique et la réalisation des modèles associés ;
- La réalisation d'investigations topographiques et géotechniques permettant d'améliorer la connaissance de certains ouvrages afin de proposer des scénarii de défaillances pertinents dans la suite de l'étude de dangers.
- La rédaction d'une note spécifique sur les modalités de rupture des ouvrages au regard du degré de défaillance relevé des ouvrages

7.4 ANALYSE DE LA CAPACITE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT A RESISTER AUX SOLLICITATIONS

7.4.1 Mécanismes de défaillance considérés

Pour la présente étude nous considérons les 4 mécanismes de défaillance suivants pour les digues en remblai (digue amont et digue aval) :

- La surverse,
- L'érosion externe,
- L'érosion interne : non étudié dans le contexte torrentiel,
- La rupture par glissement d'ensemble.

Quant au mur Est de l'usine de Chedde, les mécanismes de défaillance considérés sont :

- La surverse,
- L'érosion externe,
- Le basculement.

Les différents mécanismes de défaillance évoqués ici, ainsi que la surverse sans rupture, ont précédemment été introduits et présentés au **Chapitre 6**.

7.4.2 Analyse des capacités de résistance des ouvrages

L'estimation de la probabilité de défaillance pour chacun des ouvrages et pour chaque mécanisme de défaillance est appréciée au regard du retour d'expérience concernant la zone protégée et des résultats du diagnostic approfondi des ouvrages de protection.

Conformément au cadre prévu par l'annexe 3 de l'arrêté du 7 avril 2017, modifié par l'arrêté du 30 septembre 2019, trois classes qualitatives sont utilisées dans la présente étude pour caractériser la probabilité de défaillance. Les seuils retenus dans la présente étude sont ceux suggérés par la réglementation, ils sont présentés au **Tableau 22**. Ces seuils sont cohérents avec les valeurs de probabilité 0,05 et 0,5 correspondant aux scénarios présentés au **Chapitre 8**.

Ordre de grandeur des probabilités de défaillance	Qualification expertisée	Cotation
$P < 1 \%$	Risque très faible	E
$1 \% < P < 5 \%$	Risque limité	D
$5 \% < P < 50 \%$	Risque moyen	C
$50 \% < P < 90 \%$	Risque fort	B
$90 \% < P$	Risque aigu	A

Tableau 22 : Seuils de caractérisation des probabilités de défaillance

7.4.3 Analyse des risques de défaillance

7.4.3.1 Digue amont et digue aval

Érosion interne

Compte tenu des caractéristiques d'écoulement rencontrées dans la zone d'étude de la présente étude de dangers, la probabilité d'écoulement dans le corps de la digue, et donc la probabilité d'observer ce type de rupture, est très faible. La pente naturelle du terrain vers l'aval favorise la dispersion des écoulements en cas de crue, et les temps caractéristiques de ces dernières ne sont pas assez importants pour mettre en eau les ouvrages sur une longue durée.

Ce type de défaillance est donc associé à un risque limité D. Seules les infiltrations d'eau dans le cœur des digues depuis le côté plaine est envisageable. Les durées de crues sont courtes et niveaux d'eau nécessaire à la mise en charge des digues sont associés à des événements rares (crues supra centennales).

Érosion externe / Déstructuration de la carapace de l'ouvrage

Compte tenu des visites terrain, ce mécanisme apparaît peu envisageable. En effet, les digues en remblai sont considérées en bon état et une protection de talus côté cours d'eau en enrochements bétonnés est existante et également en très bon état pour la digue amont, et plus végétalisées et hétérogène pour la digue aval.

Cependant, à partir d'un certain niveau d'aléa, les vitesses sont suffisamment importantes pour initier et entraîner ce mécanisme de défaillance, en commençant par détériorer le parement côté cours d'eau. Le risque est cependant jugé moyen compte tenu de la géométrie de la digue et des rapidités d'une crue pour voir apparaître une brèche lors d'un seul événement. **Aussi la probabilité associée à l'érosion externe est cotée C**, de façon sécuritaire, pour les deux ouvrages en remblai. Une rupture par érosion externe, ici associée à une déstructuration de l'ouvrage pourrait survenir sur les merlons en hauteur de talus, où les protections en enrochements ne sont plus présentes.

Rupture d'ensemble

Compte tenu de la visite de terrain ne mettant pas en avant des défaillances de l'ouvrage pouvant mener à une rupture par glissement, ce dernier paraît alors peu envisageable sur les digues amont et aval de Passy.

Une risque limité **D** peut alors être associée à cette potentielle défaillance, compte tenu du niveau de protection retenu, non suffisant pour entraîner une telle rupture.

Surverse

Pour les ouvrages de type remblai, la probabilité de rupture en cas de surverse est considérée comme forte. En effet, bien que les matériaux constitutifs du remblai soient compactés et que le remblai soit végétalisé, la résistance de la surélévation reste faible.

La probabilité associée à une rupture par surverse est côté A.

7.4.3.2 Mur est de l'usine de Chedde

Érosion externe du parement du mur conduisant à la formation d'une brèche

Une érosion externe du mur côté cours d'eau ne peut être exclue. Ce phénomène se produit naturellement par usure du temps. L'amorce d'une brèche par érosion externe lors d'un événement de crue semble peu probable de survenir sur le mur est de Passy contenu du fait de la géométrie du mur et de sa résistance augmentée par les armatures le constituant. A noter que ce mécanisme pourrait plus facilement survenir dans la partie nord du mur, où la hauteur est importante et où le diagnostic visuel et les sondages géotechniques ont permis de montrer un état de corrosion avancé sur les ferraillements.

Aussi, le risque associé à cette défaillance est côté **C**.

Érosion du pied de talus conduisant au renversement du mur côté cours d'eau

Sur l'ensemble de son linéaire, une banquette de végétation et de gros blocs rocheux est présente devant le mur de l'usine de Chedde côté cours d'eau. Cela diminue fortement le risque d'érosion du pied de talus. En effet, pour se faire, un « lessivage » des matériaux vers l'aval serait nécessaire. Néanmoins il apparaît peu probable de mettre en mouvement les blocs rocheux présents en pied de talus.

Le risque associé à cette défaillance est jugé limité (**D**).

Renversement du mur côté zone protégée suite à une surverse

La présence de contrefort sur la partie nord du mur de l'usine de Chedde favorise sa résistance au basculement en cas de surverse. Quant au tronçon sud, la base du mur est plus élargie et ce-dernier moins haut. Le basculement du mur semble très peu probable en situation de surverse. Aussi le risque associé à cette défaillance est jugé comme limité (**D**).

7.5 NIVEAUX DE REFERENCE DES OUVRAGES

7.5.1 Définition des niveaux de référence

Une digue présente différents niveaux de référence (source : France-digues.fr) :

- **Le niveau de protection** correspond au niveau à partir duquel des entrées d'eau dans la zone protégée doivent être prises en compte. Ces entrées d'eau peuvent s'effectuer par brèche ou par surverse sur les ouvrages de protection (cas des déversoirs de sécurité ou digue résistante à la surverse).
- **Le niveau de sûreté** est le niveau d'eau au-dessus duquel on ne peut plus garantir la stabilité de la digue et correspond à une probabilité résiduelle de rupture au plus de 5%.
- **Le niveau de danger** d'un ouvrage correspond au niveau d'eau à partir duquel la probabilité de défaillance du système d'endiguement est considérée comme très élevée ou certaine pour l'un des différents modes de rupture auquel il est potentiellement exposé, il est égal à une probabilité de brèche de 50 %.
- **Niveau de protection apparent** ou **niveau de submersion** d'un ouvrage : hauteur maximale que peut atteindre l'eau sans que la zone protégée ne soit inondée en raison du débordement ou du contournement des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer et en faisant abstraction des risques de défaillance avant surverse. Il s'agit, la plupart du temps, d'un niveau apportant une fausse impression de protection.

Les digues résistantes à la surverse présentent une très faible probabilité de rupture (inférieur à 5%) sur toute la hauteur de l'ouvrage. Généralement il s'agit de digues en très bon état, sans présence de fissures ou dégâts. Pour ce type de digues, le niveau de protection sera le niveau de submersion de l'ouvrage. Le niveau de sûreté sera au-dessus de ce niveau (cf. figure ci-après).

Au contraire, **les digues non résistantes à la surverse** présentent une probabilité de ruine considérable à partir d'une certaine hauteur. Ce type de digues sont, la plupart du temps, en mauvais état, avec présence de dégâts et/ou composés de matériaux non résistants aux sollicitations hydrodynamiques et poussées d'eau. Pour ce type de digues, le niveau de protection coïncide avec le niveau de sûreté de l'ouvrage (à une hauteur où il peut être assurée une probabilité de ruine inférieure à 5%). Le niveau de danger se trouve au-dessus de ce niveau (avec une probabilité de ruine entre 5% et 50). Le niveau de submersion correspond avec une forte probabilité de ruine et se trouve au même niveau ou supérieur que celui de submersion (cf. figure ci-après).

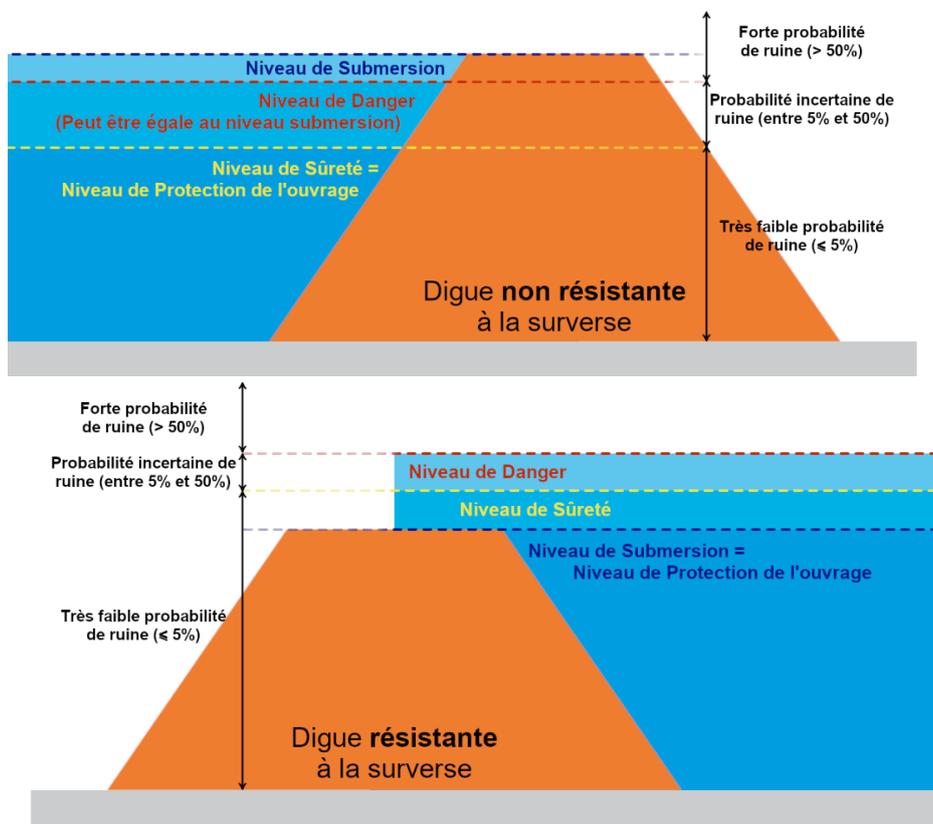


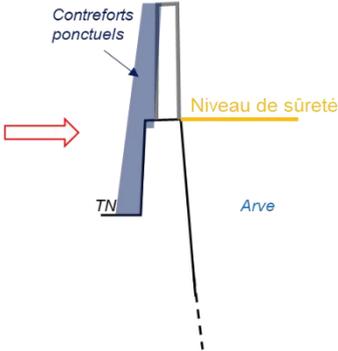
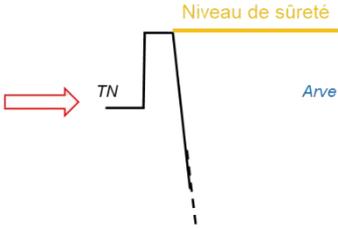
Figure 51 : Schémas des différents niveaux associés au NP - Digue résistante à la surverse ou non. Source : France-Digues.fr¹

7.5.2 Bilan sur les niveaux de protection apparents et le niveau de protection du système d'endiguement

Comme introduit au paragraphe 4.2.2, un seul ouvrage est réellement fonctionnel et limitant pour définir l'aléa inondation sur la commune de Passy. Il s'agit du mur Est de l'usine de Chedde. Les digues amont et aval protègent quant à elle pour des événements très rares correspondant à des crues supra-centennales. Aussi, les niveaux évalués pour caractériser le système d'endiguement sont associés essentiellement au mur de l'usine.

Ils sont présentés dans le **Tableau 23** suivant.

Niveau de protection apparent	Mur Est de l'Usine de Chedde :
-------------------------------	--------------------------------

	<p>Le niveau de protection apparent du mur de l'usine sur la totalité de son linéaire correspond à son point bas, premier lieu de surverse possible. En effet l'ouvrage présente une hauteur décroissante vers l'aval et ainsi les premiers débordements possibles dans la zone protégée ont lieu après environ 304m de linéaire du mur sur 364 au total.</p> <p>Ce niveau correspond à une cote altimétrique de 611mNGF à laquelle est associée la cote altimétrique de 607.10mNGF dans le lit de l'Arve.</p>
<p>Niveau de sûreté</p>	<p><u>Mur Est de l'Usine de Chedde :</u></p> <p>Le niveau de sûreté du mur quant à lui ne peut être défini en un point précis sur le mur, contrairement au niveau de protection apparent. Pour l'ensemble du linéaire où le mur présente une réhausse (mur nouveau sur mur ancien), le niveau de sûreté est défini au-droit de l'interface entre les deux entités. Pour le linéaire sans réhausse, le niveau de sûreté est considéré au-droit du niveau de crête de l'ouvrage, dans la mesure où nous ne pouvons garantir la stabilité de l'ouvrage au-delà de la situation de surverse.</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 20px;">  <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div> </div>
<p>Niveau de protection</p>	<p><u>Mur Est de l'Usine de Chedde :</u></p> <p>Les simulations hydrauliques réalisées dans le cadre de cette étude de dangers ont permis d'identifier un niveau de sollicitation conduisant aux premières venues d'eau dans la zone protégée avant même que la ligne d'eau dans le lit mineur n'atteigne de niveaux de sûreté. Aussi, le niveau de protection correspond au niveau de protection apparent défini au-droit du point bas du mur de l'usine.</p>

	<p>Ce niveau correspond donc à la cote altimétrique de 611mNGF à laquelle est associée la cote altimétrique de 607.10mNGF dans le lit de l'Arve. Il est mesuré au pm 304 du mur de l'usine dans le sens de mesure de l'amont vers l'aval.</p>
<p>Niveau de danger</p>	<p><u>Mur Est de l'Usine de Chedde :</u></p> <p>Les résultats sondages géotechniques réalisés pour les besoins de l'étude de dangers sur le mur de l'usine de Chedde combinés au diagnostic visuel (VTA) de ce-dernier ont amené à envisager (de façon sécuritaire) une situation pour laquelle il ne peut être garanti de voir se produire une brèche avec une probabilité inférieure à 50%. Cette situation nécessite cependant des conditions rares puisqu'il est nécessaire de solliciter la partie amont du mur de l'usine, la plus élevée par rapport au terrain naturel (hauteur de mur de 4m65). Il est considéré que pour une crue centennale le mur pourrait céder. Un scénario de défaillance structurel précisé au chapitre 8 illustre ce niveau de danger.</p> <p>A ce niveau de danger est associée une cote altimétrique de 617mNGF associée à une cote de fond du lit de 613.2mNGF et correspondant à la ligne d'eau de la crue centennale atteinte au PM 15 du mur de l'usine.</p> <div data-bbox="427 1003 922 1458"> <p>Brèche initiée lorsque le niveau de danger est atteint.</p> </div> <div data-bbox="938 1070 1305 1429"> <p>Niveau de dangers (Q100)</p> <p>Arve</p> <p>TN</p> </div>

Tableau 23 : Bilan sur les niveaux de protection

7.6 ANALYSE DES MOYENS MIS EN ŒUVRE POUR ASSURER L'ENTRETIEN, LA SURVEILLANCE ET LES REPARATIONS COURANTES DES OUVRAGES

Le détail des moyens mis en œuvre par le SM3A pour assurer l'entretien, la surveillance et les réparations courantes des ouvrages sont détaillés dans le **Chapitre 9**.

8 ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU DANS ET EN DEHORS DE LA ZONE PROTEGEE

L'objectif de ce **Chapitre** est d'évaluer les conséquences des débordements pour les différents scénarios définis par l'arrêté du 7 avril 2017 modifié par l'arrêté du 30 septembre 2019. Néanmoins, la présente étude de dangers s'inscrit dans un contexte torrentiel et il reste complexe d'apprécier quantitativement le risque de résiduel de rupture d'un des ouvrages (voir article 11 de l'arrêté du 7 avril 2017). Aussi, une démarche multi-scénario a été employée pour définir les scénarios de crues plausibles sur le secteur et apporter la connaissance du fonctionnement du système d'endiguement.

8.1 METHODOLOGIE GENERALE

8.1.1 Principes de définition du niveau de protection

Le niveau de protection associé au système d'endiguement de Passy a précédemment été défini au paragraphe 7.5.

8.1.2 Scénarios de l'étude de dangers et analyse des venues d'eau

L'arrêté du 7 avril 2017, modifié par l'arrêté du 30 septembre 2019, définit 3 scénarios à étudier pour estimer et évaluer le risque lié à l'inondation. Ces scénarios sont les suivants :

- **Le scénario 1** est celui du fonctionnement nominal du système d'endiguement quand le niveau des écoulements, sous l'effet de la crue ou d'une submersion marine, correspond au niveau de protection. La réglementation permet d'admettre que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de **5 %** au plus ou, s'il n'est pas possible de préciser quantitativement le risque résiduel de rupture, que ce risque est « limité » selon l'analyse qualitative des probabilités de défaillance telle que prévue par l'annexe 3 de l'arrêté du 7 avril 2017, modifié par l'arrêté du 30 septembre 2019 (voir paragraphe **8.1.3** **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).
- **Le scénario 2** est représentatif d'une défaillance fonctionnelle du système d'endiguement au moment où se produit un aléa dont l'intensité équivaut à l'intensité de l'aléa correspondant au niveau de protection. La défaillance fonctionnelle qui est réputée liée à la défaillance d'un dispositif de régulation des écoulements hydrauliques (batardeau qui n'est pas mis en place ou qui se rompt, vanne qui reste en position ouverte, station de pompage en panne, etc.) ne s'accompagne pas d'une défaillance structurelle des ouvrages. Il en résulte néanmoins des venues d'eau plus ou moins dangereuses dans la zone protégée ou une aggravation des venues d'eau en dehors de cette dernière.
- **Le scénario 3** est représentatif d'une défaillance structurelle du système d'endiguement. Pour que ce scénario reflète une situation de terrain réaliste et porteuse d'enseignements pour les services en charge des secours aux personnes, le niveau d'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture supérieur à **50 %** ou, s'il n'est pas possible de préciser quantitativement le risque résiduel de rupture, un risque de rupture aigu au sens de l'analyse qualitative réalisée au travers de l'approche multi-scénarios (paragraphe **8.1.3**).

Dans le cadre de cette étude de dangers, le contexte torrentiel ne permet pas de déterminer l'aléa par la seule hauteur d'eau ou le seul débit. Il n'est pas non plus possible de justifier quantitativement que le risque résiduel de rupture reste inférieur à 5%, une démarche multi-scénario a été appliquée, conformément à l'annexe 3 de l'arrêté du 30 septembre 2019.

Ainsi les résultats de modélisation de chacun des scénarios développés dans les paragraphes suivants seront présentés sous forme de carte dans lesquelles les venues d'eau seront représentées par un code de trois couleurs établis selon les critères présentés au

	$V \leq 0.2 \text{ m/s}$	$0.2 \text{ m/s} < V \leq 0.5 \text{ m/s}$	$V > 0.5 \text{ m/s}$
$H \leq 0.5 \text{ m}$	Risque faible	Risque moyen	Risque fort
$0.5 \text{ m} < H \leq 1 \text{ m}$	Risque moyen	Risque moyen	Risque fort
$H > 1 \text{ m}$	Risque fort	Risque fort	Risque fort

Tableau 24.

Tableau 24 : Matrice de catégorisation des risques occasionnés par les venues d'eau

L'objectif est de mettre en évidence :

- Les parties de territoires susceptibles d'être affectées par des venues d'eau non dangereuses ou modérément dangereuses ;
- Les parties de territoires susceptibles d'être affectées par des venues d'eau dangereuses. Sont réputées dangereuses les venues d'eau telles que la hauteur d'eau atteint au moins 1 mètre ou le courant au moins 0,5 mètre par seconde ;
- Les parties de territoires où les venues d'eau peuvent être particulièrement dangereuses en raison de l'existence de points bas ou d'un effet cuvette ou de l'existence d'une zone de dissipation d'énergie importante.

Le dossier de cartes et figures constituant le chapitre 10 comprend les cartes de vitesses d'écoulement seules, de hauteurs d'eau seules, et de croisement hauteur-vitesse (catégorisation du risque), pour chacun des scénarios étudiés.

8.1.3 Principes de l'analyse des risques de défaillance par l'approche multi-scénarios

L'annexe 3 de l'arrêté du 7 avril 2017, modifié par l'arrêté du 30 septembre 2019, prévoit qu'une démarche multi-scénario puisse « être adoptée quand l'aléa ne peut pas être déterminé par la seule hauteur d'eau (cote du cours d'eau ou niveau marin) ou le seul débit et quand il n'est pas possible de justifier quantitativement que le risque résiduel de rupture reste inférieur à 5 %. C'est notamment le cas pour certains systèmes d'endiguement [...] situés le long de torrents ou de rivières torrentielles. »

Cette démarche se déroule en trois étapes, tel que présenté à la **Figure 52**.

<i>Partie</i>	<i>Étape</i>	<i>Description</i>
1ère partie Définition de scénarios contrastés selon l'aléa naturel et le(s) mécanisme(s) de défaillance en jeu	Aléa naturel	L'aléa naturel est ici décrit par un ensemble de paramètres tels que l'hydrogramme de crue, l'évolution du fond du lit, la présence de flottants, la formation d'embâcles, la formation de laves torrentielles, etc.
	Mécanisme(s) de défaillance	Mécanisme de détérioration ou une combinaison de mécanismes de détérioration pouvant mettre en péril l'ouvrage ou conduire à l'atteinte de la zone protégée : érosion interne, érosion externe, arrachement de végétation, etc.
2ème partie Qualification de la probabilité de défaillance	Vraisemblance que le mécanisme de défaillance se produise	Probabilité que le mécanisme de défaillance (ou ensemble de mécanismes) décrit en 1ère partie se produise.
	Vraisemblance conditionnelle de la capacité de l'ouvrage à résister à cette sollicitation	Probabilité que l'ouvrage résiste si ce mécanisme se produit.
	Probabilité de défaillance de l'ouvrage pour chaque scénario	Croisement des valeurs de vraisemblances citées ci-dessus, tel que présenté au tableau de la Figure 55 .
3ème partie Niveau de protection, et scénario(s) de défaillance structurelle	Choix des scénarios définissant le niveau de protection, et le(s) scénario(s) de défaillance structurelle selon la valeur de probabilité de défaillance	La troisième étape détermine le niveau de protection comme étant une hauteur d'eau/de lave ou un débit tel que tous les scénarios basés sur cette hauteur ou ce débit présentent une probabilité de défaillance suffisamment faible (soit inférieure à 5 % si cette probabilité peut être calculée, soit classée comme présentant un risque limité dans la démarche multi-scénario).

Figure 52 : Étapes de l'approche multi scénario

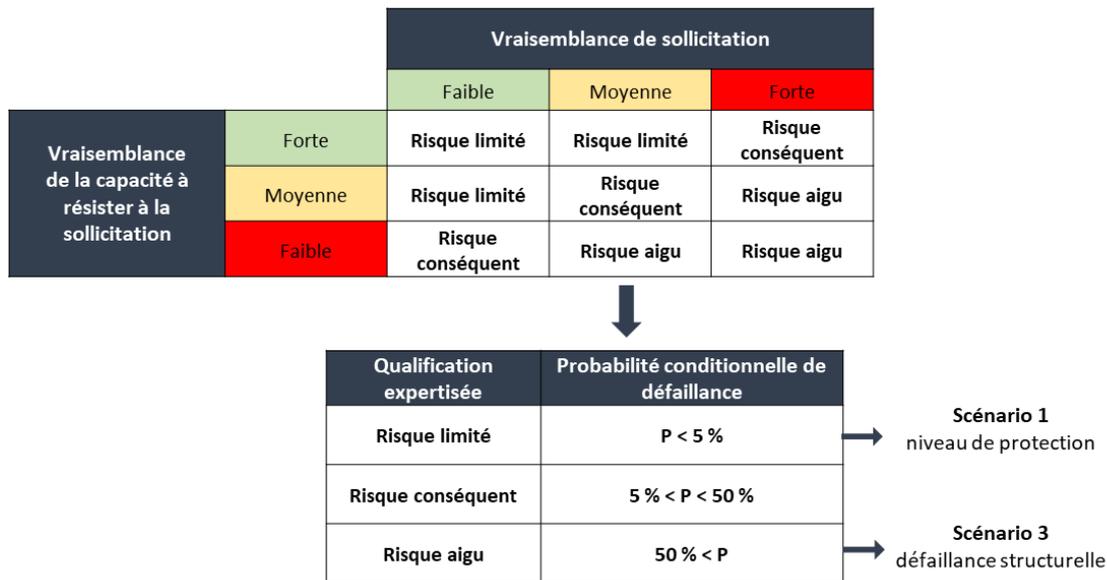


Figure 53 : Qualification des probabilités de défaillance des scénarios considérés dans l'analyse multi-scénario

Les analyses des capacités de résistance des ouvrages sont présentées au paragraphe 7.4 du chapitre 7.

Le Tableau 25 présente pour chacun de ces scénarios les résultats de l'analyse des vraisemblances de sollicitation et des capacités à y résister. Les scénarios sont décrits en détails dans les paragraphes 8.2, 8.3 et 8.4.

Tableau 25 : Analyse des vraisemblances de sollicitation et de capacité à y résister

Partie	Étape	Scénario A	Scénario B	Scénario C
1ère partie	Aléa naturel	- Hydrogramme : Q22 - Fond du lit : LIDAR 2015 sans engrèvement	- Hydrogramme : Q22 - Fond du lit : Fond du lit suite à la lave de 1992	- Hydrogramme : Q100 - Fond du lit : Fond du lit suite à la lave de 1992
	Mécanisme(s) de défaillance	Surverse sans rupture en partie aval du mur de l'usine de Chedde.	Surverse sans rupture en partie aval du mur de l'usine de Chedde.	Considération d'une brèche au-droit de la partie nord du mur de l'usine de Chedde.
2ème partie	Vraisemblance du mécanisme de défaillance	Forte	Forte	Faible
	Vraisemblance conditionnelle de la capacité de l'ouvrage à résister à cette sollicitation	Faible	Faible	Moyenne
	Probabilité de défaillance de l'ouvrage pour chaque scénario	Risque limité	Risque limité	Risque aigu
3ème partie	Choix des scénarios définissant le NP, et le(s) scénario(s) de défaillance structurelle	Scénarios définissant le niveau de protection du système d'endiguement (Scénario 1)		Scénario 3 Défaillance structurelle

Ainsi l'analyse des vraisemblances conduit à établir que les scénarios A et B sont retenus pour déterminer le niveau de protection du système d'endiguement. Le scénario C, quant à lui, fait office de scénario de défaillance structurelle d'un ouvrage du système d'endiguement.

En l'absence de dispositifs permettant la régulation des écoulements hydrauliques et d'ouvrages associés, **aucune défaillance fonctionnelle n'a été identifiée** pour la présente étude de dangers.

8.2 SCENARIO A

L'étude des risques de venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée a tout d'abord été réalisée en considérant un charriage total des matériaux solides dans le lit de l'Arve. Un fonctionnement 100% liquide est donc considéré dans ce scénario. Une première modélisation hydraulique de la zone d'étude a été réalisée avec le logiciel HEC-RAS.

8.2.1 Construction du modèle hydraulique du scénario A

Afin de modéliser le scénario A, les éléments et hypothèses suivants ont été pris en compte :

- La modélisation hydraulique réalisée comprend deux zones : une zone 1D correspondant au lit de l'Arve depuis une centaine de mètres en amont de la confluence Arve-Nant-Bordon jusqu'à 50m en aval de la fin du mur Est de l'usine de Chedde. Quant à la zone 2D, elle correspond à la plaine d'inondation de la commune de Passy. L'emprise de ces deux zones est disponible dans le rapport **3031.0-R30-Rapport hydrologique et hydraulique_A**.
- La topographie utilisée pour le fond du lit de l'Arve et la plaine d'inondation correspond à la plus récente à disposition au moment de la réalisation de cette étude de dangers, à savoir celle du LIDAR 2015. L'utilisation de levés topographiques réalisés en 2018 a permis d'ajouter la hauteur des murs d'enceinte de l'usine de Chedde.
- Les débits de crue modélisés sont les suivants :

Débits de crues (m ³ /s)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₂	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀
Débit pointe de l'hydrogramme d'entrée	130	182	230	280	326	468

Tableau 26: Débits pointes des hydrogrammes d'entrée du modèle

8.2.2 Synthèse des résultats de modélisations du scénario A

Les premiers débordements de l'Arve apparaissent pour une crue de temps de retour compris entre 20 et 22 ans pour un débit de pointe d'environ 230 m³/s et se produisent au niveau du mur Est de l'usine de Chedde. Pour des crues plus importantes, allant jusqu'à Q₅₀, l'eau s'écoule en premier temps sur la partie Est de la commune, entre l'usine et la zone industrielle en bordure de l'Arve, comme illustré sur la **Figure 54**. Les hauteurs d'eau sont inférieures à 50 cm et la vitesse de propagation reste inférieure à 20 cm/s.

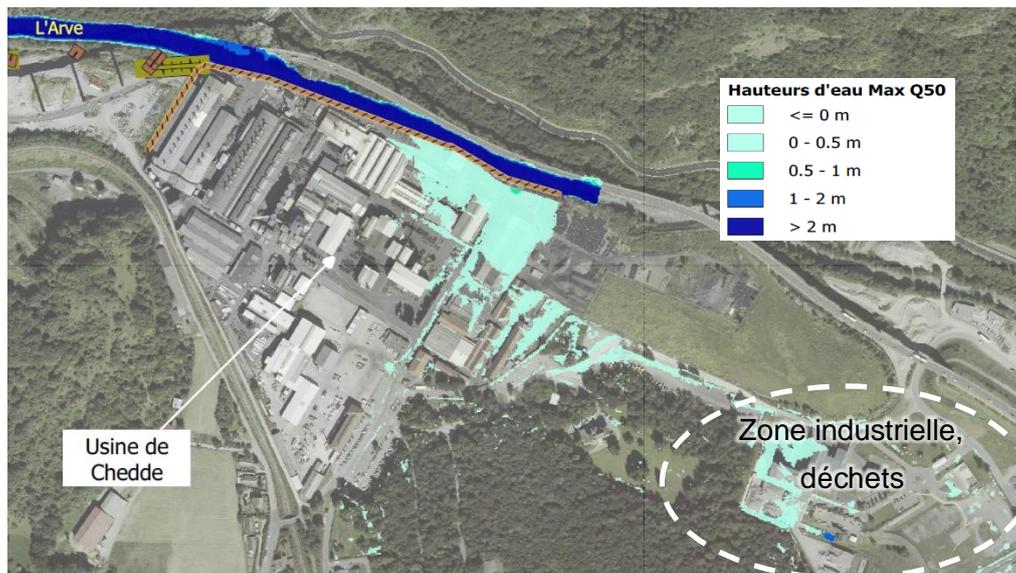


Figure 54: Illustration de la zone protégée pour une crue cinquantennale

A titre indicatif, au-delà d'une crue Q_{50} , les eaux de débordement inondent l'usine sur toute sa largeur et s'écoulent sur la partie Ouest de Passy jusqu'au barrage de l'Abbaye pour une crue centennale, compte tenu de la pente naturelle de la commune vers l'aval.

Concernant les vitesses d'écoulement, celles-ci sont naturellement plus élevées au droit du mur de l'usine puisque cette zone est étroite. Un risque d'affouillement du lit n'est pas à exclure.

Les deux digues constitutives du système d'endiguement quant à elles protègent du risque d'inondation pour des débits de crue supérieur à Q_{1000} .

8.3 SCENARIO B

Afin de poursuivre l'étude des risques de venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée une hypothèse d'engravement du lit a été prise en compte dans ce scénario B. La situation d'engravement considéré s'appuie notamment sur l'étude des crues historiques connues sur ce secteur mais également au regard du contexte local, où la problématique de transport solide et dépôt de matériaux dans le lit de l'Arve après la confluence avec le Nant-Bordon pourrait être importante.

Le scénario B correspond alors à un scénario où le lit de l'Arve est engravé de sorte à représenter l'engravement observé lors de la crue historique de 1992 (50 000 m³ de matériaux déposés dans le lit de l'Arve).

8.3.1 Construction du modèle hydraulique du scénario B

Afin de modéliser la défaillance fonctionnelle du scénario B, les éléments et hypothèses suivants ont été pris en compte :

- La modélisation hydraulique réalisée comprend deux zones : une zone 1D correspondant au lit de l'Arve depuis une centaine de mètres en amont de la confluence Arve-Nant-Bordon jusqu'à 50m en aval de la fin du mur Est de l'usine de Chedde. Quant à la zone 2D, elle

correspond à la plaine d'inondation de la commune de Passy. L'emprise de ces deux zones est disponible dans le rapport **3031.0-R30-Rapport hydrologique et hydraulique_A**.

- La topographie utilisée pour le fond du lit de l'Arve et la plaine d'inondation correspond à la plus récente à disposition au moment de la réalisation de cette étude de dangers, à savoir celle du LIDAR 2015. Cependant, afin de représenter l'engravement du lit de l'Arve issu du lidar 2015 a été réhaussé à l'aide des profils en travers établis dans une étude antérieure réalisée par HYDRETUDES en 2001. Ce nouveau fond du lit se veut représentatif de celui post crue 1992. L'utilisation de levés topographiques réalisés en 2018 a permis d'ajouter la hauteur des murs de l'usine de Chedde.
- Les débits de crue modélisés sont les suivants :

Débits de crues (m ³ /s)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₂	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀
Débit pointe de l'hydrogramme d'entrée	130	182	230	280	326	468

Tableau 27: Débits pointes des hydrogrammes d'entrée du modèle

8.3.2 Synthèse des résultats de modélisations du scénario B

Un engravement de 50 000 m³ de matériaux dans le lit de l'Arve, a pour conséquence d'engendrer des très légers débordements situés entre les digues. Cependant ces derniers sont mineurs et n'engendrent pas de débordements significatifs dans la plaine, avec un volume mineur contenu par la topographie du site (zone de dépôts/extractions de matériaux). Ce sont les débordements au droit du mur Est de l'usine de Chedde qui sont seuls responsables du risque d'inondation de la commune, ils ont lieu dès Q₂₀, soit pour un débit estimé à 230 m³/s.

En conséquence de ces observations, les cartes de répartition des hauteurs et vitesses obtenues (**Annexe 6**) sont similaires à celles du scénario B malgré un engravement plus important.

8.4 SCENARIO C

Enfin une défaillance structurelle du système d'endiguement a été étudiée. Celle-ci a été choisie après analyse des données issues des sondages géotechniques réalisés dans le cadre de cette étude de dangers en mai 2020 par le groupe HYDROGEOTECHNIQUE, complétée par les interprétations des modélisations hydrauliques réalisées par Lombardi.

La défaillance structurelle retenue correspond à **une rupture par formation de brèche** au niveau du mur de l'usine de Chedde, dans sa partie amont où la hauteur est maximale. Ce choix s'est porté sur cette défaillance en raison d'un mauvais état du mur et d'une absence partielle de ferrailage révélée par les investigations géotechniques.

Afin d'obtenir plus de précisions sur les résultats des sondages géotechniques ou des interprétations réalisées sur ces derniers, veuillez-vous rapprocher du SM3A pour consulter les documents relatifs : le **Rapport d'étude Géophysique** réalisé par le groupe Hydrogéotechnique ainsi que le rapport **3031.0-R12-Rapport de diagnostic approfondi du système d'endiguement_0**.

8.4.1 Construction du modèle hydraulique du scénario C

Afin de modéliser la défaillance fonctionnelle du scénario 3, les éléments et hypothèses suivants ont été pris en compte :

- La modélisation hydraulique réalisée comprend deux zones : une zone 1D correspondant au lit de l'Arve depuis une centaine de mètres en amont de la confluence Arve-Nant-Bordon jusqu'à 50m en aval de la fin du mur Est de l'usine de Chedde. Quant à la zone 2D, elle correspond à la plaine d'inondation de la commune de Passy. L'emprise de ces deux zones est disponible dans le rapport **3031.0-R30-Rapport hydrologique et hydraulique_A**.
- La topographie utilisée pour le fond du lit de l'Arve et la plaine d'inondation correspond à la plus récente à disposition au moment de la réalisation de cette étude de dangers, à savoir celle du LIDAR 2015. L'utilisation de levé topographiques réalisés en 2018 a permis d'ajouter la hauteur des murs de l'usine de Chedde.
- Le débit de crue modélisé correspond à Q_{100} ($\sim 320 \text{ m}^3/\text{s}$).
- **Caractéristique de la rupture du mur** : Le temps de rupture a été pris égal à 0.1h (6min) et la largeur de brèche égale à 20.4m. Ces choix sont expliqués dans le document **3031.0-R33-Rapport hydraulique rupture digues_0 (Annexe 14)**.

8.4.2 Synthèse des résultats de modélisations du scénario C

Ce scénario C illustre les conséquences d'une rupture brutale d'une partie du mur de Chedde, sur près de 20m. On trouve naturellement des vitesses d'écoulements supérieures à 1.5 m/s à proximité immédiate de la brèche. Toute l'usine de Chedde est inondée et la vulnérabilité dans cette zone est d'avantage importante devant les autres scénarios.

L'emprise complète des inondations se voit également élargie dans le cas de ce scénario 3, en comparaison avec la situation sans rupture et un débit centennal, cette emprise peut se décrire comme telle :

- Toute la plaine de Passy et l'intégralité de la surface de l'Usine, du aux débordements au niveau de la partie aval du mur de l'usine et en amont. L'emprise des inondations s'étend au-delà de la ligne ferroviaire. Au total, 443 000 m^3 déversés dans la plaine d'inondation contre 15 000 m^3 sans rupture.

L'emprise des débordements dans le cadre du scénario de la rupture est illustrée sur la **Figure 55**.

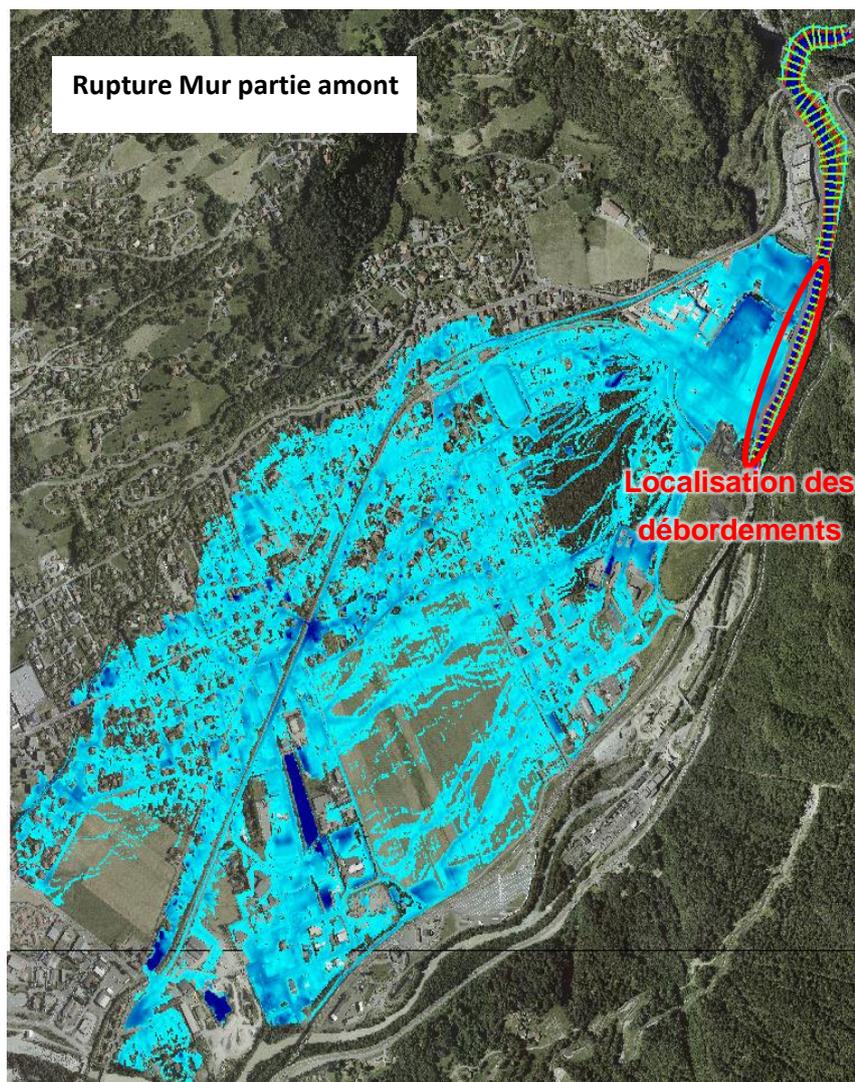


Figure 55 : Résultats du scénario 3

8.5 ENJEUX PRESENTS SUR LA COMMUNE DE PASSY ET IMPACTS POTENTIELS DES VENUES D'EAU

8.5.1 Enjeux présents sur la commune de Passy

En cas d'inondation, provenant des débordements de l'Arve, un grand nombre d'enjeux se situent dans la plaine de Passy. Ces-derniers peuvent être recensés en plusieurs catégories présentées ci-dessous :

- Les **enjeux humains** : Ils concernent à la fois le nombre d'habitants de la commune, estimés à plus de 10 800 personnes selon l'Insee, ainsi que la population active, les divers employés des entreprises situées à Passy, qui ne vivent pas forcément sur place.
- Les **enjeux économiques** : caractérisés par les différents commerces (alimentaires et non alimentaires)
- Les **enjeux sociaux** : l'ensemble des services publics et des ERP.

8.5.2 Synthèse des enjeux et du nombre de personnes protégées

Le nombre de personnes protégées pour chacun des systèmes d'endiguement a été estimé en croisant les délimitations provisoires des zones protégées avec les bases de données nationales de population (source : Géoportail - Insee FiLoSoFi 2015) et de localisation des établissements recevant du public (ERP).

Afin de donner des estimations conservatives, les hypothèses suivantes ont été retenues pour réaliser les estimations :

- La capacité d'accueil maximale de tous les ERP situés au moins en partie dans la zone protégée est comptabilisée,
- La valeur haute de la catégorie d'effectif salarial à laquelle est rattaché toute entreprise située au moins en partie dans la zone protégée est comptabilisée,
- La valeur totale de la population résidente est comptabilisée pour tout carreau de la base de données INSEE (Insee FiLoSoFi 2015) intercepté au moins en partie par la zone protégée.

Le **Figure 56** représentent la superposition de ces informations pour chacun des systèmes d'endiguement étudiés.

Le **Tableau 28** présente une synthèse des estimations de personnes protégées pour chacun des systèmes d'endiguement considérés

Tableau 28 : Synthèse des estimations de personnes protégées

	Passy
ERP recensées dans la BDtopo (Capacité maximale d'accueil)	Cabinets médicaux (37pers) SGL Carbon, sport (325pers) Ecole Chedde centre et cantine (120pers) Boulodrome (251pers) A.P.E.I du Pays du Mont-Blanc (97pers) Bowling (518pers) Magasin METRO (326pers) Carre Pro (18pers) Garderie Marlioz (18pers)
Entreprise et commerces (valeur haute des effectifs salariaux)	SGL Carbon (200 salariés) Déchetterie Passy Etc
Population permanente	~ 10 800 personnes
Total	>> 3000 personnes (limite classe B) ~ 13 000 personnes à minima

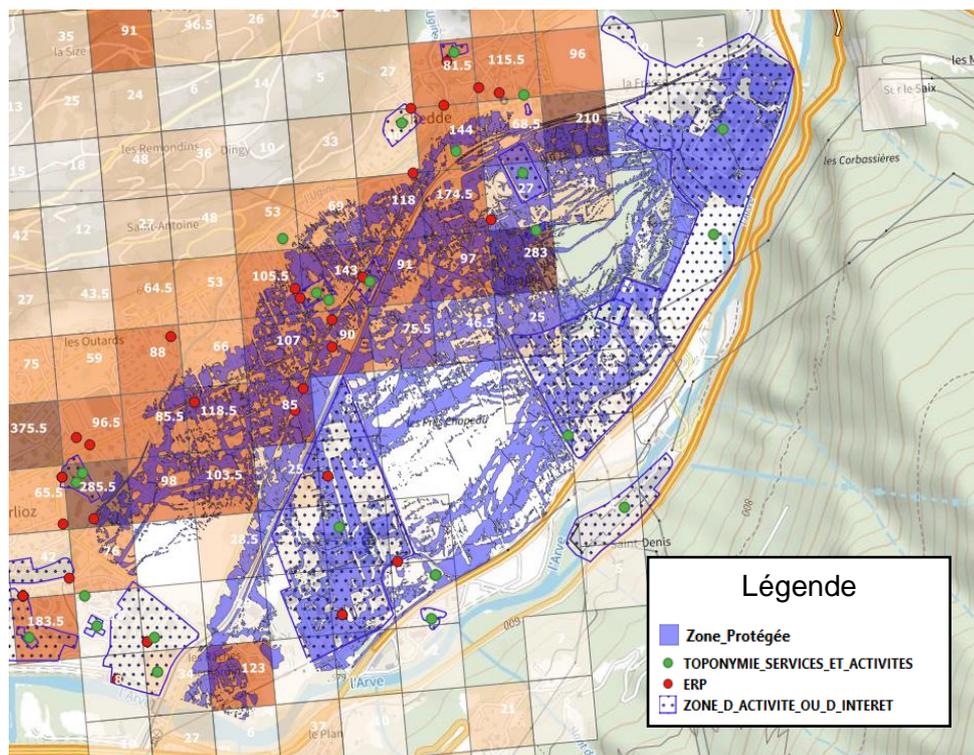


Figure 56 : Estimation du nombre de personnes protégées par le système d'endiguement « Protection de Chedde » à Passy

Enfin, la **Figure 57** ci-contre représente les conditions dans lesquelles une personne peut être entraînée par le courant. Concernant l'inondation dans la plaine, pour les 3 scénarios, dès lors que les écoulements atteignent la plaine et les zones habitées, c'est-à-dire au-delà d'une crue Q_{50} ($\sim 280m^3/s$), la limite de déplacement debout d'un enfant ou d'une personne âgée, qui se situerait dans la zone de débordement, peut être atteinte.

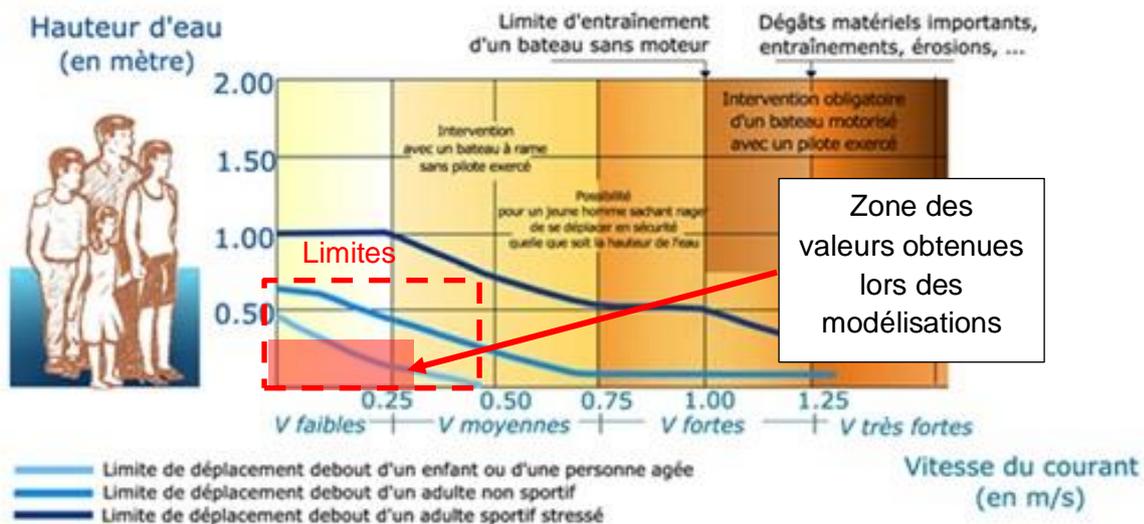


Figure 57 : Graphique représentant les conditions d'entraînement par les eaux d'écoulement

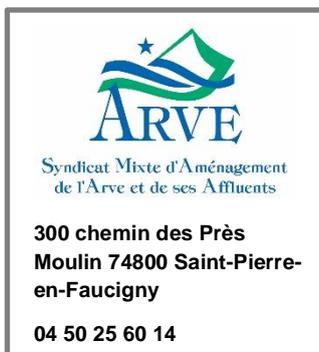
9 PRESENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS

Au-regard des éléments apportés dans les précédents chapitres, qui permettent de décrire l'environnement de la zone d'étude, le système d'endiguement concerné par cette étude de dangers, l'analyse du fonctionnement, de la structure et de l'état de ce dernier ainsi que la description des risques de venues d'eau dans la zone protégée, il s'agit ici de présenter l'organisation mise en place par le SM3A pour assurer la surveillance de ses ouvrages en toutes circonstances (avant, pendant et après crises).

9.1 L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE POUR CE QUI CONCERNE LES ASPECTS LIES AUX PERFORMANCES DU SYSTEME ET A LA SECURITE (Y COMPRIS LA COORDINATION QUE LE GESTIONNAIRE EST AMENE A METTRE EN ŒUVRE AVEC D'AUTRES RESPONSABLES D'OUVRAGES) ;

9.1.1 Propriétaire et gestionnaire de l'ouvrage

9.1.1.1 Identité



Le gestionnaire du système d'endiguement dit « Protection de Chedde » est le **SM3A**. En tant qu'autorité compétente GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) il se doit d'assurer la gestion des ouvrages de protection dont il est propriétaire sur la commune de Passy, à savoir les deux digues constitutives du système d'endiguement dit « Protection de Chedde ».

Un troisième ouvrage est constitutif du système d'endiguement, il s'agit du mur Est de l'usine de Chedde, mentionné tout au long de ce document. Actuellement, ce mur est la propriété de l'entreprise SGL Carbon, dont les coordonnées sont les suivantes :

131 Place Aristide Berges

74190 Passy

04.50.47.47.00

Le SM3A assure la gestion de ce mur au titre des inondations. Une convention a été mise en place entre le syndicat et l'entreprise SGL Carbon fin décembre 2021. Cette-dernière est disponible en **Annexe 15** de cette étude de dangers.

9.1.1.2 Organisation et moyens humains du gestionnaire

Le SM3A est organisé autour 3 pôles techniques que sont : « Prévention des inondations » « Milieux » « Entretien et surveillance des cours d'eau ». Les pôles techniques s'appuient sur 1 pôle administratif.

Pôles et services chargés de la gestion des ouvrages classés Système d'Endiguement

Au sein du pôle « prévention des inondations » qui assure la mise en œuvre du Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) et de la Stratégie Locales de gestion des Risques Inondations (SLGRI) du bassin versant de l'Arve, le service « systèmes d'endiguement », est en charge de la gestion du parc des ouvrages classés en système d'endiguement du SM3A.

Ce service composé d'un référent, de deux techniciens ouvrage, et d'un agent de surveillance. Le service est sous l'autorité directe du responsable de pôle « Prévention des inondations », membre de l'équipe de direction.

Le pôle « prévention des inondations » comporte également des compétences internes en hydraulique, géomorphologie et spécificités des territoires de montagnes.

Le service « systèmes d'endiguement » s'appuie également sur les ressources du pôle « Entretien et surveillance des cours d'eau ». Ce pôle opérationnel composé d'un responsable et de 7 techniciens RIVIERE ont reçu pour mission première, de mettre en œuvre la compétence Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations (GEMAPI), tant sur le volet GEMA que sur le volet PI. Ils assurent une surveillance des cours d'eau, entreprennent des travaux, dans le cadre de déclaration d'intérêt général ou d'intervention d'urgence, de gestion des boisements de berges et d'embâcles, de curage des atterrissements, et assurent par la même occasion une surveillance visuelle des ouvrages classés sur les linéaires entretenus. Ils sont en mesure de détecter les éventuels désordres sur les ouvrages de protection, de faire remonter l'information et d'intervenir en cas de besoin pour faire cesser ou limiter les conséquences des désordres.

Ils constituent également les premiers moyens humains de terrain en cas de crise.

Ainsi, les deux pôles « prévention des inondations » et « entretien et surveillance des cours d'eau » sont organisés pour assurer une surveillance et une gestion adaptées des ouvrages classés en système d'endiguements sous responsabilité du SM3A.

La répartition des périmètres d'intervention des techniciens « ouvrages » et des techniciens de rivières est définie géographiquement et s'accompagne de référents techniques dans les domaines spécifiques que sont : l'hydraulique, le boisement, la géomorphologie...

L'agent de surveillance assure pour sa part, les visites annuelles de surveillance sur chaque ouvrage et complète les équipes en cas de crise.

9.1.1.3 Moyens matériels

Chaque technicien RIVIERE ou OUVRAGE HYDRAULIQUE (OH) et l'agent de surveillance dispose d'équipements de protection individuel (chaussures, bottes, veste de pluie et en fonction de leur évolution sur le terrain, des gilets de sauvetage, des casques et des gilets rétro réfléchissants), de matériel de communication (téléphone portable), de géolocalisation (GPS) et de véhicule dédié.

Le syndicat dispose de véhicules routiers et de véhicules tout-terrain dédiés spécifiquement aux techniciens RIVIERE et au service Système d'Endiguement.

Chaque équipe dispose du matériel de sécurité nécessaire à ses missions et d'un kit inondation : phare, cartes, chasubles fluo, casques de chantier, clés accès cours d'eau, classeurs de documents crise, vêtement de pluie, gilet de sauvetage...

La liste et la description du matériel à disposition du SM3A (véhicules et autre matériel) pour assurer le suivi des ouvrages sont données en annexes IV et V.

Par ailleurs, pour faciliter la saisie et la centralisation des données, le SM3A dispose d'un logiciel métier « SIRS » développé par France Digue.

Ce logiciel permet de centraliser les informations collectées et produites, de planifier des interventions, de cartographier les ouvrages et désordres et enfin de produire des rapports de surveillance et autre document synthétique.

Une tablette de terrain est également à disposition des agents pour saisir directement les relevés et observations sur SIRS.

- Qui est le gestionnaire + coordonnées
- Quels services doivent être prévenus en cas de crise
- Moyens mis en œuvre pour assurer l'entretien des ouvrages → moyens humains internes et moyens matériels internes, prestataires externes

9.1.2 Organisation du gestionnaire concernant les aspects liés aux performances du système

9.1.2.1 Gestion de la végétation – plan d'organisation existant du SM3A

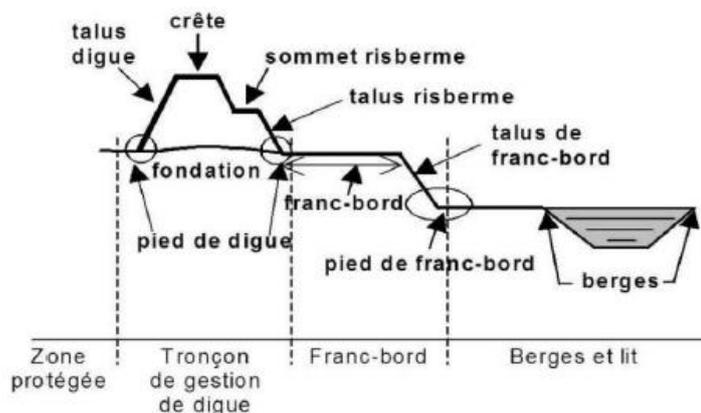
La végétation sur les ouvrages classés en système d'endiguement présente 4 inconvénients :

- Les grands arbres génèrent un risque par basculement et arrachement de la souche, et par conséquent de détérioration de la digue. Les chablis (arbres tombés par le vent) présents dans l'eau créent des tourbillons en crue provoquant des érosions locales,
- Les racines sont une source de renard hydraulique en favorisant les circulations d'eau au sein de la digue,
- La végétation dense est une gêne à la surveillance des ouvrages,
- Les arbres emportés lors des crues présentent un risque de déstabilisation des ouvrages

Les consignes de gestion de la végétation sont différentes selon la partie de l'ouvrage à traiter :

- La digue qui subit les pressions exercées lors des mises en charge nécessite une parfaite visibilité de ses surfaces lors des événements et ne peut supporter aucun développement racinaire pouvant favoriser la circulation d'eau ;
- Le franc-bord (entre pied de digue et berge) qui subit essentiellement des arrachements ou chutes d'arbres, peut supporter une densité raisonnée d'essences arborées si les individus sont bien portant et peu haut ;

- La berge propice généralement à la formation d'embâcles, ne peut accepter de grands arbres.



9.1.2.2 Organisation d'un désordre détecté sur l'ouvrage y compris sur le mur de Chedde (convention de passage ou réalisation du suivi par des personnes de SGL Carbon)

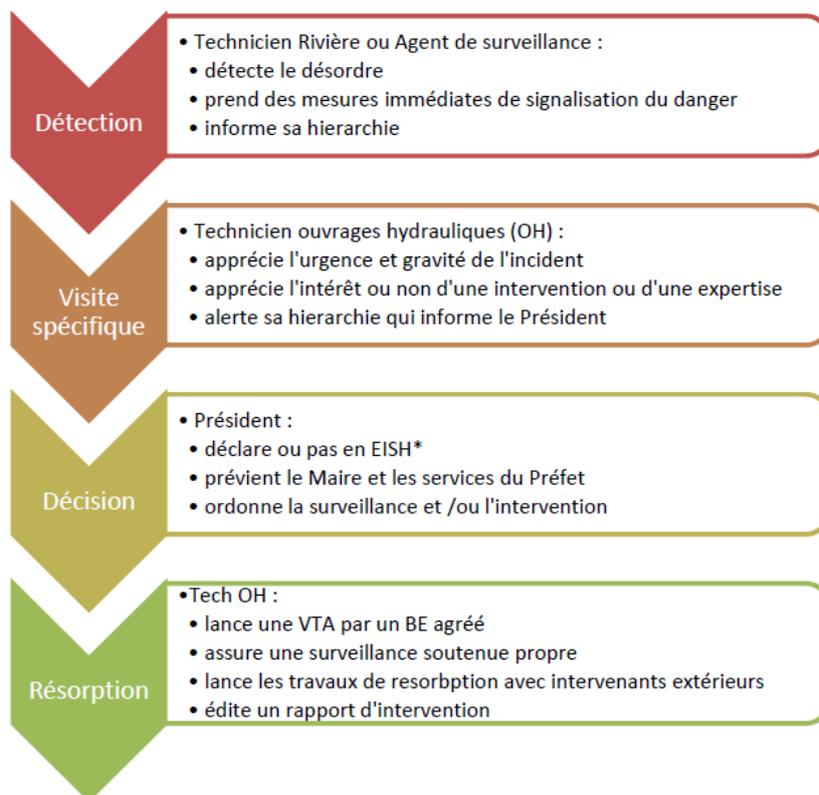
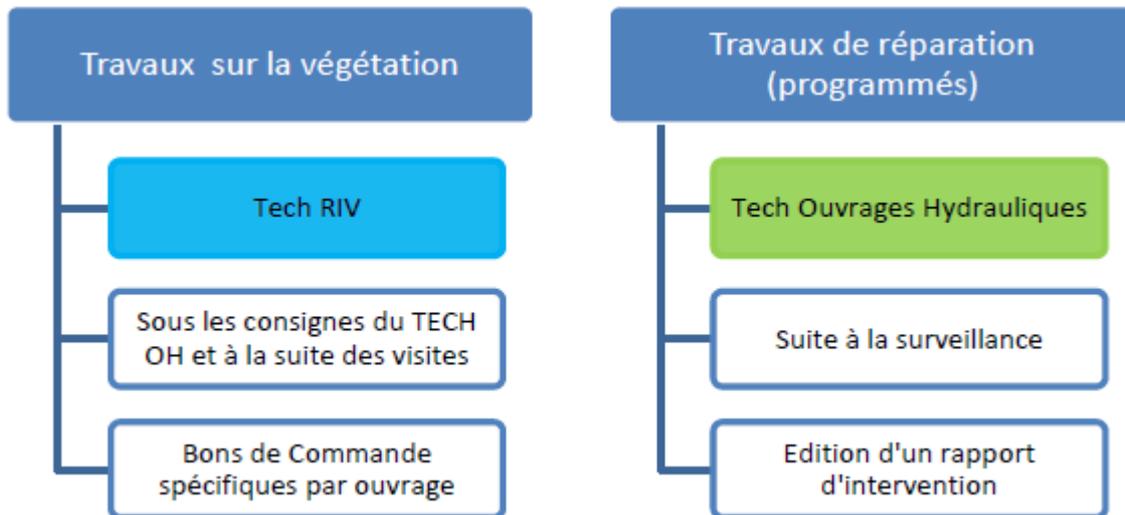


Figure 58 : Organisation d'un désordre détecté sur l'ouvrage

Le mur intérieur n'est pas regardé actuellement.

9.1.2.3 Organisation et interventions programmées

Les interventions programmées peuvent être soit des travaux sur la végétation soit des travaux de réparation en génie civil.



Pour l'ensemble de ces interventions, les techniciens s'appuient sur des intervenants extérieurs sous contrat avec le SM3A.

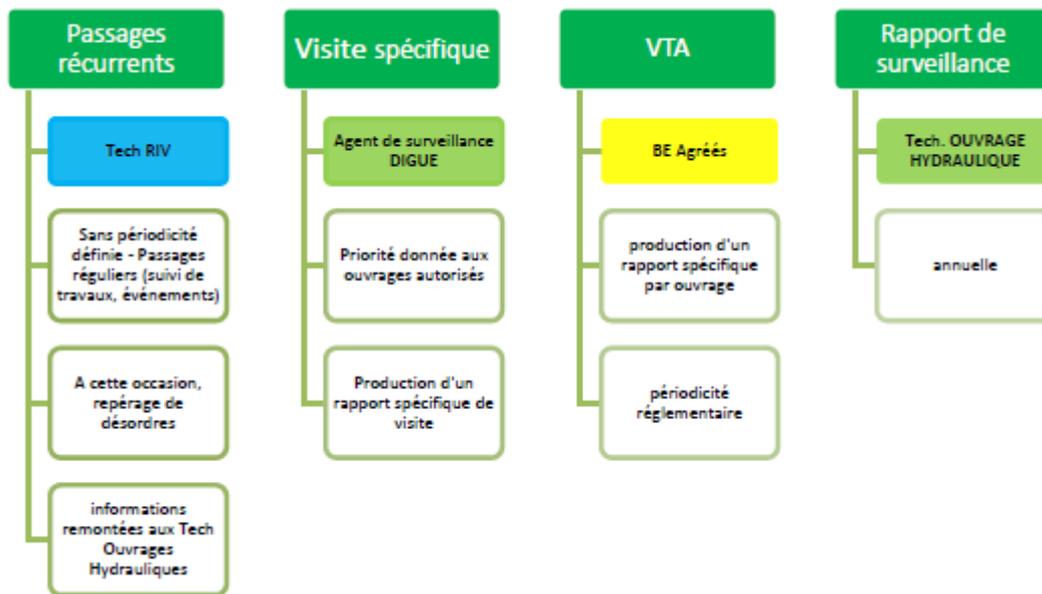
9.2 LES CONSIGNES ECRITES QUI TRADUISSENT LES MODALITES OPERATIONNELLES DE MISE EN ŒUVRE DE CETTE ORGANISATION PAR LE SM3A

L'ensemble des consignes écrites pour tous les aspects relatifs aux consignes de surveillance des ouvrages gérés par le SM3A (Syndicat Mixte d'Aménagements de l'Arve et de ses Affluents) est disponible dans le document **Consignes de surveillance des ouvrages SM3A**.

9.3 LA DEFINITION DES PRINCIPALES PROCEDURES QUI ENCADRENT L'IDENTIFICATION ET L'EVALUATION DES PRINCIPAUX RISQUES, LA SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE EN TOUTES CIRCONSTANCES, LA GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE ET LA GESTION DU RETOUR D'EXPERIENCE

9.3.1 Organisation des missions de surveillance générale

Une organisation spécifique entre les deux pôles (service système d'endiguement et service Entretien et surveillance des cours d'eau) a été mise en place pour assurer la surveillance générale :



Pour faciliter les échanges entre Pôle « prévention des inondations » et « entretien et surveillance des cours d'eau », une réunion annuelle est organisée en février ou mars. A cette occasion, sont données les consignes d'entretien de la végétation sur les ouvrages classés. De même, des réunions bimensuelles sont planifiées entre pôles sur des thématiques communes : gestion de crise, hydrologie...

Le pôle « milieux » contribue également aux passages récurrents à l'occasion des inventaires faune/flore.

9.3.2 Rapport de surveillance

Le SM3A tient pour chacun des ouvrages un rapport de surveillance (papier et informatique) qui a vocation à être transmis à la préfecture tous les 5 ou 6 ans en fonction du classement de l'ouvrage.

La production du rapport de surveillance se fait par extraction des données issues du SIRS Digue.

9.3.3 Veille quotidienne

Une veille est assurée quotidiennement par l'ensemble des agents techniques du SM3A au travers des éléments d'alertes précités :

- Vigicrues par le SPC alpes du nord qui ne démarre qu'à Sallanches
- Prévision localisée du risque de crue à Chamonix par Météo-France
- Bulletin PréviInfo par Météo-France

Outre ces dispositifs, la veille quotidienne s'appuie également sur les réseaux de mesure pluviométrique et hydrométrique et sur différents sites internet notamment Suisse dont la liste est en annexe XIII du document de surveillance du SM3A.

Le SM3A dispose également d'un nouveau superviseur EDF pour la prévention des inondations des nombreuses stations hydrométriques mises en place entre 2018 et 2021.

Le réseau de stations hydrométriques sur le bassin versant de l'Arve s'est étoffé au cours des dernières années. En effet, le réseau DREAL-SPC comporte aujourd'hui 15 stations dont 7 installées avant 2018 (Arve à Chamonix et Sallanches, Giffre à Marignier, Risse à St Jeoire, Bronze à Bonneville, Menoge à Bonne, Borne à St Jean de Sixt) et 8 installées depuis 2018 dans le cadre du renforcement du réseau en vue du dispositif Vigicrue devenu opérationnel en mars 2020 (Arve à Chamonix, Passy, Cluses, Bonneville et Reignier, Diosaz à Servoz, Giffre à Samoëns et Taninges). EDF possède également 2 stations à Chamonix et le Canton de Genève 2 stations (Foron du Chablais à Ambilly et Arve à Genève). Par ailleurs, de manière à compléter ce réseau sur les têtes de bassin versant, le SM3A a installé 15 stations entre 2018 et 2021 dans un objectif de prévision des crues (7 stations) et de suivi quantitatif (8 stations).

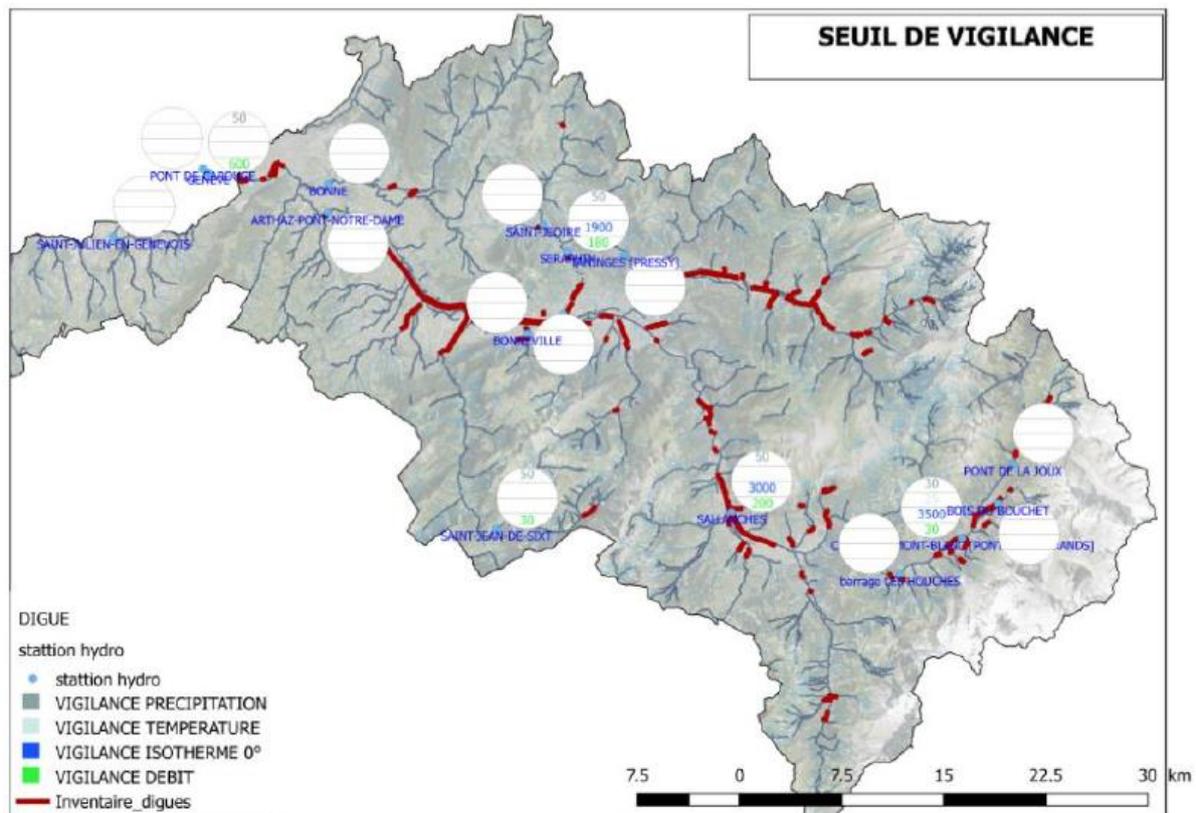
Pour répondre à son besoin de suivi des débits des cours d'eau et d'alerte en crue, le SM3A a engagé en 2020 un marché avec EDF pour le développement d'un outil de prévision des crues et de supervision des stations hydrométriques du bassin versant. Le superviseur aujourd'hui opérationnel permet de visualiser l'ensemble des mesures de hauteur/débit existantes sur le bassin versant, ainsi que les stations pluviométriques EDF. Des prévisions de débits sont également disponibles au droit de 5 stations :

- L'Arve à Chamonix et Sallanches,
- Le Giffre à Samoëns,
- Le Borne à St Jean,
- Le Foron du Chablais Genevois.

Par ailleurs, EDF envoie plusieurs fois par semaine au SM3A un bulletin hydrométéorologique spécifique à son territoire, décrivant l'évolution de la situation météo pour les jours à venir (précipitations, température et réaction attendue des principaux cours d'eau).

Une astreinte téléphonique 7j/7 et 24h/24 est également proposée en cas de situation problématique.

Enfin le SM3A, par retour d'expérience sur les crues passées, a défini des seuils de mise en vigilance par cours d'eau pour différents types de (combinaison de) paramètres (prévision de pluviométrie, prévision d'évolution de l'isotherme °C, hauteurs d'eau mesurées...). Il s'agit d'une formalisation du « savoir-faire » des personnels du SM3A pour sa mise en vigilance interne, en tant que gestionnaire de cours d'eau.



9.3.4 Surveillance soutenue des évolutions météorologiques et hydrologiques

Quand nécessaire, la Direction active une surveillance plus soutenue de l'évolution météorologique et des niveaux hydrologiques des cours d'eau. Cette surveillance est assurée par le pôle prévention des inondations avec l'appui du responsable du pôle opérationnel. Cette surveillance s'appuie sur les mêmes outils que la veille quotidienne. Elle complète également son analyse en faisant appel aux services d'un prévisionniste (cf Prévisionniste météorologique en ligne.)

A ce stade, la Direction et les responsables de pôles établissent la liste des ressources humaines pouvant être disponibles, leur affecte les véhicules opérationnels, et informe les agents concernés et le Président d'un éventuel événement.

- L'identification et l'évaluation des principaux risques
- Surveillances de l'ouvrage en toute circonstances
- Visites de surveillances programmées VSP
- Visites de surveillances continues
- Visites techniques approfondies VTA
- Visites consécutives à des événements particuliers
- Contenu du rapport de surveillance
- Gestion des situations d'urgence
- Les moyens pour anticiper l'arrivée et le déroulement des crues

- La vigilance pluie-inondation
- L'état de veille
- L'état de vigilance
- L'état de crue
- L'état post crue
- Gestion du retour d'expérience

9.4 LES MOYENS D'INFORMATION SUR LES CRUES OU LES TEMPETES, Y COMPRIS LORSQU'UN AMENAGEMENT HYDRAULIQUE EST MIS EN ŒUVRE EN ASSOCIATION AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT ;

En tant que territoire de montagne à relief marqué, dont 60% se situe à plus de 1000 m d'altitude et 6% est englacé, le bassin versant de l'Arve subit des événements hydrométéorologiques imprévisibles et violents, rendant impossible la constitution d'un système de veille et d'alerte de crue précis et à fiabilité garantie.

Toutefois le SM3A est tenu informé des conditions météorologiques du mieux que possible.

9.4.1 Bulletin Météo France : PrévInfo

Le SM3A souscrit entre avril et novembre, un abonnement auprès de Météo France pour le service « PrévInfo ». Il s'agit d'un bulletin météo comportant les prévisions en montagne sur 6 jours avec l'isotherme 0, actualisé 2 fois par jour (7h30 / 16h30).

9.4.2 Prévisionniste météorologique en ligne

Par ailleurs, en cas d'événement, le SM3A bénéficie d'un prévisionniste en ligne après avoir déposé un message sur une boîte vocale.

L'incertitude de ce type de service tient au fait que le prévisionniste peut laisser 1 et 2 h entre le message et son appel auprès du SM3A.

9.5 LES PROCEDURES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION AVEC LES AUTORITES COMPETENTES POUR LA MISE EN SECURITE DES POPULATIONS EN PERIODE DE CRUE OU DE TEMPETE, ADAPTEES AUX DIFFERENTS CAS ET A LEURS CINETIQUES

9.5.1 Les différents acteurs

Chaine de responsabilité

La répartition des rôles et des responsabilités dans la gestion de crise est multiple et s'applique à plusieurs niveaux.

- **L'Etat** responsable d'organiser la surveillance et la prévision des crues, grâce notamment au service Vigicrues ;
- **Le préfet** responsable de la protection civile ;
- **Le Maire** responsable de l'établissement du Plan Communal de Sauvegarde (PCS), décideur sur la mise en place une Réserve Communale de Sécurité Civile (RCSC), et Directeur des Opérations de Secours ; Il exerce également un pouvoir de police s'agissant de l'information préventive, la surveillance, l'alerte et la mise en sécurité des personnes.
- **Les gestionnaires d'ouvrages** classés Système d'Endiguement responsables de la conduite des études (EDD, VTA...), de la surveillance et des travaux d'entretien ;
- **Les citoyens** qui doivent adopter des comportements et des réflexes adaptés.

La responsabilité du SM3A découle de l'exercice de la compétence transférée en matière de Prévention des Inondations (GEMAPI) et plus spécifiquement sur la gestion des ouvrages classés Système d'Endiguement en période de crise.

Le SM3A se doit de :

- D'assurer une surveillance adéquate des ouvrages en déployant les moyens humains suffisants ;
- D'établir une véritable chaîne d'information pour alerter les décideurs compétents en matière de sécurité publique ;
- D'être capable d'agir en urgence sur ces ouvrages pour une remise en état ou résorption des désordres si et seulement si, les travaux engagés n'aggravent pas le risque ;
- D'assurer la sécurité de ses équipes sur le terrain ;
- D'assurer les réparations nécessaires en post-crise.

Les opérations de secours sont coordonnées sous une direction unique, assurée par les maires ou le préfet, autorités de police générale, investis de pouvoirs étendus en cas de situation d'urgence.

Liens avec certains acteurs spécifiques de la gestion de crise

Le service interministériel de défense et de protection civile (SIDPC) est le coordinateur principal des structures et acteurs mobilisables (dont le SM3A) sur le département durant les événements climatiques nécessitant une surveillance particulière sur les ouvrages. Il intervient pour coordonner les moyens nécessaires à la gestion de crise, en particulier dans le cadre du plan ORSEC. Le SIDPC assure la coordination entre SM3A et SDIS si besoin.

Les services communaux et intercommunaux sont des interlocuteurs de terrain identifiés dans les PCS, en contact permanent avec leur territoire. Ils assurent une surveillance de l'état des cours d'eau et des points particuliers à surveiller et constituent ainsi un maillon essentiel de la chaîne de surveillance sur le terrain.

Les services du CD74 gestionnaire du domaine routier avertissent aussi régulièrement que possible le SIDPC et le SM3A lorsque l'événement est consécutif à un dysfonctionnement d'un cours d'eau.

Le SM3A est identifié dans le plan ORSEC de la Haute-Savoie (version 2016) pour les missions suivantes :

- Gestion des cours d'eau sur les secteurs de compétences Arve, Giffre & Risse, Borne, Menoge, haute Vallée de l'Arve : Entretien des lits, des berges, des boisements de berges et de certains ouvrages hydrauliques (DIG ou procédure d'urgence)
- Surveillance des digues SM3A
- Travaux en rivière sur cours d'eau cités et affluents
- Gestion des matériaux solides sur Arve et certains affluents de la Haute Vallée
- Interventions sur la prévention des crues et le post crue

Une fiche contact du plan Orsec identifie des contacts par ordre de préférence (4 contacts).

9.5.2 Les procédures d'informations et de communications

9.5.2.1 Dispositif d'alerte Préfecture

La préfecture relaie les vigilances météorologiques émises par Météo France. Dès qu'une vigilance météo de niveau orange est donnée, la préfecture contacte par fax ou par texto les différentes communes du territoire. Le SM3A est destinataire les alertes émises par le Service interministériel de défense et de protection civile (SIDPC).

Un protocole de transmission a été acté entre les services de l'Etat et le SM3A. Le SIDPC assure :

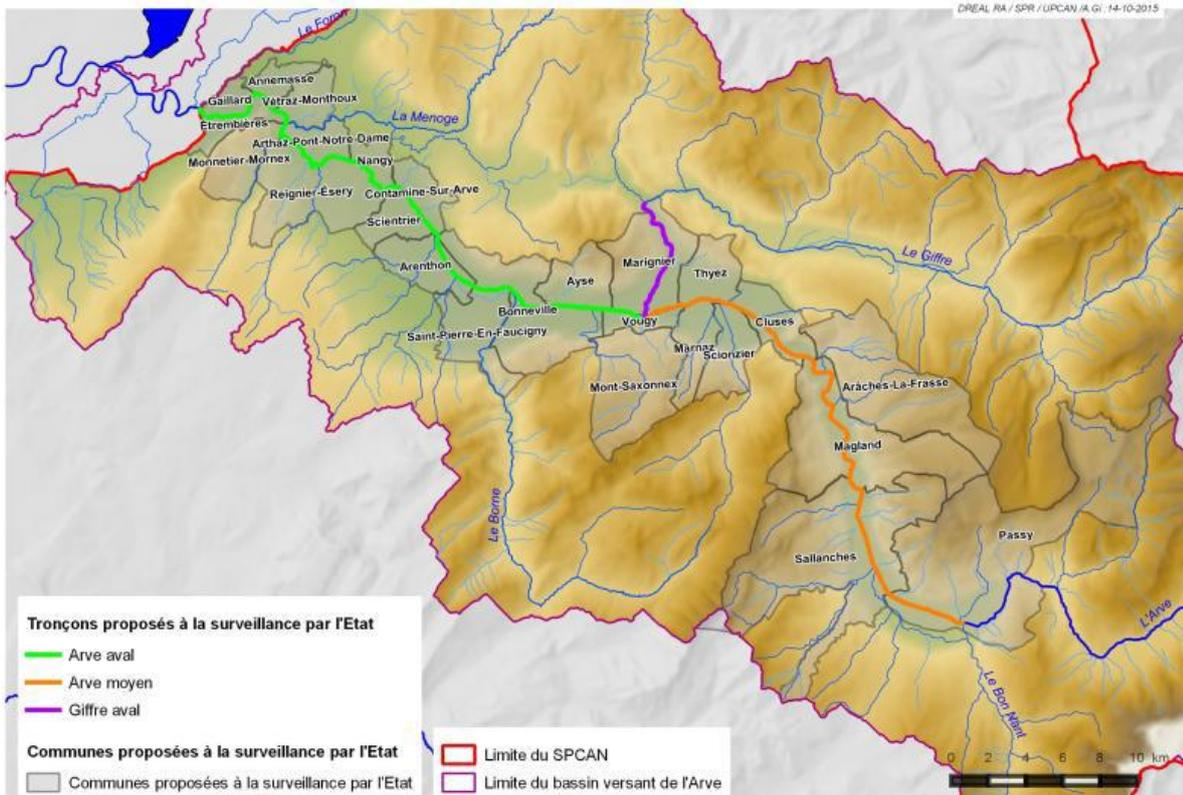
- L'envoi d'un SMS : 1 série de 4 numéros de téléphone. Appel en cascade : le premier ne validant pas la réception du SMS, le second numéro est contacté jusqu'à l'obtention d'une réponse par retour de code.
- L'envoi de Mails sur plusieurs adresses (3 adresses spécifiques + mail général SM3A)

9.5.2.2 Vigicrues

Le dispositif Vigicrues porté par le SPC Alpes du Nord est opérationnel sur l'Arve en aval de Passy (Arve médian et Arve aval) et sur le Giffre en aval de sa confluence avec le Risse (Giffre aval) depuis mars 2020.

Il est complété par un renforcement des suivis météorologique (rénovation et implantation de nouveaux radars et pluviomètres en Suisse et en France, action inscrite au contrat de Plan Etat-Région 2015-2020), et hydrométrique (création et modernisations de stations de mesure,) et d'une modélisation intégrant la partie glaciaire du bassin versant de l'Arve.

Le réseau de stations hydrométriques DREAL-SPC sur le bassin versant de l'Arve s'est étoffé au cours des dernières années. En effet, il compte aujourd'hui 12 stations dont 7 installées avant 2018 (Arve à Chamonix et Sallanches, Giffre à Marignier, Risse à St Jeoire, Bronze à Bonneville, Menoge à Bonne, Borne à St Jean de Sixt) et 5 installées depuis 2018 dans le cadre du renforcement du réseau (Arve à Passy, Bonneville et Reignier, Diosaz à Servoz, Giffre à Samoëns).



Tronçons intégrés au dispositif Vigicrue depuis 2020

Les tronçons Vigicrue actuellement opérationnels sont : Arve aval, Arve médian et Giffre aval. Les sous-bassins versant situés en amont de ces tronçons Vigicrue ne sont pas intégrés au dispositif du fait de leur temps de réponse trop faible (inférieur pour le cas de l'Arve à 6 heures). Sur ces tronçons, d'autres dispositifs portés par le SM3A prennent le relais.

Accéder au bulletin d'information local
 publié le 28.09.2022 à 09h50 HL

Production de l'information au moins deux fois par jour, à 10h et 16h.

Situation par tronçon de vigilance crues :

Voir sur la carte	Nom	Vigilance	RSS
📍	Arc aval	+	Vert 📡
📍	Arc moyen	+	Vert 📡
📍	Arve aval	+	Vert 📡
📍	Arve médian	+	Vert 📡
📍	Drac aval	+	Vert 📡
📍	Giffre aval	+	Vert 📡
📍	Isère Haute-Combe de Savoie	+	Vert 📡
📍	Isère aval	+	Vert 📡
📍	Isère grenobloise	+	Vert 📡
📍	Isère moyenne	+	Vert 📡

Carte statique Carte dynamique

Interface cartographique disponible sur le site de Vigicrue avec les tronçons disponibles sur le bassin de l'Arve (<https://www.vigicrues.gouv.fr>)

Pour chaque tronçon, des seuils de débits ont été définis au droit de stations de référence, déclenchant le passage au niveau de vigilance supérieur.

rivière	ARVE MÉDIAN				
ARVE	Station de référence : SALLANCHES				
niveau de vigilance	crues historiques			zone de transition	
	date	hauteur	débit	hauteur	débit
				3m40 à 3m50	320 à 330 m³/s
	22 sept 1968		280 m³/s		
	26 août 2014	2m80	237 m³/s	2m70 à 2m90	230 à 250 m³/s
	1 ^{er} mai 2015	2m68	222 m³/s		
	17 juil 2011	2m51	201 m³/s	2m40 à 2m60	190 à 210 m³/s

Exemple de seuils retenus pour les changements de couleur de Vigilance Crues (tronçon Arve médian)

9.5.2.3 Outils de prévision du SM3A

Pour répondre à son besoin de suivi des débits des cours d'eau et d'alerte en crue, le SM3A a engagé en 2020 un marché avec EDF pour le développement d'un outil de prévision des crues et de supervision des stations hydrométriques du bassin versant.

Le superviseur aujourd'hui opérationnel permet de visualiser l'ensemble des mesures de débit existantes sur le bassin versant, ainsi que les stations pluviométriques EDF. En plus des 11 stations hydrométriques DREAL_SPC, les données de 2 stations EDF et de 2 stations du canton de Genève sont également disponibles. Par ailleurs, les stations du SM3A sont également affichées (15 stations avec un objectif de prévision des crues (7 stations) et de suivi quantitatif (8 stations)).

Des prévisions de débits sont également disponibles au droit de 5 stations :

- L'Arve à Chamonix et Sallanches
- Le Giffre à Samoëns
- Le Borne à St-Jean-de-Sixt
- Le Foron du Chablais Genevois

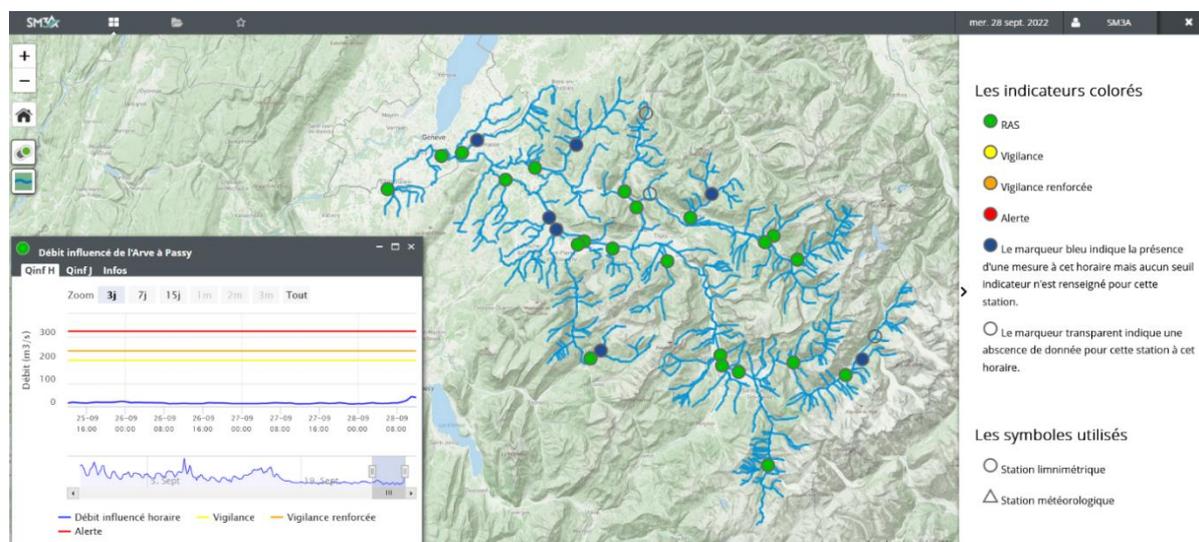


Figure 59 : Superviseur sur interface web produit par EDF pour le compte du SM3A

Référence : 3031.0

Par ailleurs, EDF envoie plusieurs fois par semaine au SM3A un bulletin hydrométéorologique spécifique à son territoire, décrivant l'évolution de la situation météo pour les jours à venir (précipitations, température et réaction attendue des principaux cours d'eau).

Une astreinte téléphonique 7j/7 et 24h/24 est également proposée en cas de situation problématique.

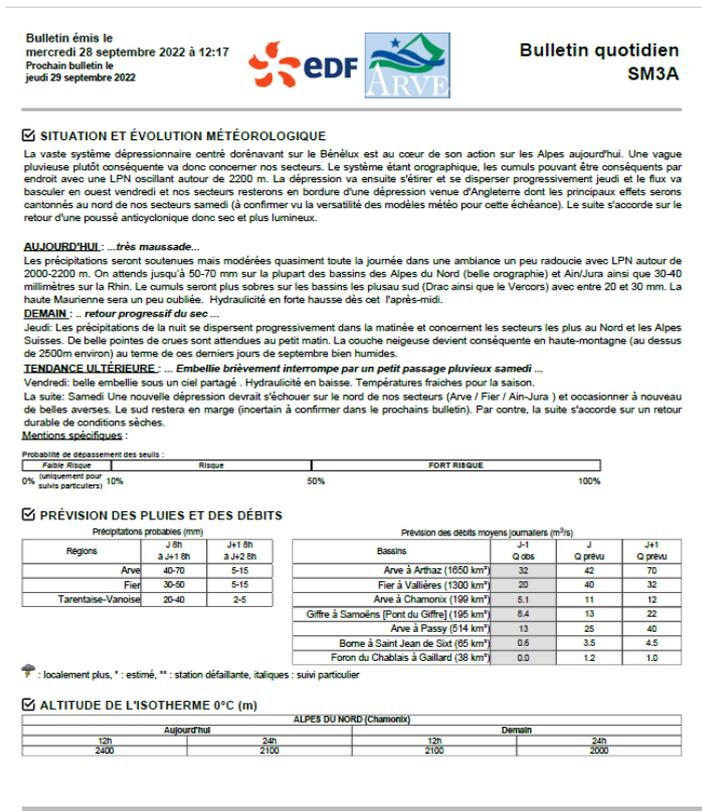


Figure 60 : Exemple de bulletin hydrométéorologique produit plusieurs fois par semaine pour le SM3A

Sur le même principe que celui de Vigicrue, le SM3A a défini des seuils de débits associés à des niveaux de vigilance, avec des couleurs (jaune, orange et rouge). En cas de prévision de dépassement de ces seuils, EDF appelle directement le téléphone d'astreinte du SM3A. Par ailleurs, le superviseur web SM3A permet de visualiser les points de mesure pour lesquels des seuils de vigilance sont dépassés (changement de couleur).

9.5.2.4 Les alertes

L'alerte est assurée par le SPC (Service de Prévention des Crues) Alpes du Nord et s'appuie sur les éléments suivants, correspondant à une crue quinquennale :

Rivière	Tronçon	Station de référence			
ARVE	ARVE MÉDIAN	SALLANCHES			
Niveau de vigilance	Définition	Crues historiques			
		Date	Hauteur	Débit	Principales conséquences prévisibles sur enjeux (non exhaustif)
4. ROUGE	Niveau 4 : ROUGE Risque de crue majeure. Menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens				- à Magland : secteurs Gravin, Chessin, Centre-ville et Tour Noire - faible revanche en RG de Cluses (secteur Somfy) en amont immédiat du pont de l'avenue de la Libération (débordement en Q100) - en cas de rupture d'ouvrages digues : ✓ à AYZE, St Pierre et Bonneville : en cas de rupture d'ouvrage, nombreux enjeux, particulièrement quartiers Bouchet, Trésor public, Bordets. ✓ à Sallanches : la Charlotte mise en charge importante de la digue coté camping
	320 à 330 (Q30)				
3. ORANGE	Niveau 3 : ORANGE Risque de crue génératrice de débordements importants susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective et la sécurité des personnes et des biens	22 septembre 1968		280 m³/s	- Ferme des Millières (Sallanches) et de Chessin (Magland) - Usine Roux dans le secteur des Glières (Magland) - péage A40 de Cluses - secteurs de Gravin, Perrière et du Val d'Arve à Magland (surverse sur la digue rive droite) - secteur centre-ville Magland (zone protégée digue gravin/Crétêt) - zone naturelle du secteur d'Arnerne (Thyez et Marignier) - début de mise en charge de certaines digues : Sallanches de la Charlotte
	230 à 250 (Q10)	26 août 2014	2 m 80	237 m³/s	
2. JAUNE	Niveau 2 : JAUNE Risque de crue génératrice de débordements et dommages localisés ou de montée rapide et dangereuse des eaux, nécessitant une vigilance particulière notamment dans le cas d'activités exposées et/ou saisonnières	01 mai 2015	2 m 68	222 m³/s	- Champs entre Sallanches et Magland - Ferme des Millières (Sallanches) et de Chessin (Magland) - Usine Roux dans le secteur des Glières (Magland)
	190 à 210 (Q5)	17 juillet 2011	2 m 51	201 m³/s	
1. VERT	Niveau 1 : VERT Pas de vigilance particulière requise				

Rivière	Tronçon	Station de référence			
ARVE	ARVE AVAL	REIGNIER-ÉSERY			
Niveau de vigilance	Définition	Crues historiques			
		Date	Hauteur	Débit	Principales conséquences prévisibles sur enjeux (non exhaustif)
4. ROUGE	Niveau 4 : ROUGE Risque de crue majeure. Menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens	22 septembre 1968	4 m 70		- à Scientrier : STEP, bas quartier du Vivier et près de l'église - à Vétraz-Monhoux : Hameau de Creuze et habitations Chemin des îles (sous Collonges) - Casino d'Annemasse (parking et sous sol) - bas quartier de Vernaz à Gaillard (dont horticulture) - Zone industrielle rive droite pont zone à Gaillard - aval du pont d'Etrembières à Etrembières - en cas de rupture de digues : secteur de la Chatelaine à Gaillard
	supérieur à Q30 (env. 820 m3/)	02 mai 2015	4 m 42		
3. ORANGE	Niveau 3 : ORANGE Risque de crue génératrice de débordements importants susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective et la sécurité des personnes et des biens				- quartier des Eaux Belles à Etrembières - Bois de Vernaz et serres agricoles à Gaillard - Quartier Le Pelloux à Contamine/Arve
	650 à 700 m³/s				
2. JAUNE	Niveau 2 : JAUNE Risque de crue génératrice de débordements et dommages localisés ou de montée rapide et dangereuse des eaux, nécessitant une vigilance particulière notamment dans le cas d'activités exposées et/ou saisonnières	22 mars 2001		541 m³/s	- quartier du pont Neuf (débordement dès 600 m3/s) + route départementale RD202 - espace Borne-Pont de Bellecombe dont cheminement Léman Mont Blanc
	480 à 520 m³/s	31 mai 2010		517 m³/s	
1. VERT	Niveau 1 : VERT Pas de vigilance particulière requise				

Rivière	Tronçon	Station de référence			
GIFFRE	GIFFRE AVAL	MARIGNIER (PLAN SÉRAPHIN)			
Niveau de vigilance	Définition	Crues historiques			
		Date	Hauteur	Débit	Principales conséquences prévisibles sur enjeux (non exhaustif)
4. ROUGE	Niveau 4 : ROUGE Risque de crue majeure. Menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens				- habitations de Plan Séraphin (commune de Marignier)
	540 à 580 m³/s (Q30)	22 septembre 1968	4 m 30		
3. ORANGE	Niveau 3 : ORANGE Risque de crue génératrice de débordements importants susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective et la sécurité des personnes et des biens	01 mai 2015	3 m 91	456 m³/s	- RD26 entre Marignier centre et le Pont du Giffre - Mise en charge du pont de Plan Séraphin (commune de Marignier) - habitations et école du Pont du Giffre (commune de Marignier) - habitation du Breuillet (commune de Marignier) - zone naturelle aval Giffre et confluence Arve/Giffre Marignier
	330 à 370 m³/s (Q5)				
2. JAUNE	Niveau 2 : JAUNE Risque de crue génératrice de débordements et dommages localisés ou de montée rapide et dangereuse des eaux, nécessitant une vigilance particulière notamment dans le cas d'activités exposées et/ou saisonnières	31 mai 2010		210 m³/s à Taninges	
	200 à 240 m³/s	04 janvier 2018	2 m 80	241 m³/s	
1. VERT	Niveau 1 : VERT Pas de vigilance particulière requise				

A ce niveau, le SPC alerte le cadre d'astreinte du SIDPC (Service Interministériel de Défense et Protection Civiles). Le Préfet, sous-Préfet ou SIDPC décide de déclencher l'alerte « crue de l'Arve » et diffuse un message préformaté vers la DDT, le SM3A et les communes concernées.

9.5.3 Contribution de multiples paramètres à la survenue d'un événement météorologique et/ou hydrologique exceptionnel

Le bassin versant de l'Arve se caractérise par :

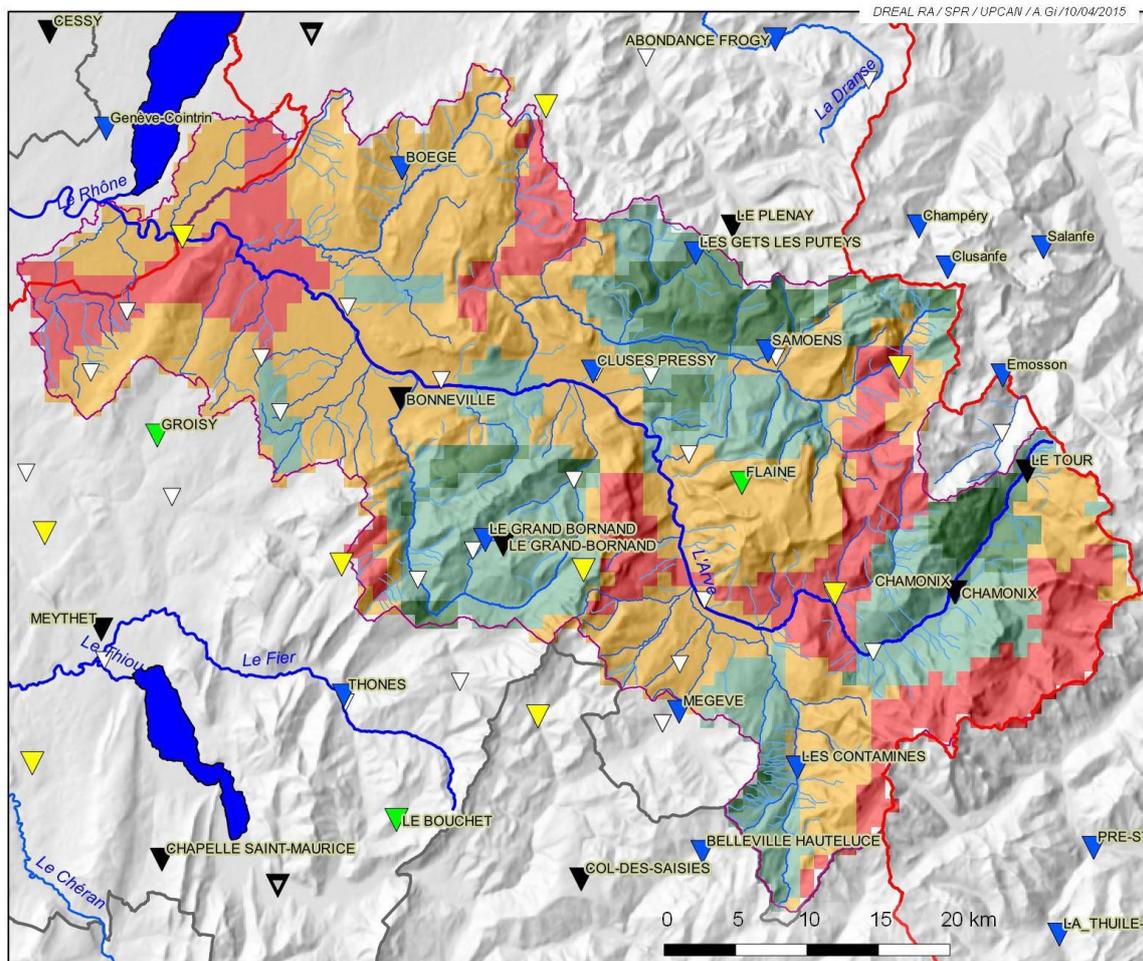
- Un régime d'écoulement des cours d'eau fortement influencé par l'accumulation des précipitations sous forme de neige durant l'hiver, période de basses eaux, et par la fonte de cette neige au printemps, voire même de la glace en été, période de hautes eaux.
- Une possibilité de fortes précipitations en début de printemps sur un manteau neigeux en cours de fonte, ce qui augmente fortement la quantité d'eau contribuant à la crue des cours d'eau.
- Un relief à forte hétérogénéité des précipitations.
- Des pentes fortes des versants montagneux entraînent des vitesses d'écoulement de l'eau importantes et génèrent une érosion très active des berges.
- Une forte variabilité des fonds des lits.

- Une forte variabilité des conditions hydrométéorologiques génératrices de crue.
- L'influence de dysfonctionnement des dérivations sous-glaciaires (telle que celle de la retenue d'Emosson)
- Une grande difficulté technique à disposer de mesures fiables et correctement réparties sur le territoire, que ce soit pour la mesure des précipitations, ou pour la mesure des hauteurs ou des débits des cours d'eau.

Toutes ces spécificités rendent délicates, et parfois impossible, la prévision des crues et des laves torrentielles. Elle s'appuie sur l'analyse experte de multiples facteurs, et reste soumise à une forte incertitude.

9.5.4 Couverture partielle des systèmes d'alerte météorologique ou hydrologique

La couverture du territoire en matière de stations pluviométriques n'est pas homogène, des zones restant non couvertes par le réseau « temps réel » (voir carte page suivante). De même, en matière d'observation RADAR, la couverture des radars français sur le secteur de la Haute-Savoie est relativement mauvaise, et quasiment inexistante sur le bassin de l'Arve.



Réseau temps réel

- ▼ Météo-France - Réseau existant et pérennisé (2014)
- ▽ Météo-France - Réseau existant dont la pérennisation est demandée (2014)
- ▲ Météo-France - Création validée dans le cadre de la convention Météo-France/DGPR 2011-2016
- ▲ Météo-France - Création demandée dans le cadre de la convention Météo-France/DGPR 2017-2021
- ▲ Réseau EDF/DTG ou suisse ou italien

Réseau temps différé

- ▽ Réseau climatologique d'Etat

Couverture du territoire validée au 15/05/2014

- Il n'existe pas de station à moins de 10 km en "distance 3D"
- Il existe une station à moins de 10 km en "distance 3D"
- Il existe deux stations à moins de 10 km en "distance 3D"
- Il existe plus de deux stations à moins de 10 km en "distance 3D"

- ▭ Limite du SPCAN
- ▭ Limite du bassin versant de l'Arve
- ▭ Limite départementale

Figure 61 : Carte extraite du rapport du Service de prévention des crues (SPC) Alpes du Nord

Le réseau de stations hydrométriques sur le bassin de l'Arve s'est étoffé au cours des dernières années et compte actuellement 30 stations :

11 stations DREAL (pas de temps 10-12min)

2 stations EDF (pas de temps 1 heure)

2 stations Canton de Genève (pas de temps de 25 min)

15 stations SM3A, dont 7 à vocation d'alerte en crue et 8 pour la quantification de la ressource en eau (mesure de hauteur avec courbes de tarages provisoires, pas de temps de 5 min en crue)

Le programme de renforcement du réseau DREAL-SPC depuis 2018 est encore en cours, avec notamment la station de Cluses en projet.

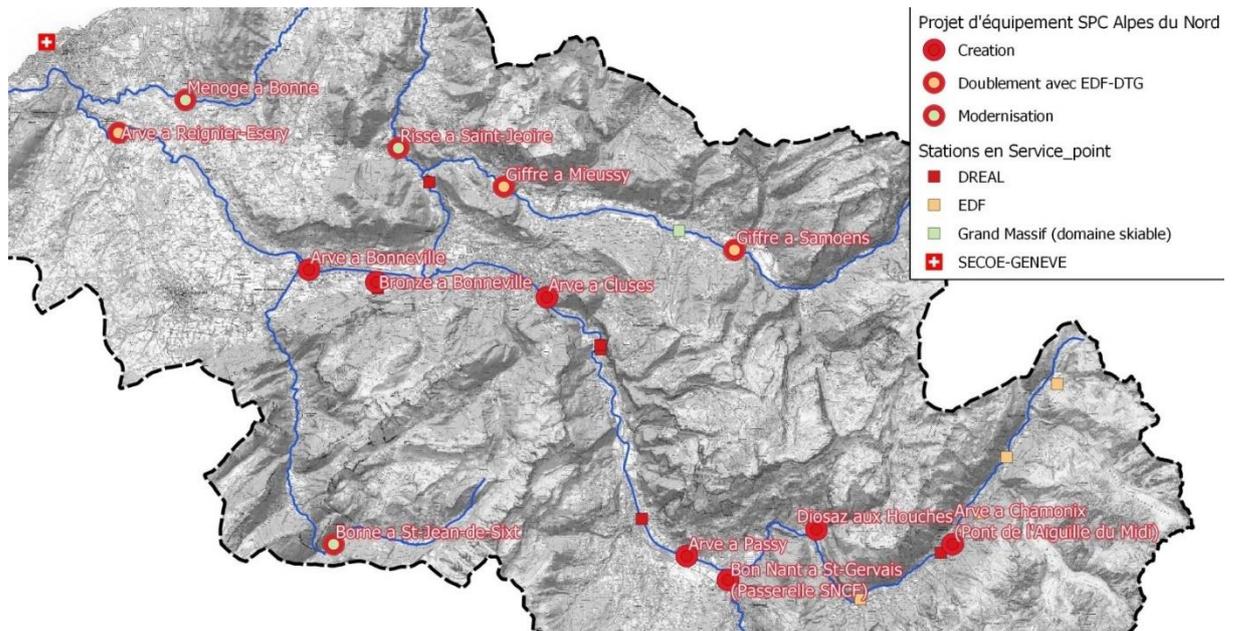


Figure 62 : Renforcement du réseau hydrométrique par le service de prévention des crues (SPC) Alpes du Nord

De manière à compléter le réseau existant ou en cours de renforcement par la DREAL sur les affluents et les têtes de bassin versant non couvertes, le SM3A a installé 15 stations entre 2018 et 2021 donc 7 stations ont un objectif de prévision des crues et d'alerte.

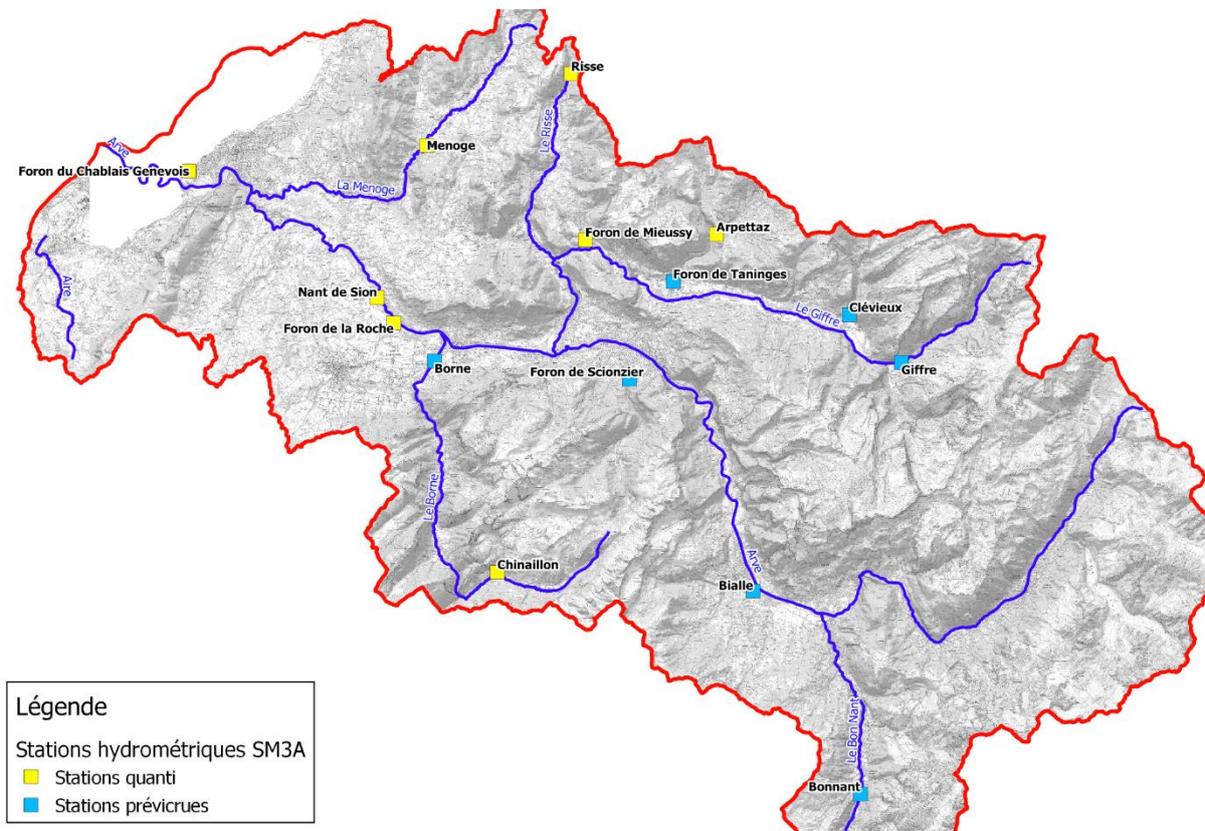


Figure 63 : Réseau de stations limnimétriques installées par le SM3A entre 2018 et 2021 avec pour objectif l'alerte en crue (stations « prévicrues ») et de quantification de la ressource en eau (stations « quanti »)

9.5.5 Délai nécessaire pour un système d'annonce de crue efficace

Les limites techniques précédemment évoquées et les caractéristiques géographiques ne permettent pas, à la différence d'un événement purement hydraulique sur un bassin non torrentiel, de disposer de plusieurs heures pour une annonce de crue « lente ».

Pour les mêmes raisons, le SPC Alpes du Nord n'a pu, à ce jour, s'engager à opérer une annonce de crue efficace par extension du dispositif Vigicrues au bassin de l'Arve pour les cours d'eau de tête de bassin notamment, ne pouvant répondre aux critères d'éligibilité d'un temps de réponse du bassin versant drainé supérieur à 6 heures.

9.6 LES DISPOSITIONS PRISES PAR LE RESPONSABLE POUR S'ASSURER EN PERMANENCE DU RESPECT DES PROCEDURES, AUDITER ET REVISER SON ORGANISATION DE GESTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ASSOCIE LE CAS ECHEANT A UN AMENAGEMENT HYDRAULIQUE, DANS LE CADRE DE SON AMELIORATION CONTINUE

Le SM3A a mis en place une organisation générale de surveillance qui permet une inspection régulière des ouvrages de protection hydrauliques avec une intensité de visite différenciée en fonction du classement des systèmes d'endiguements.

9.6.1 Type et fréquence des visites de surveillance programmées

Le tableau ci-dessous décrit les différentes visites sur les digues en fonction du classement des systèmes d'endiguement.

Il est à noter que la fréquence des visites peut également être adaptée en fonction de l'état des ouvrages ou tout autre phénomène appelant une surveillance renforcée de l'ouvrage.

	Type	Digue de classe A	Digue de classe B	Digue de classe C
Visites de surveillance de l'état des ouvrages	Passages récurrents	En fonction des passages de surveillance générale assurés par les techniciens RIVIERE sur les cours d'eau		
	Visite spécifique	Au moins 1 fois par an par l'agent de surveillance DIGUE avec production d'un PV		
	Visites Techniques Approfondies (VTA)	Visite réalisée par un prestataire extérieur avec production d'un rapport tous les 3 ans	Visite réalisée par un prestataire extérieur avec production d'un rapport tous les 5 ans	Visite réalisée par un prestataire extérieur avec production d'un rapport tous les 6 ans

9.6.2 Passages récurrents dans le cadre des tournées des techniciens RIVIERE

9.6.2.1 Objet

Il s'agit de passages réguliers réalisés par les techniciens RIVIERE à l'occasion de leurs différentes tournées sur le terrain. Le technicien RIVIERE s'assure de l'absence de désordre majeur sur les ouvrages (vue macroscopique) mais également apprécie l'environnement de l'ouvrage (évolution morphologique du lit : déplacement des bancs, engravement ou incision du lit, dynamique générale, évolution de la végétation...).

La surveillance générale et macroscopique assurée par les techniciens RIVIERE doit permettre :

- De donner l'alerte en cas d'inquiétudes relatives à la sécurité de l'ouvrage et, en cas de danger immédiat, de prendre les mesures nécessaires ;
- De suivre, dans le temps, les actions subies par les ouvrages ;
- De suivre l'évolution du fil d'eau.
- De signaler tout accident ou incident grave ;
- D'observer les anses d'érosion, et autres glissements, aux abords des ouvrages ;
- D'observer le contournement possible des seuils, pouvant entraîner une déstabilisation de l'ouvrage ;
- De guetter l'apparition éventuelle d'anomalie dans le comportement tant fonctionnel que structurel des ouvrages.

9.6.2.2 Fréquence des visites

L'ensemble des ouvrages classés en système d'endiguement fait l'objet de passages récurrents dont la fréquence est calée en fonction des tournées sur le terrain des techniciens RIVIERE pour :

- ✓ Surveillance générale des cours d'eau ;
- ✓ Programmation des chantiers (chemin, berge, ripisylve) ;
- ✓ Episodes particuliers : lâchers d'eau de barrages, travaux réalisés par autrui en cours d'eau...

La fréquence des passages récurrents est adaptée, au degré de vulnérabilité des ouvrages, et aux désordres associés.

9.6.2.3 Déroulement

Chaque technicien RIVIERE au sein du SM3A s'est vu attribuer un territoire de compétence. Chaque tournée est réalisée seul (ou en binôme éventuellement) en véhicule lorsque les ouvrages sont circulables ou à pied le cas échéant.

Le repérage sur les digues se fait à partir de la connaissance terrain et par report cartographique des éléments repérés. Les relevés peuvent être réalisés dans certains cas à l'aide d'un GPS. Le SM3A dispose d'une flotte d'appareils photographiques munis d'un dispositif GPS.

L'implantation de bornes kilométriques est en cours sur les ouvrages classés ou à classer Système d'Endiguement pour faciliter les interventions du SM3A et des communes en cas de crise.

Lors du repérage d'un désordre celui-ci est localisé métriquement par rapport à une borne ou un repère connu.

Suivant l'ampleur du désordre, celui-ci sera matérialisé à la peinture en bombe ou par une rubalise. En raison de la fréquentation de certains ouvrages, la pose de barrière de sécurité pourra être nécessaire.

En cas de constatation de dégât particulier, une description détaillée sera réalisée par le technicien en charge du secteur.

9.6.2.4 Suites données

En cas de désordres relevés par le technicien RIVIERE, le technicien OH chargé du secteur renseigne une fiche désordre détaillée. Le technicien OH mettra en œuvre, sous autorité du Président, les opérations pour la mise en sécurité de l'ouvrage et établira si besoin une EISH.

Visites spécifiques de surveillance (visites programmées) et visites techniques approfondies (VTA).

9.7 Le(s) rôle(s) de barrière de sécurité pouvant être assuré(s) par certains éléments de son organisation et de sa démarche de prévention des accidents

9.7.1 Prévention des risques professionnels

Le SM3A conventionne avec le Centre de Gestion de Haute-Savoie (CDG74) pour assurer un service de prévention des risques professionnels sous forme de missions d'inspection et d'assistance ponctuelle en fonction des besoins.

Il dispose d'un référent hygiène et sécurité au sein de son équipe et met en œuvre son Document Unique DU d'évaluation des risques professionnels.

9. BIS RECOMMANDATIONS DE L'ORGANISME AGREE

Après réalisation de la présente étude de dangers ainsi que l'analyse de l'organisation du SM3A concernant tous les aspects liés à la surveillance des ouvrages de protection, le bureau d'études Lombardi, chargé de la réalisation de cette présente étude de dangers, est en mesure d'apporter un certain nombre de recommandations découlant à la fois de son retour sur expérience, dans le cadre d'autres projets, adaptés au contexte de la présente étude.

L'ensemble des recommandations apportées par le bureau d'études Lombardi Ingénierie est présenté dans ce **Chapitre 9bis**.

9.1 RECOMMANDATIONS VIS-A-VIS DU RISQUE D'INONDATION

9.1.1 Rappel des résultats de modélisation hydraulique et structures des ouvrages

Pour rappel, les digues amont et aval présentent une structure jugée en bon état et peu sensible aux phénomènes de défaillance possibles cités dans le présent document. La mise en charge de ces ouvrages est par exemple très faible même pour des crues avec des périodes de retour élevées.

Sur le mur de l'usine, la contraction du lit présente, en revanche, une forte sensibilité au phénomène de débordement, principalement dans le secteur aval où le mur présente une hauteur de seulement 0.7 m. A cela s'ajoute, un profil géomorphologique du lit marqué par des dépôts de blocs éparses situés au pied du mur et un lit légèrement réduit entraînant des débordements importants sur l'usine en premier lieu et la plaine de Passy dans un second temps.

Ces débordements sont largement amplifiés par les phénomènes d'engravement du lit lorsqu'une crue de l'Arve est concomitante avec une crue très morphogène du Nant Bordon (50'000 m³ retenus comme réalistes). Ils sont encore plus marqués lorsqu'il est considéré en sus l'étalement dans le lit de l'Arve de matériaux provenant du glissement de terrain actif observé à l'aval du Nant Bordon (30'000 m³ estimés au maximum).

9.1.2 Recommandations suggérées et consignes

Les recommandations décrites ci-après doivent permettre d'engager une réduction du risque et de la vulnérabilité dans la zone protégée.

9.1.2.1 Sur le Nant de Bordon

Il existe déjà de nombreux aménagements mis en place sur le Nant Bordon à savoir :

- La plage de dépôt : Elle se situe sur le Nant-Bordon, au-dessus de la RD13. Le volume de stockage est estimé à 30 000 m³. Son rôle principal est de réguler le dépôt de sédiments et autres matériaux plus volumineux de ce torrent actif. Elle joue ainsi un rôle positif pour la prévention des inondations à Passy dans la mesure où elle permet de réduire l'apport de matériaux dans le lit de l'Arve et donc de diminuer le risque d'engravement de ce dernier.

- Les seuils : ils se situent sur le Nant-Bordon, peu en amont de sa confluence avec l'Arve et permettent de réguler le débit liquide de ce torrent. Cela diminue également le risque de charriage de matériaux volumineux jusqu'à la confluence.
- Les protections de berges en enrochements sur le Nant-Bordon permettant de réduire l'érosion de berge qui conduirait à l'apport de plus de matériaux
- Les protections supplémentaires en rive droite du Nant Bordon réalisées en cages de gabions.

Ces aménagements ont permis de fortement réduire le risque de charriage.

Or, dans la présente étude de dangers, il a été mis en avant la possibilité de voir tout de même transiter en cas de crue un volume de matériaux non négligeable sur le secteur de la confluence lié à :

- Une surverse possible d'un volume de matériaux solides par-dessus la plage de dépôt entre autres éléments drainés par les laves – 50'000 m³ ;
- Le glissement actif situé dans le secteur Sud du Nant Bordon proche de la confluence – 30'000 m³.

Etant donné que la sensibilité liée au risque d'engravement est essentiellement localisée sur le Nant-Bordon, nous recommandons de :

- Curer régulièrement la plage de dépôt afin de conserver la fonctionnalité de rétention des matériaux la plus efficace possible ;
- Assurer un suivi de l'état du glissement actif en mettant en place un suivi périodique visuel et topographique pour évaluer son évolution dans le temps.

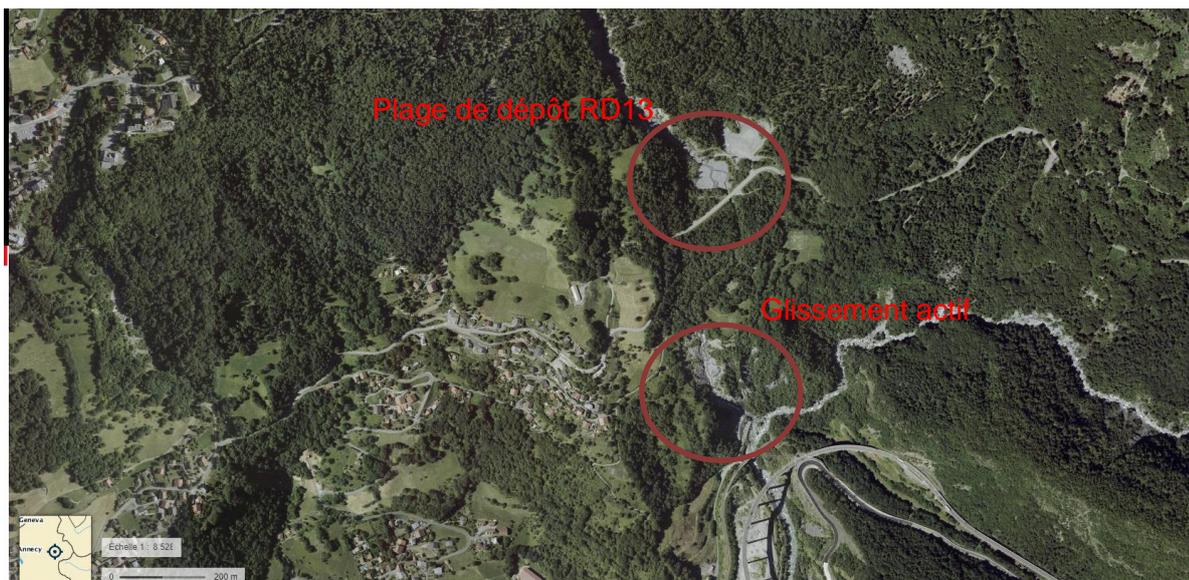


Figure 64 : Zones de surveillance sur le Nant Bordon

9.1.2.2 Travaux sur le mur de l'usine de Chedde

Concernant le mur, la VTA a montré un ouvrage plutôt en bon état visuel malgré la présence d'aciers apparents sur certains secteurs montrant un défaut d'enrobage et la présence de certaines fissures traversantes notamment au droit du pont roulant. Par ailleurs, les reconnaissances complémentaires ont montré certaines zones d'incertitudes quant à la présence de ferraillements dans le mur qui nous a conduit à proposer un scénario de défaillance structurelle sur le secteur.

Les recommandations se déclinent en trois étapes :

- Réaliser une inspection de l'ouvrage de façon régulière afin de suivre l'évolution dans le temps de certains défauts relevés sur l'ouvrage ;
- Réaliser des travaux de ragréage ou de compléments d'enrobage sur les défauts apparents les plus importants ;
- Rehausser le mur aval pour réduire (effet à vérifier) le risque inondation sur la plaine de Passy. Cette réhausse doit être accompagnée d'une étude complémentaire pour qualifier son impact sur les lignes d'eau de l'Arve plus en aval et pour connaître le risque de débordement sur les rives aval. Un point de vigilance est à apporter au-droit de la centrale EDF notamment.

9.1.2.3 Coordination mise en place entre le SM3A et le propriétaire du mur de l'usine de Chedde

Le 15 novembre 2021 une convention de servitude de passage et de gestion du système de la plaine de Chedde au profit du SM3A a été actée. Cette dernière est disponible en **Annexe 16**. Ainsi, le SM3A peut assurer la surveillance de cet ouvrage et de l'ensemble du système d'endiguement sous sa gestion.

Plus précisément, l'objet de cette convention consiste pour le SM3A à « maîtriser l'emprise foncière des ouvrages pour leur gestion, leur surveillance, leur entretien et coordonner ses actions lors d'alertes en périodes de crues ». Cette servitude a été mentionnée à titre perpétuel. Si des travaux de réfection sont à réaliser, ces derniers sont entièrement sous la gestion et responsabilité du SM3A.

9.2 RECOMMANDATIONS SUR L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE

9.2.1 Avis généraux de Lombardi concernant l'organisation du gestionnaire

Le document d'organisation du SM3A est très complet et n'apporte pas de remarques particulières.

9.2.2 Programme de surveillance spécifique adapté

Dans la lignée des recommandations faites dans le document d'organisation du SM3A, nous proposons un programme de surveillance des digues qui se décline donc en 3 configurations :

- Surveillance périodique,
- Surveillance en crue,

- Surveillance post-crue.

9.2.2.1 Surveillance périodique

Principe : Parcours méthodique à pied de l'ouvrage

Objectifs : Observation de l'évolution des indices de désordres et surveillance des ouvrages ainsi que des singularités

Périodicité : Selon aléas * enjeux (1 fois par an au minimum). Surveillance à réaliser plutôt en hiver si la végétation est importante et en étiage dans le cas d'une végétation rase.

Rendement : 1/2 journée (2 agents)

9.2.2.2 Surveillance visuelle en crue

Principe : Accès en véhicule et parcours à pied des digues et murets pendant la crue sur des secteurs linéaires ou ponctuels prédéterminés ou non (appels d'urgence)

Objectifs : Relevé des désordres en conditions de charge, suivi de la sécurité en situation de crise

Périodicité : Selon les crues, de quelques heures à une journée (2 agents voire plus). La difficulté tient aux multiples sollicitations des agents municipaux, des pompiers... en de nombreux points de la commune à l'occasion des fortes pluies.

9.2.2.3 Surveillance visuelle post crue

Principe : parcours méthodique des ouvrages à pied après la crue

Objectifs : Relevé des désordres consécutifs à la crue et décrue, sert de base à d'éventuelles interventions.

Périodicité : Selon les crues, à réaliser entre 1 et 2 jours après la décrue.

Rendement : 1 journée (2 agents)

9.2.3 Suggestions supplémentaires apportées par Lombardi

9.2.3.1 La création d'un registre spécifique pour la surveillance des ouvrages

Un registre de suivi doit être créé sur le secteur répertoriant à minima :

- Les dernières visites effectuées comprenant les conditions dans lesquelles elles se sont effectuées
- Les dernières investigations effectuées
- Les travaux effectués...

Ce registre doit permettre également de classer les différents événements par catégorie.

Les fréquences de réalisation des interventions nécessaires à faire pour le présent système d'endiguement doivent être identiques pour chaque composant du système.

Cela nécessite une coordination entre SGL Carbon et SM3A.

9.2.3.2 L'orientation des écoulements dans la zone protégée en cas de crise

Il a été mis en évidence dans la présente étude de dangers la présence de débordements au droit du mur aval de l'usine. Les écoulements sont orientés directement dans l'usine.

Nous recommandons de mettre en œuvre en cas de crise une « digue » artificielle en sacs de sables à l'aval du mur de façon à orienter les eaux directement au droit de la « décharge » Péchinnet.



9.2.3.3 La mise en place de repère

Comme présenté dans la fiche PCS, la mise en place de deux repères sous la forme d'échelle est préconisée.

La figure suivante illustre les localisations de ces échelles.

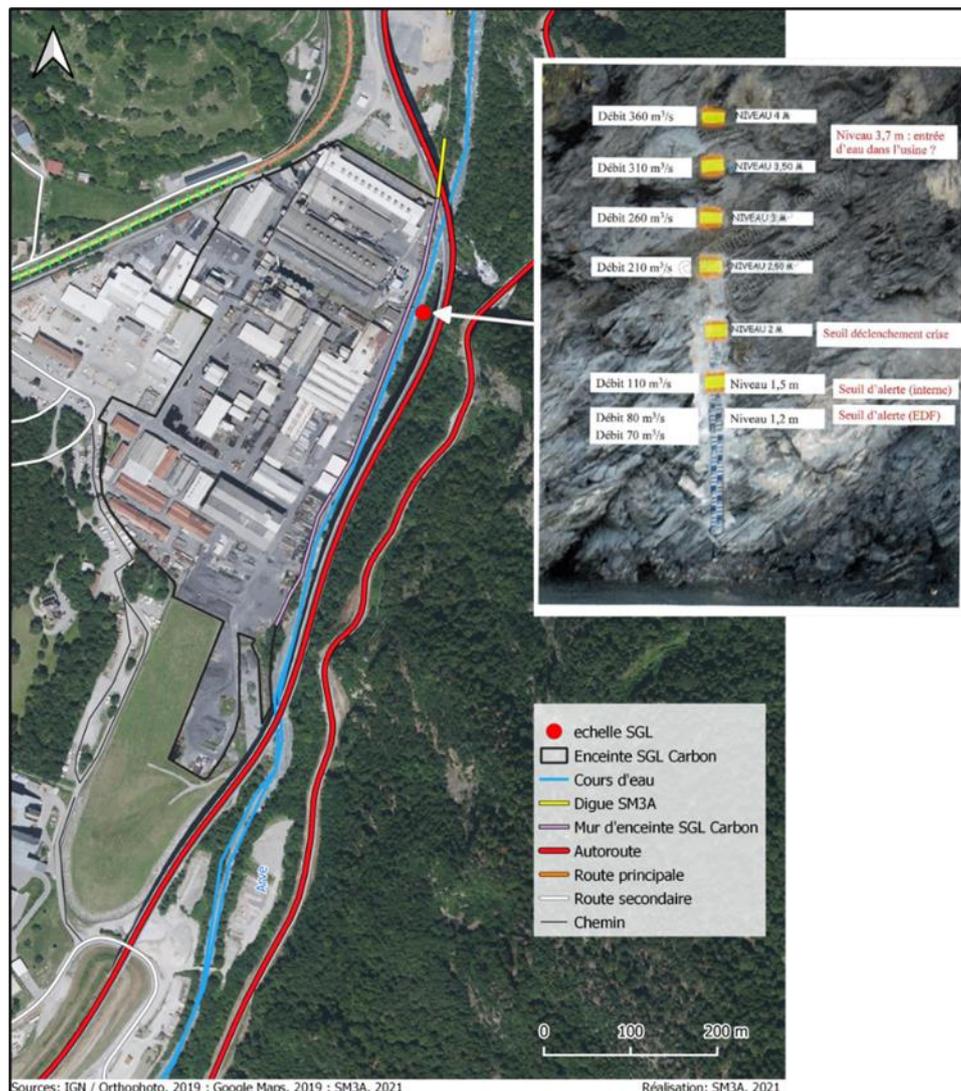


Figure 66 : Echelle SGL Carbon

Pour chacune des échelles, les niveaux suivants (et relation avec l'échelle existante) sont proposés :

- Repère n°1 (situé au même endroit que le repère SGL Carbon) :

Niveau d'eau (mNGF), niveau de fond du lit associé : 610.67 mNGF.



613,95 mNGF (2.7m sur l'échelle SGL Carbon) : **Niveau de premier débordement**
 ($Q_{22} = 230 \text{ m}^3/\text{s}$)

613,20 mNGF (1.75m sur l'échelle SGL Carbon) : **Niveau de mise en charge**
 ($Q_5 = 130 \text{ m}^3/\text{s}$)

- Repère n°2 :

Niveau d'eau (mNGF), niveau de fond du lit associé : 639.3 mNGF.



642,08 mNGF : Niveau de premier débordement ($Q_{22} = 230\text{m}^3/\text{s}$)

641,10 mNGF : Niveau de mise en charge ($Q_5 = 130\text{ m}^3/\text{s}$)

9.2.3.4 Visites post-séismes

Une surveillance (veille) de l'activité sismique se doit d'être mise en place afin de noter notamment la magnitude et la distance du système d'endiguement à l'épicentre. Cette surveillance permettra par la suite d'engager des visites. Il est proposé d'enclencher une visite pour toute magnitude supérieure ou égale à 5 et une distance du système d'endiguement à l'épicentre du séisme inférieure à 100km.

Les visites post-séismes porteront une attention particulière aux éléments suivants :

- Fissures apparentes dans les dalles de granite. Si des fissures sont observées, le niveau de protection est abaissé au terrain naturel.
- Décrochement de blocs.
- Altération du béton assurant la liaison des enrochements.
- Homogénéité de la crête de l'ouvrage.

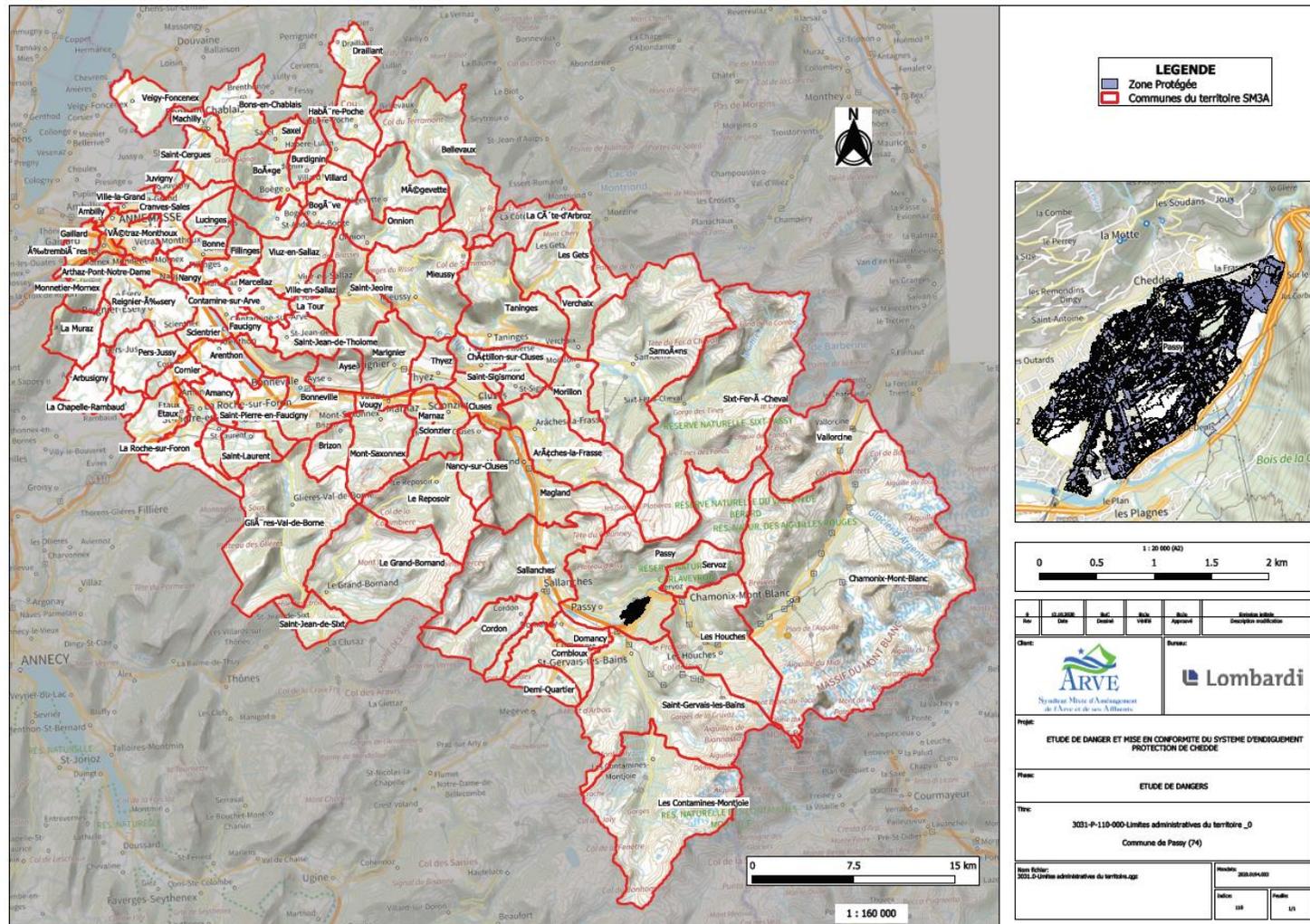
10 CARTOGRAPHIE (hors texte)

Dans ce chapitre, des extraits des différentes cartographies réalisées dans le cadre de la présente étude de dangers sont présentées.

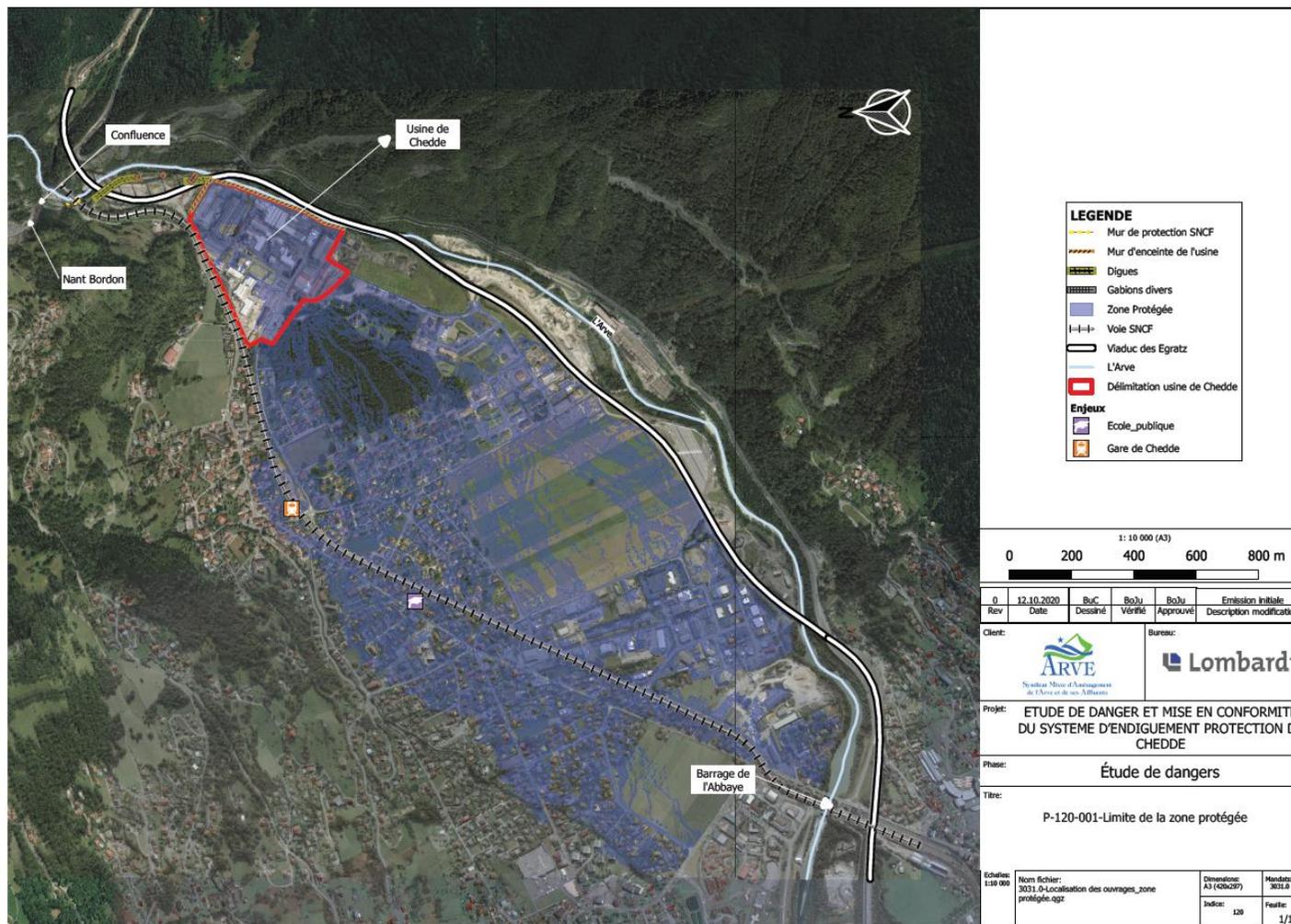
L'ensemble des cartes, complètes, se trouve en Annexes du présent document.

10.1 CARTE ADMINISTRATIVE

10.1.1 Carte représentant les limites administratives du territoire



10.1.2 Carte représentant les limites de la zone protégée qui est inscrite dans ce territoire.



10.2 CARTES DES VENUES D'EAU

10.2.1 Cartes de répartition des hauteurs d'eau pour les scénarios 1, 2 et 3 décrit dans l'arrêté du 30 septembre 2019

Voir ANNEXE 6

10.2.2 Cartes de répartition des vitesses d'eau pour les scénarios 1, 2 et 3 décrit dans l'arrêté du 30 septembre 2019

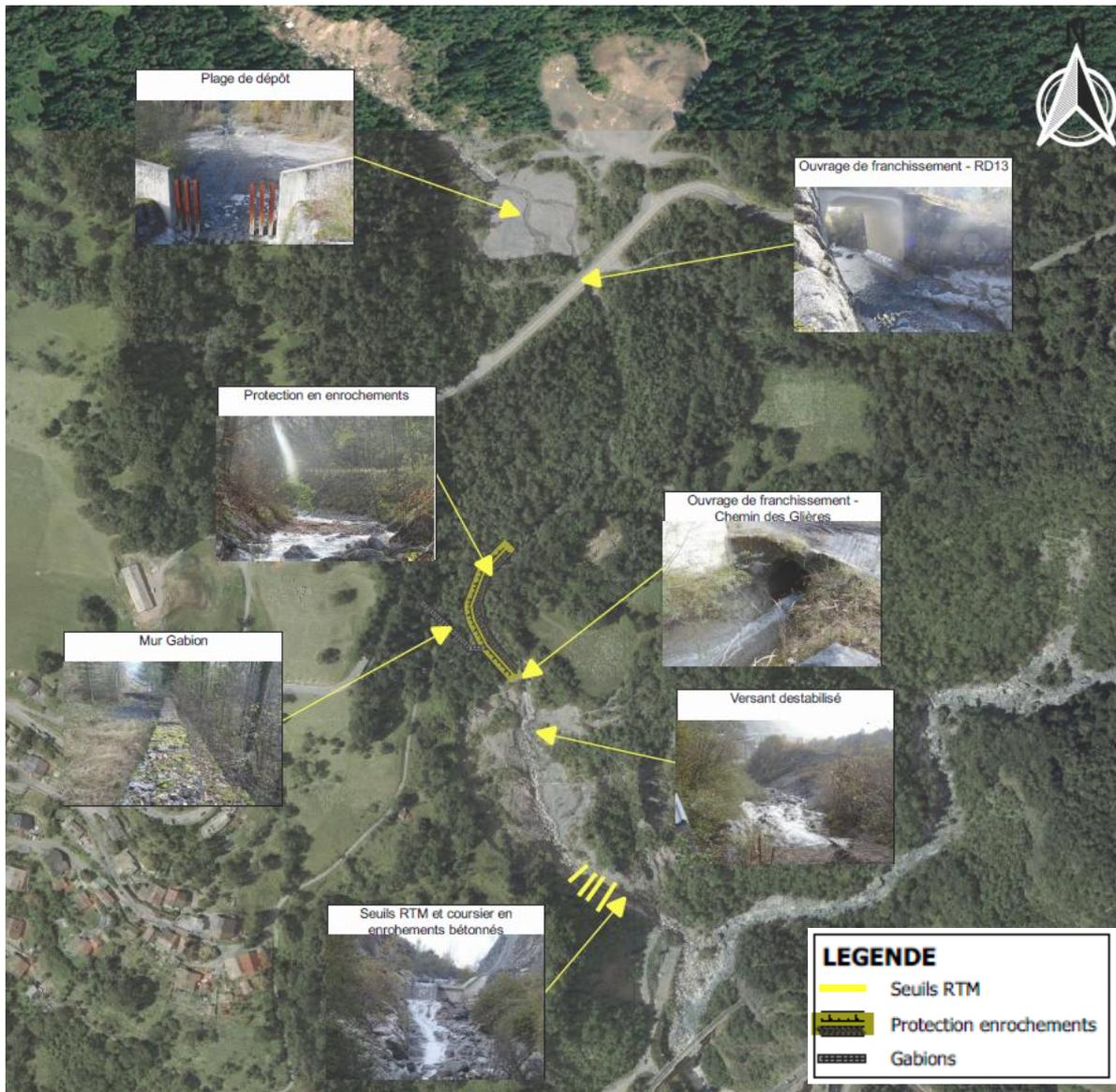
Voir ANNEXE 6

10.2.3 Cas du système d'endiguement nouveau au profit de territoires précédemment dépourvus de toute protection

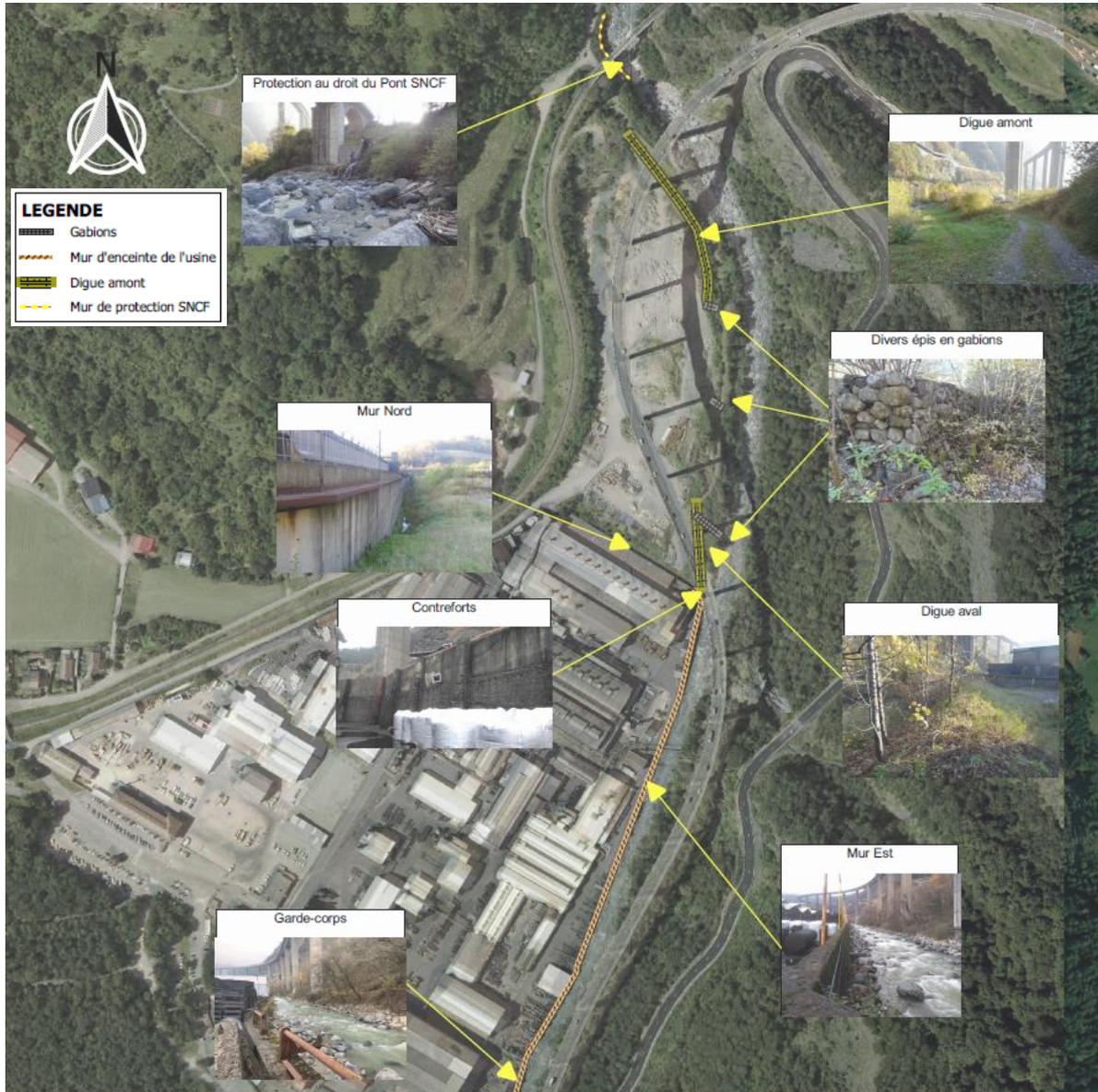
Sans objet dans le cadre de la présente étude.

10.2.4 Cartes de localisation des ouvrages de protection

10.2.4.1 Sur le Nant-Bordon



10.2.4.2 Sur l'Arve



Seuls les digues amont, aval et le mur Est de l'usine de Chedde sont constitutifs du système d'endiguement.

10.2.5 Cartes relatives aux modélisations prenant en compte l'engravement du lit de l'Arve

10.2.5.1 Cartes de répartition des hauteurs d'eau

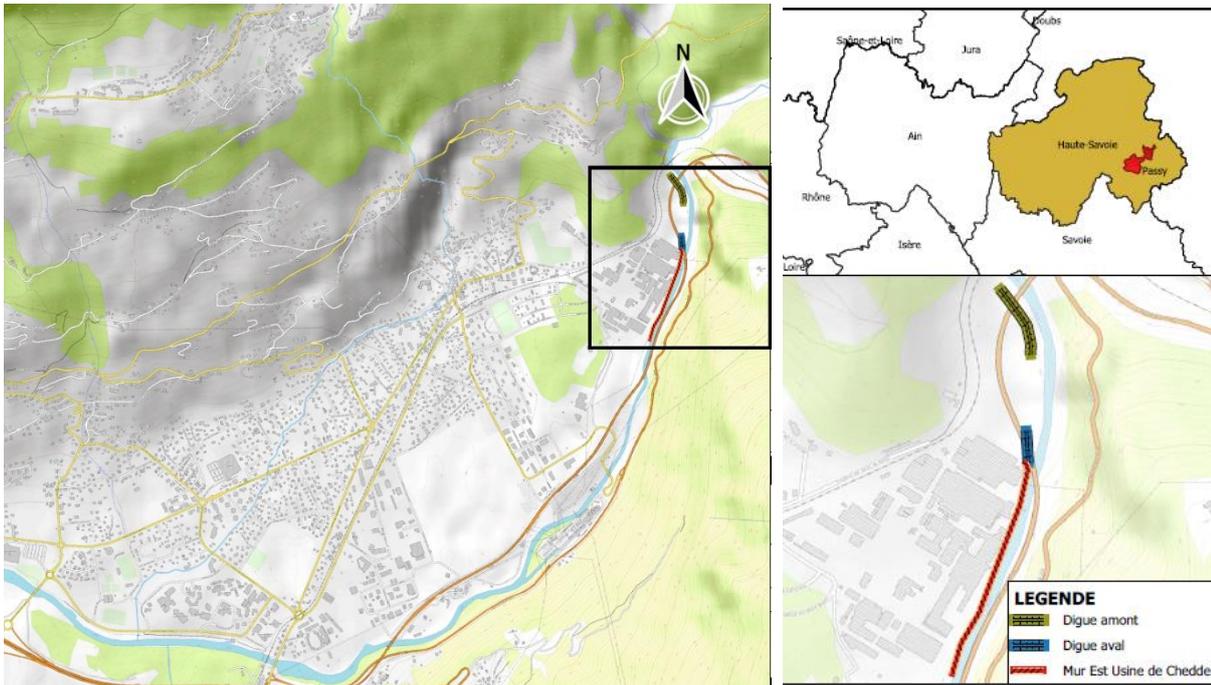
Voir ANNEXE 6

10.2.5.2 Cartes de répartition des vitesses d'eau

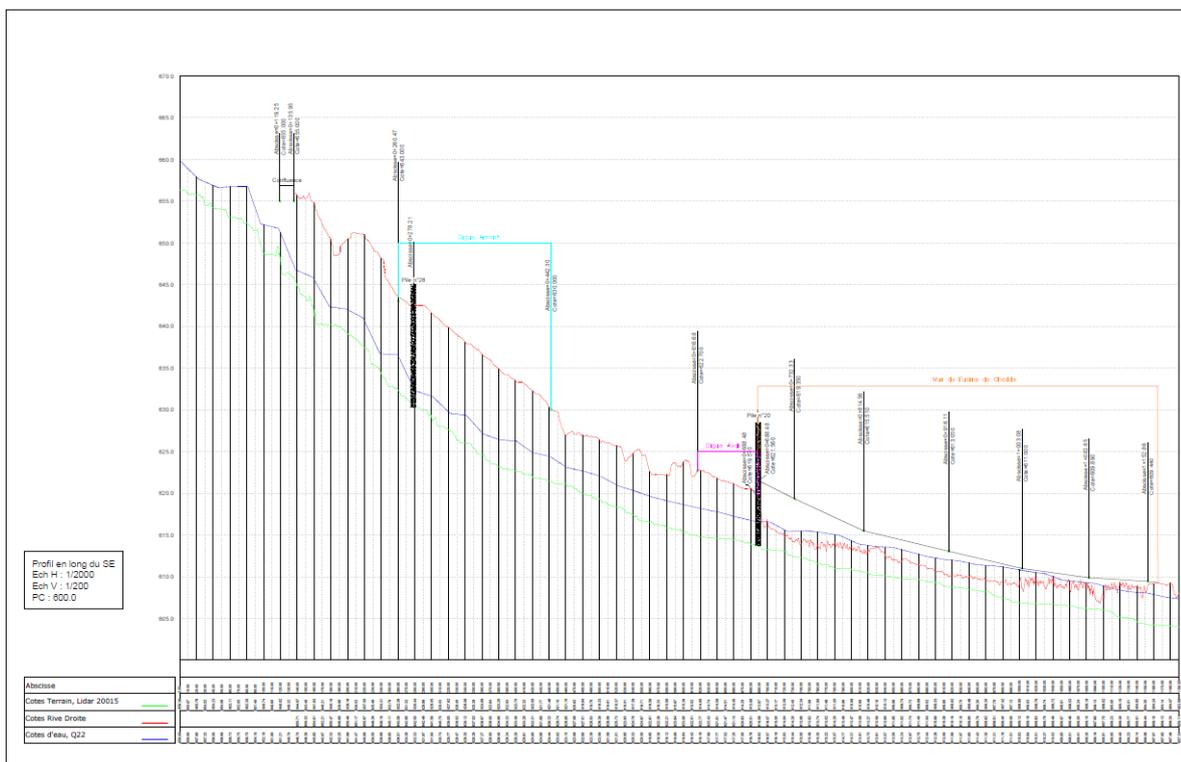
Voir ANNEXE 6

10.3 CARTES RELATIVES AU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

10.3.1 Plan d'ensemble localisant et identifiant les ouvrages du système d'endiguement



10.3.2 Profil en long du système d'endiguement



ANNEXE 1 3031.0-R30-RAPPORT HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

ANNEXE 2 3031.0 R10-RAPPORT D'ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES_0

ANNEXE 3 3031.0-R12-RAPPORT DE DIAGNOSTIC DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT_0

ANNEXE 4 3031.0-R11 RAPPORT D'ANALYSE HISTORIQUE_A ET ANNEXE 1

ANNEXE 5 UMG_RAPPORT_SM3A_PASSY_GEORADAR

ANNEXE 6 CARTES DES VENUES D'EAU ET VITESSES D'ECOULEMENT DES SCENARIOS MODELISES

ANNEXE 7 LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION SUR L'ARVE

ANNEXE 8 LOCALISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION SUR LE NANT-BORDON

ANNEXE 9 LOCALISATION EN PLAN DES OUVRAGES DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

ANNEXE 10 PROFILS EN LONG GLOBAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

ANNEXE 11 CARTE DES LIMITES ADMINISTRATIVES DU TERRITOIRE DU SM3A ET ZONE PROTEGEE DU SE DE CHEDDE

ANNEXE 12 CARTES DE LA ZONE PROTEGEE PAR LE SYSTEMES D'ENDIGUEMENT DE CHEDDE

ANNEXE 13 3031.0-R33-RAPPORT HYDRAULIQUE RUPTURE DIGUES_A

ANNEXE 14 ANNEXE BIBLIOGRAPHIQUE

Conformément à l'article 7 de l'arrêté du 7 avril 2017, l'étude de dangers comporte une annexe bibliographique donnant la liste des documents préexistants sur lesquels l'étude s'appuie et qui ne sont pas joints. À tout moment, ces documents sont transmis au préfet sur sa demande.

Année	Nom du document	Rédacteur
Etudes antérieures sur la zone d'étude		
2001	Etude d'aménagement de l'Arve et de ses berges au confluent du Nant Bordon – Phase 1 : Diagnostic et état des lieux	HYDRETTUDES
2001	Etude d'aménagement de l'Arve et de ses berges au confluent du Nant Bordon – Phase 2 : Propositions d'aménagements	HYDRETTUDES
2003	HYDRO-GEOTECHNIQUE SUD-EST - Aménagement de l'Arve en aval du Nant Bordon- Rapport Géotechnique	HYDRO-GEOTECHNIQUE SUD-EST
2008	Etude générale du Nant Bordon – Synthèse bibliographique Analyse historique, hydrogéologique, hydraulique et morphologique - Schéma d'aménagement	RTM
2016	Diagnostic de la végétation sur la digue de Chedde à Passy RD de l'Arve – version 3	ARBEAUSOLUTIONS
2016	Plan de gestion du Nant Bordon – Plan de gestion des matériaux - Phase 1 - Diagnostic géomorphologique	IDEALP
2016	Plan de gestion du Nant Bordon – Plan de gestion des matériaux - Phase 2 - Propositions de gestion du torrent	IDEALP
2016	Etude de faisabilité pour l'optimisation des aménagements de protection des crues de la moyenne et basse vallée de l'Arve - Analyse de l'hydrologie globale du bassin versant (A2)	ISL
2016	Diagnostics visuels des systèmes d'endiguements en période courante et post événement VTA de la digue de Chedde	SAFEGE
2018	Détermination du risque de crues extrêmes de l'Arve à Chamonix par la méthode SCHADEX	EDF
Rapports intermédiaires produits dans la cadre de l'EDD		
2020	Rapport d'analyse des données existantes	LOMBARDI
2020	Rapport de diagnostic approfondi des ouvrages	LOMBARDI

Année	Nom du document	Rédacteur
2020	Rapport d'analyse hydrologique et hydraulique	LOMBARDI
2020	Rapport d'analyse historique	ACTHYS DIFFUSION
2020	Rapport des résultats des investigations géotechniques	GEORADAR
2020	Rapport hydraulique : Rupture de digues	LOMBARDI

ANNEXE 15 CONVENTION ENTRE LE SM3A ET SGL CARBON POUR LA GESTION DU MUR EST DE L'USINE AU TITRE DES INONDATIONS