

CONSULTING

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny

Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"

Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

Dossier réglementaire « Borne »

SAFEGE opérant sous la marque SUEZ Consulting (SIREN n° 542 021 829) : « Ce document a été réalisé par du personnel de SAFEGE SAS (opérant sous la marque commerciale SUEZ Consulting) ; SAFEGE SAS est un organisme agréé en tant qu'intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques, conformément à l'arrêté du 13 juillet 2021 ».

Vérification des documents IMP411

<a href="#">Contrôle données entrée</a>	<a href="#">Réunion de démarrage</a>	<a href="#">RACI Agrément</a>	<a href="#">Check List (EDD)</a>
			

**Numéro du projet : 20CRA102**

**Intitulé du projet : Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny**

**Intitulé du document : Etude de dangers sur le système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE**

Version	Rédacteur		Contrôleur 1		Contrôleur 2		Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
	NOM	Prénom	NOM	Prénom	NOM	Prénom		
<b>A</b>	DVI ECL (CNR)		//		VJO		01/07/2022	Version de travail
<b>B</b>	DVI RWI ECL (CNR)		//		VJO		05/10/2022	Intégration des remarques du SM3A
<b>C</b>	FBO RWI ECL (CNR)	Boussaa Farid <small>Signature numérique de Boussaa Farid Date : 2023.07.27 18:32:42 +02'00'</small>	APE	A.PE STEL <small>Signature numérique de A.PE Date : 2023.07.27 19:59:15 +02'00'</small>	VJO	Vince nt Jouve <small>Signature numérique de Vincent Jouve Date : 2023.07.31 08:06:55 +02'00'</small>	31/07/2023	Reprises suite au rapport du Pôle Ouvrage Hydraulique de la DREAL - 06/02/23 et suivant le compte rendu de la réunion du 21/06/2023 avec la DDT/DREAL
<b>D</b>	FBO	Boussaa Farid <small>Signature numérique de Boussaa Farid Date : 2024.07.04 12:42:01 +02'00'</small>	TVA	Thibaut Vandekerckhove <small>Signature numérique de Thibaut Vandekerckhove Date : 2024.07.04 12:39:11 +02'00'</small>	APE	Pestel Arnaud <small>Signature numérique de Pestel Arnaud Date : 2024.07.04 12:24:05 +02'00'</small>	04/07/2023	Version reprise à la suite des cinq demandes de la DREAL/POH de septembre 2023

**Ce document a été réalisé par du personnel de SAFEGE SAS (opérant sous la marque commerciale SUEZ Consulting) ; SAFEGE SAS est un organisme agréé en tant qu'intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques, conformément à l'arrêté du 13 Juillet 2021.**



## Table des matières

Bibliographie.....	12
<b>RESUME NON TECHNIQUE.....</b>	<b>17</b>
0..... Résumé non technique de l'étude de dangers.....	18
<b>0.1 Contexte législatif et règlementaire.....</b>	<b>18</b>
<b>0.2 Présentation de l'autorité compétente.....</b>	<b>18</b>
<b>0.3 Description des ouvrages objet de l'étude.....</b>	<b>19</b>
0.3.1 Cours d'eau concernés et localisation.....	19
0.3.2 Objectif de l'étude et adaptation de juin 2023.....	20
0.3.3 Ouvrages constitutifs du système d'endiguement.....	22
0.3.4 Aménagement hydrauliques (article R562-18).....	26
<b>0.4 Zone protégée et niveau de protection du système d'endiguement en situation de « travaux achevés ».....</b>	<b>26</b>
0.4.1 La zone protégée par les digues du Borne rive droite.....	26
0.4.2 Les niveaux de protection et dangers.....	27
0.4.3 Estimation de la population protégée.....	28
<b>0.5 Présentation du fonctionnement du système d'endiguement en situation de « travaux achevés » - digues du Borne rive droite.....</b>	<b>29</b>
0.5.1 Fonction principale.....	29
0.5.2 Démarche de réalisation de l'étude de dangers.....	29
0.5.3 Présentation des scénarios.....	31
<b>DOCUMENT A : PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT.....</b>	<b>37</b>
1..... Renseignements administratifs.....	38
1.1 Gestionnaire du système d'endiguement.....	38
1.2 Compétence GEMAPI.....	38
1.3 Identification du rédacteur de l'Etude de Dangers.....	39
1.4 Date de remise de l'étude de dangers.....	40
1.5 Aménagements hydrauliques (article R562-18).....	40
1.6 Classement des ouvrages.....	40
2..... Objet de l'étude.....	42
2.1 Descriptif du cadre de la demande.....	42

2.1.1	Contexte dans lequel s'inscrit la demande.....	42
2.1.2	Descriptif du cadre.....	42
<b>2.2</b>	<b>Liste des communes concernées par la zone protégée .....</b>	<b>43</b>
<b>2.3</b>	<b>Localisation des limites de la zone protégée .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4</b>	<b>Localisation en plan et description sommaire des ouvrages concernés .....</b>	<b>44</b>
2.4.1	Localisation générale .....	44
2.4.2	Description sommaire des ouvrages .....	45
<b>3.....</b>	<b>Description précise de la zone protégée.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b>Zone protégée .....</b>	<b>51</b>
3.1.1	Limites administratives .....	51
3.1.2	Enjeux présents sur la zone .....	55
<b>3.2</b>	<b>Description des conditions naturelles pouvant conduire à des crues .....</b>	<b>59</b>
3.2.1	Facteurs naturels déterminants les risques d'inondation .....	59
3.2.2	Références scientifiques .....	61
3.2.3	Données historiques de crue.....	61
3.2.4	Etude géologique.....	62
3.2.5	Classe sismique .....	62
<b>3.3</b>	<b>Description du système de protection et fonctions hydrauliques .....</b>	<b>62</b>
3.3.1	Cours d'eau .....	62
3.3.2	Localisation et identification des éléments constituant le système d'endiguement ....	63
3.3.3	Géométrie et structure du système .....	64
3.3.4	Fonctionnement hydraulique du SE (digues du Borne RD) .....	74
3.3.5	Fonctionnement hydraulique du SE (digues de l'Arve RG) .....	76
3.3.6	Voie d'accès aux digues du Borne .....	80
3.3.7	Aménagement hydraulique autorisé conjointement avec le système d'endiguement	80
3.3.8	Analyse de la topographie existante .....	80
<b>3.4</b>	<b>Analyse du fonctionnement du système d'endiguement .....</b>	<b>81</b>
3.4.1	Données historiques structurelles .....	81
3.4.2	Fonction structurelle .....	82
3.4.3	Impact de l'aménagement hydraulique .....	83
3.4.4	Les niveaux de protection et les lieux de référence .....	83
<b>3.5</b>	<b>Organisation du gestionnaire .....</b>	<b>87</b>
<b>3.6</b>	<b>Consignes de surveillance et d'exploitation des ouvrages hors période de crise</b>	<b>87</b>
3.6.1	Consignes générales de surveillance.....	87
3.6.2	Consignes d'exploitation des ouvrages.....	89
<b>3.7</b>	<b>Consignes de surveillance des ouvrages en période de crise .....</b>	<b>92</b>
3.7.1	Chaîne de responsabilité et rôle des acteurs en gestion de crise.....	92
3.7.2	Détails et processus de décision du dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise .....	93

3.7.3	Visites post-crue .....	97
3.7.4	Interventions post-crue .....	98

**Document B : ANALYSE DES RISQUES ET JUSTIFICATION DES PERFORMANCES ..... 99**

**4..... Caractérisation des aléas naturels ..... 100**

<b>4.1</b>	<b>Hydrologie, hydraulique et morphologie globale .....</b>	<b>100</b>
4.1.1	Présentation des bassins versants de l'Arve et du Borne .....	100
4.1.2	Les données hydrométriques .....	102
4.1.3	Apports du Giffre (affluent de l'Arve) .....	103
4.1.4	Environnement hydro-morphologique .....	104
4.1.5	Environnement géologique et hydrogéologique .....	107
4.1.6	Environnement naturel .....	109
<b>4.2</b>	<b>Analyse hydrologique locale .....</b>	<b>112</b>
4.2.1	Régime hydrologique au droit de notre zone d'étude .....	112
4.2.2	Débits caractéristiques et hydrogrammes des crues .....	113
4.2.3	Les crues historiques.....	115
4.2.4	Influence aval .....	117
<b>4.3</b>	<b>Analyse hydraulique .....</b>	<b>118</b>
4.3.1	Le code de calculs Telemac-2D .....	118
4.3.2	Emprise du modèle.....	118
4.3.3	Modélisation des ponts et ouvrages .....	119
4.3.4	Le calage du modèle .....	119
<b>4.4</b>	<b>Risque sismique .....</b>	<b>120</b>
4.4.1	Position des ouvrages vis-à-vis des séismes.....	120
4.4.2	Evolution de la réglementation .....	121
<b>4.5</b>	<b>Mouvements de terrain.....</b>	<b>121</b>
<b>4.6</b>	<b>Les embâcles et leurs effets potentiels.....</b>	<b>122</b>
<b>4.7</b>	<b>Les évolutions morphologiques locales et apports solides .....</b>	<b>122</b>
<b>4.8</b>	<b>Les laves torrentielles et leurs effets potentiels .....</b>	<b>122</b>

**5..... Description du système d'endiguement ..... 123**

<b>5.1</b>	<b>Ouvrages existants.....</b>	<b>123</b>
5.1.1	Identification et localisation des ouvrages.....	123
5.1.2	Caractéristiques de dimensionnement générales .....	124
5.1.3	Autres ouvrages .....	137
<b>5.2</b>	<b>Description des ouvrages en phase avant-projet .....</b>	<b>141</b>
5.2.1	Objectif de protection – digues du Borne .....	141
5.2.2	Description du projet d'aménagement des digues du Borne .....	141

5.2.3	Travaux - Mesures temporaires prises contre les crues et tempêtes .....	166
<b>5.3</b>	<b>Description des sources d'agression .....</b>	<b>167</b>
5.3.1	Sources d'agression anthropiques .....	167
5.3.2	Risques naturels .....	167
<b>5.4</b>	<b>Description fonctionnelle du système d'endiguement – digues du Borne rive droite</b>	<b>168</b>
<b>6.....</b>	<b>Retour d'expérience concernant la zone protégée et le système d'endiguement.....</b>	<b>171</b>
<b>6.1</b>	<b>Présentation de la démarche .....</b>	<b>171</b>
6.1.1	Obligations réglementaires.....	171
6.1.2	Méthodologie .....	171
<b>6.2</b>	<b>Défaillances, accidents, incidents et évolutions lentes survenus sur les ouvrages .....</b>	<b>171</b>
6.2.1	Crues historiques sur le système .....	171
6.2.2	Synthèse des observations – typologie des désordres (VTA) .....	172
6.2.3	Autres évènements particuliers survenus sur le site .....	185
6.2.4	Retour d'expérience sur des ouvrages gérés par le SM3A .....	185
6.2.5	Exemples connus d'incidents et d'accidents survenus sur des ouvrages similaires	186
<b>6.3</b>	<b>Scénarios de défaillance probables.....</b>	<b>191</b>
6.3.1	Analyse accidentologique.....	191
6.3.2	Synthèse sur les scénarios de défaillance probables .....	194
<b>7.....</b>	<b>Diagnostic approfondi des éléments constitutifs du système d'endiguement et tenue des ouvrages .....</b>	<b>196</b>
<b>7.1</b>	<b>Historique des reconnaissances réalisés .....</b>	<b>196</b>
7.1.1	Rappel de l'historique du diagnostic du système d'endiguement .....	196
7.1.2	Documents sources.....	197
7.1.3	Historique des reconnaissances géotechniques .....	197
7.1.4	Reconnaissances géophysiques .....	197
7.1.5	Reconnaissances géotechniques.....	202
7.1.6	Caractéristiques géotechniques issues des différentes campagnes de reconnaissances.....	203
7.1.7	Caractéristiques issues des reconnaissances géotechniques de 2021.....	209
<b>7.2</b>	<b>Etat actuel du système d'endiguement .....</b>	<b>211</b>
7.2.1	Evaluation de la stabilité des digues existantes .....	211
7.2.2	Synthèse des résultats de l'EDD CNR – Niveau de sûreté .....	213
7.2.3	Conclusion .....	215
<b>7.3</b>	<b>Rive droite du Borne – Etat Avant-projet .....</b>	<b>216</b>
7.3.1	Principes d'adaptation des ouvrages .....	216
7.3.2	Avant-projet de confortement – digues du Borne rive droite.....	216
7.3.3	Principes généraux.....	216

7.3.4	Objectif de protection .....	216
7.3.5	Méthode de vérification de la tenue des ouvrages.....	217
7.3.6	Caractérisation des probabilités de rupture des digues .....	219
<b>7.4</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>259</b>
7.4.1	Profils types et dispositions constructives .....	259
7.4.2	Matériaux.....	260
<b>7.5</b>	<b>Moyens mis en œuvre pour assurer l'entretien, la surveillance et les réparations courantes des ouvrages .....</b>	<b>260</b>

## 8..... Etude des risques de venues d'eau dans et en dehors de la zone protégée .....

261

<b>8.1</b>	<b>Modélisation hydraulique .....</b>	<b>261</b>
<b>8.2</b>	<b>Famille de scénarios.....</b>	<b>261</b>
<b>8.3</b>	<b>Scénarios de défaillance structurelle retenus .....</b>	<b>261</b>
<b>8.4</b>	<b>Choix des scénarios à modéliser et cartographie.....</b>	<b>263</b>
8.4.1	Scénarios étudiés et retenus.....	263
8.4.2	Cartographie.....	264
<b>8.5</b>	<b>Scénario 1 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (digues du Born rive droite) .....</b>	<b>265</b>
<b>8.6</b>	<b>Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement .....</b>	<b>265</b>
8.6.1	Scénario 3.1 : ouverture d'une brèche dans la digue de Bois Jolivet .....	266
8.6.2	Scénario 3.2 : ouverture d'une brèche dans la digue de la Queue du Borne .....	269

## 9..... Présentation et analyse de l'organisation mise en place par le gestionnaire pour l'exercice de ses missions .....

270

<b>9.1</b>	<b>Organisation du gestionnaire .....</b>	<b>270</b>
9.1.1	Pôles et services chargés de la gestion des ouvrages classés Système d'Endiguement.....	270
9.1.2	Organisation des missions de surveillance générale .....	271
9.1.3	Organisation des interventions programmées .....	272
9.1.4	Organisation lors d'un désordre détecté sur ouvrage .....	273
9.1.5	Entreprises et prestataires sous contrat.....	273
<b>9.2</b>	<b>Consignes de surveillance et d'exploitation des ouvrages hors période de crise 274</b>	
9.2.1	Consignes générales de surveillance.....	274
9.2.2	Consignes d'exploitation des ouvrages.....	275
<b>9.3</b>	<b>Procédure d'information et de communication .....</b>	<b>278</b>
9.3.1	Chaine de responsabilité .....	278
9.3.2	Liens avec certains acteurs spécifiques de la gestion de crise .....	279

9.3.3	Organisation en cas de crise .....	279
<b>9.4</b>	<b>Moyens d'information sur les crues ou les épisodes météorologiques à risque.....</b>	<b>279</b>
9.4.1	Les limites techniques .....	280
9.4.2	Dispositifs de veille opérés par les services de l'Etat.....	283
9.4.3	Stations hydrométriques.....	288
9.4.4	Astreinte .....	289
<b>9.5</b>	<b>Consignes de surveillance des ouvrages en période de crise .....</b>	<b>289</b>
9.5.1	Chaîne de responsabilité et rôle des acteurs en gestion de crise.....	289
9.5.2	Détails et processus de décision du dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise .....	290
9.5.3	Visites post-crue .....	294
9.5.4	Interventions post-crue .....	295
<b>9.6</b>	<b>Analyse des PCS.....</b>	<b>295</b>
<b>9.7</b>	<b>Adéquation des moyens mis en place pour la surveillance et l'entretien courant avec l'objectif de protection garanti .....</b>	<b>296</b>
9.7.1	Entretien, surveillance et exploitation.....	296
9.7.2	Veille et information .....	297
9.7.3	Alerte et mise en sécurité .....	297
<b>9.8</b>	<b>Barrières de sécurités .....</b>	<b>297</b>
9.8.1	Définition des barrières de sécurité.....	297
9.8.2	Respect des barrières de sécurités identifiées .....	298
<b>9.9</b>	<b>Recommandation de l'organisme agréé qui réalise l'étude de dangers (9 bis) 298</b>	
9.9.1	Alerte, surveillance et prévision des niveaux d'eau .....	298
9.9.2	Surveillance vis-à-vis du séisme .....	301
9.9.3	Gestion des ouvrages .....	301
9.9.4	Arrêté ministériel du 8 août 2022 .....	301
9.9.5	Conclusion.....	301
<b>10...</b>	<b>CARTOGRAPHIE ET DESCRIPTION DES RESULTATS ....</b>	<b>303</b>
<b>10.1</b>	<b>Cartes administratives .....</b>	<b>303</b>
<b>10.2</b>	<b>Cartes des venues d'eau.....</b>	<b>304</b>
10.2.1	Scénario 1 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement .....	305
10.2.2	Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement .....	307
<b>11...</b>	<b>Table des Annexes.....</b>	<b>314</b>

## Table des illustrations

Figure 1 : Localisation du système d'endiguement (fond BD-ORTHO®) – digues du Borne rive droite et digues de l'Arve rive gauche .....	19
Figure 2 : Systèmes d'endiguement concernés par les travaux de confortement.....	21
Figure 3 : Localisation précise des digues actuelles constitutives du système d'endiguement.....	23
Figure 4 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne (tronçon de digues entre RD-T1 à RD-T5 sur la rive droite).....	24
Figure 5 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection – digues du Borne rive droite .....	28
Figure 6 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des venues d'eau).....	32
Figure 7 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des venues d'eau) .....	33
Figure 8 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche.....	34
Figure 9 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 1h00 .....	34
Figure 10 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 2h00 .....	35
Figure 11 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 3h00 .....	35
Figure 12 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des venues d'eau) .....	36
Figure 13 : Localisation de la zone protégée.....	44
Figure 14 : Localisation des systèmes d'endiguement de l'Arve et du Borne sur la commune de Bonneville .....	45
Figure 15 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne (avec indication des tronçons homogènes)49	
Figure 16 : Localisation de la zone protégée et des tronçons du système d'endiguement.....	52
Figure 17 : Communes territoire intervention SM3A .....	54
Figure 18 : Zone protégée par le système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne » après travaux sur le Borne et sur l'Arve.....	55
Figure 19 : Hydrogrammes de crues relatifs à la crue centennale du Borne - CNR .....	61
Figure 20 : Cartographie des crues sur le secteur d'étude (Source : S.M.3.A.).....	62
Figure 21 : Localisation précise des digues actuelles constitutives du système d'endiguement.....	63
Figure 22 : Cartographie des ouvrages annexes (ponts, seuils, grandes buses) .....	64
Figure 23 : Profils types historiques issus de l'étude historique Acthys Diffusion – Juillet 2017 .....	68
Figure 24 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne (avec indication des tronçons homogènes)71	
Figure 25 : Profil en long du Borne (Source : CNR) - digues rive droite et rive gauche en état actuel et lignes d'eau ...	75
Figure 26 : Profil en long Borne (Source : CNR) – calage des digues projetées .....	76
Figure 27 : Profil en long de l'Arve (Source : CNR) – partie 1.....	78
Figure 28 : Profil en long de l'Arve (Source : CNR) – partie 2.....	79
Figure 29 : Voies d'accès au système d'endiguement.....	80
Figure 30 : Crue historique à Bonneville – source : SM3A.....	82
Figure 31 : Analyse fonctionnelle externe - CNR.....	83
Figure 32 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection – digues du Borne rive droite .....	86
Figure 33 : Dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise .....	94
Figure 34 : Bassin versant de l'Arve avec ces principaux affluents (source : étude ISL). En rouge la localisation du SE objet de la présente étude.....	100
Figure 35 : Bassin versant du Borne (source : étude EDF). Découpage en deux sous bassins versants .....	102
Figure 36 : Extrait des cartes géologiques d'Annemasse et d'Annecy-Bonneville au 1/50000 du BRGM.....	108
Figure 37 : Schéma en coupe de la géologie du site .....	108
Figure 38 : Débit moyen mensuel de l'Arve à Sallanches – Période 1965 – 2018 – Source banque HYDRO .....	112
Figure 39 : Débit moyen mensuel du Borne à Saint-Jean-de-Sixt – Période 1964 – 2018 – Source banque HYDRO ..	113
Figure 40 : Hydrogrammes de crues relatifs à la crue centennale du Borne - CNR .....	115
Figure 41 : Construction de la courbe de tarage à l'aval du modèle .....	118
Figure 42 : Périmètre du modèle hydraulique (rose).....	119
Figure 43 : Zone de sismicité de la Haute-Savoie – Source www.haute-savoie.gouv.fr .....	121
Figure 44 : Carte de localisation des tronçons du système d'endiguement de Bonneville Entre Arve et Borne .....	123
Figure 45 : Bordets 2 - T02 Merlon : Profil historique - Acthys Diffusion / Photo du profil de digue vue vers l'aval (CNR) .....	125

Figure 46 : Les Bordets T02 : Profil historique - Acthys Diffusion .....	126
Figure 47 : Les Bordets T02 : Profil de digue très végétalisé en crête comme en talus amont (CNR).....	127
Figure 48 : Localisation des différentes formes de digues secteur BORDET - T01 .....	127
Figure 49 : Les Bordets T01 : Profil historique - Acthys Diffusion .....	128
Figure 50 : Les Bordets T01 : Vu depuis la rive droite, zone de SOCOPA – CNR .....	128
Figure 51 : Les Places T02 : Profil historique - Acthys Diffusion / Profil de digue – CNR .....	129
Figure 52 : Les Places T01 : Profils historiques - Acthys Diffusion .....	130
Figure 53 : Les Places T01 : Profil de digue aval / amont – CNR .....	130
Figure 54 : Localisation des différentes formes de digues secteur BOIS JOLIVET A.....	131
Figure 55 : Bois Jolivet A : Vue en crête du profil de digue – CNR .....	132
Figure 56 : Bois Jolivet A : Profils historiques - Acthys Diffusion .....	132
Figure 57 : Merlon Prison : Profil historique - Acthys Diffusion / Vue du talus amont depuis la rive opposée - CNR .....	133
Figure 58 : Bois Jolivet B : Profil de digue – CNR.....	134
Figure 59 : Bois Jolivet B : Profils historiques - Acthys Diffusion .....	134
Figure 60 : Localisation des différentes formes de digues secteur QUEUE DU BORNE.....	135
Figure 61 : Queue du Borne : Profils historiques - Acthys Diffusion / Profil de digue – CNR .....	136
Figure 62 : Seuil Métral vue vers l'aval (à gauche) et seuil amont à la confluence vue vers l'aval (à droite) – photos CNR .....	138
Figure 63 : Seuil aval au pont de l'Europe, vue vers l'amont - CNR.....	139
Figure 64 : Réseaux traversants sur les digues de l'Arve.....	140
Figure 65 : Profil type de l'AVP structurel de 2018 (non retenu) .....	142
Figure 66 : Installation du mur – Schéma de principe.....	145
Figure 67 : RD-T1 – Confortement – Coupe type .....	146
Figure 68 : RD-T2 – Confortement – Coupe type .....	147
Figure 69 : RD-T3 et T4 – Confortement – Coupe type .....	148
Figure 70 : RD-T5 – Confortement – Coupe type .....	149
Figure 71 : RD-T6 – Confortement – Coupe type .....	150
Figure 72 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne rive gauche et rive droite (avec indication des tronçons homogènes) .....	153
Figure 73 : Profil type RD T01 / T02 (PM1076) – géotechnique et aménagements hydro-écologiques .....	156
Figure 74 : Profil type RD-T1 et vue en plan des escaliers d'accès .....	157
Figure 75 : Profil type RD-T2 et principe d'accès à l'eau .....	158
Figure 76 : Profil type RD T03 / T04 (PM507) – vue géotechnique et hydro-écologiques .....	159
Figure 77 : Profil type RD-T3 et RD-T4 au droit du centre d'arrêt .....	160
Figure 78 : Profil type au droit rampe de stabilisation du lit du Borne / PM373 – digue rive droite à droite de la figure.....	161
Figure 79 : Profil type RD-T5 au droit du nouveau parking relais et du projet de jardins familiaux .....	161
Figure 80 : Profil en long de la double rampe proposée en stabilisation du lit du Borne.....	162
Figure 81 : Etanchéité au droit des pistes d'exploitation .....	164
Figure 82 : Carte de synthèse des cheminements piétons et cycles aux abords du Borne .....	164
Figure 83 : Voies d'accès au système d'endiguement.....	165
Figure 84 : Profil en long du Borne (Source : CNR) – calage des digues projetées .....	166
Figure 85 : Cartographie des venues d'eau en Q100 Borne - situation de travaux achevés .....	169
Figure 86 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection – digues du Borne rive droite .....	170
Figure 87 : Cartographie des crues sur le secteur d'étude - Source S.M.3.A .....	172
Figure 88 : Localisation des endiguements concernés par la VTA de 2020 – digues du Borne .....	174
Figure 89 : Merlon de la maison d'arrêt en rive gauche de l'Arve : érosion en pied / affaissement.....	183
Figure 90 : Meylan, Ile d'Amour et Isère amont, courbe de Charlet (photos : AD Isère).....	187
Figure 91 : Rupture de la digue en rive gauche.....	189
Figure 92 : Début de renard hydraulique RG en amont de la brèche.....	190
Figure 93 : Schéma de principe d'une rupture par surverse .....	191
Figure 94 : Schéma de principe d'une rupture par érosion externe.....	192
Figure 95 : Schéma de principe d'une rupture par effet de renard hydraulique .....	193
Figure 96 : Schéma de principe de rupture d'ensemble.....	193
Figure 97 - Localisation des campagnes de reconnaissances géophysiques .....	198

Figure 98 : Localisation des sondages géotechniques réalisés en 2017 sur les digues objets de l'étude .....	202
Figure 99 : granulométries .....	205
Figure 100 - synthèse des différentes reconnaissances géotechniques - EDD CNR, 2019 .....	208
Figure 101 : Bois Jolivet B – PM 1200.....	208
Figure 102 : Queue du Borne – PM 400.....	209
Figure 103 - Plan d'implantation des sondages de la campagne de reconnaissance de 2021 (a: PM 59RG à 465 RG ; b : PM 426RD à 870RD c: 979RD à 1380RD) .....	210
Figure 104 - Coefficients de sécurité calculés - étude de stabilité au glissement (Source : EDD CNR 2019).....	213
Figure 105 - Synthèse de la sensibilité au risque d'érosion interne (Source : EDD CNR 2019) .....	213
Figure 106 - Synthèse du risque d'érosion externe par tronçon (Source : EDD CNR 2019).....	214
Figure 107 - Conclusions, risques et préconisations (Source : EDD CNR 2019) .....	214
Figure 108 - Arbre type de probabilité.....	217
Figure 109 - vérification de la stabilité de la digue au séisme (Recommandation du MEDDE, 2014 [19]) .....	220
Figure 110 - Recommandation de vérification de la sécurité structurale de la digue à la liquéfaction (recommandation du MEDDE, 2014 [19]).....	220
Figure 111 - Tableau de synthèse des évolutions entre le décret 2007 et 2015 (Source: France-Digue).....	220
Figure 112 - accélération maximale de référence au niveau du sol en fonction de la zone de sismicité (Source: Recommandation du MEDDE, 2014 [19]).....	221
Figure 113 - paramètre de sol en fonction de la classe de sol (Source: Recommandation du MEDDE, 2014 [19]) .....	221
Figure 114 - Modes de rupture considérés .....	222
Figure 115 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par surverse .....	224
Figure 116 - Vitesse d'écoulement sur le talus d'une digue en surverse - Cerema [21] .....	225
Figure 117 - valeurs limites de dimensionnement de la résistance à l'érosion pour des mesures anti-érosions sélectionnées (source: Hewlett et al. – 1987 [22]) .....	226
Figure 118 - mécanisme d'érosion par surverse en fonction des matériaux de la digue.....	227
Figure 119 - Largeur en crête et probabilité conditionnelle associée .....	228
Figure 120 - Profil en long de la digue en RD du Borne à l'état projet et ligne d'eau associée .....	228
Figure 121 - Arbre de défaillance associé à la rupture par glissement de talus (digue en remblai) .....	230
Figure 122 - Arbre de défaillance associé à la rupture par glissement de talus (digue en remblai) .....	230
Figure 123 - Coefficients partiels et de modèle pour le glissement (Source: CFBR, 2015 [23]) .....	231
Figure 124 - Facteurs de sécurité de stabilité pour les différents tronçons .....	234
Figure 125 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T1 .....	235
Figure 126 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T2 .....	236
Figure 127 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T3 .....	236
Figure 128 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T4 .....	237
Figure 129 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T5 .....	237
Figure 130 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T6 .....	238
Figure 131 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T7 .....	238
Figure 132 - schéma du phénomène de suffusion.....	240
Figure 133 - Schéma du phénomène d'érosion de contact.....	241
Figure 134 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit.....	242
Figure 135 - Synthèse des facteurs aggravants vis à vis de l'érosion de contact.....	243
Figure 136 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T1.....	244
Figure 137 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T2.....	245
Figure 138 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T3.....	245
Figure 139 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T4.....	246
Figure 140 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T5.....	246
Figure 141 - Probabilités de défaillance par érosion de conduit des tronçons.....	247
Figure 142 - Schéma du phénomène d'érosion régressive.....	247
Figure 143 - Rose des vents à Bonneville (Source: Meteoblue) .....	248
Figure 144 - Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive droite du Borne à Q100 .....	249
Figure 145 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe .....	250
Figure 146 - Synthèse des facteurs aggravant vis-à-vis de l'érosion externe.....	254
Figure 147 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T1 .....	255
Figure 148 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T2 .....	256
Figure 149 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T3.....	256

Figure 150 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T4 .....	257
Figure 151 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T5 .....	257
Figure 152 : Localisation des brèches modélisées pour le scénario de défaillance structurelle (en situation projet – digues du Borne rive droite) .....	263
Figure 153 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des venues d'eau).....	265
Figure 154 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des venues d'eau) .....	266
Figure 155 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche .....	267
Figure 156 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 1h00 .....	267
Figure 157 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 2h00 .....	268
Figure 158 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 3h00 .....	268
Figure 159 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des venues d'eau) .....	269
Figure 160 : Station de référence par tronçon de l'Arve.....	287
Figure 161 : Dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise .....	291
Figure 162 : Consignes de sécurité en cas de débordements .....	296
Figure 163 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection.....	299
Figure 164 : Limites administratives du territoire relevant du SM3A .....	303
Figure 165 : Zone protégée par le système d'endiguement « Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne » .....	304
Figure 166 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des venues d'eau).....	305
Figure 167 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des hauteurs d'eau) .....	306
Figure 168 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des vitesses d'écoulement) .....	306
Figure 169 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des venues d'eau) .....	307
Figure 170 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des hauteurs d'eau) .....	308
Figure 171 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des vitesses d'écoulement).....	308
Figure 172 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche .....	309
Figure 173 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 1h00 .....	310
Figure 174 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 2h00 .....	310
Figure 175 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 3h00 .....	311
Figure 176 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des venues d'eau) .....	311
Figure 177 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des hauteurs d'eau) .....	312
Figure 178 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des vitesses d'écoulement).....	313

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Délimitation des digues constituant le système d'endiguement (EDD CNR, 2019).....	22
Tableau 2 : Sectorisation des digues en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur. ....	25
Tableau 3 : Niveaux de sureté, de protection et de danger des digues du Borne rive droite en état de travaux achevés27	
Tableau 4 : Synthèse des scénarios modélisés.....	30
<b>Tableau 5 : Descriptif du cadre de la demande (arrêté du 30 septembre 2019) .....</b>	<b>42</b>
Tableau 6 : Délimitation des digues constituant le système d'endiguement.....	45
Tableau 7 : Synthèse des conclusions du diagnostic mené sur les digues du Borne – CNR 2018, actualisé en 2020 ..	47
Tableau 8 : Sectorisation des digues du Borne rive droite en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur.....	50
Tableau 9 : Population exposée selon les scénarios d'inondation considérés (sans prise en compte des personnes circulant sur les axes de voiries non communales).....	58
Tableau 10 : Analyse complémentaire prenant en compte le nombre de personnes exposées sur les voiries non communales .....	58
Tableau 11 : Population exposée selon les scénarios d'inondation considérés (sans prise en compte des personnes circulant sur les axes de voiries non communales).....	59
Tableau 12 : Analyse complémentaire prenant en compte le nombre de personnes exposées sur les voiries non communales .....	59
Tableau 13 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze (pour les crues du Borne de différentes périodes de retour) – source CNR.....	60
Tableau 14 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze (pour les crues de l'Arve de différentes périodes de retour) – source CNR.....	60

Tableau 15 : Délimitation des digues constituant le système d'endiguement (EDD CNR, 2019).....	63
Tableau 16 : Résumé des caractéristiques géométriques externes des ouvrages existants - CNR .....	69
Tableau 17 : Sectorisation des digues en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur. ....	72
Tableau 18 : Niveaux de sureté, de protection et de danger des digues du Borne rive droite en état de travaux achevés .....	85
Tableau 19 : Technique de confortement de digue après dessouchage .....	91
Tableau 20 : Stations hydrométriques sur le bassin versant de l'Arve – Banque HYDRO .....	103
Tableau 21 : Débits de pointe pour des crues de l'Arve et du Giffre .....	104
Tableau 22 : Faune à enjeux écologiques moyen et fort - indicatif .....	112
Tableau 23 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze pour les crues du Borne - CNR.....	114
Tableau 24 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze (pour les crues de l'Arve de différentes périodes de retour) - CNR .....	114
Tableau 25 : Description des crues historiques – source étude historique réalisée par Acthys Diffusion [DA37].....	117
Tableau 26 : Ponts présents sur la zone d'étude .....	122
Tableau 27 : Résumé des caractéristiques géométriques externes des ouvrages existants .....	136
Tableau 28 : Résumé des caractéristiques géométriques externes des ouvrages existants (bis) .....	137
Tableau 29 : Ponts présents sur la zone d'étude .....	137
Tableau 30 : Liste des seuils dans le lit de l'Arve et du Borne sur la zone d'étude.....	138
Tableau 31 : Caractéristiques des buses .....	139
Tableau 32 : Comparaison temps de percolation / crue – RD.....	151
Tableau 33 : Sectorisation des digues en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur – digues du Borne rive droite.....	154
Tableau 34 : Débits estimés et mesurés durant différentes crues de l'Arve et/ou du Borne dans le secteur de l'endiguement.....	172
Tableau 35 : Hiérarchisation de l'état de fragilité des endiguements du Borne .....	176
Tableau 36 : Identification des Situations dangereuses et Potentiels de danger pouvant intervenir sur une digue de protection contre les inondations (source : CNR) .....	195
Tableau 37 : Contenu des reconnaissances géophysiques 2017 .....	201
Tableau 38 : Contenu des reconnaissances géotechniques 2017 .....	202
Tableau 39 : Résultats des essais de cisaillement .....	204
Tableau 40 : Résultats des essais d'identification .....	205
Tableau 41 : Résultats des analyses physico-chimiques.....	206
Tableau 42 : Rive droite – Paramètres géomécaniques .....	209
Tableau 43 : synthèse extraite de l'EDD de 2019 avec Arve en état actuel (Source EDD CNR – 2018).....	212
Tableau 44 : Découpage en tronçons homogènes – RD (Source EDD CNR – 2018).....	216
Tableau 45 : Objectifs de protection du système d'endiguement .....	217
Tableau 46 - Probabilité conditionnelle proposée par Vick (2002) .....	219
Tableau 47 - analyse de sensibilité de la digue au séisme .....	222
Tableau 48 - grille de probabilités conditionnelles pour la progression de l'érosion par surverse jusqu'à la rupture .....	227
Tableau 49 : Probabilités conditionnelles d'instabilité des talus au glissement d'après le CFBR (pour $F_s > 1,10$ ).....	232
Tableau 50 : Probabilités conditionnelles d'instabilité des talus au glissement d'après Vicks (Pour $F_s < 1,10$ ) .....	232
Tableau 51 - probabilités conditionnelles pour l'instabilité des talus au glissement.....	233
Tableau 52 - Probabilités conditionnelles pour la propagation du glissement jusqu'à la rupture .....	233
Tableau 53 - Synthèse des probabilités de rupture des ouvrages pour la crue centennale $Q_{100}$ .....	258
Tableau 54 - Estimation du niveau de danger de chacun des tronçons .....	259
Tableau 55 : Technique de confortement de digue après dessouchage .....	277
Tableau 56 : Stations hydrométriques sur le bassin versant de l'Arve – Banque HYDRO .....	288
Tableau 57 : Seuils de vigilance et d'alerte proposés .....	300

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement.
- [2] *Arrêté du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions.*
- [3] *SM3A, Convention cadre de mutualisation de moyens et de gestion des systèmes d'endiguement de l'Etat, C18-008, 19 janvier 2017..*
- [4] *arrêté N°12-007 du préfet coordinateur du bassin Rhône-Méditerranée en date du 10 Janvier 2012 reconnaissant le bassin versant de l'Arve comme périmètre d'intervention du Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A).*
- [5] *LOI n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République (1).*
- [6] *LOI n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles.*
- [7] *LOI n° 2017-1838 du 30 décembre 2017 relative à l'exercice des compétences des collectivités territoriales dans le domaine de la gestion des milieux aquatiques et de la prévention des inondations (1).*
- [8] *Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques.*
- [9] *Acthys Diffusion pour SM3A, Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement de l'Arve et du Borne, Etude historique, Rapport principal et Fiches d'information historiques (FIH) par système d'endiguement, Réf. : V1, Juillet 2017.*
- [10] *CNR pour SM3A, Dossier d'ouvrage, Système d'endiguement Bonneville entre Arve et Borne commune de Bonneville, Réf. DIGP-AH 2018-326-01, Mars 2018.*
- [11] *CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny, Secteur de Bonneville – Dossier d'ouvrage, Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne", Mai 2018.*
- [12] *ISL pour S.M.3.A, ETUDE DE FAISABILITE POUR L'OPTIMISATION DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION DES CRUES DE LA MOYENNE ET BASSE VALLEE DE L'ARVE, Analyse de l'hydrologie globale du bassin versant (A2), 15F-145-RL-2 INDB, 08/06/2016.*
- [13] *SAGE Ingénierie pour DTT74, Diagnostic géotechnique des digues de l'ARVE sur les Communes de BONNEVILLE et SALLANCHES MARCHE N°09086, Le Bouchet T01, Bois Jolivet A, Trésor Public T02 Les Réveés, Réf : RP. 4612, Septembre 2010..*
- [14] *«SAFEGE pour DTT74, DIAGNOSTICS GÉOTECHNIQUES DE DIGUES DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ARVE, Bordets T01 et T02 et Lisière du Clos, Réf : RP. 10CCY040, Avril 2011.».*

- [15] «Géotechnique Rhône Alpes pour SM3A, RAPPORT D'ETUDE MISSION GEOTECHNIQUE G1 ES ETUDE GEOTECHNIQUE DE LA DIGUE DU QUAI JEAN BAPTISTE REY, Réf. : Dossier 2014-07-4, Juillet 2014.».
- [16] «IMG pour SM3A ÉTUDE DE DANGERS SUR LES DIGUES DE BONNEVILLE, AYZE, ET SAINT-PIERRE-EN FAUCIGNY RECONNAISSANCES GEOPHYSIQUES, digues Vorziers, Bois Jolivet A et B, Queue du Borne, Merlon Prison, Place T01 et T02, les Bordets 2 et Merlon des Bordets ; les B».
- [17] Degrees of Belief : Subjective Probability and Engineering Judgment – Steven G. Vick – 2002.
- [18] Reagan, R. T., Mosteller, F., & Youtz, C. (1989). Quantitative meanings of verbal probability expressions. *Journal of Applied Psychology*, 74(3), 433–442. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.74.3.433>.
- [19] *Risque sismique et sécurité des ouvrages hydraulique - MEDDE-DGPR, Octobre 2014.*
- [20] *The International Levee Handbook. CIRIA. (2013).*
- [21] *guide international sur les digues - CEREMA - 2019.*
- [22] *H. Hewlett, L. Boorman, and M. Bramley. Guide to the design of reinforced grass waterways Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London, the United Kingdom, 1987.*
- [23] *Recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai - CFBR, Octobre 2015.*
- [24] *LOI n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles.*
- [25] *SOGREAH pour S.M.3.A., Etude Hydrologique, 1991.*
- [26] *EGIS eau pour S.M.3.A., Etude d'inondabilité de la vallée de l'Arve, Rapport Partie 1 : diagnostic de l'inondabilité de la vallée de l'Arve, Ref GRI 04605X , Mai 2012.*
- [27] *EGIS eau pour S.M.3.A., Etude d'inondabilité de la vallée de l'Arve, Rapport Partie 2 : étude de faisabilité pour l'optimisation de la participation des champs d'expansion à l'écrêtement des crues de l'Arve, Ref GRI 04605X, Mai 2012.*
- [28] *SOGREAH pour S.M.3.A., Etude des transports solides sur l'Arve, Réf. 550490, Avril 2000.*
- [29] *SOGREAH LEDOUX CONSULTANTS pour S.M.3.A., Plan de Gestion des Matériaux solides de l'Arve, Réf. 2814036, Janvier 2004.*
- [30] *Hydratech pour S.M.3.A., Analyse des évolutions topographiques du lit de l'Arve, Ref 0163102, Juillet 2013..*
- [31] *ARTELIA ASCONITE pour S.M.3.A., Définition d'une stratégie relative à l'hydromorphologie pour le SAGE du bassin versant de l'Arve, Etat des lieux / Diagnostic, 2014.*
- [32] *ARTELIA pour S.M.3.A, Inventaires et Diagnostic des ouvrages de protection hydraulique sur l'Arve, Diagnostic initial des ouvrages, Diagnostic des ouvrages, Ref 4 12 1713 R7 INDB, secteur ARVE-RD-MAGLA-49.37, Juin 2014.*
- [33] *SAGE Ingénierie pour DDT74, Diagnostic géotechnique des digues de l'ARVE sur les Communes de BONNEVILLE et SALLANCHES MARCHE N°09086, Le Bouchet T01, Bois Jolivet A, Trésor Public T02 Les Révées, Réf : RP. 4612, Septembre 2010.*

- [34] SOGREAH Ingénierie Conseils pour Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Borne (S.M.3.A.) et D.D.A.F. de Haute Savoie, Etude Générale d'Aménagement Hydraulique du Borne, Septembre 1989.
- [35] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny, Secteur de Bonneville – Dossier d'ouvrage, Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne", Mai 2018.
- [36] Mosaïque environnement pour SM3A - Diagnostic environnemental Aménagement des digues de l'Arve et du Borne aval – Rapport Provisoire – Avril 2018.
- [37] SOGREAH pour SM3A, ETUDE GENERALE D'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DU BORNE, Novembre 1998.
- [38] P.P.R. Inondation de l'Arve, Commune de Bonneville, prescrit par l'arrêté préfectoral D.D.A.F. – R.T.M. 99/19 DU 25 Juin 1999..
- [39] Circulaire du 16 avril 2010 relative aux études de dangers des digues de protection contre les inondations fluviales.
- [40] Arbeausolutions pour SM3A, SYNTHÈSE DU DIAGNOSTIC DE LA VEGETATION IMPLANTÉE SUR 3 DES SYSTÈMES D'ENDIGUEMENTS DU SM3A, Version 1 du 13/07/2017.
- [41] SM3A, Consignes générales de surveillance et d'exploitation. Ouvrages classés en systèmes d'endiguement, 30 novembre 2015..
- [42] HYDROGÉOTECHNIQUE pour SM3A, RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE, Mission G1 (ES), Réf. : C.17.52067, Septembre 2017.
- [43] «Document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) – Commune de Bonneville - en cours d'élaboration».
- [44] «Plan communal de sauvegarde – Commune de Saint Pierre en Faucigny – 10/10/2014».
- [45] «Plan communal de sauvegarde – Commune de Bonneville – 13/04/2016».
- [46] «GEOS INGENIEURS CONSEILS SA pour SM3A, CONTRE SEUIL DU PONT DE L'EUROPE BONNEVILLE, SONDAGES GEOTECHNIQUES, pied de digue de Bois Jolivet, Réf. : GEOS 5415a.RI, Avril 2003.».
- [47] «ETRM et TERE0 pour S.M.3.A., Plan de gestion des matériaux solides du Borne et de ses affluents, Novembre 2018».
- [48] «Document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) – Commune de Saint Pierre en Faucigny - approuvé en 2017».
- [49] «Analyse critique de l'hydrologie de l'Arve – Elaboration du cahier des charges de l'étude sur les champs d'expansion des crues de l'Arve - Ecole Centrale de Lyon, Rapport de stage de CECCATO Adeline pour le S.M.3.A. , Aout 2007».
- [50] «VTA Notice générale référencée DIGP 2017-087-01 et fiches synthèses de Mai 2017, CNR/Arbeausolutions».
- [51] «Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai. Comité Français des Barrages et Réservoirs. DRAFT Juin 2010».
- [52] «RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE, Mission G1 (ES), Réf. : C.17.52067, Septembre 2017,» HYDROGÉOTECHNIQUE pour SM3A.

- [53] «MALLET T., DEGOUTTE G., ROYET P., Niveaux de protection, de sûreté et de danger pour les digues fluviales : définitions, conséquences et responsabilités, Colloque sur les Dignes maritimes et fluviales de protection contre les submersions, Aix-en-Provence,».
- [54] «ARTELIA pour SM3A INVENTAIRES ET DIAGNOSTICS DES OUVRAGES DE PROTECTION HYDRAULIQUE SUR L'ARVE RAPPORT DE PHASE 2 : Recueil et analyse des données Dignes de Corbière, Bouchet, Bois Jolivet A, Jean Baptiste Rey (Crotte), Merlon Prison, Place T01 et T02, B,» ARTELIA pour SM3A.
- [55] [En ligne]. Available: <http://www.haute-savoie.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite-et-protection-de-la-population/Protection-civile/Risques-majeurs/Dossier-departemental-des-risques-majeurs>.
- [56] [En ligne]. Available: <http://www.franceseisme.fr/donnees/intensites/carte.php>.
- [57] [En ligne]. Available: <http://www.legifrance.gouv.fr>.
- [58] «Etude de dangers sur les digues de Bonneville, Ayze et Saint-Pierre en Faucigny – Reconnaissances géotechniques – Rapport d'étude géotechnique Mission G1 (ES) – 2017 – HYDROGEOTECHNIQUE».
- [59] «Etude des crues extrêmes du Borne à Saint-Pierre-en-Faucigny (149 km<sup>2</sup>) par la méthode SCHADEX pour SM3A, EDF, indice A, H-44200966-2020-000007, 14/01/2020».
- [60] «Etude de dangers des digues de la confluence Arve Borne, VTA de mars 2017, Notice générale et Annexes, Réf. : DIGP 2017-087, Juillet 2017.,» CNR pour SM3A.
- [61] «Estimation de l'aléa crue de l'Arve à Bonneville (1353 km<sup>2</sup>), à la station EDF/DTG du Pont Neuf à Arthaz/Reignier (1635 km<sup>2</sup>) et au Pont d'Etrembières (1875 km<sup>2</sup>) par la méthode SCHADEX pour SM3A, EDF, indice A, H-44200966-2020-000284, 07/10/2020».
- [64] «DEROO L. FRY J.-J. Projet national ERINOH Thème H Erosion interne – Approches et besoins en matière d'ingénierie, Juillet 2014.».
- [65] «Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville – Etude d'Avant-Projet – Annexe 1 – Définition des profils type de confortement, Groupement Suez Consulting/CNR/Biotec, Mai 2021.».
- [66] «Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville. Tronçon Pont Royal RD1203 – Confluence Arve/Borne (PM0 à 1380 sur le Borne). Mission d'ingénierie géotechnique G2 – stade AVP). CNR/Safège. Mai 2021.».
- [67] «CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny: Avant-Projet de confortement, Juin 2018.».
- [68] «CNR pour SM3A, Etude Hydraulique de reprise de modèle de l'Arve - 2021».
- [69] «CIGB ICOLD, Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundation, Bulletin 1xx, Internal erosion processes and engineering assessment, 22 January 2013.».
- [70] «BEGUIN R., Étude multi-échelle de l'érosion de contact au sein des ouvrages hydrauliques en terre, Thèse, 2011».
- [71] «Avant-Projet de confortement référencé DIGP 2018-625-02 de Décembre 2018, CNR».

- [72] «Acthys Diffusion pour SM3A, Etude pour la restauration des systèmes d'endiguement de l'Arve et du Borne, Etude historique, Rapport principal et Fiches d'information historiques (FIH) par système d'endiguement, Réf. : V1, Juillet 2017.».
- [73] «VTA Notice générale référencée DIGP 2020-633-00 et fiches synthèses d'Octobre 2020, CNR/Safege».

# RESUME NON TECHNIQUE

## 0. RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS

Ce résumé non technique est destiné au grand public dans le but de présenter des informations objectives et factuelles sur le système d'endiguement qui fait l'objet de cette présente Etude de Dangers (EDD).

### 0.1 Contexte législatif et réglementaire

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 et les décrets n°2007-1735 et n°2015-526 [1] rénovent en profondeur les règles de sécurité et de sûreté des ouvrages hydrauliques (barrages de retenue et digues de protection des populations).

Ces textes posent le principe d'un recensement des ouvrages hydrauliques et imposent aux propriétaires, exploitants ou concessionnaires d'une digue de classe A, B, ou C, une étude de dangers.

Le nouvel arrêté sur le plan des études de dangers en date du 30 septembre 2019 modifiant celui du 7 avril 2017 [2] précise le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions

En s'appuyant sur ces textes, la présente étude a pour vocation d'exposer les risques que présentent les ouvrages pour la sécurité publique, directement ou indirectement, en cas d'accident. Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité d'occurrence de ces accidents potentiels et les effets de ces accidents.

### 0.2 Présentation de l'autorité compétente

Le gestionnaire du système d'endiguement qui fait établir la présente Etude de Dangers est le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A) située à l'adresse suivante :



#### **SYNDICAT MIXTE D'AMENAGEMENT DE L'ARVE ET DE SES AFFLUENTS**

Etablissement public – Syndicat mixte fermé

Représenté par M. Bruno FOREL, Président

300 Chemin des Près Moulin

74800 Saint-Pierre-en-Faucigny

Mail : [sm3a@sm3a.com](mailto:sm3a@sm3a.com)

Tel : 04 50 25 60 14

Par arrêté préfectoral n°12-007 du 10 janvier 201 et sur avis du préfet coordinateur de Bassin Rhône-Méditerranée, le SM3A, créé en 1995, est reconnu Syndicat Mixte EPTB. Depuis 2017, il exerce également les missions d'EPAGE, au sens de l'art.76 de la loi Notre (codifié au L213-12 du code de l'environnement), l'ensemble de ses membres ayant pris par anticipation la compétence GEMAPI (Gestion des Milieux aquatiques et prévention des inondations) au 01/01/2017.

Depuis le 19 janvier 2017, l'Etat (via la DDT 74) a délégué par anticipation, l'exploitation des ouvrages de l'Etat au SM3A. Cette délégation a été cristallisée via la signature d'une convention cadre de mutualisation [5].

### 0.3 Description des ouvrages objet de l'étude

#### 0.3.1 Cours d'eau concernés et localisation

Le système d'endiguement de « Bonneville entre Arve et Borne » est localisé sur deux cours d'eau (Figure 1 – en jaune) :

- En rive droite du Borne, du Pont Royal (RD1203) jusqu'à la confluence avec l'Arve → digues du Borne rive droite ;
- En rive gauche de l'Arve, de l'A40 jusqu'à la confluence avec le Borne → digues de l'Arve rive gauche.

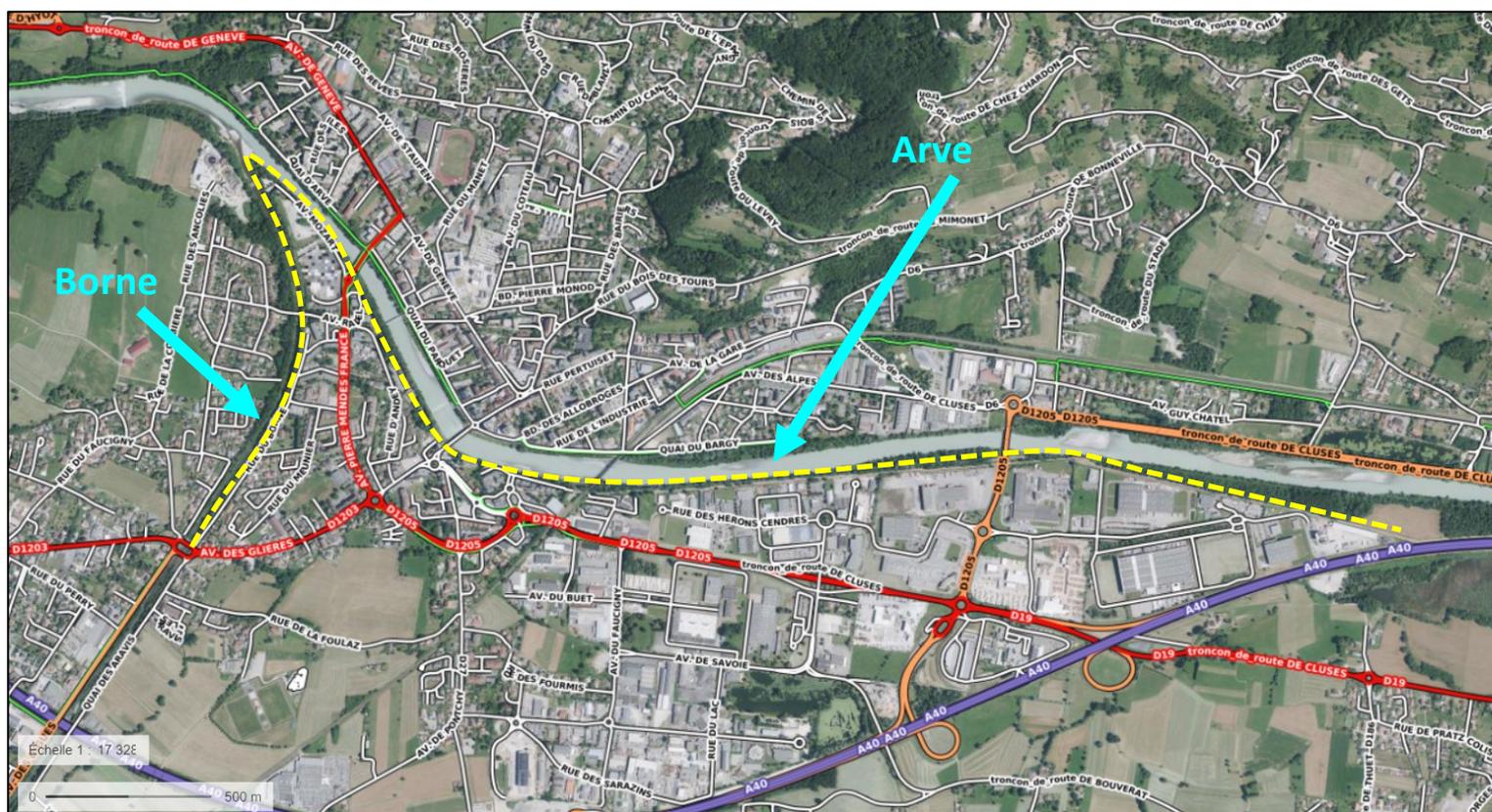


Figure 1 : Localisation du système d'endiguement (fond BD-ORTHO®) – digues du Borne rive droite et digues de l'Arve rive gauche

### 0.3.2 Objectif de l'étude et adaptation de juin 2023

Le système d'endiguement ARVE-RG-BONNE-26.24 dit « Arve rive gauche et Borne rive droite » protège la commune de Bonneville contre les crues du Borne et de l'Arve.

#### Rappel du contexte :

En 2020, le SM3A a lancé un marché de maîtrise d'œuvre pour le confortement et la reconstruction des digues du Borne et de l'Arve à Bonneville/Ayze :

- L'avant-projet des digues du Borne est finalisé/validé en juillet 2021 → travaux souhaités à partir de début 2024 ;
- L'avant-projet des digues de l'Arve est finalisé/validé en décembre 2022 → travaux souhaités à partir de septembre/octobre 2024.

Vu la temporalité différente des deux projets, et dans le but de conforter les digues du Borne dans les plus brefs délais (digues en mauvais état), deux dossiers réglementaires sont prévus (dans le respect de la « notion de projet » fixée par la MRAE) :

- **Dossier réglementaire « Borne »** pour l'obtention de l'arrêté préfectoral autorisant les travaux sur le Borne → déposé en décembre 2022 ;
- **Dossier réglementaire « Arve »** pour l'obtention de l'arrêté préfectoral autorisant les travaux sur l'Arve → à déposer en été 2023.

Le dossier « Borne » déposé est composé des études de dangers suivantes :

- Borne RG (Saint Pierre entre Arve et Borne) : SE-Arve-RG-STPIE-24.17 ;
- **Borne RD et Arve RG (Bonneville entre Arve et Borne) : SE-Arve-RG-BONNE-26.24 → dans la version déposée de cette EDD (version B de la présente étude de dangers), les digues de l'Arve rive gauche sont intégrées en état actuel avec un niveau de protection décennal.**

Le dossier « Arve » à déposer sera composé des études de dangers suivantes :

- Borne RD et Arve RG (Bonneville entre Arve et Borne) : SE-Arve-RG-BONNE-26.24 → Intégration des travaux sur l'Arve RG (conformément à la réunion du 10/01/2023) ;
- Arve RD (Bonneville Ayze) : SE-Arve-RD-BONNE-25.79 → Intégration des travaux sur l'Arve RD (conformément à la réunion du 10/01/2023).

Les trois systèmes d'endiguement susmentionnés, géré par le SM3A, sont localisés dans la figure ci-après :

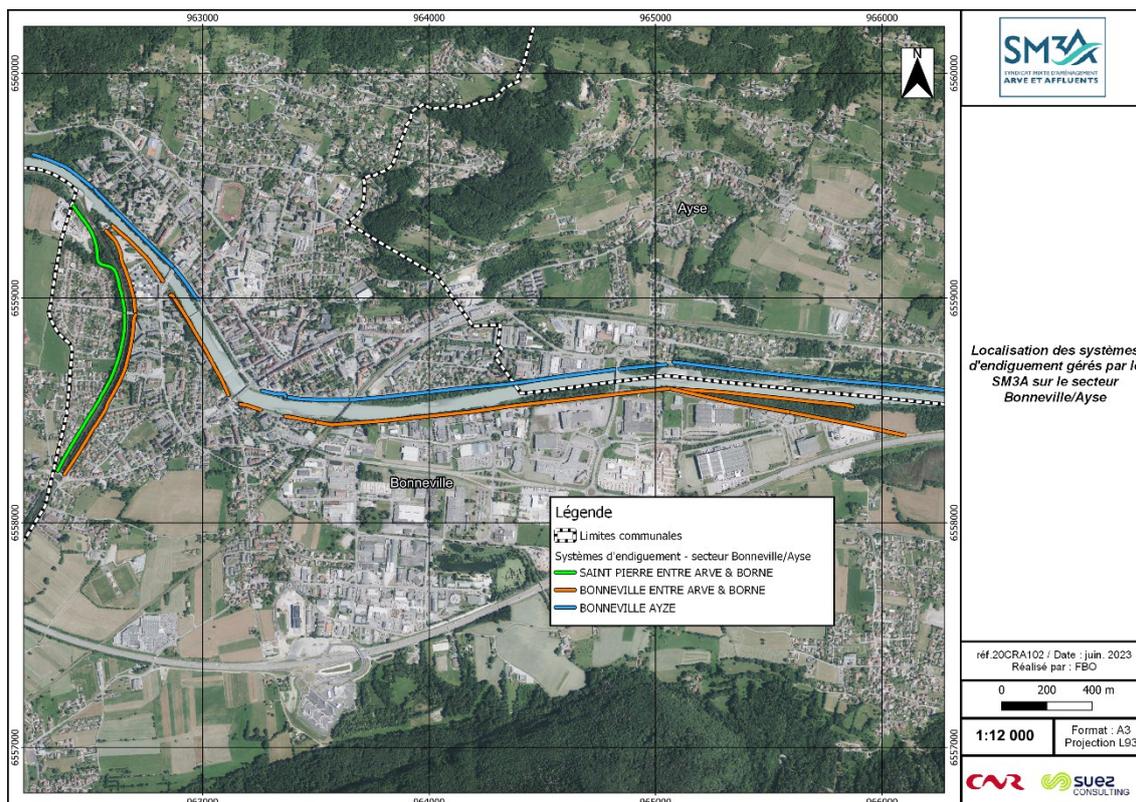


Figure 2 : Systèmes d'endiguement concernés par les travaux de confortement

Comme vu avec les services de l'Etat en juin 2023, l'attribution d'une zone protégée aux digues de l'Arve rive gauche « actuelles » est rendue difficile car leur niveau de protection (EDD CNR 2019) est équivalent au terrain naturel (NP conditionné par le tronçon entre le pont de la ZI et le pont SNCF).

L'ensemble des digues de l'Arve en rive gauche fera l'objet de travaux (à partir de fin 2024), il est acté suite à la réunion du 21/06/2023 (présents : SM3A, DDT74, DREAL OH, SAFEGE, CNR) de ne considérer que les digues du Borne dans la présente étude de dangers. La description des digues de l'Arve sera néanmoins conservée dans le corps du rapport.

Les digues de l'Arve rive gauche seront classées en « état de travaux achevés » dans l'étude de dangers qui sera déposé dans le cadre du dossier réglementaire « Arve » en été 2023. Idem pour les digues de l'Arve rive droite.

### Synthèse :

La présente étude de dangers du système d'endiguement « ARVE-RG-BONNE-26.24 – BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE » - version C (dossier Borne), qui sera jointe aux compléments de réponses à l'instruction du dossier réglementaire « Borne », est centrée sur les digues suivantes :

Les digues en rive droite du Borne, entre le pont de la RD1203 et la confluence avec l'Arve, après travaux de confortement et de reconstruction. L'état conforté sur le Borne est considéré suivant les préconisations de l'avant-projet décrit dans ce rapport.

Conformément au compte rendu de la réunion du 21/06/2023, les digues en rive gauche de l'Arve seront classées en « état de travaux achevés » dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve » en été 2023. La description des digues de l'Arve sera conservée dans le corps du rapport.

L'EDD répond aux objectifs principaux suivants :

- Description exhaustive du système d'endiguement (digues du Borne en rive droite) ;
- Détermination du niveau de protection du système d'endiguement (digues du Borne en rive droite) ;
- Détermination de la zone protégée et des enjeux (digues du Borne en rive droite) ;
- Etude des risques de défaillance du système d'endiguement (digues du Borne en rive droite) ;
- Présentation de l'organisation mise en place par le gestionnaire pour l'exercice de ses missions.

Suivant l'annexe 1 de l'Arrêté du 30 avril 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 [2] décrivant le plan des études de danger d'un système d'endiguement, le système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne » rentre dans le cadre :

**« Cas 2 : demande d'autorisation initiale d'un système d'endiguement ou d'un aménagement hydraulique comportant des travaux ».**

Dans ce cas, le contenu de l'étude de dangers est conforme aux dispositions de l'article 3 du dit arrêté. Les dispositions de cet article sont rappelées ci-dessous :

#### Article 3 -

« Art. 3. Lorsqu'une étude de dangers est jointe à une demande d'autorisation initiale d'un système d'endiguement ou d'un aménagement hydraulique comprenant des travaux, **le contenu de l'étude porte sur ce système ou cet aménagement tel qu'il se trouvera dans sa configuration effective au moment où il est considéré comme opérationnel une fois les travaux achevés.** L'étude de dangers comporte aussi une évaluation des situations particulières pendant la réalisation des travaux tenant compte de la durée prévue pour ceux-ci. » ;

### 0.3.3 Ouvrages constitutifs du système d'endiguement

#### 0.3.3.1 Système d'endiguement actuel

Le système d'endiguement actuel est constitué des unités.

**Tableau 1 : Délimitation des digues constituant le système d'endiguement (EDD CNR, 2019)**

DIGUE	IDENTIFIANT_SIRS	COURS_EAU	RIVE	GESTIONNAIRE	LONGUEUR (m)	PK amont	PK aval
LES BORDETS 2-T02 MERLON	ARVE-RG-BONNE-29.65	ARVE	GAUCHE	SM3A	519	30.16	29.65
LES BORDETS 2-T01	ARVE-RG-BONNE-29.11	ARVE	GAUCHE	SM3A	538	29.65	29.13
LES BORDETS-T02	ARVE-RG-BONNE-28.87	ARVE	GAUCHE	ETAT	817	29.95	29.13
LES BORDETS-T01	ARVE-RG-BONNE-27.62	ARVE	GAUCHE	ETAT	1563	29.13	27.56
LES PLACES - T02 -ST ESPRIT	ARVE-RG-BONNE-27.41	ARVE	GAUCHE	SM3A	139	27.56	27.54
LES PLACES - T01	ARVE-RG-BONNE-27.21	ARVE	GAUCHE	SM3A	94	27.30	27.22
BOIS JOLIVET A	ARVE-RG-BONNE-26.63	ARVE	GAUCHE	ETAT	517	27.19	26.58
MERLON PRISON	ARVE-RG-BONNE-26.24	ARVE	GAUCHE	SM3A	390	26.58	26.19
QUEUE DU BORNE	BORNE-RD-BONNE-0.23	BORNE	DROITE	SM3A	372	0.16	0.59
BOIS JOLIVET B	BORNE-RD-BONNE-0.61	BORNE	DROITE	SM3A	787	0.61	1.39

Comme susmentionné, le gestionnaire du système d'endiguement est le S.M.3.A. Les actions principales en tant que gestionnaires sont :

- Entretien courant et maintenance notamment concernant la végétation ;
- Suivi de l'état des ouvrages par des visites régulières ;
- Suivi de la tenue des ouvrages en crue et appel aux entreprises si nécessaire lors d'évènements exceptionnels ;
- Suivi post-événement (séisme ou crue) et préconisation de travaux de confortement en cas de désordres significatifs pouvant engager la sécurité de l'ouvrage lors de prochains évènements.

La cartographie suivante précise l'emplacement du système d'endiguement sur un fond BD-ORTHO® (IGN).

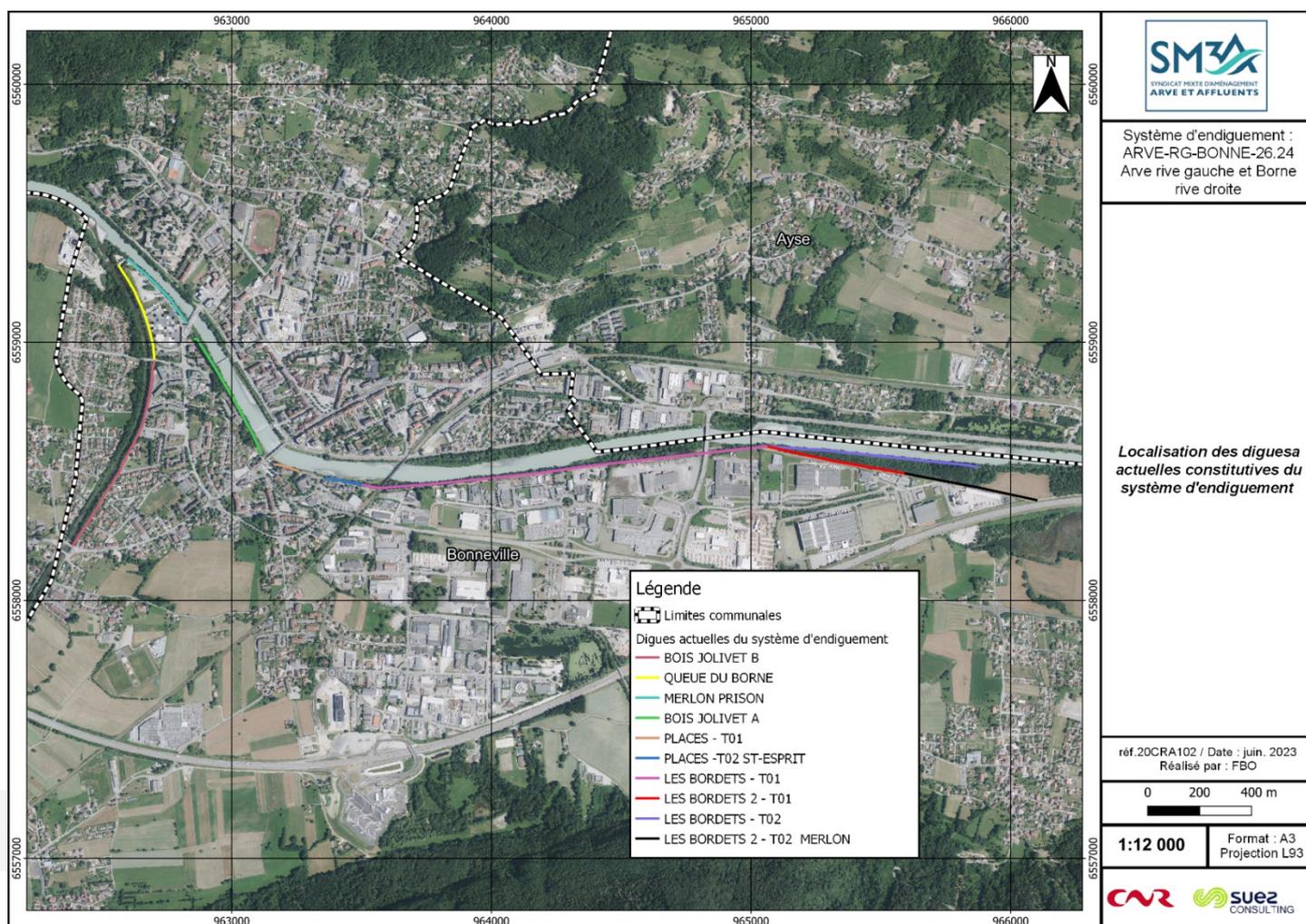


Figure 3 : Localisation précise des digues actuelles constitutives du système d'endiguement

### 0.3.3.2 Système d'endiguement après travaux (digues du Borne)

Les travaux de confortement des digues du Borne sont données par la vue en plan AVP ci-après.

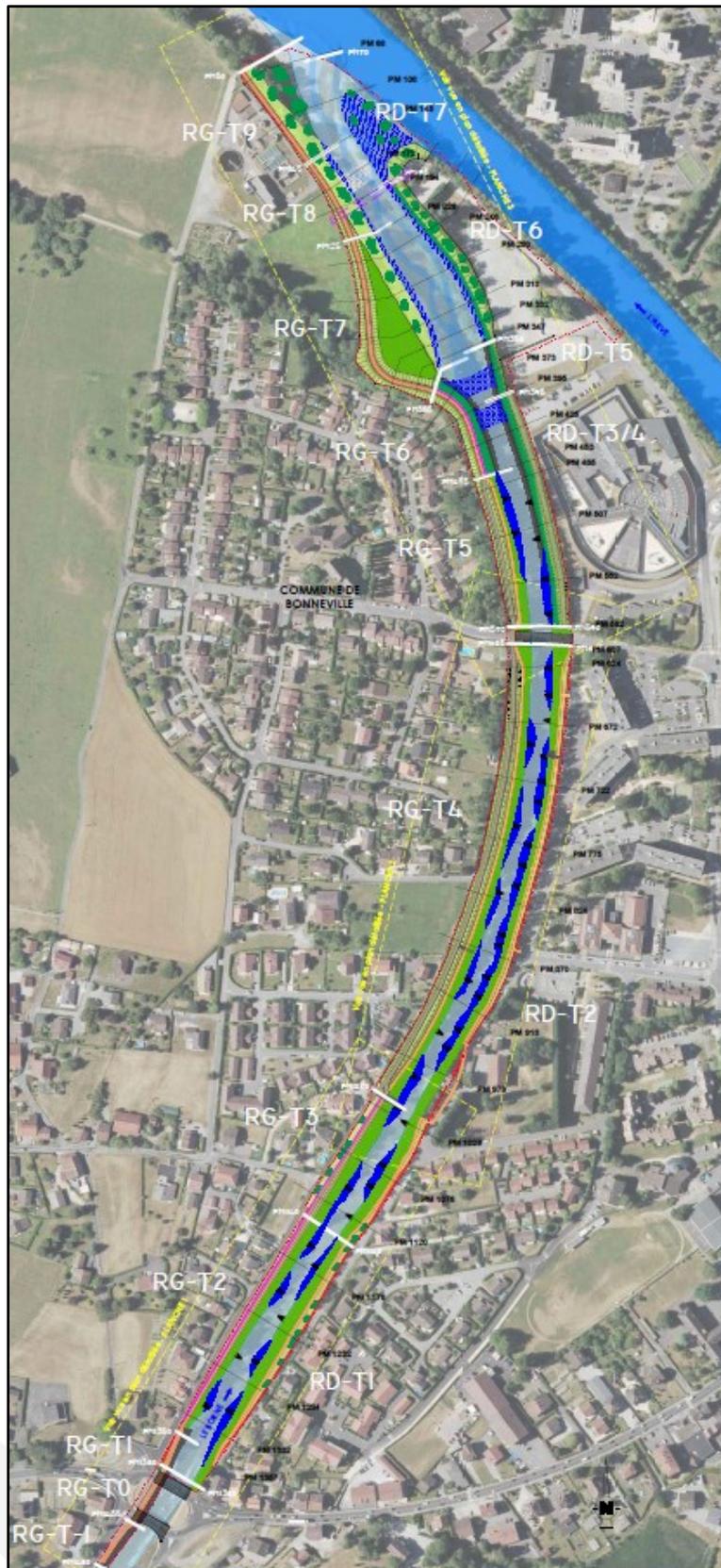


Figure 4 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne (tronçon de digues entre RD-T1 à RD-T5 sur la rive droite)

Tableau 2 : Sectorisation des digues en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur.

Digue	Tronçon homogène	PM Amont	PM Aval	Type d'intervention
<b>Rive droite</b>				
Bois Jolivet B	RD-T1	1380	1140	Confortement par l'aval (mur béton)
	RD-T2	1140	605	
Queue du Borne	RD-T3+T4	590	395	Reprise intégrale de la digue
	RD-T5	395	350	Reprise intégrale de la digue (merlon)
	RD-T6	350	195	Arasement digue + adoucissement berge ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )
	RD-T7	195	70	Abaissement confluence ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )

### Description sommaire des travaux sur les digues du Borne :

L'endiguement du Borne, très ancien, puis l'urbanisation du lit majeur (ancien cône de déjection) limitent très fortement toute possibilité d'élargissement de l'espace alluvial.

Une des seules emprises disponibles sur le secteur d'étude est représentée par la partie aval, avec en rive droite des possibilités d'élargissement en aval de la prison à la confluence avec l'Arve (tronçons RD-T6 et T7) et en rive gauche, en face, soit en amont immédiat de la STEP (tronçon RG-T7). Ces élargissements étendent le secteur de confluence dynamique avec l'Arve, en créant un contexte alluvial varié et évolutif dans le temps (alternance de bancs graveleux, de surfaces de végétation pionnière, de surfaces plus ou moins en eau, de granulométrie variée des fonds, etc.). La création de cet élargissement nécessite le déplacement vers l'amont du point de contrôle de la cote des fonds du lit du Borne, avec la création d'une double rampe franchissable en blocs d'enrochements et le déplacement de la canalisation des eaux usées qui lui est associée.

La réflexion s'est faite pour maintenir au maximum la végétation en place. Aucun secteur n'est totalement défriché dans le cadre de l'opération. Il est proposé la gestion de la végétation en place avec la suppression des espèces végétales exotiques à tendance invasive, l'abattage sélectif des sujets arborés menaçant de basculer en berge puis l'enlèvement de la végétation existante uniquement au droit des ouvrages construits (ancrages des protections de berge, ancres des épis, etc.). La lutte contre les espèces exotiques envahissantes se réalisent principalement par la coupe des tiges aériennes des renouées asiatiques et buddleias, leur mise en bigs-bags avec évacuation puis le terrassement en déblais des substrats contaminés par les racines de ces espèces puis le broyage-concassage de ces matériaux.

Les interventions permettant de préserver tout ou partie de la végétation des berges sont les suivantes :

- **Confortement interne** : il s'agit de créer un voile imperméable à l'intérieur de la digue, afin d'assurer une coupure hydraulique supprimant tout risque d'érosion interne de l'ouvrage (lié à la végétation, aux caractéristiques du remblais en place, etc.). Si la digue dans laquelle le voile est disposé n'est pas stable (glissement ou érosion externe), le voile est rendu auto-stable ; il constitue alors à lui seul l'ouvrage de protection contre les inondations.

- **Confortement par l'aval** : il s'agit de créer un ouvrage au droit du talus aval de la digue actuelle, qui joue le rôle de digue. Le type d'ouvrage retenu (mur, remblais) dépend notamment de l'emprise disponible. Le nouvel ouvrage doit être stable en cas de glissement ou érosion de l'ancienne digue.
- **Création complète d'une nouvelle digue en retrait de la végétation existante** : lorsque les emprises le permettent, l'élargissement de l'espace alluvial peut être opéré en maintenant les franges de végétation actuelles puis en recréant une nouvelle digue complète auto-stable et étanche en retrait.

Afin de délester les pieds de berges d'une partie de leurs contraintes hydrauliques, une série d'épis est proposée, essentiellement en rive droite qui marque un léger extrados de courbure. Le calage de la cote supérieure des épis est établi quelques 50 cm au-dessus de la cote atteinte par les hautes eaux moyennes du mois de mai (fonte des neiges). On verra plus loin que les épis n'ont pas pour seule fonction de participer à la stabilisation des pieds de berge mais jouent également un rôle prépondérant dans la restauration hydro-écologique du lit vif du Borne. Ils sont également le support ou le "squelette" au maintien et au développement de risbermes graveleuses au pied des berges ; élément essentiel à la fonction de corridor écologique du cours d'eau.

Lorsque des protections de berge sont néanmoins nécessaires (par exemple sur les tronçons RD-T3/T4 au droit du secteur de la prison, soit en remplacement d'anciens enrochements/remblais), des techniques mixtes sont proposées, combinant une base sous-fluviale et de pied de berge en enrochement et une partie supérieure issue du génie biologique, illustrée par la technique des lits de plants et plançons (la limite d'implantation de la végétation au-dessus des enrochements est calée quelques 20 cm au-dessus de la cote atteinte par les hautes eaux moyennes du mois de mai).

#### 0.3.4 Aménagement hydrauliques (article R562-18)

Sur l'aménagement, aucun ouvrage hydraulique au sens de l'article R562-18 n'est recensé.

### 0.4 Zone protégée et niveau de protection du système d'endiguement en situation de « travaux achevés »

*Conformément à la réunion 21/06/2023, la zone protégée par les digues de l'Arve rive gauche sera détaillée dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve ».*

#### 0.4.1 La zone protégée par les digues du Borne rive droite

**La zone protégée correspond au territoire inondé par un évènement hydrologique correspondant au niveau de protection sans la présence du système d'endiguement.**

Le niveau de protection a été fixé par le gestionnaire à la **crue centennale (Q100)** pour les digues du Borne. Les digues de l'Arve seront également confortées pour atteindre un niveau de protection centennal (cf. dossier réglementaire « Arve » et § 0.3.2).

**La zone protégée par les digues du Borne rive droite concerne la commune de Bonneville.**

**La zone protégée correspond à l'emprise protégée en arrière des endiguements. Cette emprise est calculée en effectuant des scénarios de modélisations sans système d'endiguement à l'hydrologie correspondant au niveau de protection retenu (Q100). La concomitance des crues du Borne et de l'Arve est prise en compte dans le modèle**

hydraulique afin de maximiser la ligne d'eau sur le Borne (approche sécuritaire pour caler l'arase les digues reconstruites/confortées).

Le contour de la zone protégée est dessiné à partir des résultats bruts de modélisation en adoucissant le contour sur la base d'une analyse topographique incluant notamment la topographie urbaine qui joue un rôle structurant sur les écoulements (positions des bâtiments, des routes...).

## 0.4.2 Les niveaux de protection et dangers

### 0.4.2.1 Définitions

En crue, différents niveaux d'eaux sont identifiés réglementairement :

- Niveau de sûreté : Situation jusqu'à laquelle la probabilité de rupture de la digue est très faible (bornée à 5% par la réglementation) ;
- Niveau de protection : Niveau relevant d'un engagement du maître d'ouvrage, ce niveau est inférieur ou égal au niveau de sûreté ;
- Niveau de danger : Situation au-delà de laquelle la rupture de l'ouvrage est très probable (bornée à 50% par la réglementation).

### 0.4.2.2 Cas du système d'endiguement étudié

Le niveau de protection est défini par l'article R. 214-119-1 du code de l'environnement. C'est la hauteur maximale définie par le gestionnaire que peut atteindre l'eau sans que **la zone protégée** soit inondée en raison du débordement, du contournement, ou de la rupture des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer. Le niveau de protection est apprécié au regard, soit d'un débit du cours d'eau en crue ou d'une cote de niveau atteinte par celui-ci, soit d'un niveau marin pour le risque de submersion marine.

Dans le cadre des études de dangers de systèmes d'endiguements, l'arrêté du 07 Avril 2017 définit ce niveau de protection comme présentant un risque résiduel de rupture de l'ouvrage d'au plus 5%.

**Le niveau de protection des digues du Borne rive droite, en état de travaux achevés, correspond à une crue centennale du Borne, soit un débit de pointe de 178.4 m<sup>3</sup>/s.**

La protection de la zone protégée par les digues du Borne rive droite est assurée à 100 % contre la crue centennale du Borne quand le débit de l'Arve ne dépasse pas sa crue décennale (niveau de protection défini par CNR dans l'EDD de 2019).

*NB : comme les digues de l'Arve feront également l'objet de travaux de confortement centennal à partir de 2024/2025, cette disposition est très temporaire.*

Le tableau suivant permet de synthétiser les niveaux de protection, de sûreté et de danger.

**Tableau 3 : Niveaux de sûreté, de protection et de danger des digues du Borne rive droite en état de travaux achevés**

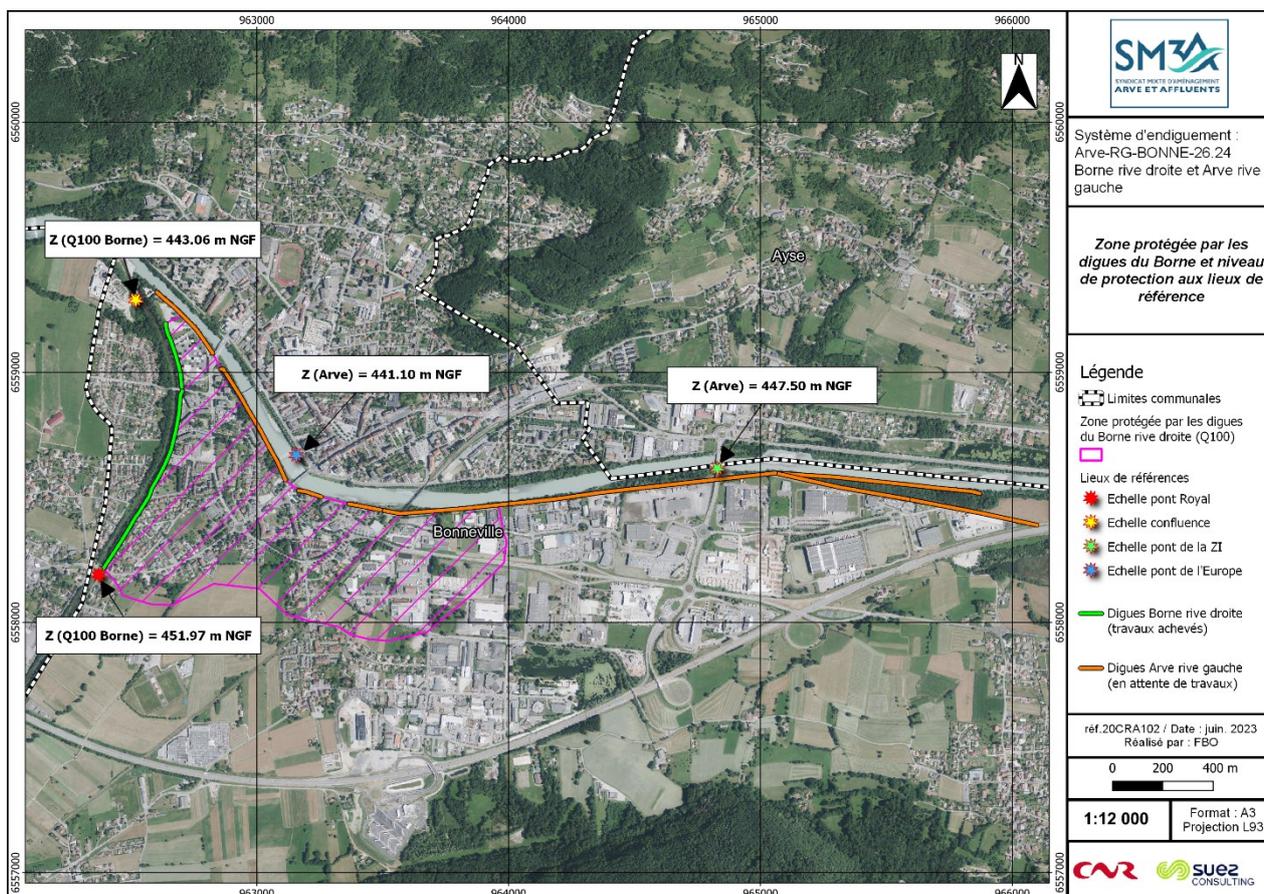
Niveau	Lieu de référence	Cote Z	Débit du Borne correspondant
Sûreté	Echelle n°1 - Pont Royal	451.97 m NGF	Q100 = 178 m <sup>3</sup> /s
	Echelle n°2 - Confluence	443.06 m NGF	
Protection	Echelle n°1 - Pont Royal	451.97 m NGF	Q100* = 178 m <sup>3</sup> /s
	Echelle n°2 - Confluence	443.06 m NGF	
Danger	Echelle n°1 - Pont Royal	452.19 m NGF	Q300 = 213 m <sup>3</sup> /s

Echelle n°2 - Confluence	443.52 m NGF
--------------------------	--------------

**\*Concomitance avec une crue de l'Arve inférieure ou égale à une crue décennale (seuil à 441.10 m NGF au niveau de l'échelle limnimétrique du pont de l'Europe // seuil à 447.50 m NGF au niveau du pont de la ZI).**

A noter que le niveau de protection apparent des digues du Borne après achèvement des travaux correspond à la cote  $Z_{Q100} + 1$  m de revanche.

La zone protégée par les digues du Borne rive droite et les niveaux de protection au droit des lieux de références sont présentés dans la figure ci-après :



**Figure 5 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection – digues du Borne rive droite**

Les cotes de l'Arve correspondent à une occurrence de crue décennale (niveau de sureté des digues de l'Arve défini pas CNR dans les études de dangers de 2019).

### 0.4.3 Estimation de la population protégée

La superficie de la zone protégée par l'ensemble du système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne », après confortement des digues de l'Arve, serait de 230 ha.

Une évaluation de la population protégée, présentée dans le chapitre 3, fait état de 8124 personnes impactées par les crues du Borne et de l'Arve.

La superficie de la zone protégée par les digues du Borne rive droite est d'environ 86 ha. Plus spécifiquement, cette dernière fait état de plus de 2903 personnes impactées.

Il est à noter que la zone protégée par les digues du Borne rive droite, contre les crues du Borne, accueille plusieurs enjeux : plusieurs habitations (quartiers de Bois Jolivet et des Places), la maison d'arrêt de Bonneville, l'école de musique municipale, ESPE, centre technique de Bonneville...

Ci-dessous une décomposition de la population protégée par la digues du Borne et par les digues de l'Arve (une fois les travaux sur les deux cours d'eau réalisés) :

Scénario de brèche considéré	Sous-total (Habitations, emplois et capacité des ERP avec hébergement – CF Tableau 3)	VOIRIES NON COMMUNALES		TOTAL
		Linéaire de voirie non communale exposé (km)	Nombre de personnes exposées sur les voiries non communales	
Borne Rive Droite	1 507	2,5	1 396	2 903
Arve Rive Gauche	3 107	4	2 381	5 488

La population protégée par le système d'endiguement de Bonneville entre Arve et Borne est comprise entre 3000 et 30 000 personnes. **Le système d'endiguement sera donc de classe B au sens de l'article R214-113 du décret sur la sécurité des ouvrages hydrauliques n°2015-526 du 12 mai 2015.**

## 0.5 Présentation du fonctionnement du système d'endiguement en situation de « travaux achevés » - digues du Borne rive droite

### 0.5.1 Fonction principale

La fonction principale de l'endiguement est la protection de la plaine de Bonneville contre les inondations du Borne et de l'Arve. Comme susmentionné, ce rapport d'étude de dangers est centré sur les digues du Borne rive droite.

Les fonctions secondaires sont la résistance aux pressions de l'eau, le maintien de voies d'accès et des réseaux, la continuité avec les autres systèmes de protection et la continuité hydrogéologique.

Conformément au décret en vigueur, l'étude s'attache à étudier les risques vis-à-vis des écoulements à surface libre du fait d'une rupture d'endiguement ou d'une surverse. En effet, ces ruptures ou surverses peuvent, par effet domino, entraîner un risque pour les populations situées en zone protégées du fait des vitesses et les montées d'eau rapides qu'elles génèrent. Les écoulements souterrains, phénomènes beaucoup plus lents, ne sont pas considérés dans cette étude.

### 0.5.2 Démarche de réalisation de l'étude de dangers

Afin de présenter le fonctionnement du système d'endiguement à l'occasion des différents scénarios de montée des eaux sous l'effet d'événements (crues) d'intensités variées, nous avons étudié les scénarios suivants (pour les digues du Borne rive droite) :

➤ **Scénario 1 : fonctionnement nominal**

Ce scénario correspond au fonctionnement nominal du système d'endiguement quand le niveau des écoulements correspond au niveau de protection. On admet que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de 5 % au plus ;

➤ **Scénario 2 : défaillance fonctionnelle**

Le scénario 2 prévu dans l'arrêté du 30 septembre 2019 correspond à une défaillance fonctionnelle du système d'endiguement quand le niveau des écoulements correspond

au niveau de protection. Cette défaillance fonctionnelle est liée à une défaillance d'un dispositif de régulation des écoulements hydrauliques, sans être accompagné par une défaillance structurelle des ouvrages. Dans le cas des digues du Borne rive droite, aucun dispositif de régulation des écoulements hydrauliques n'étant présent, ce scénario n'a pas lieu d'être.

➤ **Scénario 3 : défaillance structurelle**

Ce scénario correspond à une défaillance structurelle du système d'endiguement. D'après l'arrêté du 30 septembre 2019, le niveau de l'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture supérieure à 50 %. Dans le cas des digues du Borne rive droite, la défaillance structurelle est représentée par l'ouverture de brèches dans le corps de la digue.

Suivant l'annexe de l'arrêté du 30 septembre 2019, l'objectif de l'analyse est d'évaluer le risque lié à l'inondation en estimant les situations potentiellement dangereuses pour les différents scénarios et les probabilités de ces mises en danger.

**Le tableau suivant synthétise les principaux résultats pour chaque scénario testé en état projet.**

A noter que le modèle hydraulique a été adapté pour intégrer les principales modifications prévues dans le projet de confortement des digues du Borne.

**Tableau 4 : Synthèse des scénarios modélisés**

Nom du scénario	Crue de protection – fonctionnement nominal	Rupture par brèche (défaillance structurelle)	Rupture par brèche (défaillance structurelle)
Numéro de scénario	S 1-1	S 3-1	S 3-2
Cours d'eau	<b>Borne</b>	<b>Borne</b>	<b>Borne</b>
Mode et localisation de défaillance	/	PMB 1.2 – 1.1	PMB 0.5 – 0.4
Débit / occurrence de crue	Q100 Borne (Condition aux limites aval Q30* Arve)	Q300 Borne (Condition aux limites aval Q50* Arve)	Q300 Borne (Condition aux limites aval Q50* Arve)
Hauteurs d'eau et vitesses maximales dans la zone protégée	Pas d'écoulement dans la zone protégée	Présences d'eaux dangereuses (hauteurs > 1m ou vitesse > 0.5 m/s)	Très faibles venues d'eau limitées aux abords de la maison d'arrêt – pas de diffusion d'écoulement vers enjeux amont
Temps d'atteinte des premières habitations	Sans objet	Moins de 30 min	Sans objet

*\*Condition aux limites aval du modèle hydraulique avec une approche sécuritaire : hypothèse de concomitance Borne/Arve défavorable pour les crues du Borne.*

Les débits de pointe en hydrologie de crue sur les cours d'eau concernés sur la zone d'étude sont les suivants :

Débit de pointe [m <sup>3</sup> /s]	Q10	Q30	Q50	Q100	Q200	Q300
Borne aval	108	149	162	178	195	213
Arve – amont Borne	623	825	917	1094	1258	1359

#### **Choix des scénarios de brèches :**

La défaillance structurelle est représentée par deux scénarios de brèches pour une occurrence de crue tricentenaire (Q300).

Les caractéristiques des brèches sont données dans le chapitre 8.

Pour les deux scénarios 3, la propagation de l'onde de submersion en fonction du temps est donnée sous forme de hauteurs d'eau dans la zone protégée.

Le sous chapitre suivant présente les cartographies des venues d'eau pour chaque scénario modélisé.

### **0.5.3 Présentation des scénarios**

#### **0.5.3.1 Scénario 1 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (digues du Born rive droite)**

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'étude de dangers, le scénario 1 représente le fonctionnement nominal du système d'endiguement dans le cas du passage d'une crue correspondant au niveau de protection du système (Q100). On admettra que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de 5 % au plus.

Sur la carte des venues d'eau ci-dessous, on constate que la crue centennale ne déborde pas dans la zone protégée par le système d'endiguement en situation de travaux achevés.

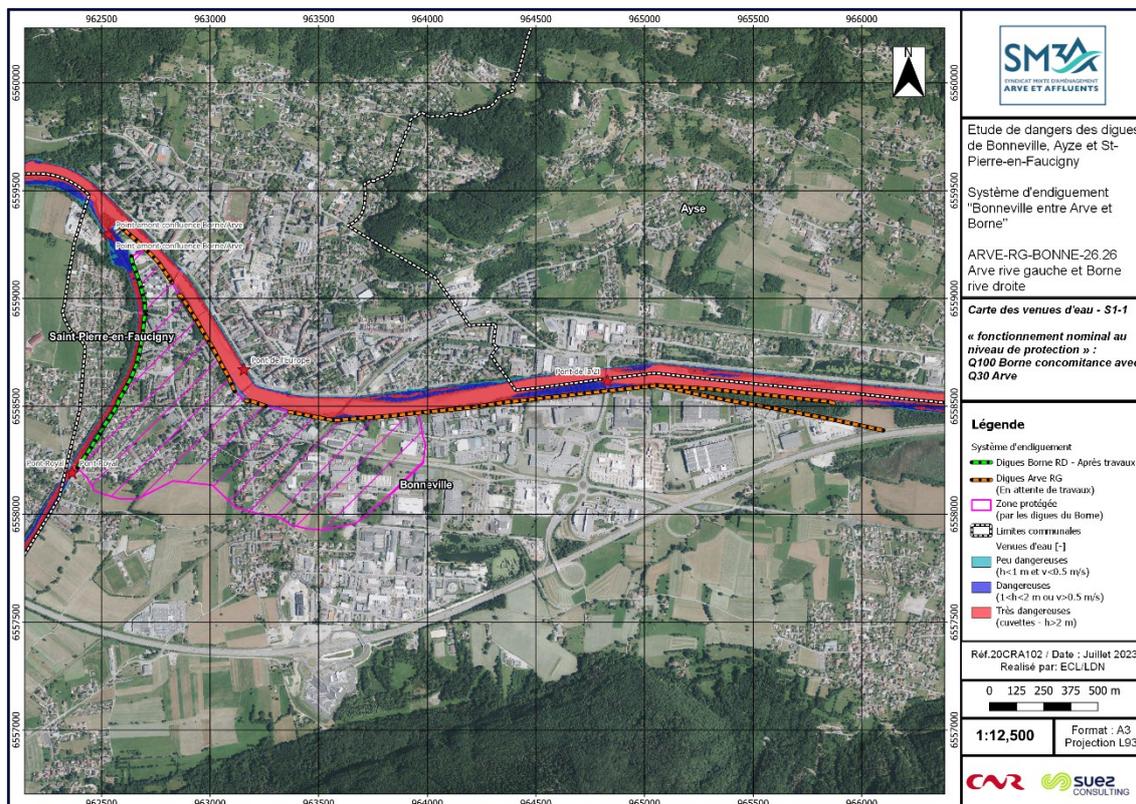


Figure 6 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

### 0.5.3.2 Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'étude de dangers, 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 de l'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture supérieur à 50 %.

Dans le cas des digues présentes en rive droite du Borne, la défaillance structurelle est représentée par l'ouverture de deux brèches dans le corps des digues, sur une occurrence de crue tricentenaire (Q300).

Deux sous-scénarios sont modélisés (S3.1 et S3.2). Les caractéristiques des brèches sont données dans le chapitre 8.

Sur les deux sous-scénarios, les cartographies des venues d'eau montrent qu'une partie de la zone protégée est inondée.

A la suite des cartographies (valeurs maximales des inondations), la propagation de l'onde de submersion en fonction du temps est donnée sous forme de figures successives des animations de la modélisation (à partir du moment du début de l'ouverture des brèches).

#### 0.5.3.2.1 Scénario 3.1 : ouverture d'une brèche dans la digue de Bois Jolivet

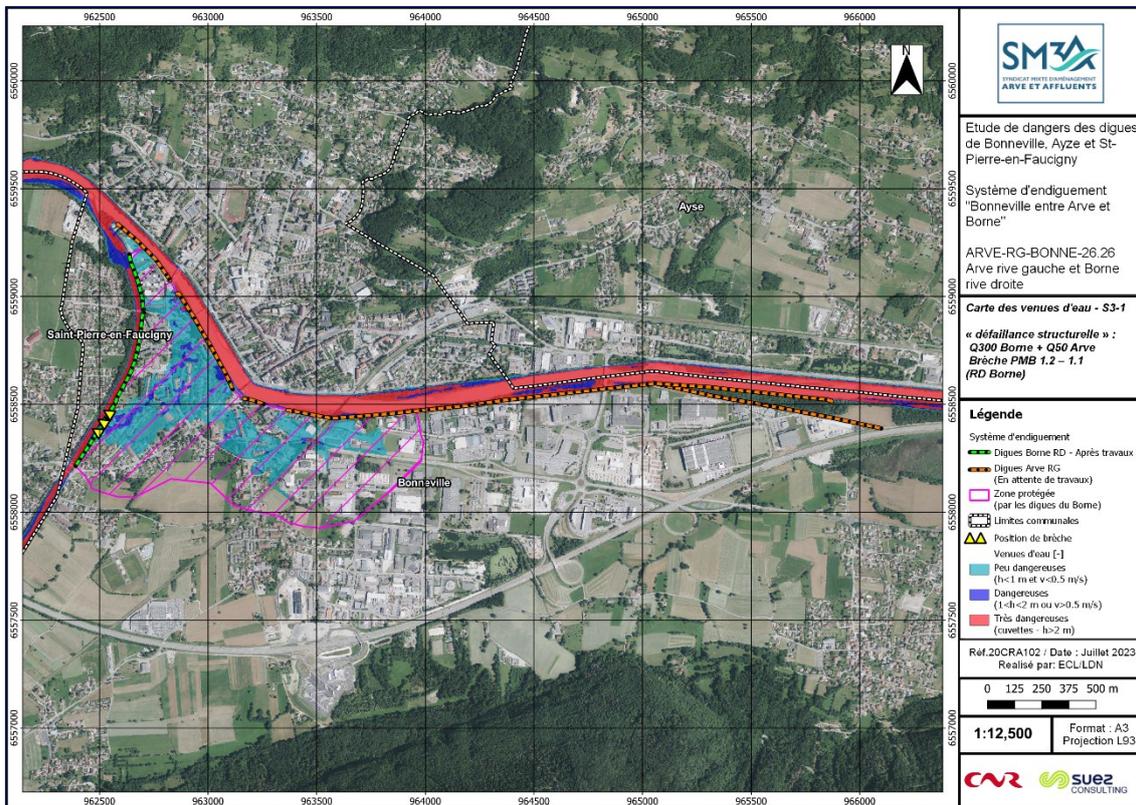


Figure 7 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

Ci-dessous une description et une série de cartographies de la propagation de l'onde de submersion en fonction du temps (l'onde de submersion est représentée sous forme de hauteurs d'eau) :

- ✓ Environ 1 heures après l'ouverture de la brèche dans la digue de Bois Jolivet, une partie du quartier de Bois Jolivet est inondée. Le hauteurs d'eau sont inférieur à 50 cm.
- ✓ Environ 2 heures après l'ouverture de la brèche, l'inondation se propage vers le nord-est de la ZP. Plusieurs habitations sont inondées. A noter que les hauteurs d'eau sont accentuées par l'effet « cuvette » en présence des digues de l'Arve.
- ✓ Environ 3 heures après l'ouverture de la brèche, l'enveloppe inondée est sensiblement la même que à deux heures de l'ouverture. Néanmoins, les hauteurs d'eau augmentent.

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
 Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

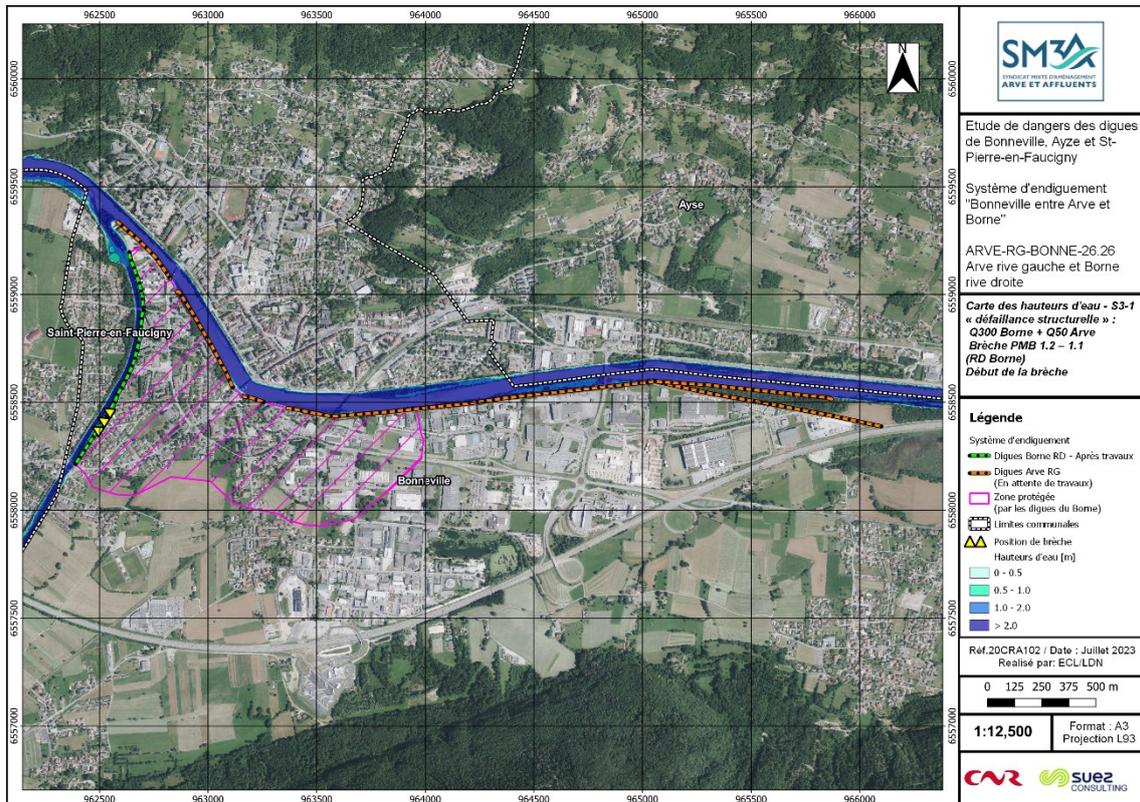


Figure 8 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche

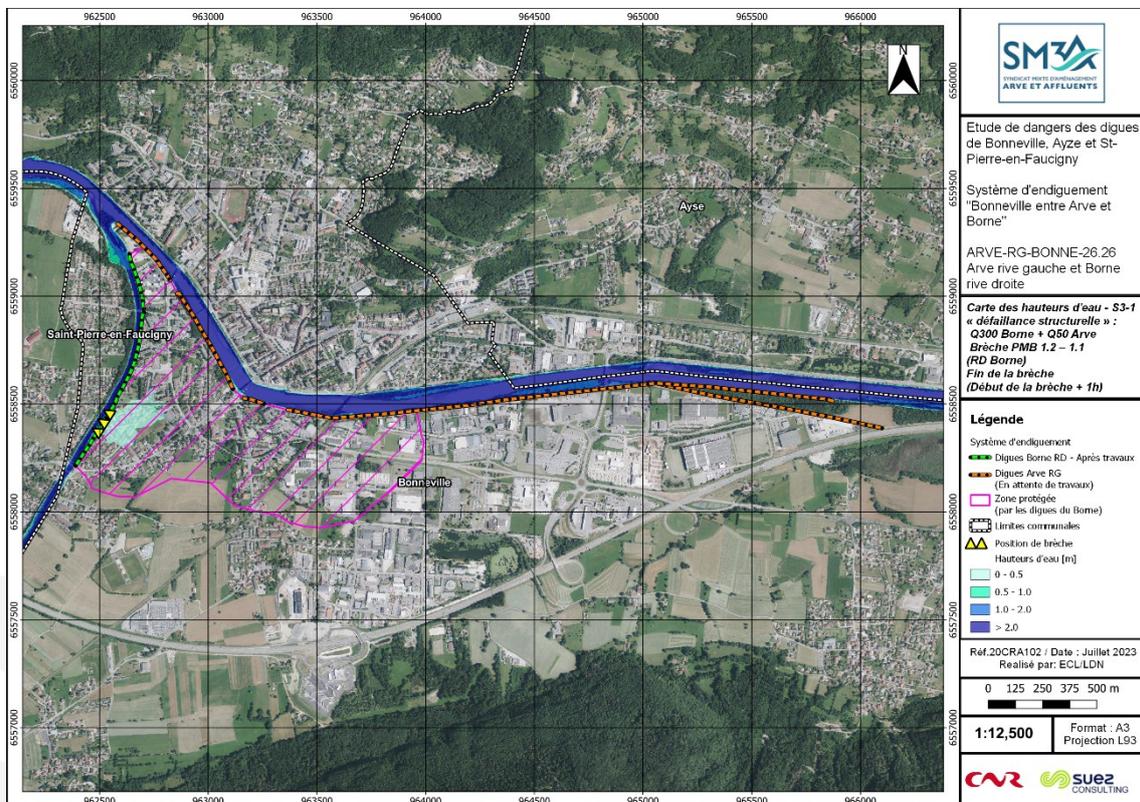


Figure 9 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 1h00

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" - ARVE-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

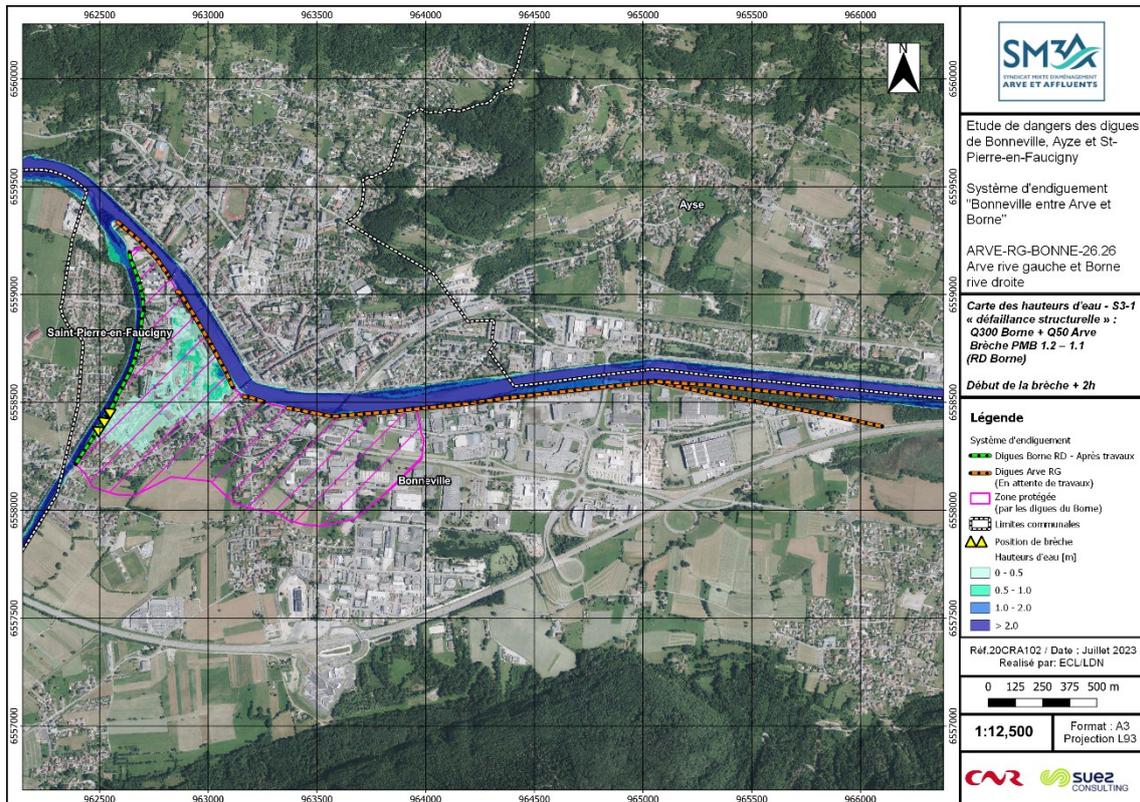


Figure 10 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 2h00

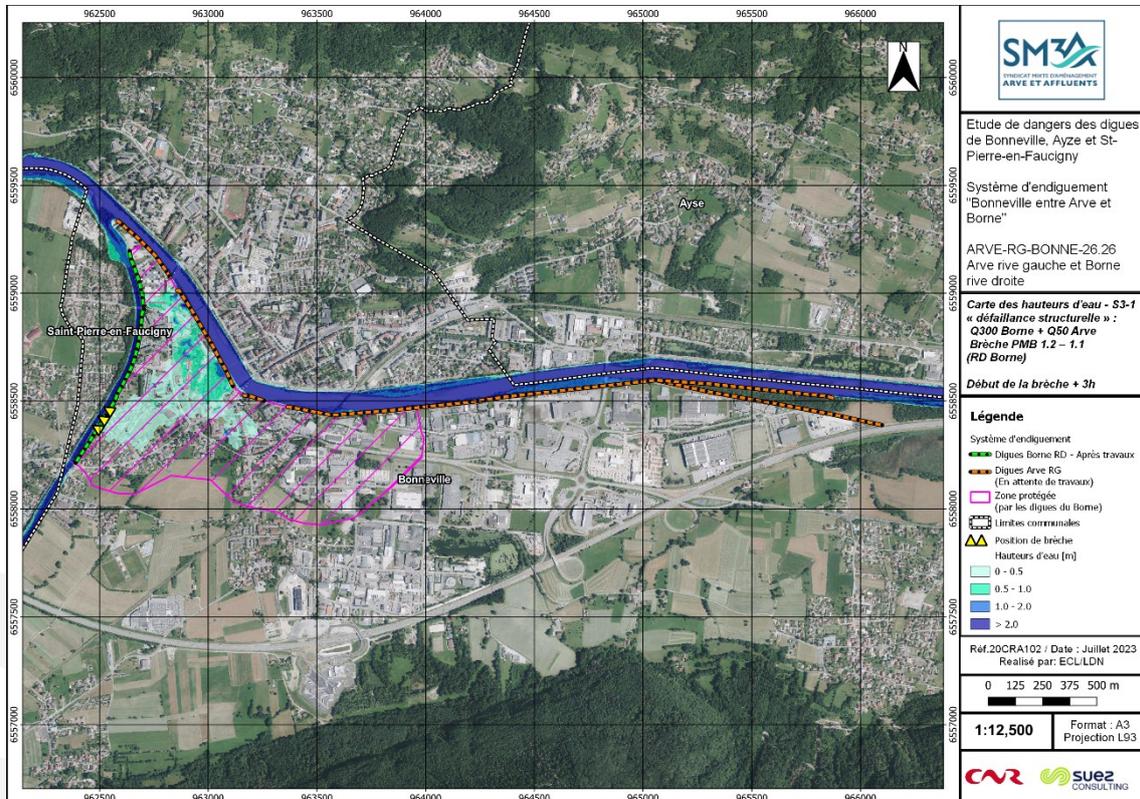


Figure 11 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 3h00

0.5.3.2.2 Scénario 3.2 : ouverture d'une brèche dans la digue de la Queue du Borne

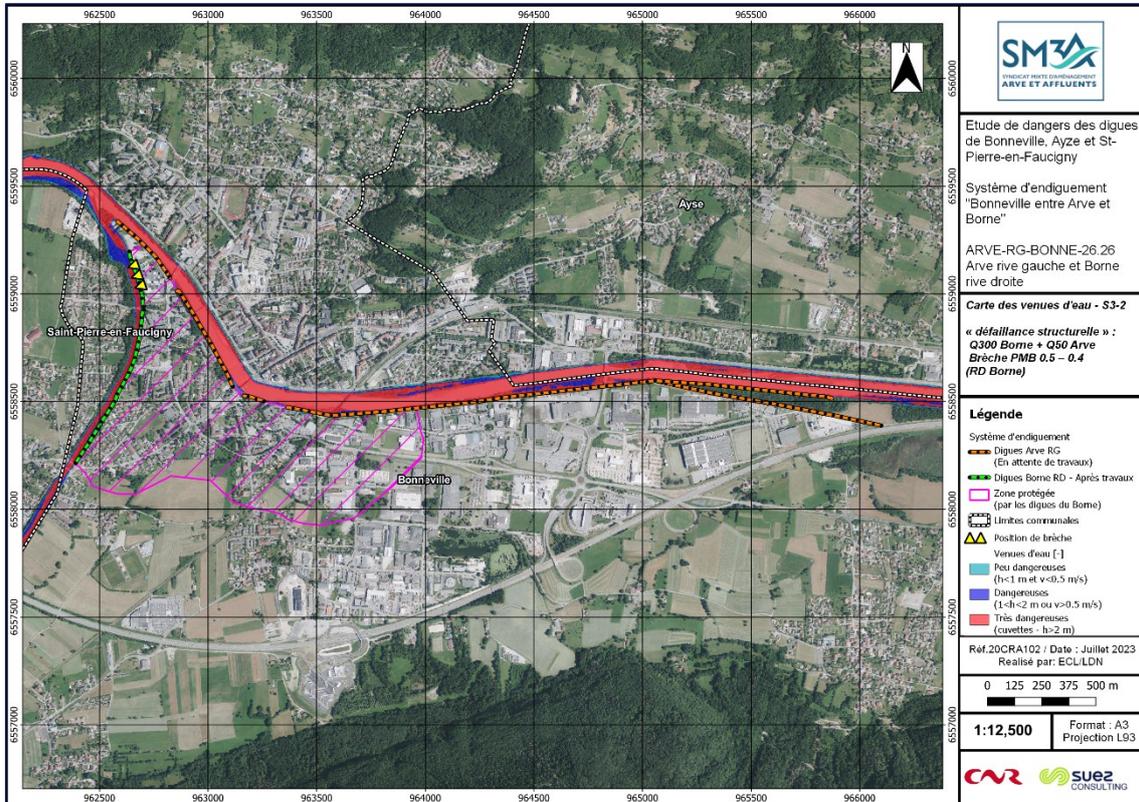


Figure 12 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

La cartographie montre que la zone protégée par les digues du Borne n'est pas inondée suite au passage d'une crue tri-centennale du Borne et l'ouverture d'une brèche dans la digue de la Queue du Borne. Ce constat est valable lorsque le débit dans l'Arve est inférieur à la crue décennale (en attendant les travaux – cf. dossier réglementaire « Arve »).

# DOCUMENT A : PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

## 1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

### 1.1 Gestionnaire du système d'endiguement

Le gestionnaire du système d'endiguement qui fait établir la présente Etude de Dangers est le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A) située à l'adresse suivante :



#### **SYNDICAT MIXTE D'AMENAGEMENT DE L'ARVE ET DE SES AFFLUENTS**

Etablissement public – Syndicat mixte fermé  
Représenté par M. Bruno FOREL, Président  
300 Chemin des Près Moulin  
74800 Saint-Pierre-en-Faucigny  
Mail : [sm3a@sm3a.com](mailto:sm3a@sm3a.com)  
Tel : 04 50 25 60 14

Par arrêté préfectoral n°12-007 du 10 janvier 2012 [3] et sur avis du préfet coordinateur de Bassin Rhône-Méditerranée, le SM3A, créé en 1995, est reconnu Syndicat Mixte EPTB. Depuis 2017, il exerce également les missions d'EPAGE, au sens de l'art.76 de la loi Notre [4] (codifié au L213-12 du code de l'environnement), l'ensemble de ses membres ayant pris par anticipation la compétence GEMAPI (Gestion des Milieux aquatiques et prévention des inondations) au 01/01/2017.

Depuis le 19 janvier 2017, l'Etat (via la DDT 74) a délégué par anticipation, l'exploitation des ouvrages de l'Etat au SM3A. Cette délégation a été cristallisée via la signature d'une convention cadre de mutualisation [5].

### 1.2 Compétence GEMAPI

La gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations (GEMAPI) est une compétence confiée aux intercommunalités (métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomération, communautés de communes) par les lois de décentralisation n° 2014-58 du 27 janvier 2014 [6] et n° 2015-991 du 7 août 2015, depuis le 1er janvier 2018.

La loi n° 2017-1838 du 30 décembre 2017 [7] relative à l'exercice des compétences des collectivités territoriales dans le domaine de la GEMAPI a introduit plusieurs éléments de souplesse permettant une mise en œuvre plus rapide et plus efficace, avec la possibilité pour les départements et les régions de continuer à exercer certaines missions en accord avec les EPCI bénéficiaires et la possibilité pour ces EPCI d'ajuster plus finement la gouvernance de cette compétence.

Les actions les plus structurantes en matière de prévention des inondations pour les territoires consistent en la surveillance, l'entretien et la réhabilitation des digues qui sont des ouvrages passifs faisant rempart entre le cours d'eau en crue et le territoire devant être protégé. La réglementation (le décret n° 2015-526 du 12 mai 2015, dit "décret digues" [8]) impose que ces ouvrages soient désormais réorganisés en "système d'endiguement".

**Sur le territoire d'étude, le SM3A est l'autorité compétente par transfert des établissements publics de coopération intercommunale (EPCI).**

Une convention de mutualisation des moyens entre l'Etat (via la DDT74) et le SM3A a été signée le 22 décembre 2017 (cf. [5]). Elle précise que :

« A la date de la signature de la convention, l'Etat est propriétaire et gestionnaire des ouvrages dont la consistance est propriétaire des ouvrages dont la consistance est précisée à l'article 3 ci-après. Ces ouvrages sont situés en rives droite et gauche de l'Arve entre la confluence du Bon Nant et la frontière Suisse. Ils ont été érigés par l'administration à l'époque sarde et ont fait l'objet d'un suivi et entretien par les services de l'état depuis 2004.

La convention reste sans effet sur la propriété des ouvrages et des terrains de leur emprise qui restent domaniaux.

Dans le cadre de la loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (loi MAPTAN) [6], la compétence de gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations (GEMAPI) est confiée exclusivement aux établissements publics de coopération à fiscalité propre. Les établissements publics de coopération intercommunale de l'Arve ont choisi d'anticiper la prise de compétence GEMAPI et de la transférer, sur ce linéaire de l'Arve, au SM3A.

Le SM3A est donc l'autorité gestionnaire des ouvrages de prévention des inondations au sens du point 5 de l'article L211-7-I du Code de l'environnement et à ce titre intervient sur les ouvrages de protection contre les inondations. (...)

L'article R562-14VI du Code de l'environnement précise que l'exonération de responsabilité de gestionnaire d'une digue a raison des dommages qu'elle n'a pu prévenir est subordonnée à l'inclusion de celle-ci dans un système d'endiguement autorisé.

Par ailleurs, l'article 59-IV de la loi MAPTAM précise que lorsque l'Etat assurait la gestion de ses ouvrages à la date du 28 janvier 2014, il est tenu de poursuivre cette gestion pour le compte de l'autorité compétente pour la prévention des inondations pendant une période transitoire prenant fin au 28 janvier 2024. »

### 1.3 Identification du rédacteur de l'Etude de Dangers

L'organisme rédacteur de l'étude de dangers est le bureau d'études SUEZ Consulting (SAFEGE).



#### **SUEZ Consulting (SAFEGE)**

SAVOIE Technolac

48 avenue du Lac du Bourget BP 30318

73377 LE BOURGET DU LAC

SUEZ Consulting (SAFEGE) est un organisme agréé en tant qu'intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques, conformément à l'arrêté du 13 juillet 2021. Cet agrément est en vigueur jusqu'au 31 juillet 2029.

**SUEZ Consulting est accompagné par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) dans l'élaboration de cette étude de dangers.**



Compagnie Nationale du Rhône

2 Rue André Bonin  
69004 LYON

## 1.4 Date de remise de l'étude de dangers

La présente étude de dangers est jointe à un dossier d'autorisation environnementale (DAE pour les travaux sur les digues du Borne). Le DAE a été déposé en décembre 2022.

La présente étude de dangers a fait l'objet d'une phase amont (relecture et remarques) par les services de la DREAL.

La présente version du rapport reprend :

- Les remarques du rapport du Pôle Ouvrage Hydraulique de la DREAL - 06/02/23 ;
- Les arbitrages de la réunion du 21/06/2023 avec la DDT/DREAL.

*Il est à noter qu'en 2019, la CNR a réalisé une étude de dangers sur le présent système d'endiguement en état travaux. Cette étude de dangers repose sur un avant-projet CNR dit « structurel » de confortement des digues du Borne et de l'Arve. L'AVP CNR en question n'a pas été retenu par le SM3A par la suite et l'étude de dangers réalisée par CNR n'a pas fait l'objet d'une instruction officielle pour classement. Néanmoins, cette étude de dangers est toujours valide pour l'état actuel des ouvrages.*

## 1.5 Aménagements hydrauliques (article R562-18)

Sans objet.

Il n'y a pas d'aménagement hydraulique (au sens de l'article R.562-18 du code de l'environnement) qui participe à la protection de la zone inondable.

Sur le linéaire du Borne, seuls des ouvrages annexes existent : un seuil transversal et deux ponts.

## 1.6 Classement des ouvrages

Conformément à l'article R.214-113 du décret n°2015-526 du 12 mai 2015 (relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques), les classes des systèmes d'endiguement sont déterminées suivants le tableau ci-dessous :

Classe	POPULATION PROTEGEE par le système d'endiguement
A	Population > 30 000 personnes
B	<b>3 000 personnes &lt; Population ≤ 30 000 personnes</b>
C	30 personnes < Population ≤ 3 000

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

---



La population protégée par le système d'endiguement de « Bonneville entre Arve et Borne » est comprise entre 3000 et 30 000 personnes. **Le système d'endiguement sera donc de classe B au sens de l'article R214-113.**

## 2. OBJET DE L'ETUDE

### 2.1 Descriptif du cadre de la demande

#### 2.1.1 Contexte dans lequel s'inscrit la demande

Dans le cadre du Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) du territoire du SAGE de l'Arve, le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents (SM3A) souhaite engager des travaux de confortement et reconstruction des digues du Borne et de l'Arve, pour un niveau de protection centennal.

La présente étude de dangers du système d'endiguement « ARVE-RG-BONNE-26.24 – BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE » - version C (dossier Borne), qui sera jointe aux compléments de réponses à l'instruction du dossier réglementaire « Borne », est centrée sur les digues suivantes :

Les digues en rive droite du Borne, entre le pont de la RD1203 et la confluence avec l'Arve, après travaux de confortement et de reconstruction. L'état conforté sur le Borne est considéré suivant les préconisations de l'avant-projet décrit dans ce rapport.

Conformément au compte rendu de la réunion du 21/06/2023 (cf. §0.3.2), les digues en rive gauche de l'Arve seront classées en « état de travaux achevés » dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve » en été 2023. La description des digues de l'Arve sera conservée dans le corps du rapport.

#### 2.1.2 Descriptif du cadre

Le descriptif du cadre de la demande est précisé sur le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Descriptif du cadre de la demande (arrêté du 30 septembre 2019)

	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*.
X	Cas 2	<b>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*.</b>
	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*.
	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*.

	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*.
--	-------	--

*\*Arrêté du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguements et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions*

Dans ce cas, le contenu de l'étude de dangers est conforme aux dispositions de l'article 3 du dit arrêté. Les dispositions de cet article sont rappelées ci-dessous :

#### Article 3 -

« Art. 3. Lorsqu'une étude de dangers est jointe à une demande d'autorisation initiale d'un système d'endiguement ou d'un aménagement hydraulique comprenant des travaux, **le contenu de l'étude porte sur ce système ou cet aménagement tel qu'il se trouvera dans sa configuration effective au moment où il est considéré comme opérationnel une fois les travaux achevés.** L'étude de dangers comporte aussi une évaluation des situations particulières pendant la réalisation des travaux tenant compte de la durée prévue pour ceux-ci. ».

## 2.2 Liste des communes concernées par la zone protégée

La zone protégée par le système d'endiguement " Bonneville entre Arve et Borne" est située intégralement sur **la commune de Bonneville, en Haute-Savoie.**

## 2.3 Localisation des limites de la zone protégée

D'après la circulaire du 8 juillet 2008, une zone protégée par un système d'endiguement est une zone non inondée par la crue pour laquelle le système a été dimensionné.

Le contour de la zone protégée a été déterminé à partir d'une modélisation hydraulique sans digues.

Le niveau de protection assuré par les digues du Borne rive droite une fois les travaux achevés est la crue centennale du Borne.

Une analyse topographique à partir du Lidar le plus récent (ombrage lidar + courbes de niveaux) a permis d'ajuster à la marge le contour brut issu de la modélisation hydraulique permettant d'intégrer d'éventuels phénomènes locaux de divagation des écoulements non appréhendés par la modélisation, en particulier dans les secteurs urbanisés (mouvements de mobiliers urbains, obstacles aux écoulements, présence de véhicules...).

La cartographie de la zone protégée par les digues du Borne rive droite en situation de travaux achevés est donnée par la Figure ci-après. Les niveaux de protection sont également précisés.

Pour rappel, la zone protégée par les digues de l'Arve rive gauche sera précisée dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve ».

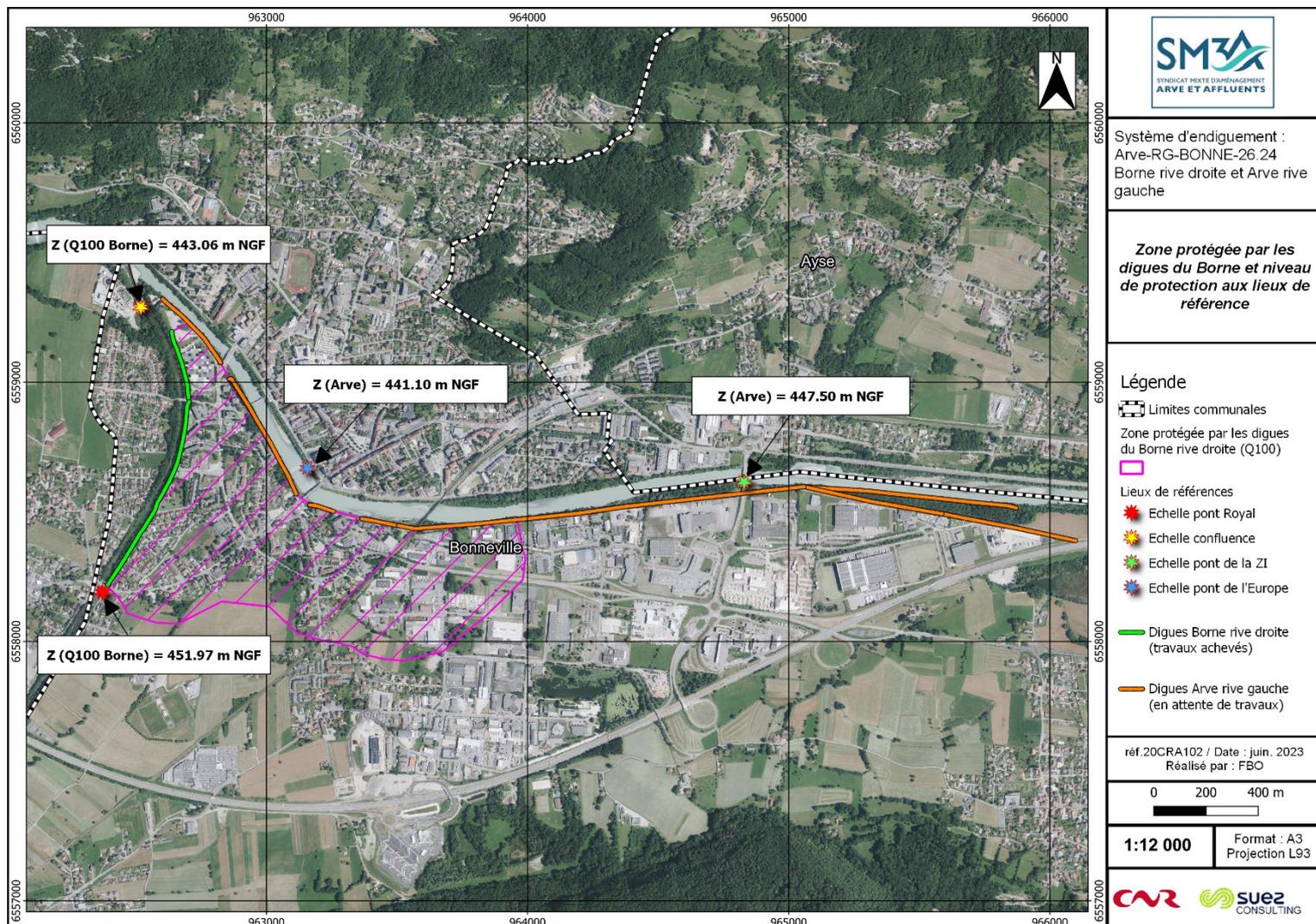


Figure 13 : Localisation de la zone protégée

## 2.4 Localisation en plan et description sommaire des ouvrages concernés

### 2.4.1 Localisation générale

Le système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" fait partie d'un ensemble plus vaste de trois systèmes qui s'étendent sur la commune de Bonneville. Ces systèmes permettent la protection des populations contre les inondations de l'Arve et du Borne.

La cartographie de la Figure 14 présente ces trois systèmes sur une vue générale.

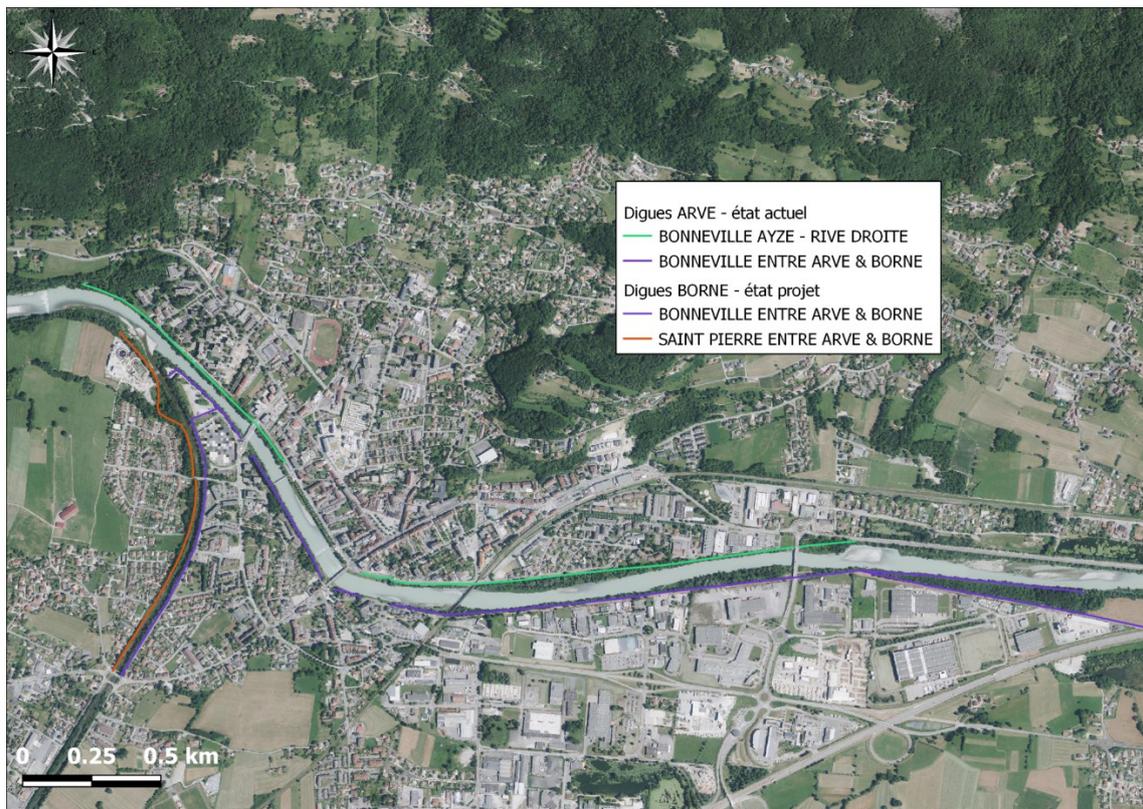


Figure 14 : Localisation des systèmes d'endiguement de l'Arve et du Borne sur la commune de Bonneville

D'un point de vue local, la cartographie de la Figure 3 présente les digues constitutives du système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne » sur un fond de plan BD-ORTHO®.

## 2.4.2 Description sommaire des ouvrages

### 2.4.2.1 Découpage en tronçons

Le système d'endiguement de Bonneville est localisé sur deux cours d'eau : en rive droite du Borne, du pont de la RD1203 (pont Royal) jusqu'à la confluence avec l'Arve et en rive gauche de l'Arve de l'amont du Pont ZI jusqu'à la confluence avec le Borne. Il est découpé en onze digues suivantes :

DIGUE	IDENTIFIANT_SIRS	COURS_EAU	RIVE	GESTIONNAIRE	LONGUEUR (m)	PK amont	PK aval
LES BORDETS 2-T02 MERLON	ARVE-RG-BONNE-29.65	ARVE	GAUCHE	SM3A	519	30.16	29.65
LES BORDETS 2-T01	ARVE-RG-BONNE-29.11	ARVE	GAUCHE	SM3A	538	29.65	29.13
LES BORDETS-T02	ARVE-RG-BONNE-28.87	ARVE	GAUCHE	ETAT	817	29.95	29.13
LES BORDETS-T01	ARVE-RG-BONNE-27.62	ARVE	GAUCHE	ETAT	1563	29.13	27.56
LES PLACES - T02 -ST ESPRIT	ARVE-RG-BONNE-27.41	ARVE	GAUCHE	SM3A	139	27.56	27.54
LES PLACES - T01	ARVE-RG-BONNE-27.21	ARVE	GAUCHE	SM3A	94	27.30	27.22
BOIS JOLIVET A	ARVE-RG-BONNE-26.63	ARVE	GAUCHE	ETAT	517	27.19	26.58
MERLON PRISON	ARVE-RG-BONNE-26.24	ARVE	GAUCHE	SM3A	390	26.58	26.19
QUEUE DU BORNE	BORNE-RD-BONNE-0.23	BORNE	DROITE	SM3A	372	0.16	0.59
BOIS JOLIVET B	BORNE-RD-BONNE-0.61	BORNE	DROITE	SM3A	787	0.61	1.39
DIGUE DES OUCHES	BORNE-RD-BONNE-1.43	BORNE	DROITE	SM3A	121	1.45	1.55

Tableau 6 : Délimitation des digues constituant le système d'endiguement

#### 2.4.2.2 Etat des digues actuelles (Sur le Borne et sur l'Arve)

Les digues en état actuel sont très anciennes malgré quelques réparations ponctuelles récentes. Elles ont été construites entre 1860 et 1940, bien que des traces d'ouvrages datant de la période sarde, au XVII<sup>e</sup> siècle, subsistent par endroit.

Deux points spécifiques au système d'endiguement de Bonneville entre Arve et Borne sont à prendre en compte afin de justifier l'état actuel des ouvrages :

- Les extractions de matériaux - Dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la problématique des extractions avec incision du lit et affouillement des ouvrages, relance la réflexion sur la pérennisation du système hérité. Les interventions consistent dans un premier temps en enrochements ponctuels, excepté dans la traversée de Bonneville où des travaux plus importants sont engagés.

- La maîtrise de la confluence Arve-Borne - Elle constitue le point d'achoppement central de l'aménagement hydraulique de la plaine pendant près de 150 ans entre le milieu du XIX<sup>e</sup> et la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Quatre digues sont plus particulièrement concernées : Bois Jolivet et Merlon Prison pour l'Arve, section Bois Jolivet B et Borne Prison pour le Borne. Le jeu et rejeu des crues et du transit sédimentaire, la variabilité de la mobilisation des moyens, les tâtonnements techniques qui découlent de cette situation, expliquent au final la grande complexité des ouvrages hérités.

La mauvaise maîtrise de la végétation entraîne une gangrène de la structure interne des digues par les racines. Ce phénomène favorise la création de conduits au coeur de la digue qui l'affaiblissent mécaniquement.

L'incision des lits de l'Arve et du Borne tend à augmenter fortement l'érosion en pied et à percher les ouvrages, obligeant à des rechargements et des reprises des protections en enrochements.

#### 2.4.2.3 Diagnostic des digues actuelles du Borne (avant travaux)

Un diagnostic de stabilité complet a été réalisé en 2018/2019 par CNR sur les digues du linéaire d'étude (digues rive gauche et rive droite du Borne).

Le tableau suivant reprend, à la maille des tronçons globaux, les conclusions apportées par le diagnostic. Il présente un niveau de risque associé à chaque digue. Ce niveau est hiérarchisé de 1 à 5.

- **Le niveau 1** correspond aux digues non en charge et ne présentant pas de risque d'érosion externe ;
- **Le niveau 2** correspond aux digues très faiblement en charge ou non en charge présentant des dysfonctionnements locaux comme des érosions externes ou des débordements hors endiguement ;
- **Le niveau 3** correspond à des digues en charge généralement entre Q10 et Q100, présentant des risques d'instabilité soit par glissement soit par érosion interne et/ou externe et des rapports B/H modérés à faibles ;
- **Le niveau 4** correspond à des digues en charge pour des crues Q10 présentant des risques d'instabilité sur au moins 3 à 4 des phénomènes testés et des rapports B/H très faibles ;
- **Le niveau 5** correspond à des digues en charge pour des crues inférieures à Q10 présentant des risques d'instabilité sur au moins 3 à 4 des phénomènes testés et des rapports B/H très faibles.

Tableau 7 : Synthèse des conclusions du diagnostic mené sur les digues du Borne – CNR 2018, actualisé en 2020

Rive	Tronçon	Charge	Surverse	Erosion interne	Erosion externe Affouillement	Glissement	Risque
Droite	Bois Jolivet B	$Q_{10}$	$> Q_{100} + 1 \text{ m}$	Instable	Oui	Talus rivière instable	4
	Queue du Borne	$Q_{10}$	$> Q_{100} + 1 \text{ m}$	Instable	Oui	Talus rivière instable	4
Gauche	Toisinges	$< Q_{10}$	$> Q_{100} + 1 \text{ m}$	Instable	Oui	Talus rivière instable	5
	STEP	$< Q_{10}$	$> Q_{100} + 1 \text{ m}$	Instable	Oui partie amont au PM145	Talus rivière et terre instables	5

De façon générale, l'ensemble des endiguements du secteur présente :

- un risque de rupture par surverse nul à la crue de projet considérée,
- un risque de rupture par brèche important, lié aux phénomènes d'érosion interne, d'érosion externe, et de glissement.

En conséquence, l'ensemble des digues du secteur est à conforter sur l'ensemble du linéaire. Pour rappel, la présente EDD est centrée sur les digues en rive droite du Borne (Bois Jolivet B et Queue du Borne).

#### 2.4.2.4 Les digues du Borne après travaux

Une sectorisation des linéaires de digues du Borne en tronçons homogènes a été effectuée en croisant :

- Le diagnostic de stabilité des endiguements (risques d'érosion interne, externe stabilité au glissement, caractéristiques géométriques, niveaux de mise en charge, etc.), mis à jour avec les données d'entrées hydrauliques actualisées,
- Les contraintes externes au projet (emprise foncière, projets connexes, etc.),
- Les solutions techniques envisagées, guidées notamment par les enjeux écologiques et paysagers de préservation de la végétation, ainsi que les potentialités de restauration du lit et des berges.

La topographie du projet ainsi que les contraintes géotechniques et hydro-écologiques associée a conduit à définir 7 tronçons homogènes en rive droite et 9 tronçons homogènes en rive gauche.

Les typologies d'interventions sur les digues sont les suivantes :

- **Confortement interne** : il s'agit de créer un voile imperméable à l'intérieur de la digue, afin d'assurer une coupure hydraulique supprimant tout risque d'érosion interne de l'ouvrage (lié à la végétation, aux caractéristiques du remblais en place, etc.). Si la digue dans laquelle le voile est disposé n'est pas stable (glissement ou érosion externe), le voile est rendu auto-stable ; il constitue alors à lui seul l'ouvrage de protection contre les inondations.
- **Confortement par l'aval** : il s'agit de créer un ouvrage au droit du talus aval de la digue actuelle, qui joue le rôle de digue. Le type d'ouvrage retenu (mur, remblais) dépend notamment de l'emprise disponible. Le nouvel ouvrage doit être stable en cas de glissement ou érosion de l'ancienne digue.
- **Création complète d'une nouvelle digue en retrait de la végétation existante** : lorsque les emprises le permettent, l'élargissement de l'espace alluvial peut être opéré en maintenant les franges de végétation actuelles puis en recréant une nouvelle digue

complète auto-stable et étanche en retrait.

La vue en plan des travaux envisagées (avec indication des tronçons homogènes) est donnée par la figure ci-après :

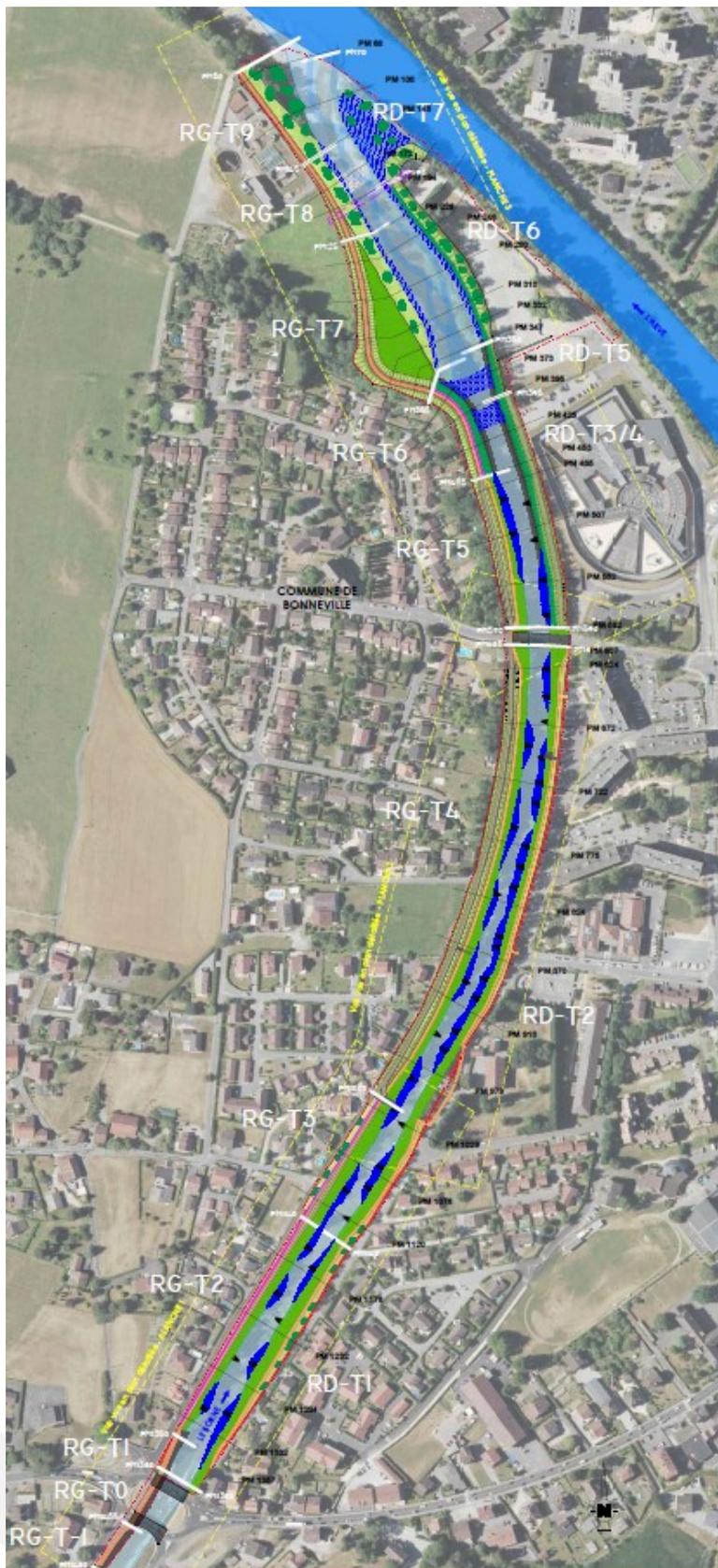


Figure 15 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne (avec indication des tronçons homogènes)

La répartition des typologies d'interventions par tronçons est présentée sur le tableau suivant (digues rive gauche).

**Tableau 8 : Sectorisation des digues du Borne rive droite en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur.**

Digue	Tronçon homogène	PM Amont	PM Aval	Type d'intervention
<b>Rive droite</b>				
Bois Jolivet B	RD-T1	1380	1140	Confortement par l'aval (mur béton)
	RD-T2	1140	605	
Queue du Borne	RD-T3+T4	590	395	Reprise intégrale de la digue
	RD-T5	395	350	Reprise intégrale de la digue (merlon)
	RD-T6	350	195	Arasement digue + adoucissement berge ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )
	RD-T7	195	70	Abaissement confluence ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )

**Le calage des crêtes de digues (niveau de protection apparent) est fixé à  $Z_{Q100} + 1$  m de revanche.**

### 3. DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE

*Ce chapitre est centré sur les digues du Borne rive droite et sur la zone protégée par les digues du Borne rive droite. Les éléments relatifs aux digues de l'Arve rive gauche seront apportés dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve », conformément à la réunion du 21/06/2023 (cf. § 0.3.2).*

#### 3.1 Zone protégée

L'endiguement étudié protège une zone maximale d'inondation potentielle appelée « zone protégée ». Ce paragraphe décrit les limites administratives de cette zone et les enjeux présents.

##### 3.1.1 Limites administratives

###### 3.1.1.1 Cartographie

L'ensemble du système d'endiguement étudié se situe dans les limites administratives de Bonneville. La cartographie suivante présente : les limites administratives des différentes communes, les limites de la zone protégée par les digues du Borne, la localisation des tronçons constitutifs du système d'endiguement (digues du Borne rive droite et digues de l'Arve rive gauche).

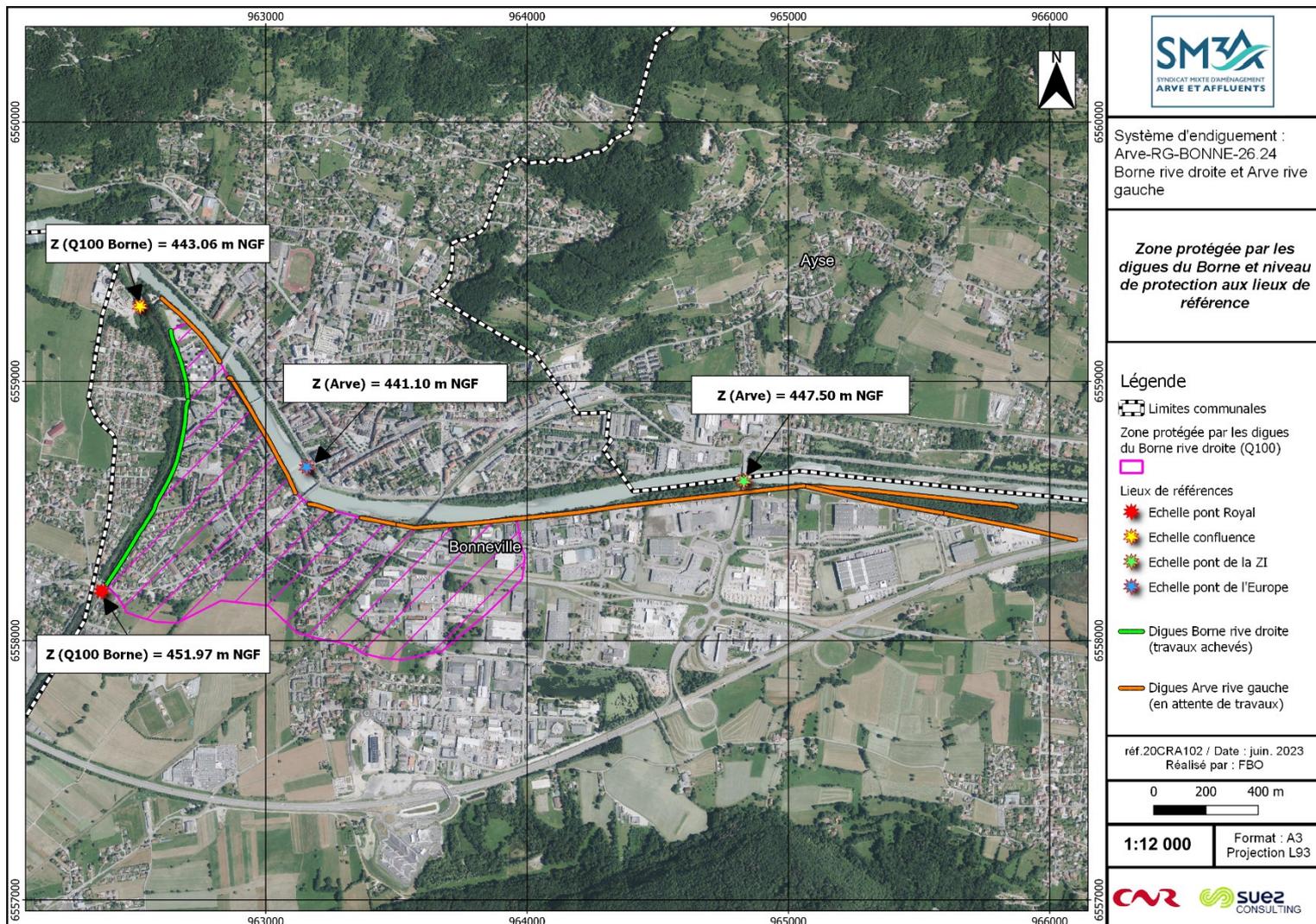


Figure 16 : Localisation de la zone protégée et des tronçons du système d'endiguement

### 3.1.1.2 Liste des collectivités relevant du SM3A pour la prévention des inondations

Le syndicat mixte est composé de collectivités, EPCI à fiscalité propre et syndicats du périmètre de l'EPTB pour l'exercice des champs de compétence GEMAPI qu'elles/ils lui transfèrent :

- Communauté de communes de la Vallée de Chamonix Mont-Blanc (CCVCMB), incluant le bassin versant de l'Eau Noire (vallorcine) ;
- Communauté de communes du Pays du Mont-Blanc (CCPMB) ;
- Communauté de communes Cluses Arve et Montagne (2CCAM) ;
- Syndicat Intercommunal du Haut-Giffre (représentant la Communauté de communes des Montages du Giffre CCMG) ;
- Communauté de Communes du Haut Chablais (CCHC) (communes des Gets, de Bellevaux et de la Côte d'Arbroz) ;
- Syndicat des Eaux des Rocailles et de Bellecombe (SRB) ;
- Communauté de communes Faucigny Glières (CCFG), à l'exception de Contamine sur Arve ;

- Communauté de communes du Pays Rochois (CCPR) ;
- Communauté de communes des 4 Rivières (CC4R) ;
- Communauté de communes de la Vallée Verte (CCVV) ;
- Annemasse les Voirons Agglomération ;
- Thonon Agglomération (communes de Bons en Chablais (Foron du Chablais genevois), Veigy Foncenex (Le Chambet) et Draillant (zone des Moises)) ;
- Communauté de Communes de la vallée de Thônes (Communes du Grand Bornand, Saint-Jean de Sixt et Entremont).

### 3.1.1.3 Liste récapitulative des communes intégrées en tout ou partie dans la zone protégée

L'ensemble du système d'endiguement étudié se situe dans les limites administratives des communes de Bonneville et Saint Pierre en Faucigny.

### 3.1.1.4 Liste récapitulative des autres communes qui relèvent de l'autorité compétente pour la prévention des inondations, le SM3A

L'Arve s'écoule presque entièrement en Haute-Savoie, à l'exception des derniers kilomètres dans le canton de Genève en Suisse. En France, l'Arve parcourt les communes de Chamonix-Mont-Blanc, Les Houches, Servoz, Passy, Sallanches, Magland, Cluses, Scionzier, Thyez, Marnaz, Vougy, Marignier, Ayze, Bonneville, Arenthon, Faucigny, Scientrier, Reignier, Contamine-sur-Arve, Nangy, Arthaz-Pont-Notre-Dame, Monnetier-Mornex, Vétraz-Monthoux, Étrembières, Annemasse et Gaillard.

A ses communes s'ajoutent l'ensemble de celles composant le bassin versant de l'Arve, soit un total de 94 communes qui relèvent de l'autorité compétente pour la prévention des inondations (Le SM3A).

La liste récapitulative des communes qui relèvent de l'autorité compétente pour la prévention des inondations du SM3A est présenté ci-dessous.

<p><b>CCVCMB</b></p> <p>1 Vallorcine 2 Chamonix 3 Les Houches 4 Servoz</p>	<p><b>SRB</b></p> <p>38 Contamine sur Arve 39 Arbusigny 40 Arthaz 41 La Muraz 42 Monnetier-Mornex 43 Nangy 44 Pers-Jussy 45 Reignier-Esery 46 Scientrier</p>	<p><b>CC Vallée Verte</b></p> <p>78 Boège 79 Bogève 80 Burdignin 81 Habère-Lullin 82 Habère-Poche 83 Saint André 84 Saxel 85 Villards</p>
<p><b>CCPMB</b></p> <p>5 Passy 6 Saint-Gervais 7 Contamines-Montjoie 8 Sallanches 9 Domancy 10 Cordon 11 Demi-Quartier 12 Combloux</p>	<p><b>CC4R</b></p> <p>47 Saint-Jeoire 48 Onnion 49 La Tour 50 Peillonex 51 Mégevette 52 Viuz en Sallaz 53 Fillinges 54 Ville en Sallaz 55 Marcellaz 56 Faucigny 57 Saint-Jean de Tholomé</p>	<p><b>CC Haut Chablais</b></p> <p>86 Les Gets 87 La Côte d'Arboz 88 Belleveaux</p>
<p><b>2CCAM</b></p> <p>13 Magland 14 Cluses 15 Scionzier 16 Marnaz 17 Saint-Sigismond 18 Arâches 19 Nancy sur Cluses 20 Le Reposoir 21 Mont-Saxonex 22 Thyez</p>	<p><b>SIVM du Haut-Giffre</b></p> <p>58 Châtillon sur Cluses 59 La Rivière Enverse 60 Mieussy 61 Morillon 62 Samoëns 63 Sixt Fer à Cheval 64 Taninges 65 Verchaix</p>	<p><b>CC des vallées de Thônes</b></p> <p>89 Entremont 90 Le Grand Bornand 91 Saint Jean de Sixt</p>
<p><b>CCFG</b></p> <p>23 Marignier 24 Ayze 25 Bonneville 26 Vougy 27 Brison 28 Petit-Bornand</p>	<p><b>Annemasse Agglo</b></p> <p>66 Ambilly 67 Bonne 68 Annemasse 69 Cranves Sales 70 Gaillard 71 Etrembières 72 Juvigny 73 Lucinges 74 Machilly 75 Saint-Cergues 76 Vétraz-Monthoux 77 Ville-la-Grand</p>	<p><b>Thonon Agglo</b></p> <p>92 Draillant 93 Bons-en-Chablais 94 Veigy Foncenex</p>
<p><b>CCPR</b></p> <p>29 Arenthon 30 Cornier 31 Saint-Pierre en Faucigny 32 Saint Laurent 33 Saint-Sixt 34 La Roche sur Foron 35 Eteaux 36 Amancy 37 La Chapelle Rambaud</p>		

Figure 17 : Communes territoire intervention SM3A

### 3.1.2 Enjeux présents sur la zone

L'étude complète d'analyse des enjeux (digues du Borne et de l'Arve) réalisée par SEPIA est en annexe 1 de ce rapport.

Comme le nombre de personnes protégées est compris entre 3000 et 30 000 personnes, il n'a pas été jugé nécessaire par le SM3A de mettre à jour cette étude qui traite de la zone protégée global du système d'endiguement (zone protégée par les digues du Borne après travaux et zone protégées par les digues de l'Arve après travaux) – suite à la réunion du 21/06/2023. La classe du SE est une classe B.

Le périmètre concerné par la présente note est la zone protégée par le système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne ».

Ce périmètre est constitué de deux secteurs distincts : dans la partie amont du secteur, les activités économiques et industrielles sont prédominantes, tandis que la partie aval de ce secteur est essentiellement résidentielle.

#### 3.1.2.1 Présentation des enjeux situés dans le périmètre d'étude

Une cartographie des principaux enjeux situés dans le périmètre d'étude est présentée sur la figure ci-après.

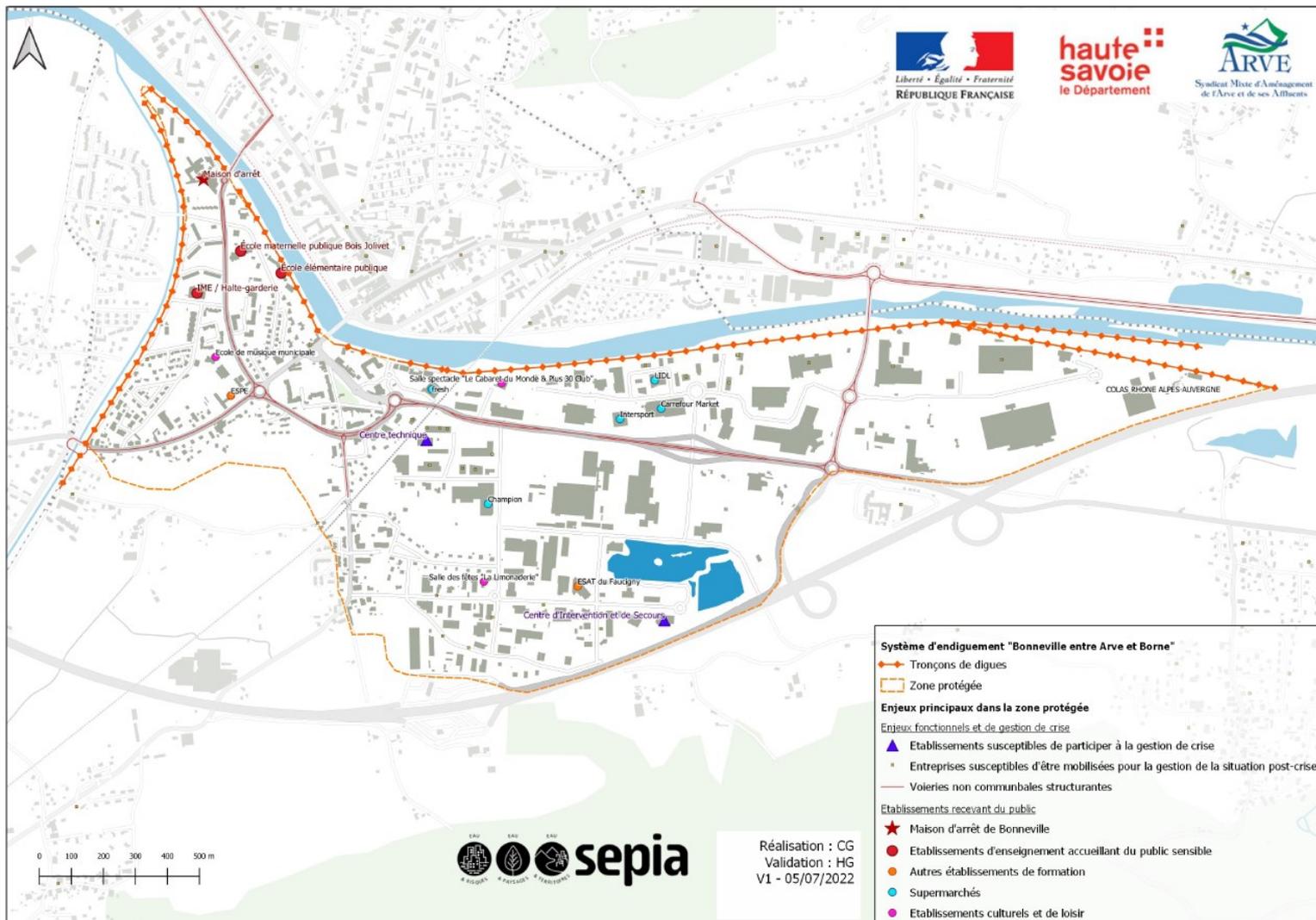


Figure 18 : Zone protégée par le système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne » après travaux sur le Borne et sur l'Arve

### **3.1.2.1.1 Habitations**

On dénombre plus de **490 bâtiments d'habitation dans la zone protégée**, pour la plupart situés dans les quartiers de Pontchy, la Foulaz et du Bois de Jolivet.

### **3.1.2.1.2 Etablissements publics et autres établissements recevant du public**

**Deux établissements susceptibles de participer aux activités de gestion de crise sont situés dans la zone protégée : le Centre d'Intervention et de Secours et le Centre Technique Municipal de Bonneville.**

Par ailleurs, il est intéressant de signaler que le centre technique de l'ATMB (Autoroute et Tunnel du Mont-Blanc) est situé en périphérie immédiate du périmètre de la zone protégée et son accès au niveau du carrefour giratoire des routes RD1205 et RD19 pourrait se trouver perturbé. Ce site dispose toutefois d'un accès direct à l'autoroute A40.

**De nombreux établissements recevant du public (ERP) sont situés dans le périmètre d'étude :**

- **Des établissements accueillant du public particulièrement sensible**
  - o **La maison d'arrêt de Bonneville,**
  - o **Les écoles maternelle et primaire du Bois Jolivet,**
  - o **L'IME 'l'Espoir' et une halte-garderie intercommunale**
- De nombreux commerces dans les zones d'activités : Carrefour Market, Champion, Lidl...
- Des établissements de loisir : Le Cabaret du Monde, la discothèque Le Plus 30, l'école municipale de Musique, la salle des fêtes La Limonaderie
- Des établissements de formation professionnelle et d'enseignement supérieur : l'ESAT du Faucigny et l'ESPE.

Ces établissements constituent autant d'enjeux prioritaires à prendre en compte dans l'organisation de la gestion de crise, en particulier en cas de besoin d'évacuation.

### **3.1.2.1.3 Activités économiques et industrielles**

Les activités économiques et industrielles sont concentrées dans les zones d'activité industrielles et commerciales des Bordets (I et II), des Fourmis et de la Motte Longue. On retrouve notamment les entreprises suivantes :

- AVENTICS SAS,
- SOMFY SAS,
- La Société de Gestion du Tunnel du Mont-Blanc,
- SOCOPA Viandes,
- E.M.T 74,
- COLAS Rhône-Alpes Auvergne,
- CREA,
- Société des établissements CHAMOT,
- SARL Pasquier Frères...

### **3.1.2.2 Estimation des populations exposées**

#### **3.1.2.2.1 Méthodologie - Populations prises en compte**

Le décret du 12 mai 2015 définit la population protégée comme « la population maximale exprimée en nombre d'habitants qui résident et travaillent dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières ».

Le décret n°2019-895 du 28 août 2019, modifiant l'Article R214-113 du Code de l'Environnement, définit la population protégée comme « la population maximale, exprimée en nombre de personnes, qui est susceptible d'être exposée dans la zone protégée. »

Nous avons donc estimé :

- le nombre total de personnes habitant ou travaillant dans la zone protégée,
- la capacité d'accueil des établissements recevant du public ayant une activité d'hébergement (établissements hospitaliers, maisons de retraites, foyers, centres de détention, hôtels et campings...)
- le nombre de personne potentiellement présente dans leur véhicule sur les axes de voirie structurants (voies non communales) au moment de la survenue d'une inondation.

### **3.1.2.2 Personnes résidant dans la zone protégée**

L'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques fournit un ensemble de données statistiques relatives à la composition et la répartition de la population du territoire français. Ces données peuvent notamment être récupérées sous la forme d'une couche SIG présentant un carroyage de 200 mètres de côté et fournissant des informations sur les populations résidant à l'intérieur de chaque carreau.

Nous avons évalué le nombre d'habitants résidant en zone inondable selon la méthodologie de référence du guide méthodologique relatif aux Analyses Multicritères des programmes de travaux de protection contre les inondations. Cette méthodologie se base sur un croisement entre le carroyage INSEE 200 mètres (population 2016) et les contours des bâtiments de la zone protégée.

Pour les bâtiments d'habitations ayant manifestement été construits postérieurement à la publication de cette base de données, nous avons complété cette estimation sur la base des ratios surfacique d'occupation des bâtiments voisins.

### **3.1.2.2.3 Personnes travaillant dans la zone protégée**

Nous avons estimé le nombre d'emplois à l'intérieur de la zone protégée ou des zones inondables à partir de la base de données SIRENE 2022. Toutefois, cette base de données de référence présente parfois des défauts de complétude, notamment concernant le nombre d'emplois associé à chaque établissement.

Lorsqu'aucune information n'était disponible dans la base SIRENE 2022 concernant le nombre d'employés, nous avons donc mobilisé les données des millésimes plus anciens (2017-2020), ou avons à défaut pris l'hypothèse d'un employé minimum par entreprise.

#### **3.1.2.2.3.1 Personnes potentiellement présentes dans les ERP en zone protégée**

Comme précisé précédemment, la maison d'arrêt étant le seul établissement à vocation d'hébergement dans la zone protégée, seule sa capacité a été prise en compte dans nos calculs.

D'après l'Observatoire International des Prisons, cet établissement accueillait au 1er janvier 2022 un total de 215 personnes, pour une capacité opérationnelle de 158 personnes. Nous avons donc retenu la valeur effective de 215 personnes.

#### **3.1.2.2.3.2 Personnes circulant sur les axes structurants**

Le calcul des personnes circulant sur les axes de voirie prend en compte uniquement les routes non communales. En effet, on considère que les usagers de ces dernières résident ou travaillent probablement dans la zone d'étude ; leur double comptabilisation entraînerait donc une surestimation de la population totale localisée en zone protégée. Ainsi, seules la RD1203, la RD1205 (route de Cluse), et la RD27A ont été prises en compte dans ce calcul.

Afin d'estimer le nombre de personnes présentes dans leurs véhicules sur la chaussée à partir de ces données, nous nous sommes basés sur les hypothèses présentées dans la Circulaire du 10/05/10 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des

risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 :

Si l'axe de circulation concerné est susceptible de connaître des embouteillages fréquemment pour d'autres causes qu'un accident de la route ou qu'un événement exceptionnel du même type, compter 300 personnes permanentes par voie de circulation et par kilomètre exposé.  
Exemple : autoroute à 2 fois 3 voies : compter 1800 personnes permanentes par kilomètre).  
Sinon, compter 0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour.

Afin de tenir compte du risque important d'embouteillage sur les axes de voiries considérés, nous avons retenu l'hypothèse maximisante de 300 personnes par voie de circulation et par kilomètre exposé.

### 3.1.2.2.4 Estimation du nombre total de personnes dans la zone protégée

#### 3.1.2.2.4.1 Estimation sans prise en compte des personnes se trouvant dans leur véhicule sur les axes de voirie structurants

Le ci-dessous présente l'estimation des personnes résidant (dans un logement particulier ou un établissement à vocation d'hébergement) ou travaillant dans les zones exposées aux inondations selon les différents scénarios d'inondation considérés :

**Tableau 9 : Population exposée selon les scénarios d'inondation considérés (sans prise en compte des personnes circulant sur les axes de voiries non communales)**

HABITATIONS			EMPLOIS		ERP AVEC HEBERGEMENT		TOTAL
Nombre de bâtiments d'habitations exposés	Nombre total d'habitants exposés	dont habitants dans des logements de plain-pied	Nombre d'entreprises exposées	Nombre d'emplois exposés	Nombre d'ERP avec hébergement exposés	Nombre de personnes exposées dans les ERP avec hébergement	
487	2043	241	521	2 796	1	215	5 054

#### 3.1.2.2.4.2 Estimation avec prise en compte des personnes se trouvant dans leur véhicule sur les axes de voirie structurants

Le tableau ci-dessous présente le total de personnes exposées en prenant en compte les personnes potentiellement situées dans leur véhicule sur des voiries non communales :

**Tableau 10 : Analyse complémentaire prenant en compte le nombre de personnes exposées sur les voiries non communales**

Sous-total (Habitations, emplois et capacité des ERP avec hébergement – CF Tableau 1)	VOIRIES NON COMMUNALES		TOTAL
	Linéaire de voirie non communale exposé (km)	Nombre de personnes exposées sur les voiries non communales	
5 054	5	3 070	8 124

### 3.1.2.2.5 Estimation du nombre de personnes exposées dans différents scénarios d'inondation

#### 3.1.2.2.5.1 Estimation sans prise en compte des personnes se trouvant dans leur véhicule sur les axes de voirie structurants

Le tableau ci-dessous présente l'estimation des personnes résidant (dans un logement particulier ou un établissement à vocation d'hébergement) ou travaillant dans les zones exposées aux inondations selon les différents scénarios d'inondation considérés : **digue de l'Arve effacées et digue du Borne effacées.**

**Tableau 11 : Population exposée selon les scénarios d'inondation considérés (sans prise en compte des personnes circulant sur les axes de voiries non communales)**

Scénario de brèche considéré	HABITATIONS			EMPLOIS		ERP AVEC HEBERGEMENT		TOTAL
	Nombre de bâtiments d'habitations exposés	Nombre total d'habitants exposés	dont habitants dans des logements de plain-pied	Nombre d'entreprises exposées	Nombre d'emplois exposés	Nombre d'ERP avec hébergement exposés	Nombre de personnes exposées dans les ERP avec hébergement	
Borne Rive Droite	188	947	104	160	560	0	0	1 507
Arve Rive Gauche	224	1 022	109	290	2 085	0	0	3 107

### 3.1.2.2.5.2 Estimation avec prise en compte des personnes se trouvant dans leur véhicule sur les axes de voirie structurants

Le tableau ci-dessous présente le total de personnes exposées en prenant en compte les personnes potentiellement situées dans leur véhicule sur des voiries non communales :

**Tableau 12 : Analyse complémentaire prenant en compte le nombre de personnes exposées sur les voiries non communales**

Scénario de brèche considéré	Sous-total (Habitations, emplois et capacité des ERP avec hébergement – CF Tableau 3)	VOIRIES NON COMMUNALES		TOTAL
		Linéaire de voirie non communale exposé (km)	Nombre de personnes exposées sur les voiries non communales	
Borne Rive Droite	1 507	2,5	1 396	2 903
Arve Rive Gauche	3 107	4	2 381	5 488

Il est à noter que la superficie de la zone protégée par les digues du Borne rive droite, contre la crue centennale du Borne, est d'environ 86 ha. Plus spécifiquement, cette dernière fait état de plus de 2903 personnes impactées.

## 3.2 Description des conditions naturelles pouvant conduire à des crues

Les conditions induisant une sollicitation des endiguements sont décrites ci-dessous. Ces conditions sont majoritairement liées aux crues. Les données géologique et le risque sismique est aussi abordé dans ce paragraphe. Une critique des références scientifiques sur la partie hydrologique est aussi apportée.

### 3.2.1 Facteurs naturels déterminants les risques d'inondation

Les facteurs naturels déterminant les risques d'inondation sont les crues de l'Arve et du Borne.

Les principales crues ont lieu essentiellement en période de fonte des neiges, elles peuvent également intervenir à l'automne lors d'épisodes pluvieux intenses. Les crues de l'Arve et du Borne peuvent être concomitantes. Par ailleurs, un point de référence a été ajouté en amont de la confluence Borne/Arve (sur le Borne).

L'hydrologie de crue a été récemment actualisée sur la base de deux études EDF, portées par le SM3A :

- Etude des crues extrêmes du Borne à Saint-Pierre-en-Faucigny (149 km<sup>2</sup>) par la méthode SCHADEX pour SM3A, EDF, indice A, H-44200966-2020-000007, 14/01/2020
- Estimation de l'aléa crue de l'Arve à Bonneville (1353 km<sup>2</sup>), à la station EDF/DTG du Pont Neuf à Arthaz/Reignier (1635 km<sup>2</sup>) et au Pont d'Etrembières (1875 km<sup>2</sup>) par la méthode SCHADEX pour SM3A, EDF, indice A, H-44200966-2020-000284, 07/10/2020

Concernant les occurrences retenues sur l'Arve et le Borne, le parti a donc été pris de procéder comme détaillé ci-dessous :

**Tableau 13 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze (pour les crues du Borne de différentes périodes de retour) – source CNR**

Période de retour Borne (ans)	Période de retour Arve (ans)	Borne (Saint-Pierre-en-Faucigny) (m <sup>3</sup> /s)	Arve (Bonneville) (m <sup>3</sup> /s)	Bronze (m <sup>3</sup> /s)
2	2	66,6	380,4	7,2
5	5	93,5	475,5	8,8
10	10	113,5	525,0	9,8
20	20	130,0	630,7	10,8
30	30	141,9	691,5	13,0
50	30	156,6	691,5	13,0
80	30	171,4	691,5	13,0
<b>100</b>	<b>30</b>	<b>178,4</b>	<b>691,5</b>	<b>13,0</b>
200	50	201,4	767,0	13,0
<b>300</b>	<b>50</b>	<b>212,9</b>	<b>767,0</b>	<b>13,0</b>
1000	50	254,7	767,0	13,0

**Tableau 14 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze (pour les crues de l'Arve de différentes périodes de retour) – source CNR**

Nom simulation	Période de retour Arve (ans)	Arve (m <sup>3</sup> /s)	Borne (m <sup>3</sup> /s)	Bronze (m <sup>3</sup> /s)
Q2	2	364,1	19,7	7,6
Q5	5	496,6	38,5	9,0
Q10	10	613,0	51,0	10,0
Q20	20	736,7	62,9	10,9
Q30	30	813,6	69,8	11,4
Q50	50	917,1	78,4	12,1
Q80	80	1028,3	86,3	12,7
Q100	100	1081,0	90,0	13,0
Q200	200	1244,1	101,5	13,0
Q300	300	1344,6	108,3	13,0
Q400	400	1415,2	113,5	13,0
Q1000	1000	-	128,3	13,0

Ainsi dans le cadre de cette présente étude de dangers centrée sur les digues du Borne, les occurrences modélisées sont :

- **Q100 Borne** (178.4 m<sup>3</sup>/s) + **Q Arve** (691.0 m<sup>3</sup>/s)
- **Q300 Borne** (212.9 m<sup>3</sup>/s) + **Q Arve** (767.0 m<sup>3</sup>/s)

La figure ci-après présente les hydrogrammes de la crue centennale du Borne :

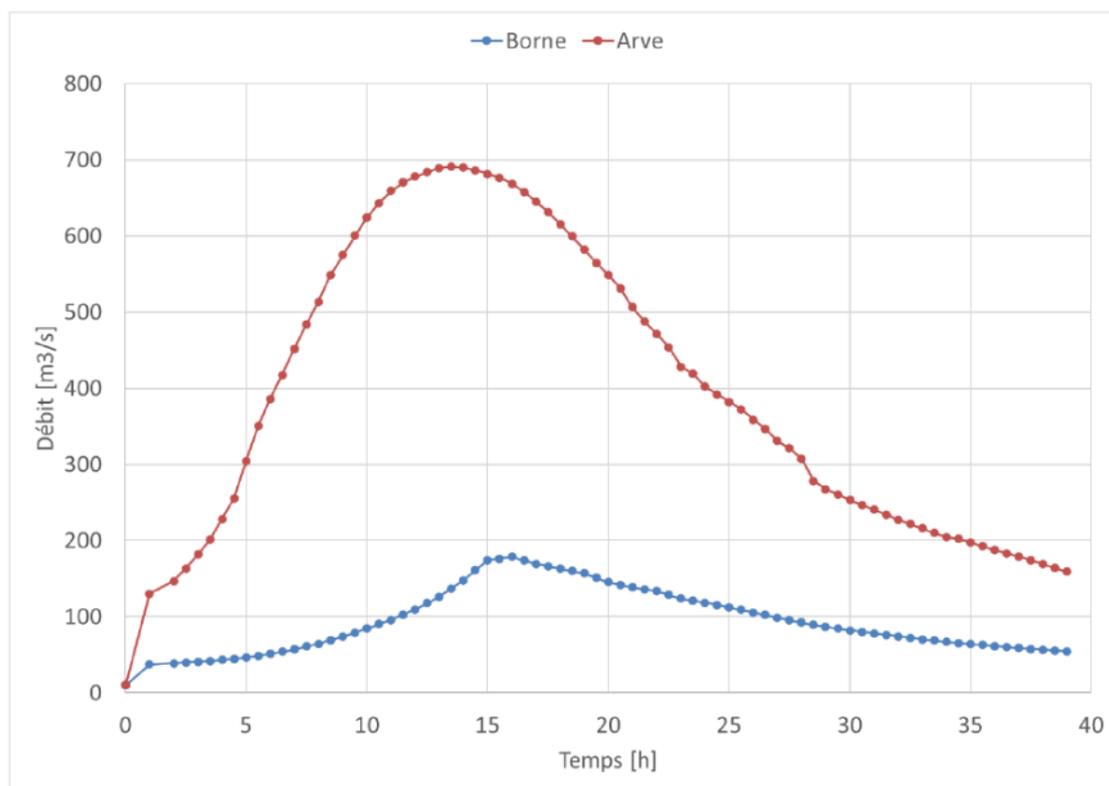


Figure 19 : Hydrogrammes de crues relatifs à la crue centennale du Borne - CNR

### 3.2.2 Références scientifiques

L'étude hydrologique ayant définie les évènements caractéristiques du Borne et de l'Arve repose sur l'étude EDF de 2021. En effet, cette étude avec la méthode SCHADDEX est jugée la plus pertinente et est retenue par le SM3A.

Il est à noter que les débits de pointe retenus sont sécuritaires par rapport aux débits des différentes autres études hydrologiques menées sous maîtrise d'ouvrage du SM3A.

### 3.2.3 Données historiques de crue

Une étude historique [20] a été réalisée dans le cadre du présent marché. Elle a permis de recenser et décrire précisément les crues majeures ayant eu lieu sur l'endiguement. Parmi ces crues, sont retenues :

- La crue de 1968 qui a conduit à une rupture d'endiguement sur le système de Corbière. L'occurrence de cette crue est estimée entre Q50 et Q100 à dire d'expert ;
- La crue de mai 2015, proche d'une Q30 d'après ISL, qui n'a pas engendré de rupture dans la traversée de Bonneville.

La cartographie suivante présente l'inondation des secteurs ces derniers siècles. On remarquera une baisse significative des inondations sur le 20ème siècle par rapport au 18ème et 19ème siècle.

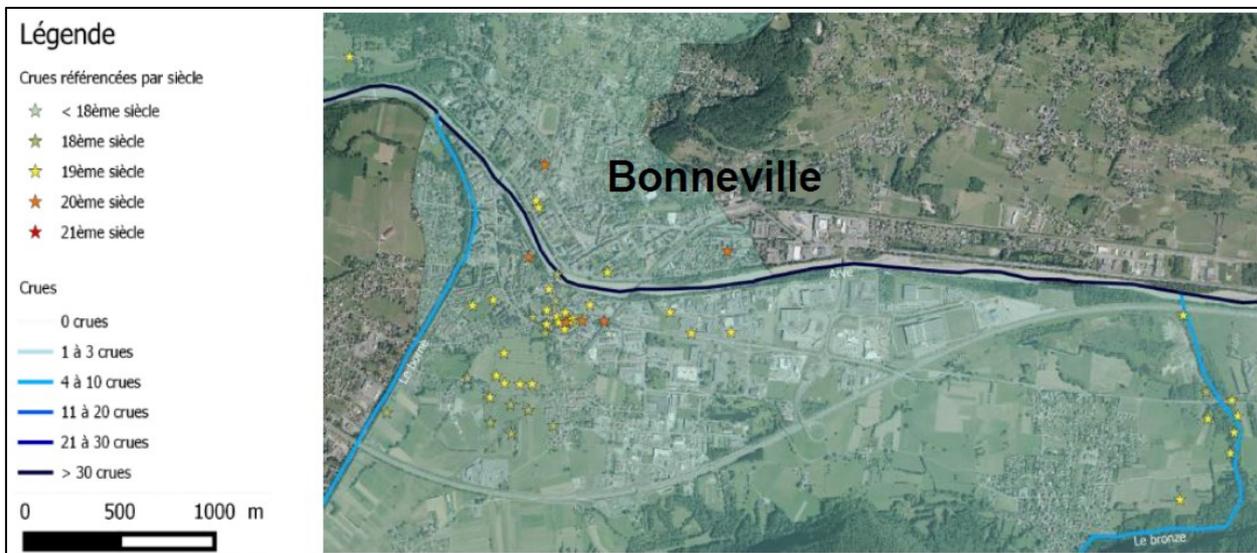


Figure 20 : Cartographie des crues sur le secteur d'étude (Source : S.M.3.A.)

### 3.2.4 Etude géologique

L'étude géologique (CNR 2019) a permis de conclure que les schistes marno-micacés (Molasses ou Grès de Bonneville, ici), qui tapissent généralement le fond de tous les synclinaux des chaînes subalpines (dont celui de Dessy), s'étendent sous les dépôts quaternaires (Sédiments) de la plaine de l'Arve et semblent affleurer, en rive droite, notamment dans la ville de Bonneville.

Les reconnaissances géotechniques réalisées ont permis de confirmer cet apport de sédiment sachant que les fondations des digues sont majoritairement composées de Graves sablo-limoneuses.

### 3.2.5 Classe sismique

Le décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 a défini un nouveau zonage sismique de la France allant de la zone 1 (sismicité très faible) à la zone 5 (sismicité forte). Les ouvrages du système d'étude St-Pierre-en-Faucigny entre Arve et Borne se situent en zone 4 (sismicité moyenne).

A noter que le risque d'apparition simultanée d'une crue et d'un séisme est très peu probable.

## 3.3 Description du système de protection et fonctions hydrauliques

Après avoir décrit la zone protégée et les phénomènes naturels sollicitant l'endiguement, ce paragraphe décrit la structure de l'endiguement en présentant notamment les profils en travers types et les profils en long.

### 3.3.1 Cours d'eau

Les cours d'eau en objet de cette étude sont :

- Le Borne du PK 1.4 au droit du pont de la D1203 au PK0 à la confluence avec l'Arve ;
- L'Arve du PK32.6 en aval du seuil de Marignier au PK24.2 à la passerelle SM3A.

### 3.3.2 Localisation et identification des éléments constituant le système d'endiguement

Les différents tronçons constitutifs du système d'endiguement sont localisés sur la cartographie suivante.

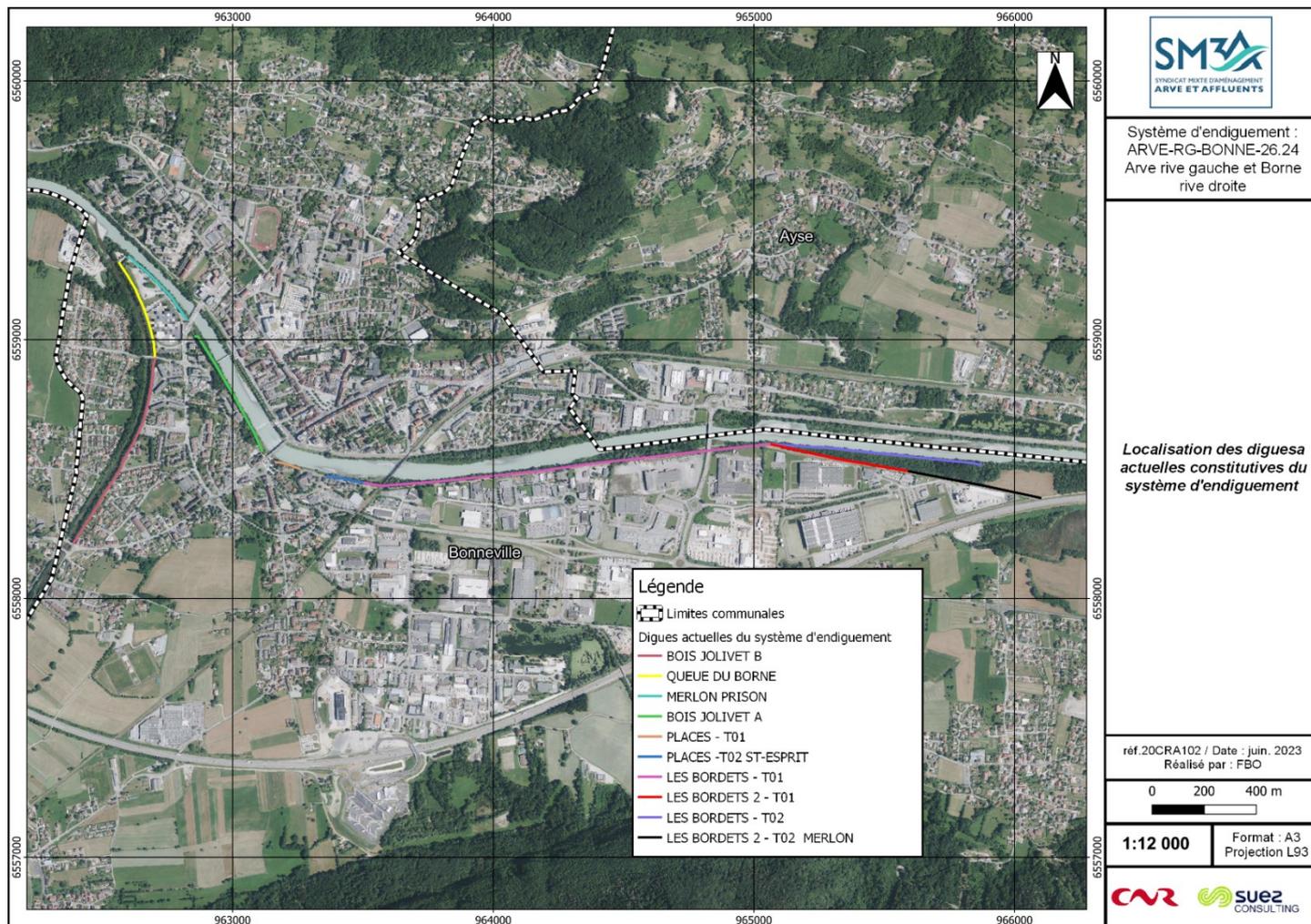


Figure 21 : Localisation précise des digues actuelles constitutives du système d'endiguement

Ci-après les caractéristiques de chaque digue :

Tableau 15 : Délimitation des digues constituant le système d'endiguement (EDD CNR, 2019)

DIGUE	IDENTIFIANT_SIRS	COURS_EAU	RIVE	GESTIONNAIRE	LONGUEUR (m)	PK amont	PK aval
LES BORDETS 2-T02 MERLON	ARVE-RG-BONNE-29.65	ARVE	GAUCHE	SM3A	519	30.16	29.65
LES BORDETS 2-T01	ARVE-RG-BONNE-29.11	ARVE	GAUCHE	SM3A	538	29.65	29.13
LES BORDETS-T02	ARVE-RG-BONNE-28.87	ARVE	GAUCHE	ETAT	817	29.95	29.13
LES BORDETS-T01	ARVE-RG-BONNE-27.62	ARVE	GAUCHE	ETAT	1563	29.13	27.56
LES PLACES - T02 -ST ESPRIT	ARVE-RG-BONNE-27.41	ARVE	GAUCHE	SM3A	139	27.56	27.54
LES PLACES - T01	ARVE-RG-BONNE-27.21	ARVE	GAUCHE	SM3A	94	27.30	27.22
BOIS JOLIVET A	ARVE-RG-BONNE-26.63	ARVE	GAUCHE	ETAT	517	27.19	26.58
MERLON PRISON	ARVE-RG-BONNE-26.24	ARVE	GAUCHE	SM3A	390	26.58	26.19
QUEUE DU BORNE	BORNE-RD-BONNE-0.23	BORNE	DROITE	SM3A	372	0.16	0.59
BOIS JOLIVET B	BORNE-RD-BONNE-0.61	BORNE	DROITE	SM3A	787	0.61	1.39

**Rappel :** la présente étude de dangers est centrée sur les digues du Borne rive droite en état de travaux achevés.

Le plan suivant localise les ouvrages particuliers sur le secteur de l'étude.

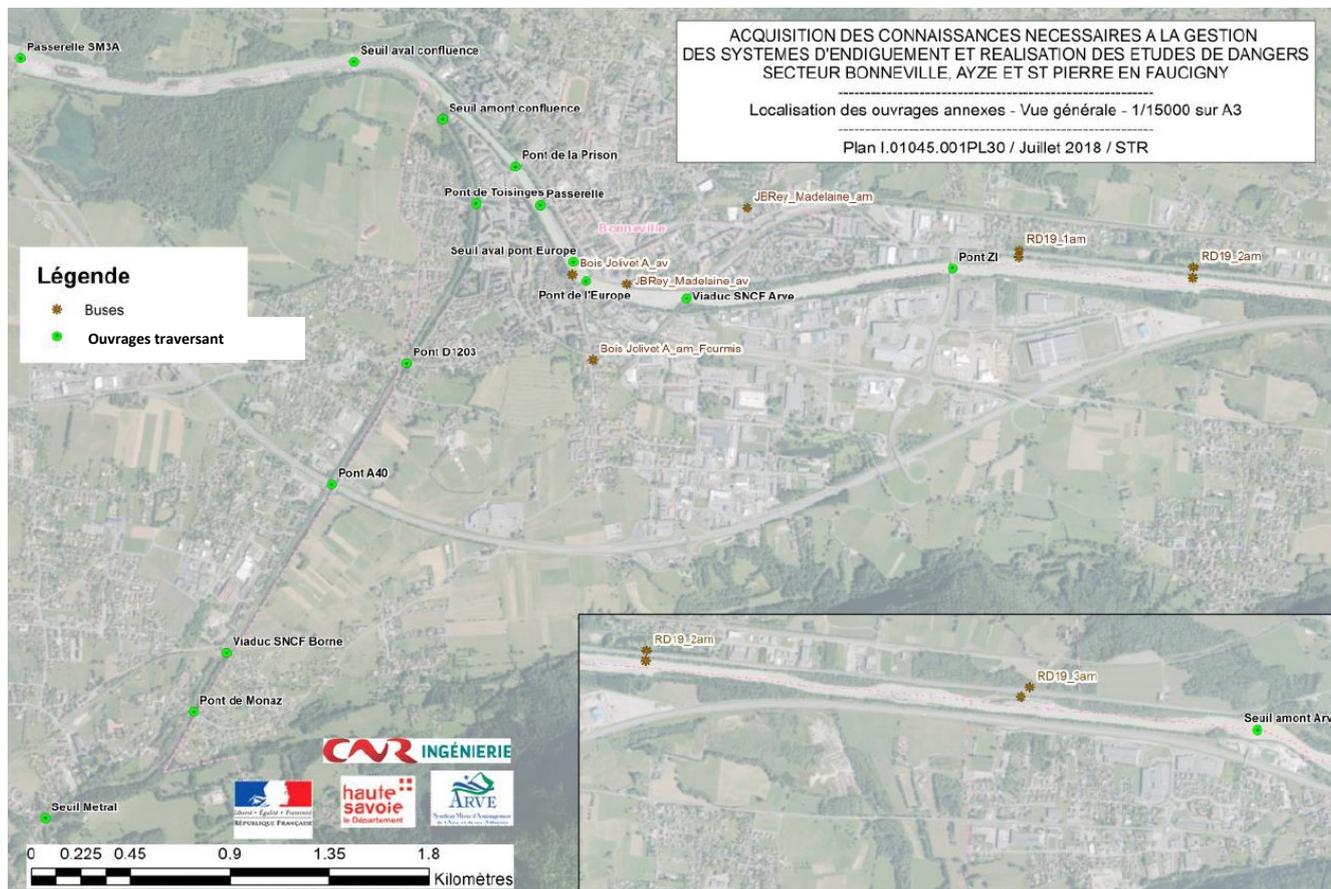


Figure 22 : Cartographie des ouvrages annexes (ponts, seuils, grandes buses)

### 3.3.3 Géométrie et structure du système

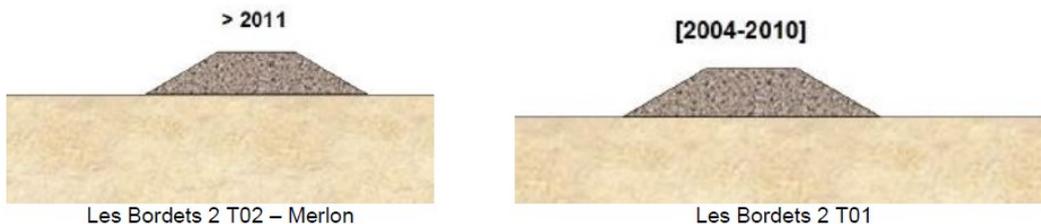
#### 3.3.3.1 Etat actuel

##### 3.3.3.1.1 Profils types

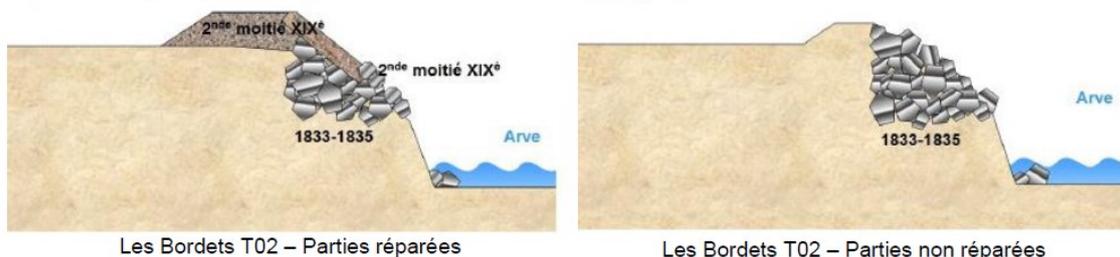
Les paragraphes suivants présentent succinctement les profils types pour chaque ouvrage en état actuel.

**ARVE**

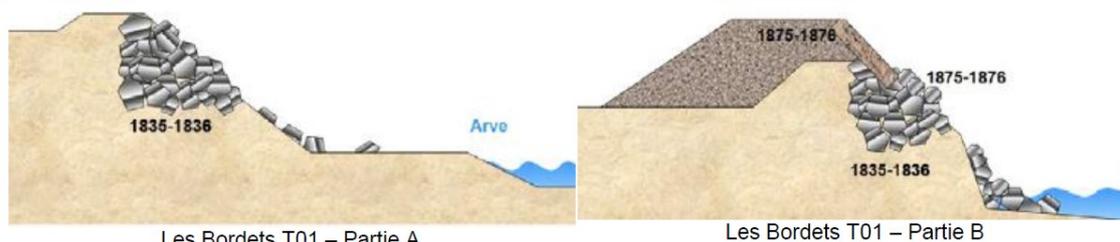
**Les Bordets 2 T01 – T02 Merlon (de l'aval vers l'amont) :** Simple tas de remblais mis en place récemment en retrait du tronçon des Bordets T02.



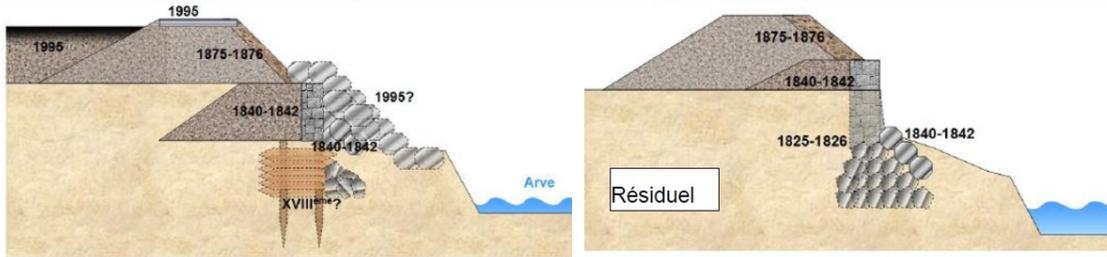
**Les Bordets T02 :** Ancienne digue en enrochements datant de la première partie du XIXe rechargée avec mise en place d'un glacis en pierres maçonnées en talus amont à certains endroits. Subi le même type d'érosion en pied que le tronçon RD19.



**Les Bordets T01 (de l'aval vers l'amont : BA) :** Digue initiale en enrochements datant de la première partie du XIXe, remblayée à l'aval du tronçon avec mise en place d'un glacis en pierres maçonnées en protection du talus amont.



Les Places : Digues très anciennes plusieurs fois confortées



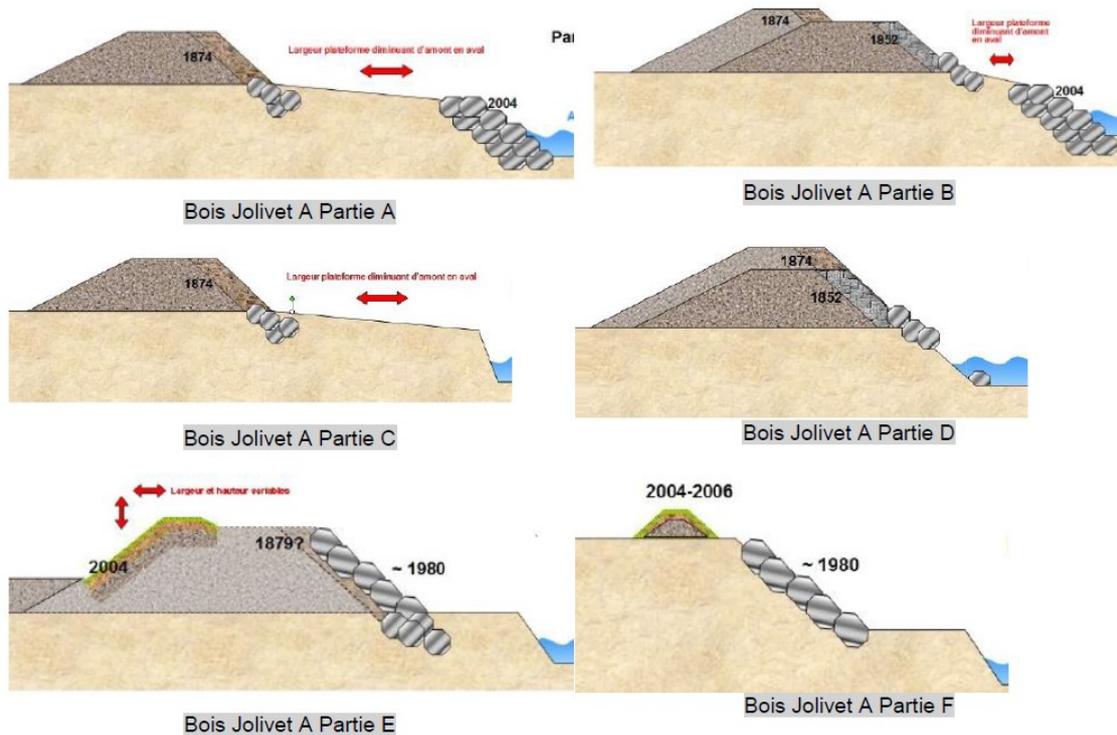
Les places T02 Pont Saint Esprit

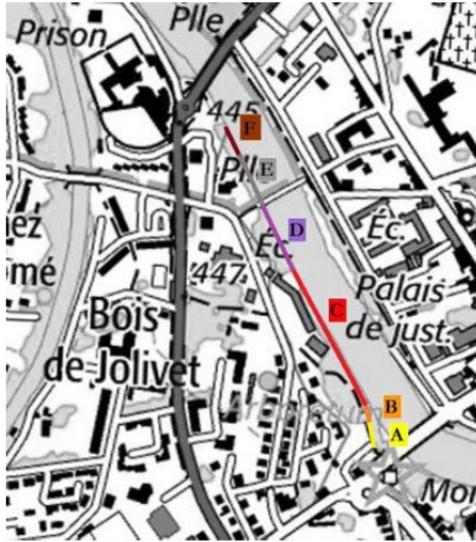
Les places T01

Légende :

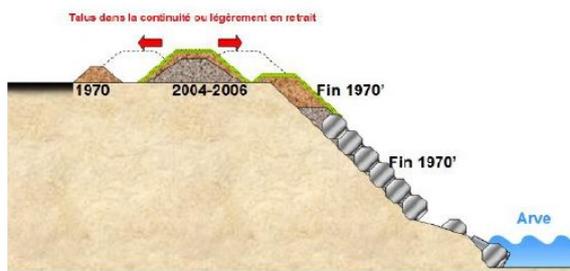


**Bois Jolivet A (de l'aval vers l'amont ABCDEF) :** Structure de digue très hétérogène sur son linéaire du fait de nombreuses modifications et ajustements au cours de l'histoire. Dans la plupart des cas il s'agit d'une première digue en remblais, renforcée en talus amont et rehaussée par la suite. Notons la présence d'enrochements en pied en amont du tronçon.

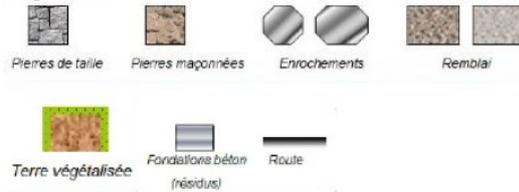




**Merlon Prison : Digue récente et protections des années 1970 perchées**

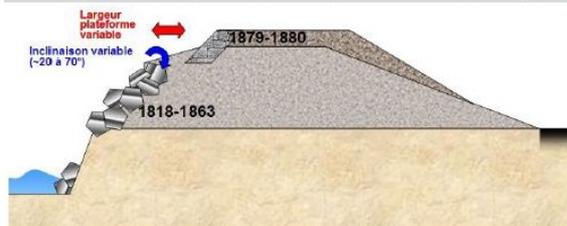


**Légende :**

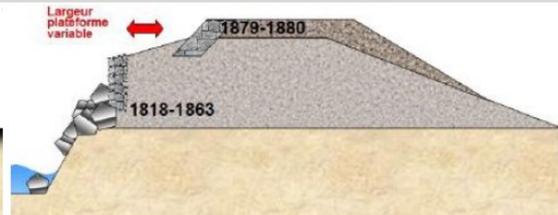


**BORNE**

**Bois Jolivet B : Digue en remblai partiellement protégée par des enrochements ou muret en pierre.**



Bois Jolivet B - Partie sans mur



Bois Jolivet B – Partie avec mur

**Queue du Borne : Digue en terre très hétérogène partiellement protégés par des perrés ou Gabions. Enrochements des années 1970 en aval.**

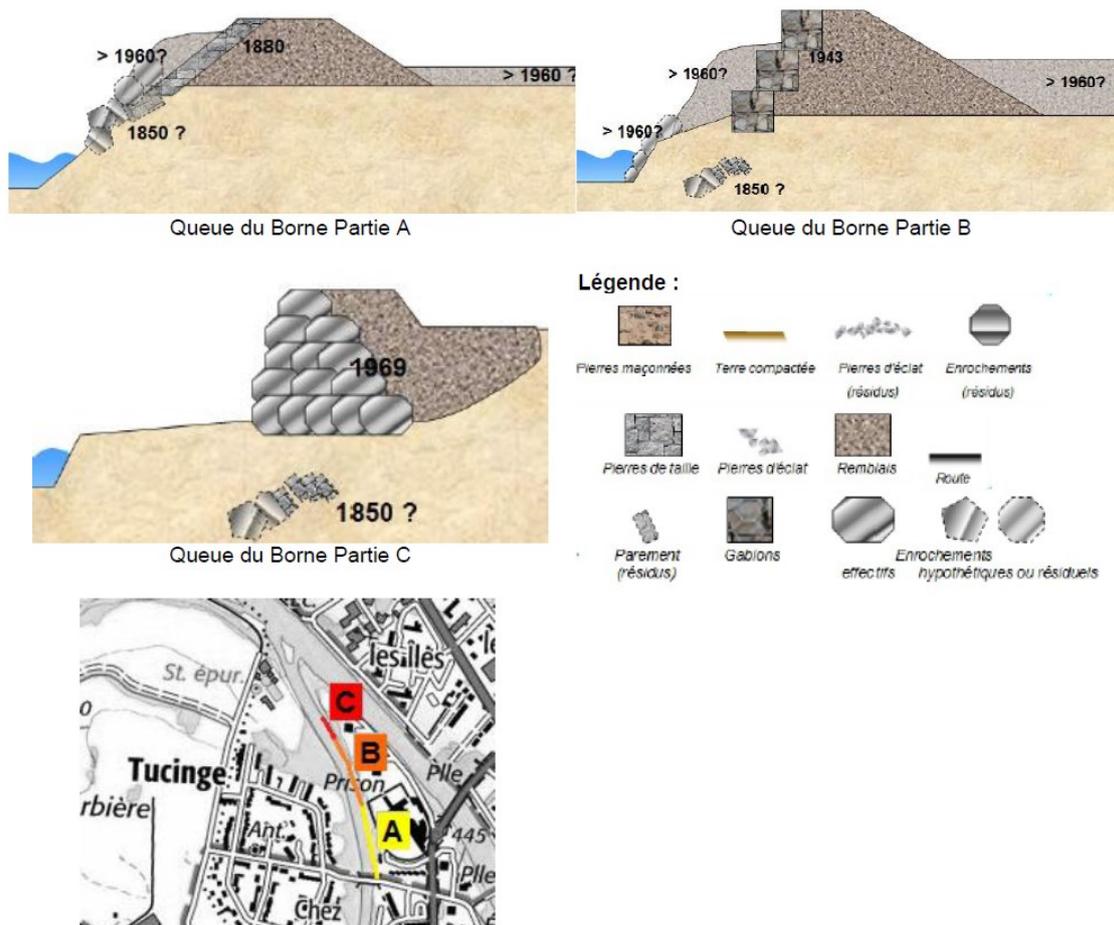


Figure 23 : Profils types historiques issus de l'étude historique Acthys Diffusion – Juillet 2017

### 3.3.3.1.2 Conclusion sur la géométrie externe des ouvrages existants

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques géométriques externes de chaque portion de système et la composition générale des protections.

SYSTÈME	IDENTIFIANT_SIRS	DIGUE	PK amont	PK aval	Hauteur moyenne aval (m)	Charge	LARGEUR MOYENNE EN CRETE (m)	Risberme
BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE ARVE-RG-BONNE-26.24	ARVE-RG-BONNE-29.65	LES BORDETS 2-T02 MERLON	30.16	29.65	0.80	Q10	2.5 à 3	Ségonnal de 80 m
	ARVE-RG-BONNE-29.11	LES BORDETS 2-T01	29.65	29.13	1.00	Q10	2.5 à 3	Ségonnal de 0 à 80 m
	ARVE-RG-BONNE-28.87	LES BORDETS-T02	29.95	29.13	1.00	Entre Q10 et Q100	2.50	Non
	ARVE-RG-BONNE-27.62	LES BORDETS-T01	29.13	27.56	2.50	Q10	2.5 à 3	2 à 50 m sur 770m amont
	ARVE-RG-BONNE-27.41	LES PLACES - T02-ST ESPRIT	27.56	27.54	0.80	Q100	2.50	0 à 3 m
	ARVE-RG-BONNE-27.21	LES PLACES - T01	27.30	27.22	1.30	Q100	0.5 à 2	1 à 2 m
	ARVE-RG-BONNE-26.63	BOIS JOLIVET A	27.19	26.58	1.10	Entre Q10 et Q100	2.5 en amont puis 1	2 m ponctuellement
	ARVE-RG-BONNE-26.24	MERLON PRISON	26.58	26.19	0.80	Q1000	1.50	Non
	BORNE-RD-BONNE-0.61	BOIS JOLIVET B	0.61	1.39	2.00	Q10	1.5 à 2 et 1 ponctuellement	Non
	BORNE-RD-BONNE-0.23	QUEUE DU BORNE	0.16	0.59	0.50	Q10	1.00	Banc

Tableau 16 : Résumé des caractéristiques géométriques externes des ouvrages existants - CNR

### 3.3.3.2 Etat projet

#### 3.3.3.2.1 Sectorisation en linéaires de digues

La présente étude de dangers présente uniquement les travaux sur les digues du Borne.

Une sectorisation des linéaires de digues du secteur d'étude en tronçons homogènes a été effectuée en croisant :

- Le diagnostic de stabilité des endiguements (risques d'érosion interne, externe stabilité au glissement, caractéristiques géométriques, niveaux de mise en charge, etc.), mis à jour avec les données d'entrées hydrauliques actualisées,
- Les contraintes externes au projet (emprise foncière, projets connexes, etc.),
- Les solutions techniques envisagées, guidées notamment par les enjeux écologiques et paysagers de préservation de la végétation, ainsi que les potentialités de restauration du lit et des berges.

La topographie du projet ainsi que les contraintes géotechniques et hydro-écologiques associée a conduit à définir 7 tronçons homogènes en rive droite et 9 tronçons homogènes en rive gauche.

Les typologies d'interventions sur les digues sont les suivantes :

- Confortement interne** : il s'agit de créer un voile imperméable à l'intérieur de la digue, afin d'assurer une coupure hydraulique supprimant tout risque d'érosion interne de l'ouvrage (lié à la végétation, aux caractéristiques du remblais en place, etc.). Si la digue dans laquelle le voile est disposé n'est pas stable (glissement ou érosion externe), le voile est rendu auto-stable ; il constitue alors à lui seul l'ouvrage de protection contre les inondations.
- Confortement par l'aval** : il s'agit de créer un ouvrage au droit du talus aval de la digue actuelle, qui joue le rôle de digue. Le type d'ouvrage retenu (mur, remblais) dépend

notamment de l'emprise disponible. Le nouvel ouvrage doit être stable en cas de glissement ou érosion de l'ancienne digue.

- **Création complète d'une nouvelle digue en retrait de la végétation existante :** lorsque les emprises le permettent, l'élargissement de l'espace alluvial peut être opéré en maintenant les franges de végétation actuelles puis en recréant une nouvelle digue complète auto-stable et étanche en retrait.

La vue en plan des travaux envisagées (avec indication des tronçons homogènes) est donnée par la figure ci-après :

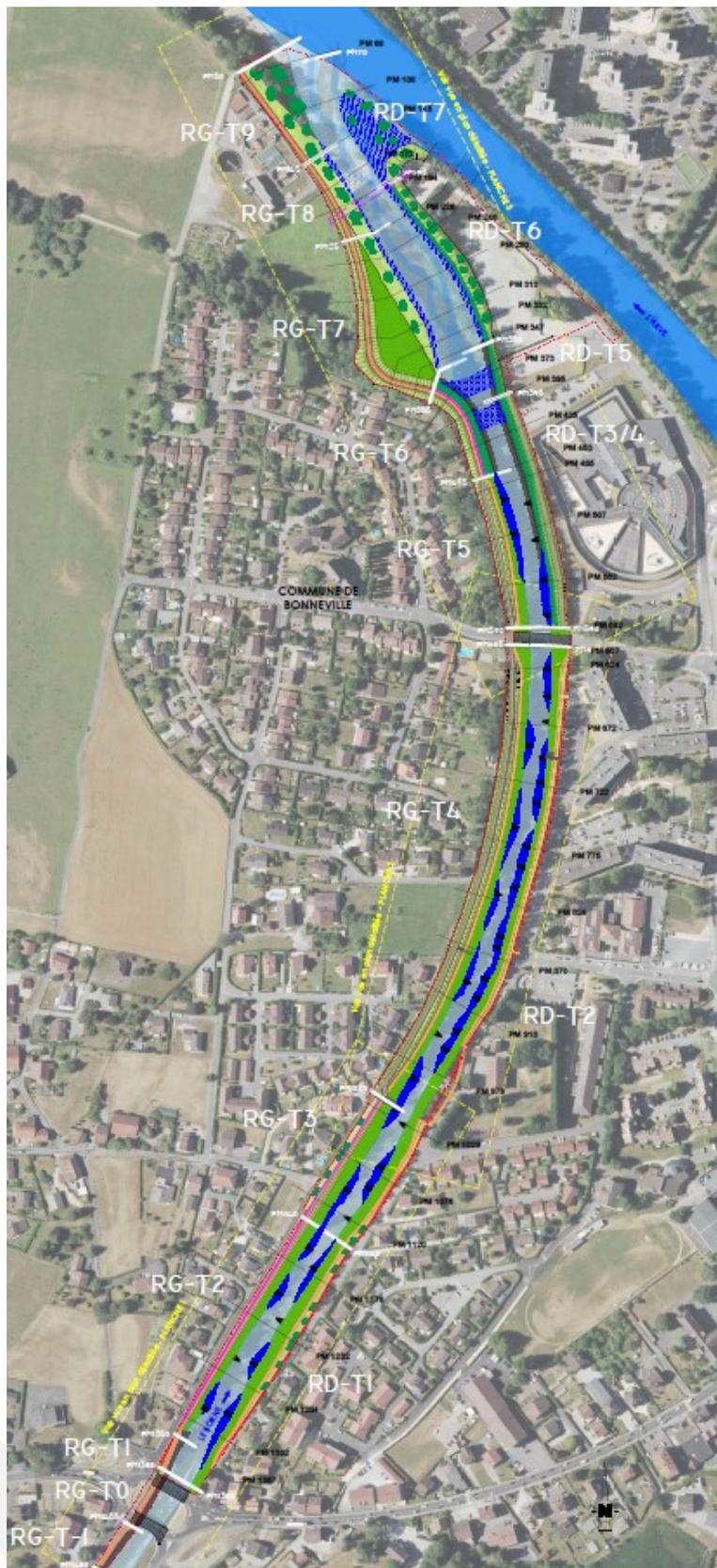


Figure 24 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne (avec indication des tronçons homogènes)

Tableau 17 : Sectorisation des digues en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur.

Digue	Tronçon homogène	PM Amont	PM Aval	Type d'intervention
<b>Rive droite</b>				
Bois Jolivet B	RD-T1	1380	1140	Confortement par l'aval (mur béton)
	RD-T2	1140	605	
Queue du Borne	RD-T3+T4	590	395	Reprise intégrale de la digue
	RD-T5	395	350	Reprise intégrale de la digue (merlon)
	RD-T6	350	195	Arasement digue + adoucissement berge ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )
	RD-T7	195	70	Abaissement confluence ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )

### 3.3.3.2 Principe général de conception

Pour mémoire, tel que susmentionné, l'endiguement du Borne, très ancien, puis l'urbanisation du lit majeur (ancien cône de déjection) limitent très fortement toute possibilité d'élargissement de l'espace alluvial.

Une des seules emprises disponibles sur le secteur d'étude est représentée par la partie aval, avec en rive droite des possibilités d'élargissement en aval de la prison à la confluence avec l'Arve (tronçons RD-T6 et T7) et en rive gauche, en face, soit en amont immédiat de la STEP (tronçon RG-T7). Ces élargissements étendent le secteur de confluence dynamique avec l'Arve, en créant un contexte alluvial varié et évolutif dans le temps (alternance de bancs graveleux, de surfaces de végétation pionnière, de surfaces plus ou moins en eau, de granulométrie variée des fonds, etc.). La création de cet élargissement nécessite le déplacement vers l'amont du point de contrôle de la cote des fonds du lit du Borne, avec la création d'une double rampe franchissable en blocs d'enrochements et le déplacement de la canalisation des eaux usées qui lui est associée.

La réflexion s'est faite pour maintenir au maximum la végétation en place. Aucun secteur n'est totalement défriché dans le cadre de l'opération. Il est proposé la gestion de la végétation en place avec la suppression des espèces végétales exotiques à tendance invasive, l'abattage sélectif des sujets arborés menaçant de basculer en berge puis l'enlèvement de la végétation existante uniquement au droit des ouvrages construits (ancrages des protections de berge, ancres des épis, etc.). La lutte contre les espèces exotiques envahissantes se réalise principalement par la coupe des tiges aériennes des renouées asiatiques et buddleias, leur mise en bigs-bags avec évacuation puis le terrassement en déblais des substrats contaminés par les racines de ces espèces puis le broyage-concassage de ces matériaux.

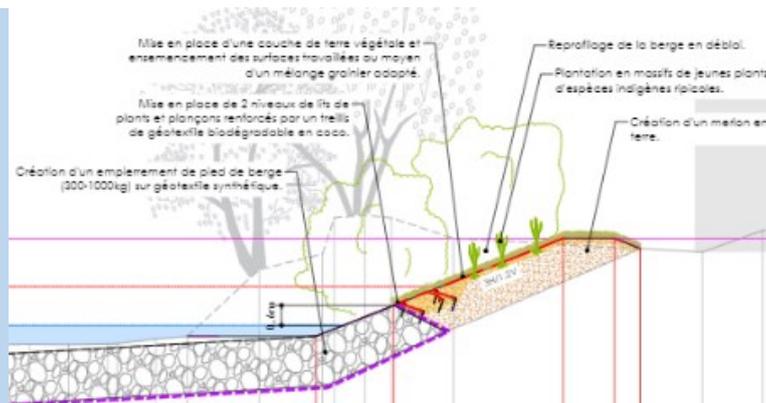
Afin de délester les pieds de berges d'une partie de leurs contraintes hydrauliques, une série d'épis est proposée, essentiellement en rive droite qui marque un léger extradors de courbure. Le calage de la cote supérieure des épis est établi quelques 50 cm au-dessus de la cote atteinte par les hautes eaux moyennes du mois de mai (fonte des neiges). Les épis n'ont pas pour seule fonction de participer à la stabilisation des pieds de berge mais jouent également un rôle prépondérant dans la restauration hydro-écologique du lit vif du Borne. Ils sont également le support ou le "squelette" au maintien et au développement de risbermes graveleuses au pied des berges ; élément essentiel à la fonction de corridor écologique du cours d'eau.

Lorsque des protections de berge sont néanmoins nécessaires (par exemple sur les tronçons RD-T3/T4 au droit du secteur de la prison, soit en remplacement d'anciens enrochements/remblais), des techniques mixtes sont proposées, combinant une base sous-fluviale et de pied de berge en enrochement et une partie supérieure issue du génie biologique, illustrée par la technique des lits de plants et plançons (la limite d'implantation de la végétation au-dessus des enrochements est calée quelques 20 cm au-dessus de la cote atteinte par les hautes eaux moyennes du mois de mai).

### 3.3.3.2.3 Description par tronçon homogène – Dignes du Borne RD

La description détaillée secteur par secteur est en §5. Il s'agit ici d'une synthèse pour ne pas répéter la partie détaillée.

Tronçon :	Description synthétique des travaux :
RD-T1 et RD-T2	<p>Confortement par l'aval par un mur soutènement en L avec remblai en arrière de mur (Q100 + revanche)</p>
RD-T3 et RD-T4	<p>Reprise intégrale de digue avec talus 2.5H/1V et confortement en technique mixte (Q100 + revanche)</p>
RD-T5	<p>Reprise intégrale de digue avec talus 2.5H/1V et confortement en technique mixte + réalisation d'un merlon en terre pour intégrer revanche au-delà du niveau Q100</p>



### 3.3.4 Fonctionnement hydraulique du SE (digues du Borne RD)

Les profils en longs présentés sur les figures suivantes exposent :

- La ligne d'eau en crue centennale et tricentennale ;
- Le talweg de la rivière ;
- Le TN aval ;
- Les crêtes de digues actuelles ;
- La crête objectif des endiguements en trait plein orange (Q100 retenu + revanche de 1 m).

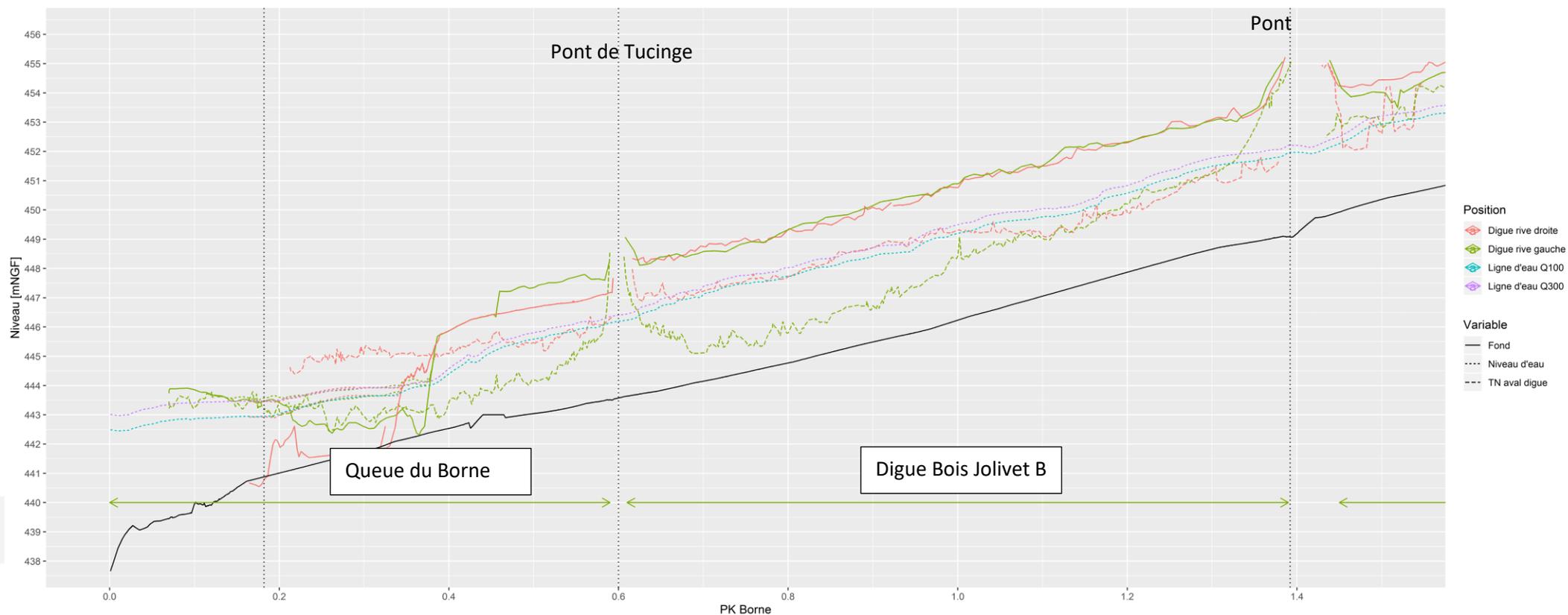


Figure 25 : Profil en long du Borne (Source : CNR) - digues rive droite et rive gauche en état actuel et lignes d'eau

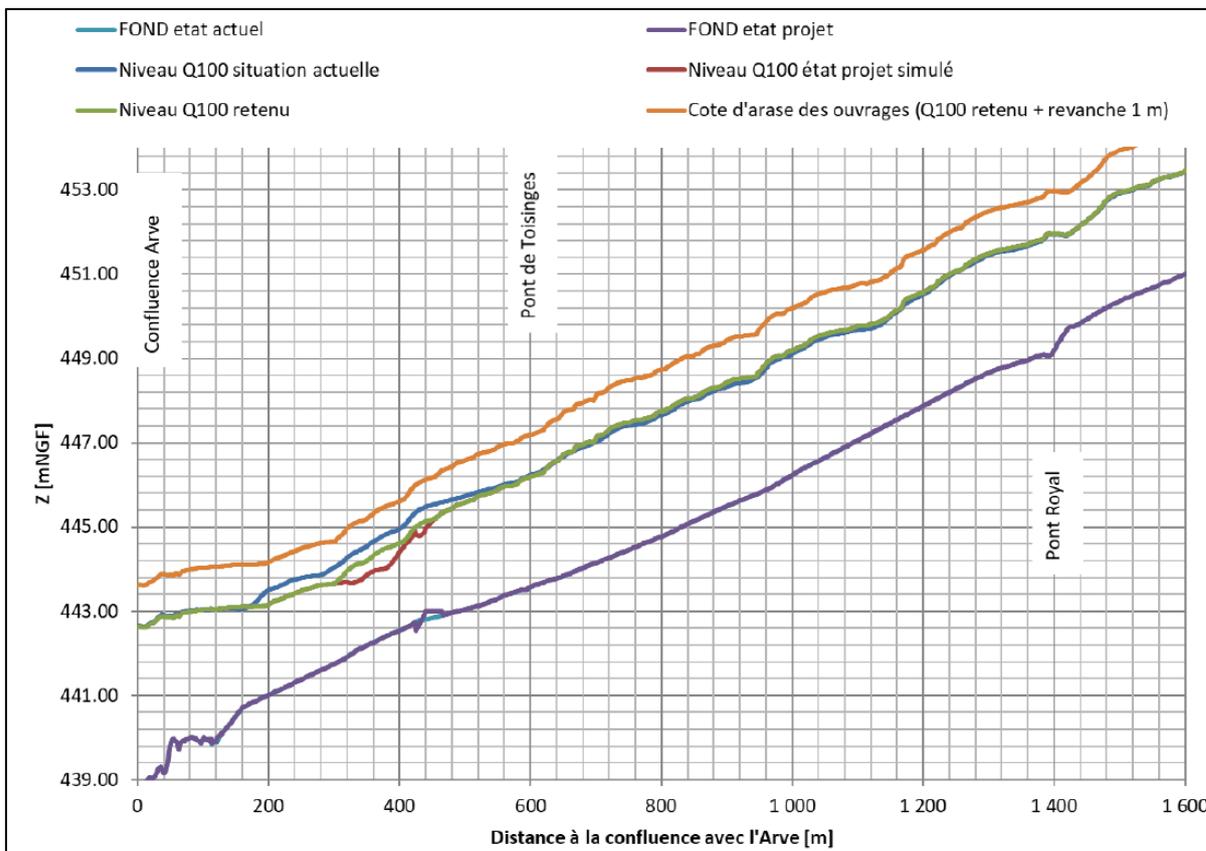


Figure 26 : Profil en long Borne (Source : CNR) – calage des digues projetées

Il est à noter que la crête des digues (Z100 + 1 m) correspond à une crue d'occurrence supérieure à la Q300.

Il est également à noter que le fond du modèle hydraulique état projeté intègre, par rapport au modèle état actuel :

- Le passage de la véloroute sous le pont de la RD1203 (RG-T-1, à RG-T1, cf. § 4.2.2.14),
- La mise en œuvre des 41 épis dans le lit du Borne, du pont de la RD1203 au PM480, (cf. 7.4)
- La géométrie des nouvelles digues et l'élargissement du lit du Borne à partir du RD-T3/T4 en rive droite, et du RG-T6 en rive gauche.

Les évolutions du profil en long au long terme du fait du déplacement du seuil de la STEP, ainsi que les potentielles banquettes engendrées par la mise en place des épis, ne sont pas intégrées dans la modélisation état projet.

Entre l'aval des rampes en enrochements projetées sur le fond du lit du Borne et le seuil de la confluence, déposé dans le cadre du projet, le fond du Borne, laissé en l'état à l'issue des travaux, est voué à s'abaisser sensiblement par érosion régressive à moyen terme. La situation considérée dans le modèle état projeté est celle jugée la plus pénalisante pour les niveaux du Borne en crue, c'est-à-dire la situation immédiatement après-travaux, sans modification altimétrique du fond du lit.

### 3.3.5 Fonctionnement hydraulique du SE (digues de l'Arve RG)

Les profils en longs présentés sur les figures suivantes exposent :

- La ligne d'eau en crue décennale et centennale ;

**Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE**

---



- Le talweg de la rivière ;
- Le TN aval ;
- Les crêtes de digues actuelles ;
- La crête objectif des endiguements en trait plein orange (Q100 retenu + revanche de 1 m).

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-  
 d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
 Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE



Faucigny - Système

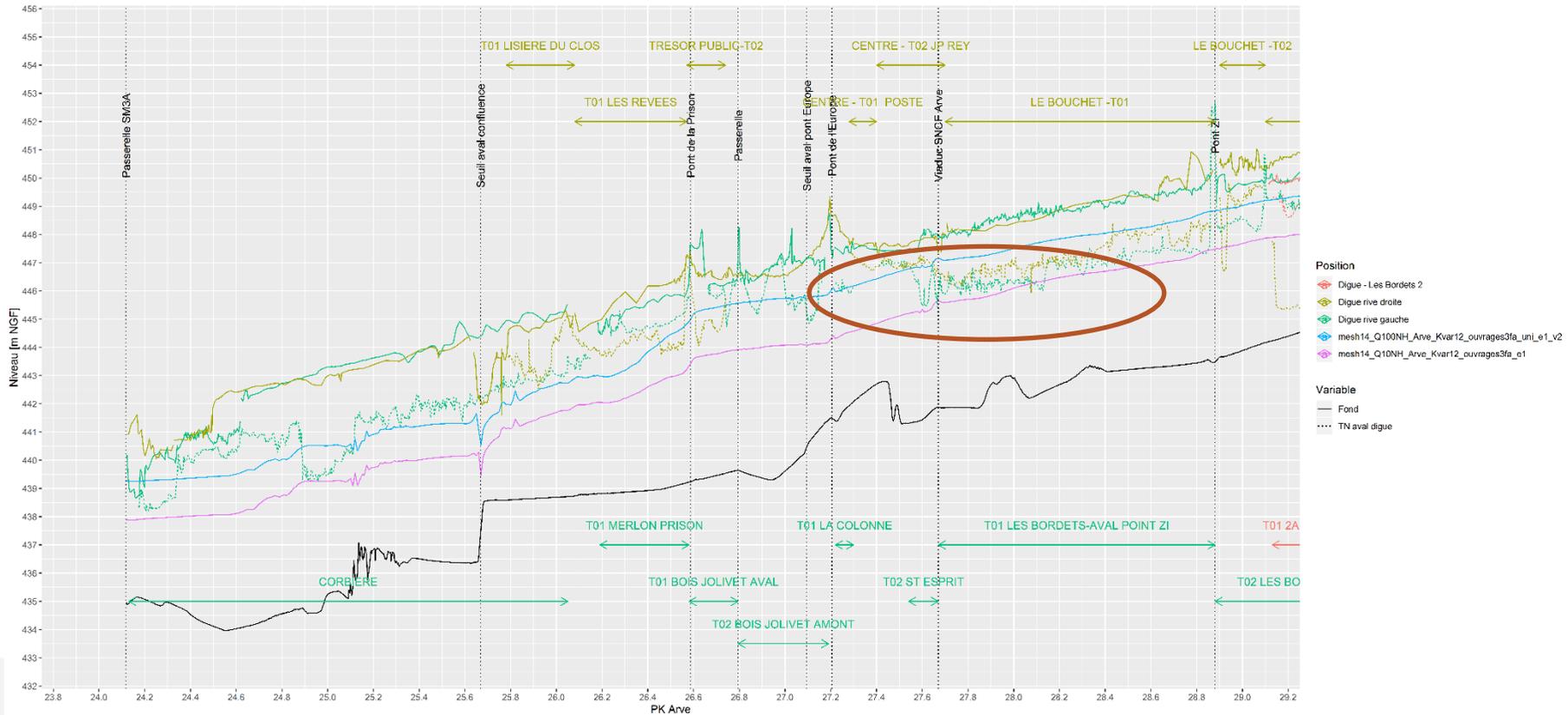


Figure 27 : Profil en long de l'Arve (Source : CNR) – partie 1

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-  
d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE



Faucigny - Système

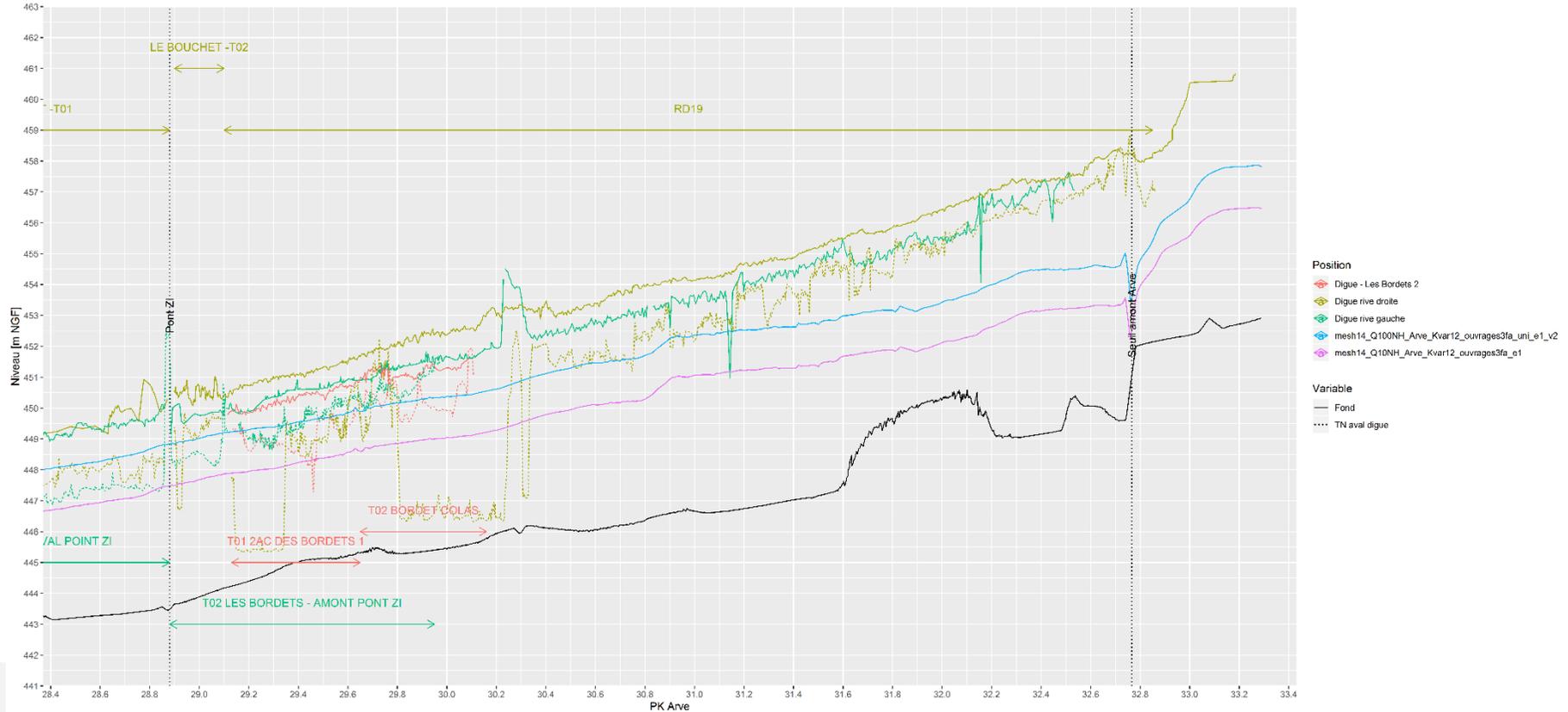


Figure 28 : Profil en long de l'Arve (Source : CNR) – partie 2

### 3.3.6 Voie d'accès aux digues du Borne

La largeur des digues projetées (RDT3 et RDT4) est de minimum 3 m afin de permettre le passage des engins d'entretien du SM3A. Les principales voies d'accès aux digues du Borne rive gauche sont représentées avec la couleur orange sur la figure ci-après :



Figure 29 : Voies d'accès au système d'endiguement

Les rampes permettant l'accès aux digues avec des engins ou des VL sont intégrées au programme de travaux.

Les voies d'accès aux digues de l'Arve seront précisées dans l'étude de dangers à déposer dans le cadre du dossier réglementaire « Arve ».

### 3.3.7 Aménagement hydraulique autorisé conjointement avec le système d'endiguement

Sans objet.

### 3.3.8 Analyse de la topographie existante

Les données topographiques et bathymétriques utilisées pour la présente étude sont les suivantes :

- Topographie de la plaine : Grand Genève, Levé Lidar, 2014,
- Topographie des digues et berges (complément) : SM3A, levé Lidar, 2015,
- Ouvrages et topographies des abords : Levé SINTEGRA pour SM3A, Juillet 2015,
- Topographie des digues et berges, bathymétrie du lit : Levé SINTEGRA pour SM3A, Novembre 2017.

NB : Les cotes altimétriques données dans ce rapport sont exprimées dans le système NGF (IGN69).

Une analyse comparative des deux sources de données disponibles (lidar et topographie terrestre) concernant la topographie actuelle des digues du secteur d'étude a été effectuée avant de lancer l'étude hydraulique par CNR.

L'analyse, effectuée au droit des 40 profils levés par SINTEGRA en 2015 au droit du secteur d'étude, montre une bonne adéquation entre les deux sources de données, ce qui témoigne de la fiabilité des données utilisées.

### **3.4 Analyse du fonctionnement du système d'endiguement**

Dans ce paragraphe sont résumés les principales causes pouvant être à l'origine d'un disfonctionnement du système (digues du Borne rive droite dans cette présente étude de dangers), les principales fonctions de ce système et les niveaux de crue pour lequel le système assure le rôle de protection.

#### **3.4.1 Données historiques structurelles**

Le dossier d'ouvrage [21] et l'étude historique [20] recensent un nombre important de désordres depuis 1726 sur l'ensemble des digues de Bonneville (environ 135 désordres relatifs aux digues avec plus de 50% des défaillances de type « brèches » et 30% de type « affouillement » le reste étant des ouvrages emportés ou des dépôts solides). Il s'agit de données historiques dont il faut relativiser la fiabilité des sources au regard des données plus récentes plus pertinentes.

L'origine mécanique qui conduit à la rupture n'est pas clairement précisée dans l'ensemble des cas évoqués. Ces brèches peuvent être causées par des phénomènes de glissement, d'érosion interne ou d'érosion externe, seuls ou en concomitance, la surverse étant un événement aggravant. La cause principale de leur ouverture ne peut pas être clairement identifiée.

Le renforcement continu du système d'endiguement associé au différentiel croissant d'altitude entre le fond du lit et la crête de digue conduit à la quasi-disparition du phénomène de surverse qui semblait être l'événement initiateur de nombreux dégâts subis par les digues du secteur d'étude.

Ces situations sont assez mal maîtrisées puisque, d'après les informations disponibles, 80 brèches ont été comptabilisées sur les endiguements de la confluence entre l'Arve et le Borne depuis les années 1726 pour 113 crues recensées.

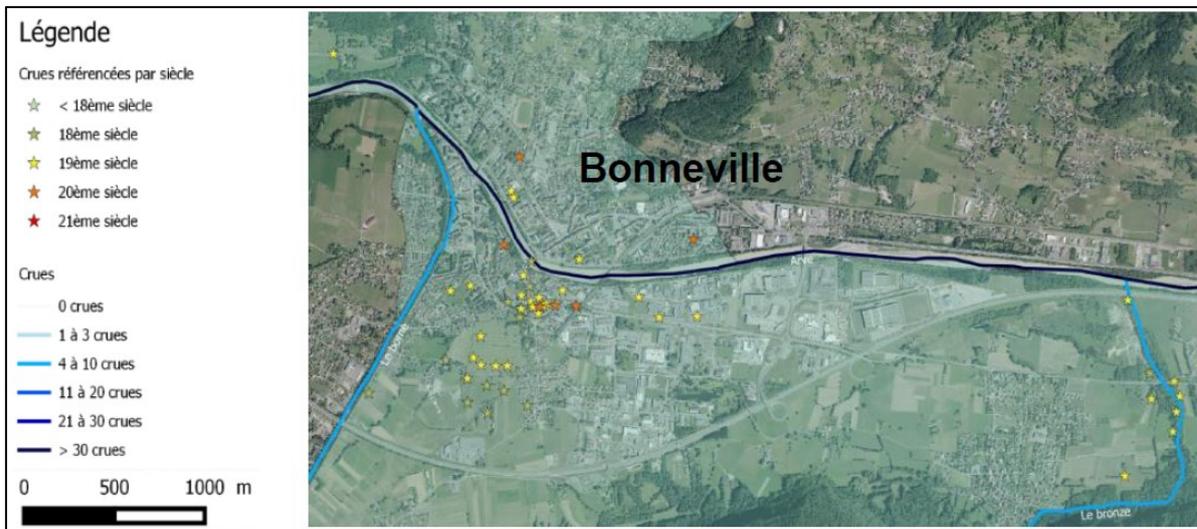


Figure 30 : Crue historique à Bonneville – source : SM3A

### 3.4.2 Fonction structurelle

L'étude de dangers a pour objectif d'exposer les risques que présentent les ouvrages pour la sécurité publique, directement ou indirectement, en cas d'accident que la cause soit externe ou interne aux ouvrages.

Dans ce cadre, l'analyse fonctionnelle doit permettre de mieux comprendre les relations existantes entre les différents composants des ouvrages afin de déceler les répercussions de leurs défaillances sur le fonctionnement général des ouvrages et de leur environnement.

Le principe de l'analyse fonctionnelle repose sur la décomposition du système selon les fonctions qu'il assure. Elle établit de façon systématique et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur d'un système.

Une fonction est définie comme les actions d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés en termes de finalité. Au sens de la même norme, l'analyse fonctionnelle est alors définie comme une démarche qui consiste à recenser, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions.

Le but de cette méthode d'analyse est de représenter le cheminement des fonctions à travers les équipements constituant l'ouvrage. Cela permet de visualiser la contribution de ces équipements vis-à-vis de toutes les fonctions de l'ouvrage.

L'arborescence technique identifiée dans cette analyse fonctionnelle sera ainsi exploitée, de façon systématique, dans l'Analyse Préliminaire des Risques.

#### **Analyse fonctionnelle externe :**

Le but de cette méthode d'analyse est de représenter graphiquement l'interaction des ouvrages avec les éléments extérieurs. Cette analyse permet de déterminer les Fonctions Principales (FP) et les Fonctions de Contraintes (FC) des ouvrages vis à vis des éléments du milieu extérieur.

Ont été identifiés les milieux extérieurs suivants :

- Plaine de de Bonneville ;
- Borne ;
- Maintenance et surveillance ;
- Environnement hydrogéologique ;
- Continuité de protection ;

- Réseaux ;
- Voies de circulation.

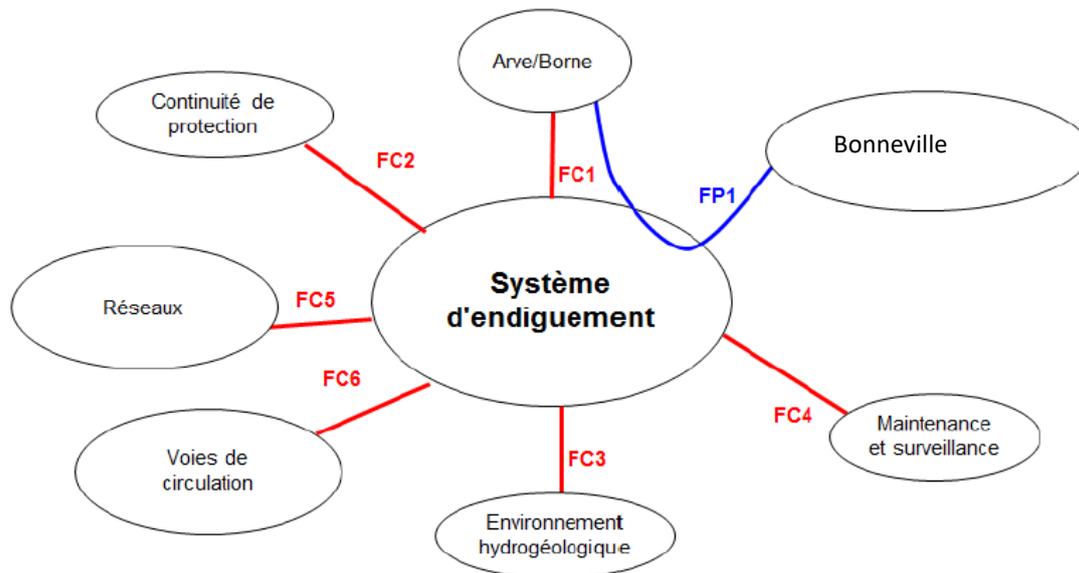


Figure 31 : Analyse fonctionnelle externe - CNR

- FP1 : L'ouvrage constitue la protection de la zone protégée contre les crues du Borne et de l'Arve (remous hydraulique)
- FC1 : L'ouvrage de protection résiste aux pressions de l'eau
- FC2 : L'ouvrage constitue avec les autres systèmes d'endiguement et remblai une continuité dans la protection contre le risque d'inondations
- FC3 : L'ouvrage est solidaire de l'environnement hydrogéologique
- FC4 : L'ouvrage est maintenu et surveillé
- FC5 : Les réseaux présents dans la digue sont connus et surveillés
- FC6 : L'ouvrage supporte la circulation routière (entretien)

### 3.4.3 Impact de l'aménagement hydraulique

Sans objet.

Il n'y a pas d'aménagement hydraulique (au sens de l'article R.562-18) qui participe à la protection de la zone inondable.

### 3.4.4 Les niveaux de protection et les lieux de référence

#### 3.4.4.1 Définitions

L'article R. 214-119-1 du code de l'environnement : « **Le niveau de protection** d'une zone exposée au risque d'inondation ou de submersion marine est déterminé par la hauteur maximale

que peut atteindre l'eau sans que cette zone soit inondée en raison du débordement, du contournement ou de la rupture des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer. Lorsque la taille et les caractéristiques de la zone exposée le justifient, plusieurs niveaux de protection peuvent être déterminés, chacun étant associé à une partie délimitée de la zone protégée ».

L'article 11 de l'arrêté du 07 avril 2017 précisant le plan de l'étude de danger (modifié par l'arrêté du 30 septembre 2019) : « **Le niveau de protection** qui est associé à un système d'endiguement est précisé par un niveau maximal atteint par le niveau des eaux ou par un débit maximum du cours d'eau ou par un niveau marin maximum. Ces paramètres sont mesurés en un **lieu de référence** pertinent au regard de la zone exposée au risque d'inondation ou de submersion marine qui est indiqué dans l'étude de dangers du système d'endiguement ».

En crue, différents niveaux d'eaux sont identifiés réglementairement :

- Niveau de sûreté : Situation jusqu'à laquelle la probabilité de rupture de la digue est très faible (bornée à 5% par la réglementation) ;
- Niveau de protection : Niveau relevant d'un engagement du maître d'ouvrage, ce niveau est inférieur ou égal au niveau de sûreté ;
- Niveau de danger : Situation au-delà de laquelle la rupture de l'ouvrage est très probable (bornée à 50% par la réglementation).

#### 3.4.4.2 Lieux de référence

Les lieux de références pour mesurer les niveaux de crue sur le Borne sont :

- **Echelle (amont) → pont Royal** : échelle limnimétrique existante située en rive droite du Borne, au niveau du pont Royal. Il est à noter que cette échelle est suivie à l'aide d'une caméra par le SM3A ;
- **Echelle (aval) → confluence** : échelle à créer dans le cadre des travaux de confortement des digues du Borne. Cette échelle permet de fixer le NP en prenant en compte les potentiels remous hydrauliques de l'Arve en crue.



Dans l'étude de dangers de CNR 2019, il est justifié un niveau de sûreté décennal pour les digues de l'Arve rive gauche (niveau conditionné par les digues situées entre le pont de la ZI et le pont SNCF). Comme indiqué au sous chapitre 0.3.2, les digues de l'Arve feront l'objet de travaux (à partir de fin 2024). L'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve » est centrée sur les digues de l'Arve rive gauche (digues classées en état de travaux achevés).

La zone protégée par les digues du Borne est soumise aux crues de l'Arve. Par ailleurs, deux points de références, sur l'Arve, sont identifiés pour suivre les crues de l'Arve :

- **Echelle pont de la Zone Industrielle** : échelle limnimétrique existante située en rive gauche de l'Arve, au niveau du pont de la ZI ;
- **Echelle pont de l'Europe** : échelle limnimétrique existante située en rive droite de l'Arve, en aval immédiat du pont de l'Europe.

### 3.4.4.3 Niveau de protection

Le niveau de protection est défini par l'article R. 214-119-1 du code de l'environnement. C'est la hauteur maximale définie par le gestionnaire que peut atteindre l'eau sans que **la zone protégée** soit inondée en raison du débordement, du contournement, ou de la rupture des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer. Le niveau de protection est apprécié au regard, soit d'un débit du cours d'eau en crue ou d'une cote de niveau atteinte par celui-ci, soit d'un niveau marin pour le risque de submersion marine.

Dans le cadre des études de dangers de systèmes d'endiguements, l'arrêté du 07 Avril 2017 définit ce niveau de protection comme présentant un risque résiduel de rupture de l'ouvrage d'au plus 5%.

**Le niveau de protection des digues du Borne rive droite, en état de travaux achevés, correspond à une crue centennale du Borne, soit un débit de pointe de 178.4 m<sup>3</sup>/s.**

La protection de la zone protégée par les digues du Borne rive droite est assurée à 100 % contre la crue centennale du Borne quand le débit de l'Arve ne dépasse pas sa crue décennale (niveau de protection défini par CNR dans l'EDD de 2019).

**NB : comme les digues de l'Arve feront également l'objet de travaux de confortement centennal à partir de 2024/2025, cette disposition est très temporaire.**

Le tableau suivant permet de synthétiser les niveaux de protection, de sureté et de danger.

**Tableau 18 : Niveaux de sureté, de protection et de danger des digues du Borne rive droite en état de travaux achevés**

Niveau	Lieu de référence	Cote Z	Débit du Borne correspondant
Sureté	Echelle n°1 - Pont Royal	451.97 m NGF	Q100 = 178 m <sup>3</sup> /s
	Echelle n°2 - Confluence	443.06 m NGF	
Protection	Echelle n°1 - Pont Royal	451.97 m NGF	Q100* = 178 m <sup>3</sup> /s
	Echelle n°2 - Confluence	443.06 m NGF	
Danger	Echelle n°1 - Pont Royal	452.19 m NGF	Q300 = 213 m <sup>3</sup> /s
	Echelle n°2 - Confluence	443.52 m NGF	

**\*Concomitance avec une crue de l'Arve inférieure ou égale à une crue décennale (seuil à 441.10 m NGF au niveau de l'échelle limnimétrique du pont de l'Europe // seuil à 447.50 m NGF au niveau du pont de la ZI).**

A noter que le niveau de protection apparent des digues du Borne après achèvement des travaux correspond à la cote  $Z_{Q100} + 1$  m de revanche.

La zone protégée par les digues du Borne rive droite et les niveaux de protection au droit des lieux de références sont présentés dans la figure ci-après :

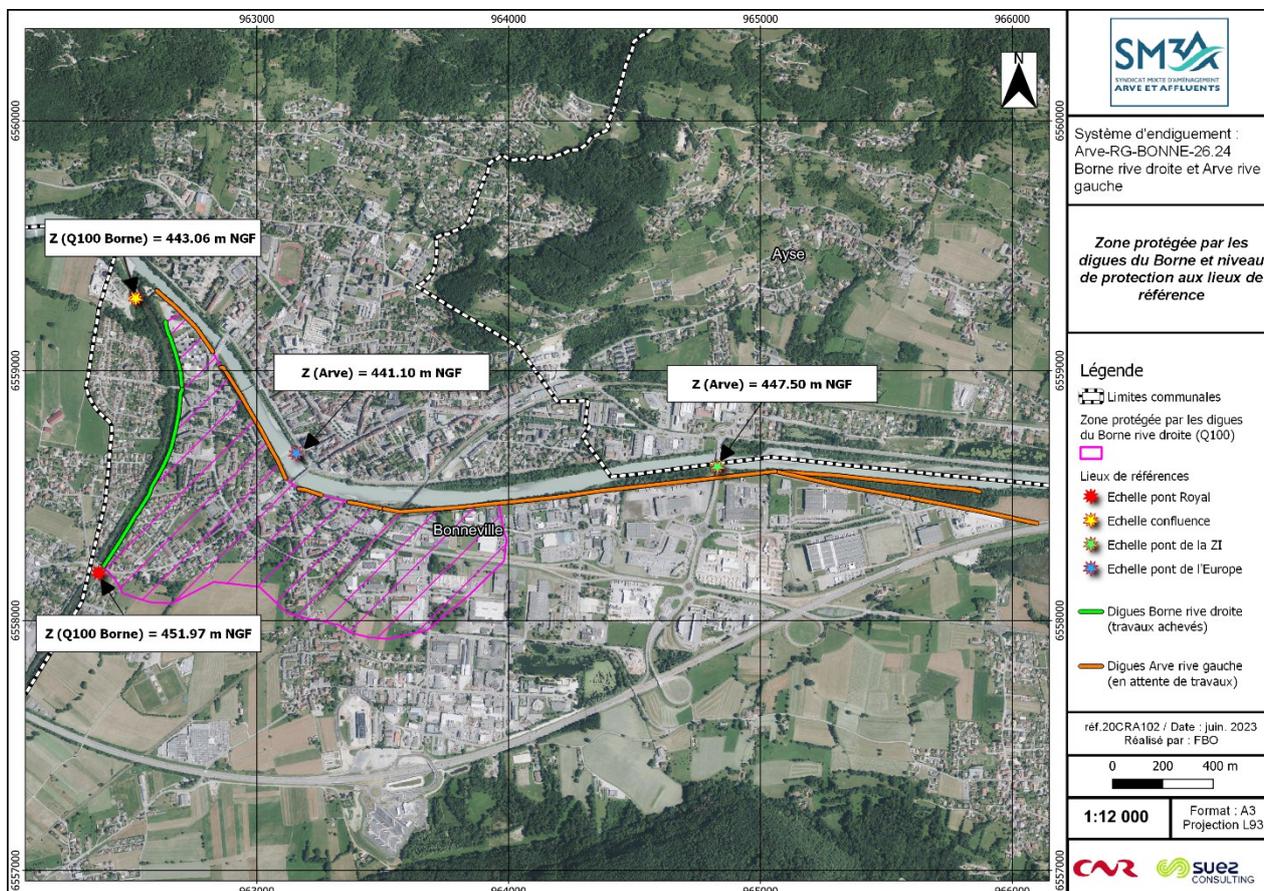


Figure 32 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection – digues du Borne rive droite

Les cotes de l'Arve correspondent à une occurrence de crue décennale (niveau de sureté des digues de l'Arve défini pas CNR dans les études de dangers de 2019).

### 3.4.4.4 Situations pouvant survenir pour des niveaux dépassant les performances du système d'endiguement

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019, les phénomènes pouvant être à l'origine d'une défaillance d'un système d'endiguement sont :

- Une crue d'occurrence supérieure à la crue de référence ;
- Une défaillance structurelle d'un ouvrage du SE ;
- Une défaillance fonctionnelle d'un ouvrage hydraulique du SE.

Au niveau des digues du Borne, il n'existe pas d'ouvrage hydraulique nécessitant de manœuvres spécifiques. Ainsi, la défaillance fonctionnelle du système est écartée.

Les principales situations pouvant survenir lors du dépassement des performances du SE sont des défaillances structurelles :

- Submersion de la digue, pouvant entraîner une érosion externe / interne et des venues d'eau dans la zone protégée ;
- Ouverture de brèches dans le corps de la digue entraînant une inondation de la zone protégée ;
- Défaut d'étanchéité du corps de digue et de la fondation ;
- Défaut de protection mécanique de digue ;

Les situations les plus probables sont modélisées et présentées dans le Chapitre 8 sous forme de scénarios de défaillance.

### 3.5 Organisation du gestionnaire

Le SM3A est organisé de manière structurée pour répondre en cas de crise, notamment en cas de crue, pour surveiller voire intervenir en cas de désordres. Etant donné l'étendue du périmètre, le SM3A se focalise sur une centaine de points sur l'ensemble de son Bassin versant et priorise les systèmes d'endiguement en fonction des événements rencontrés.

Les niveaux de veille, alerte et post-crue sont bien décrits dans les consignes de surveillances générales. Les PCS des communes intègrent aussi l'aspect gestion de crue. Des réunions entre PCS et Communes sont nécessaires pour uniformiser les actions en crue.

Pour ce qui est de l'endiguement en lui-même, 4 échelles limnimétriques sont identifiées pour la gestion des montées de crues.

Le SM3A, gestionnaire du système d'endiguement, a édité à l'échelle du bassin versant de l'Arve un document intitulé : « Consignes générales de surveillance et d'exploitation - Ouvrages classés ou à classer constitutifs de systèmes d'endiguement », novembre 2017.

Ce document, qui a été transmis au Préfet, précise l'organisation du gestionnaire pour assurer l'exploitation, l'entretien et la surveillance des ouvrages, conformément à l'Article R.214.122 I-2 du Code de l'Environnement. Cette organisation est définie à l'échelle du bassin versant de l'Arve, de façon globale, et non individuelle à l'échelle d'un ouvrage ou d'un système d'endiguement.

Des consignes spécifiques au Système d'Endiguement de la présente étude sont mises en place en complément.

Les éléments repris ci-après présentent donc l'organisation mise en place par le gestionnaire sur l'ensemble de son parc d'ouvrages, à l'échelle du bassin versant, et donc a fortiori sur le système d'endiguement de Bonneville entre Borne RD et Arve RG.

Pour plus de détails sur l'organisation du gestionnaire, voir le chapitre 9.

### 3.6 Consignes de surveillance et d'exploitation des ouvrages hors période de crise

#### 3.6.1 Consignes générales de surveillance

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.

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

### 3.6.1.1 Passages récurrents

Il s'agit de passages réguliers réalisés par les techniciens à l'occasion de leurs différentes tournées sur le terrain. Le technicien 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 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.

### 3.6.1.2 Visite spécifique de surveillance (visite programmée)

L'ensemble des ouvrages classés en système d'endiguement fait l'objet d'une visite annuelle. Cette visite annuelle pourra être complétée de visites supplémentaires sur les ouvrages de catégorie A mais également sur des tronçons sensibles : soumis à une mise en charge fréquente du fait de configuration particulière (cours d'eau à lit perché), et/ou protégeant des enjeux significatifs.

Cette visite est réalisée à pied par un à deux techniciens, à un rythme moyen estimé à environ 6 à 7 km de digue par jour.

Les parements amont et aval ainsi que la crête sont observés. Sont principalement recherchés sur l'ouvrage :

- L'accessibilité de la digue et la libre circulation,
- Les désordres sur le corps de digue et les perrés ;
- Les travaux réalisés par des tiers.

D'un point de vue matériel, le technicien dispose d'un appareil photo et d'un GPS et les désordres significatifs sont repérés à la bombe.

Un rapport est rédigé et des extraits permettent d'alimenter le registre de l'ouvrage. Une fiche désordre peut être renseignée en fonction des conclusions de la visite et le technicien peut préconiser un suivi du désordre, un diagnostic détaillé voire une intervention de travaux.

### 3.6.1.3 Visites Techniques Approfondies (VTA)

Les visites techniques approfondies VTA sont réalisées par un bureau d'études agréé « Digues et petits barrages » et dans les mêmes conditions d'exigences du SM3A s'agissant de la sécurité des agents.

Ces visites sont réalisées par deux personnes à vitesse lente (en moyenne 3 km de digue par jour). La crête et les parements amont et aval sont inspectés préférentiellement en période de basses eaux et hors période de végétation.

Les observations (structures, réseaux, végétation, désordres, etc.) sont saisies sous le logiciel SIRS digue et un compte rendu détaillé est produit présentant les différents secteurs observés avec photographies et commentaires. Dans les conclusions du rapport, des préconisations sont apportées sur les éventuelles actions à mener par suite des observations de désordres.

## 3.6.2 Consignes d'exploitation des ouvrages

**Les travaux d'entretien et d'exploitation des ouvrages classés en système d'endiguement prennent en compte les différents plans de gestion déjà établis et notamment :**

- **Plans de gestion des matériaux solides ;**
- **Plans de gestion des boisements de berges et du bois mort.**

### 3.6.2.1 Plans de gestion des matériaux solides

Le SM3A dispose de plans de gestion et de DIG correspondantes sur l'Arve et une partie de ses affluents, travaille à l'élaboration des plans sur les affluents qui en sont actuellement dépourvus, et à leur renouvellement le cas échéant.

La gestion des matériaux solides a pour objectif de répondre à des problèmes ponctuels tout en tenant compte du fonctionnement global du transport solide sur l'ensemble des cours d'eau du bassin versant de l'Arve.

Les plans de gestion des matériaux solides du bassin versant de l'Arve ont pour objet le respect d'un profil qui permet à la fois de répondre aux problèmes d'inondation et de maintenir un équilibre global pour la rivière ainsi que la mise en œuvre d'opérations permettant de répondre spécifiquement aux enjeux du territoire.

Ces plans de gestion doivent permettre au SM3A d'appliquer toutes les modalités techniques de gestion du transport solide nécessitées par le respect d'un « profil référence » du cours d'eau, tout en respectant les contraintes d'ordre réglementaire et juridique.

L'objectif est d'élargir le champ de réflexion des interventions de gestion du lit à des tronçons homogènes plus larges et d'avoir une vue globale des interventions sur l'ensemble du bassin.

Ces plans de gestion s'appuient sur des diagnostics de la situation actuelle et prévisionnelle pour l'ensemble des cours d'eau du bassin versant de l'Arve. Des modalités de suivi du lit sont également définies sur l'ensemble du cours afin de connaître les écarts par rapport au « profil de référence » et de motiver des interventions d'entretien ou de stabilisation adaptées à l'évolution morpho dynamique du lit.

Pour rappel, la revanche importante entre la ligne d'eau Q100 et la crête de digue aménagée permet d'intégrer des potentiels oscillation de fond de lit liées à des apports ou reprises de matériaux par charriage.

Un suivi topographique (bisannuel) du fond de lit est nécessaire (profils en long, lidar...). Également, les échelles limnimétriques permettront de suivre les niveaux du fond de lit lors des reconnaissances terrain par les techniciens.

Il est important de coupler le plan de gestion des matériaux solides au plan de gestion de la végétation (voir ci-dessous). Cela concerne par exemple les bancs alluviaux qu'il faut maintenir en situation mobile (limiter la végétation, scarifier...).

### 3.6.2.2 Plans de gestion des boisements de berge

Le plan de gestion des boisements de berge et du bois mort concourt à restaurer le bon état des berges par des travaux simples sur les boisements, afin de réguler les risques hydrauliques (inondations, érosions) tout en améliorant les fonctions paysagères et écologiques du milieu.

Plusieurs types d'intervention sont possibles selon les situations : abattage d'arbres instables, élagage des branches gênantes, débroussaillage, dégagement d'embâcles dangereux, recépage, bouturage, etc.

La méthode utilisée pour définir les plans de gestion des boisements de berge et du bois mort s'appuie sur les principes suivants :

- Adapter le niveau d'entretien aux enjeux concernés, que ces derniers soient situés sur le tronçon lui-même (ex : fonctionnement hydro morphologique, incisions) sur un secteur situé en aval (ex : risque d'obstruction d'un ouvrage par des corps flottants) ou plus globalement (amélioration du fonctionnement biologique par une gestion de boisement adaptée, préservation de milieux remarquables) ;
- Prendre en compte de manière équilibrée tous les éléments qui concourent à l'élaboration d'un plan de gestion à l'échelle de la rivière :
  - Risque hydraulique lié à l'état de la végétation et à l'encombrement du lit ou des ponts par du bois mort ;
  - Impact des incisions sur les infrastructures et habitations proches ;
  - Prise en compte du patrimoine faunistique et floristique par la préservation ou la mise en valeur du milieu naturel et des sites remarquables.

### 3.6.2.3 Travaux de gestion de la végétation sur le système d'endiguement

La gestion de végétation se fait par travaux d'entretien, mécaniques ou manuels, et par abattage d'arbres.

En présence de végétation boisée à différents stades de développement, une gestion planifiée peut être envisagée. En effet, une gestion au coup « par coup » peut s'avérer couteuse et peu efficace. Un plan de gestion de la végétation sera mis en place. Il permettra une gestion raisonnée et simplifiée en termes de temps, d'objectifs et de dépenses. Cet outil est appuyé sur des prescriptions sylvicoles en adéquation avec la sécurisation des digues.

Le plan de gestion de la végétation définit les objectifs et le programme de travaux pour une durée de 10 à 15 ans. Il assure des fonctions de communication, de négociation, un appui technique, écologique et financier en lien avec les différents acteurs concernés de près ou de loin par les ouvrages de protection contre les inondations.

Le plan de gestion a pour base la sectorisation et la priorisation des actions, il a pour but de :

- Diagnostiquer et cartographier la végétation, les enjeux de biodiversité et sociétaux ;
- Fixer des objectifs atteignables par la gestion /modalité de gestion mise en place
- Définir des consignes, des actions et les prioriser ;
- Définir, décrire et assurer une cohérence des actions ;
- Répartir les coûts ;
- Avoir une traçabilité des travaux effectués et à effectuer.

En sachant que la digue est colonisée par la végétation, ce qui présente un risque considérable sur la stabilité de l'ouvrage (érosion interne et glissement), il est possible de proposer les modalités et les consignes suivantes afin de diminuer la densité du boisement et rajeunir ce dernier :

- Sur la digue : coupe d'éclaircies ;
- Sur le franc-bord : diminuer la densité, le diamètre et la hauteur des arbres ;
- Sur la berge : les grands arbres sont à proscrire ; seule une végétation souple et basse est autorisée.

La végétation a été répartie selon trois types correspondant à diverses méthodes entretiens comme le présente les parties ci-après :

- **Arbres avec un diamètre de 25 cm** : l'entretien de ces individus correspond à des opérations forestières consistant à élaguer, démonter, abattre et dessoucher. L'abattage des arbres doit avoir lieu avant qu'ils n'atteignent un diamètre de 25 cm à la souche. L'abattage est suivi du dessouchage et d'une remise en état de la portion de digue concernée (cf. tableau ci-dessous).

**Tableau 19 : Technique de confortement de digue après dessouchage**

Méthode	Position	Description
Remblaiement ponctuel	Val	Mise en place d'un remblai correctement compacté après abatage ou dessouchage.
Recharge étanche	Rivière	Mise en place d'une recharge en matériaux très peu perméables directement après l'abatage ou le dessouchage.
Coupure étanche	Parements	Mise en place de palplanches ou d'une paroi au coulis après le pourrissement des racines (maximum 10 ans après l'abatage).

- **Végétation arbustive** : La végétation arbustive pourra être conservée, mais toujours entretenue de façon à ne pas gêner l'inspection visuelle de l'ouvrage ou causer des désordres. Les opérations sont du fauchage mécanique, du débroussaillage mécanique ou manuel et de l'élagage.
- **La végétation herbacée** : Les interventions d'entretien sur ce type de végétation peuvent se réaliser par des fauchages mécanique (épareuse) lorsque le site est accessible et la surface grande. Sinon il peut être utilisé des techniques manuelles (débroussailleuse portée) lorsque la pente est importante ou qu'il y a de nombreux obstacles. Les opérations de fauche se pratiquent de façon annuelle pour les herbacées hautes et plus fréquemment en présence d'herbacée à développement rapide ou pour des besoins de surveillance (post crue, VTA, etc.).

L'entretien et le suivi de la végétation sont primordiaux les trois premières années qui suivent la plantation afin de s'assurer de la bonne reprise des plants. L'entreprise qui effectue les plantations doit délivrer une garantie de recouvrement et de reprise sur 2 à 3 ans (deux cycles phénologiques). Les arbustes défectueux seront remplacés. Les tailles nécessaires seront réalisées. Un contrôle des espèces végétales invasives (Renouée du Japon, Buddléia de David, etc.) sera effectué. Ensuite, il est important de réaliser un entretien régulier de la végétation (tous les 2 à 4 ans). Le premier entretien aura donc lieu environ 6 ans après les plantations. Il s'effectuera pendant la période de repos de la végétation. Cet entretien consiste en :

- Élagage des branches basses pour les plantations en haut de berge ;
- Coupe d'éclaircie pour favoriser la diversité et la croissance des arbres préalablement sélectionnés ;
- Dédoublage des cépées, les branches et troncs de largeur importante étant à éviter en berge de rivière ;
- Recépage des arbres morts et de la végétation vieillissante ;

- Dégagement des jeunes semis ou plants ;
- Débroussaillage des ronciers.

Il est à noter que dans le cadre des systèmes d'endiguement de Bonneville, une expertise sur la végétation a été réalisée par Arbeausolution en 2017, conduisant à l'élaboration d'un diagnostic et de mesures de gestion de la végétation spécifiques.

Le SM3A n'a pas de plan de gestion de la végétation établi par tronçon homogène, mais applique des mesures générales, qui sont adaptées par les agents en charge de la surveillance et de l'entretien des ouvrages. Ces principes de gestion sont dans ce chapitre 9.

Par ailleurs, après travaux, un suivi et un entretien de la végétation est prévu dans les trois premières années qui suivent la plantation afin de s'assurer de la bonne reprise des plants. L'entreprise qui effectue les plantations doit délivrer une garantie de recouvrement et de reprise sur 2 à 3 ans.

### 3.6.2.4 Travaux de réparation

Pour les travaux d'entretien et de confortement des digues du bassin versant de l'Arve, le SM3A dispose de marchés sous forme d'accords-cadres par lots géographiques. Les modalités de réalisation des différents types de travaux sont annexées aux consignes générales d'exploitation et de surveillance des ouvrages.

## 3.7 Consignes de surveillance des ouvrages en période de crise

### 3.7.1 Chaîne de responsabilité et rôle des acteurs en gestion de crise

#### 3.7.1.1 Chaîne 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 :

- Assurer une surveillance adéquate des ouvrages en déployant les moyens humains suffisants ;
- Etablir une véritable chaîne d'information pour alerter les décideurs compétents en matière de sécurité publique ;
- Etre 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 ;
- Assurer la sécurité de ses équipes sur le terrain ;

- 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.

### 3.7.1.2 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).

### 3.7.2 Détails et processus de décision du dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise

Le dispositif existant s'appuie sur des procédures en cascade :

- Une veille quotidienne ;
- Une surveillance soutenue ;
- Une direction des opérations ;
- Une surveillance terrain ;
- Un dispositif d'intervention en gestion de crise ;
- Un dispositif d'intervention post-crise ;
- Un dispositif de sortie de crise (dresser un bilan).

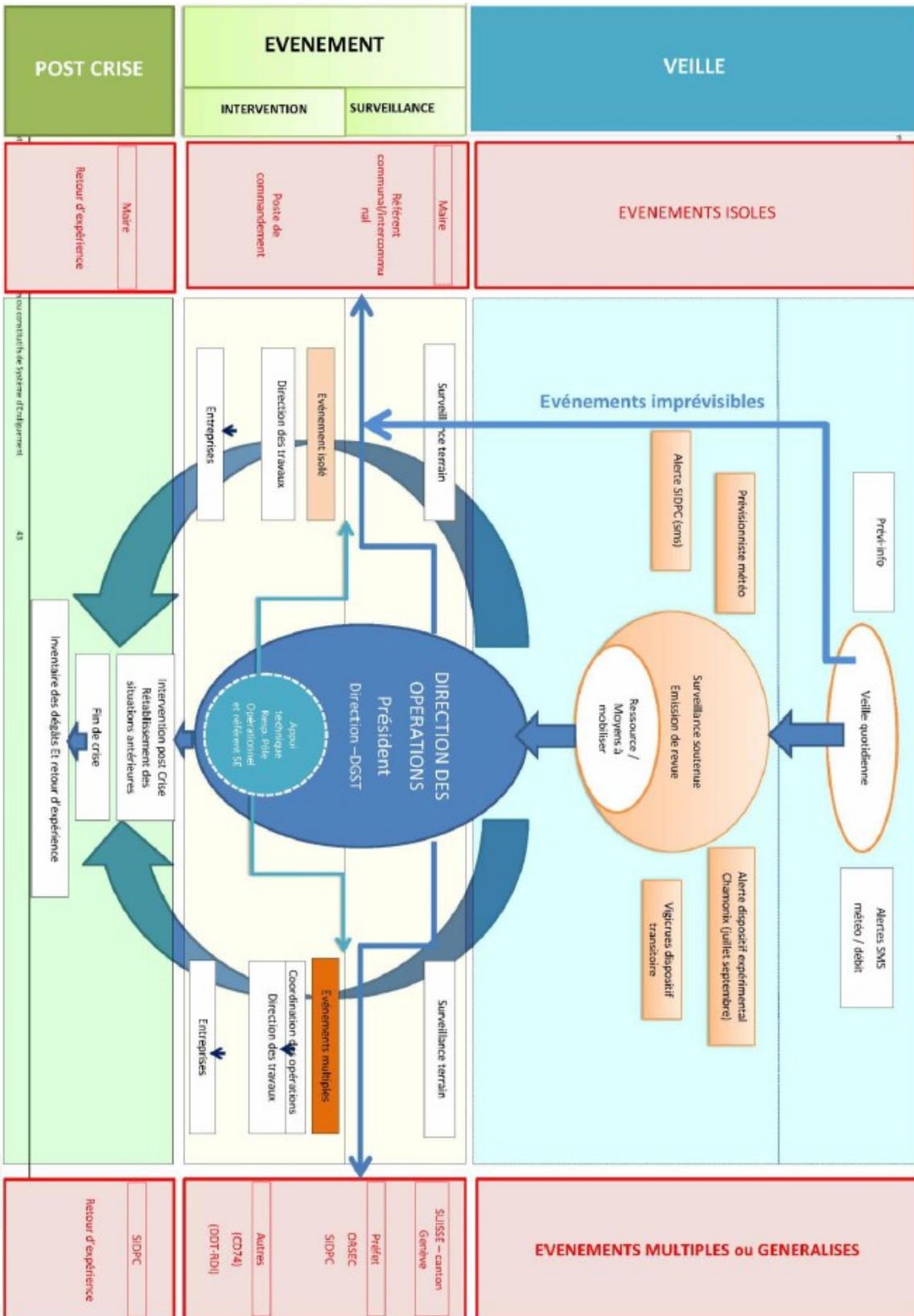


Figure 33 : Dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise

### 3.7.2.1 Une veille quotidienne

Une veille est assurée quotidiennement par l'ensemble des agents techniques du SM3A au travers des éléments décrits au § 9.3 :

- Vigicrues par le SPC alpes du nord ;
- Service de prévision météorologique et hydraulique en temps réel (abonnement « Hydrique »).

Outre ces dispositifs, la veille quotidienne s'appuie également sur les réseaux de mesure pluviométrique et hydrométrique et sur différents sites internet notamment Suisse.

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 ou combinaison de paramètres (prévision de pluviométrie, prévision d'évolution de l'isotherme °C, hauteurs d'eau mesurées...).

### 3.7.2.2 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.

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.

### 3.7.2.3 Direction des opérations et communication entre les intervenants

En fonction de l'évolution défavorable des conditions météorologiques, la direction (DGS et DGST), sous l'autorité du Président du SM3A, assure la direction des opérations (DO).

En fonction des délais impartis pour mettre en œuvre les moyens du SM3A, la DO est soit restreinte, soit élargie. La DO élargie est composée :

- Du Président du SM3A, responsable de la DO. Il est en relation avec les élus et le préfet. En fonction de la liste des agents disponibles établis précédemment par la Direction, le Président peut suspendre les congés du personnel concerné, il met en situation « gestion de crise » l'ensemble des agents concernés : plage horaire travaillée allongée ;
- De la direction DGS, qui coordonne les moyens et le déploiement des équipes sur le terrain. Elle est également en relation avec le SDIS, SPC, le canton de Genève et tous autres services de secours. Elle assure la remontée d'information auprès du SIDPC (points de situation réguliers) et est le seul interlocuteur direct. La direction assure le suivi de l'évolution météorologique et hydrologique et tient la main courante des événements ;
- Du DGST, responsable du pôle « prévention des inondations », assurant le rôle de cadre technique des agents de terrain. Il réceptionnera leurs appels et apporte l'expertise technique des interventions à distance et arbitre avec la Direction et le Président si besoin les choix retenus d'intervention. Il met en astreinte et coordonne également les entreprises pour les interventions. Il veille à la sécurité des agents sur le terrain. Le responsable du pôle peut occasionnellement assurer un renfort sur le terrain sur des événements de grande ampleur ;
- De la direction DGA pour suppléer au DGS ou DGST en cas d'absence ;
- En fonction de l'ampleur, un appui technique peut être assuré soit par le responsable du pôle opérationnel ou par le référent du service « système d'endiguement » qui assureront un soutien logistique au cadre technique (surveillance de l'évolution des conditions

climatiques et hydrologiques, tenue d'une main courante...) et pourront renforcer les équipes sur le terrain.

Il est à noter qu'actuellement, les postes de DGS et de DGST sont confondus car ils sont assurés par la même personne. Cette dernière est responsable du pôle « prévention des inondations ».

La DO est située physiquement dans les locaux du SM3A à Saint Pierre en Faucigny disposant de l'ensemble des éléments papiers et informatiques pour appliquer les consignes du présent document. Les dossiers d'ouvrage y sont stockés.

#### 3.7.2.4 Surveillance terrain

Une fois la DO en place, elle active la surveillance sur le terrain en déployant les moyens humains.

Les agents de terrain surveillent les points de vigilance spécifiques de leur territoire et retransmettent l'évolution sur le terrain au cadre technique en cas de DO élargie ou à la Direction en cas de DO restreinte.

En cas de désordres observés, l'agent évalue :

- l'importance du désordre ;
- son évolution ;
- la nécessité de suivre à un pas de temps donné ce désordre

Les agents de terrain peuvent participer à des Postes de commandements sous la responsabilité des Maires ou du Préfet. Dans ce cas de figure, toute décision d'intervention du SM3A sera au préalable validée par la DO.

Les agents de terrain mis en situation de « gestion de crise » n'assureront que très ponctuellement une surveillance nocturne. Pour des situations d'envergure (interventions nocturne, forte pluviométrie...) et sur décision de la DO, les agents techniques peuvent être accompagnés en binôme dans les véhicules par des collaborateurs du SM3A, afin de réduire les risques inhérents aux travailleurs isolés et faciliter les transmissions de données.

#### 3.7.2.5 Ressuyage de la zone protégée

La commune de St-Pierre-en-Faucigny dispose de réseaux d'eaux pluviales et unitaires denses et bien réparties sur la zone protégée. Ces derniers se déversent dans l'Arve.

Par ailleurs, ces réseaux d'eaux pluviales existants serviront pour le ressuyage de la zone protégée.

#### 3.7.2.6 Travaux d'urgence

Le SM3A fera état de l'article R214-44 du code de l'environnement pour engager des travaux d'urgence. Il peut s'agir d'empêcher la formation d'une brèche dans les ouvrages classés Système d'Endiguement.

Le préfet de la Haute Savoie, ainsi que la SIDPC seront avertis par la direction des opérations DO au préalable.

Le SM3A dispose en interne de moyens d'ingénierie qui permettront de suivre les opérations d'urgence.

#### 3.7.2.7 Modalité de mise en œuvre des fins d'alerte

Sur la base des informations délivrées par le SPC, le SIDPC ou le constat du SM3A sur le terrain, la direction des opérations organise la fin des interventions ou de la surveillance.

Elle peut :

- Soit passer en fin d'alerte par secteur concerné dans la mesure où la durée de la décrue s'annonce sur certains cours d'eau ;
- Soit lever l'alerte généralisée dans la mesure où elle estime définitif le retour à la normale, sans risque d'une reprise du phénomène.

La fin de l'alerte conduit à :

- Notifier la levée de l'alerte aux entreprises ;
- Engager la mise en œuvre des consignes post-crue ;
- Avertir le service de la préfecture.

Attention, une fin d'alerte peut se caractériser par une surveillance maintenue pendant quelques jours afin de confirmer l'absence de désordre à la décrue.

### 3.7.2.8 Rapport de crue

Une note de synthèse sur le déroulement de la crue sera réalisée en interne par le SM3A et transmis conformément à la réglementation en vigueur dans les meilleurs délais au service de contrôle pour toute crue supérieure à la décennale, dès le tronçon concerné.

## 3.7.3 Visites post-crue

### 3.7.3.1 Objet

La préparation, l'organisation et la conduite de l'inspection visuelle post-crue de la digue relèvent du service gestionnaire des ouvrages. Cette visite doit se faire dans les meilleurs délais après la crue.

En cas de crue majeure couvrant un nombre important de digue, le SM3A pourra faire appel à un bureau d'études pour réaliser ces visites.

Avant l'inspection post-crue, tous les documents topographiques, les comptes rendus des précédentes visites et les clichés doivent être réunis.

Les constats effectués lors de ces inspections visuelles se font sur une fiche semblable à celle utilisée lors des visites annuelles (en annexe XV). Un dossier photographique des désordres est nécessaire avec sa légende et sa localisation ainsi que des photos d'ensemble.

On notera que d'autres phénomènes peuvent nécessiter le déclenchement des visites post-crue :

- Les accidents nautiques (choc d'embarcation sur les perrés, échouage, etc.) ;
- Les engravements important du lit mineur ;
- **Les séismes de magnitude supérieure à 5 sur l'échelle de Richter dans un rayon de moins de 100km.**

Ces visites post-crue permettent également de faire l'inventaire de l'ensemble des dégâts sur le territoire et de prioriser les interventions post-crue.

### 3.7.3.2 Déroulement

#### Relevé de la laisse de crue :

Pour chaque tronçon de rivière concerné par la crue, il sera procédé à un relevé des laisses de crue par un géomètre dans les 24h à 48h suivants la crue. Ces levés nécessitent un niveau de précision optimum.

Le niveau sera au minimum relevé au droit de tout ouvrage singulier (ponts, échelles,...). Il sera important de faire le distinguo entre le niveau de charge et le niveau d'écoulement.

Le niveau sera – à minima – relevé systématiquement aux échelles en place, de façon à permettre une comparaison avec les relevés des années précédentes. Dans le cas où le secteur concerné ne comporte pas d'échelle, le niveau sera relevé sur des points de repères fixes (ponts, singularité hydraulique, ...).

#### Visite des digues :

Une fois l'alerte levée, certaines personnes seront affectées à la surveillance des digues sensibles à la décrue en particulier celles qui sont identifiées comme sensibles à la décompression des matériaux.

Les désordres apparents seront relevés à l'aide d'une fiche de relevé de type VTA dans la mesure du possible : brèche, embâcle, érosion du talus ou pied de digues, indice de fuite, glissement du talus, ...

Chaque désordre observé sera à minima localisé et pris en photo. En cas de désordre mettant en péril l'intégrité de la digue, le personnel de terrain ou le prestataire désigné contactera immédiatement le Poste de Commandement de la surveillance des Ouvrages du SM3A.

Cette surveillance pourra se faire sur plusieurs jours. La localisation des désordres sera faite en utilisant le système de repérage mis en place par le SM3A (bornes ou marquage au sol tous les 100 ou 200 mètres) et à l'aide d'un GPS ou à défaut d'une roulette ou d'un profil.

### 3.7.3.3 Compte-rendu des visites

La visite post-cruve donnera lieu à un compte-rendu de la part du géomètre et des surveillants de digues.

Ce rapport reprendra la totalité des éléments significatifs de la visite de surveillance :

- Dates de la visite post-cruve ;
- Composition des équipes de surveillance ;
- Zone de surverse sur les digues ;
- Localisation des désordres (indices de fuite, embâcles, arbres basculés, glissement...);
- Inspection des organes secondaires,
- Photos,
- Relevé des laisses de crue.

Le compte rendu de l'inspection visuelle post-cruve servira de support pour les événements à venir et permettra de justifier des levés topographiques dans les secteurs où les désordres sont importants ou encore des reconnaissances complémentaires à la pelle mécanique.

Les désordres (tels que embâcle, érosion du talus ou pied de digue, indice de fuite, glissement du talus,...) relevés sur le terrain par le personnel du SM3A sont renseignés sous SIRS Digues avec leur photo.

Les relevés de laisse de crue sont également saisis sous SIRS Digues.

### 3.7.3.4 Signalement des incidences et EISH

En fonction du constat des désordres, le SM3A reprend la procédure de déclaration des événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH) décrite précédemment.

## 3.7.4 Interventions post-cruve

L'intervention post-cruve s'échelonnent sur plusieurs mois et seront priorisées en fonction du degré de l'EISH, des risques supportés par la zone protégée, du risque de réplique de l'événement, de la complexité des travaux, des accès et des moyens matériels et humains disponibles.

Les interventions consisteront pour l'essentiel à remettre en état de fonctionnement les ouvrages.

# DOCUMENT B : ANALYSE DES RISQUES ET JUSTIFICATION DES PERFORMANCES

## 4. CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS

Les systèmes d'endiguements s'inscrivent dans un environnement qui est soumis à des aléas naturels, que ce soient les crues des cours d'eau principaux, les crues des affluents ou les séismes. Afin d'appréhender le comportement de ces endiguements lors de ces différentes situations ainsi que la sensibilité du site à ces aléas, ce chapitre a pour finalité d'évaluer les caractéristiques physiques les plus extrêmes de ces phénomènes naturels.

### 4.1 Hydrologie, hydraulique et morphologie globale

#### 4.1.1 Présentation des bassins versants de l'Arve et du Borne

##### 4.1.1.1 Bassin versant de l'Arve

*Référence : Dossier préliminaire d'établissement du SAGE Arve*

Le bassin versant de l'Arve s'étend sur **2078 km<sup>2</sup>** (dont 102 km<sup>2</sup> sur le territoire Suisse). Son altitude varie entre 330 m sur la commune de Chevrier et 4810 m au sommet du Mont-Blanc. 60% du bassin versant se situe à une altitude supérieure à 1000 m et 20% à plus de 2000 m d'altitude.

Les quantités de précipitations mesurées sur le bassin sont élevées, marquées par l'importance des précipitations neigeuses. Les températures sont variées mais restent globalement faibles. Ces données climatiques sont néanmoins susceptibles d'être modifiées plus qu'ailleurs par le dérèglement climatique. Les mesures de températures effectuées sur les Alpes du Nord depuis un siècle indiquent en effet un réchauffement deux fois supérieur aux moyennes mondiales.

L'Arve prend ses sources dans le Massif du Mont-Blanc, au sein du col de Balme, près d'Argentière. Il chemine sur une distance de 107,8 km pour rejoindre le Rhône, dont il est le premier affluent. Son embouchure est située 1 km en aval du lac Léman, au lieu-dit de La Jonction, proche de Genève. L'Arve arrose au total 31 communes, 26 en France et 5 en Suisse. Son réseau hydrographique compte 1700 km de cours d'eau dont 80 km en territoire helvétique. 437 torrents et rivières sont structurés autour des principales vallées que sont l'Arve, le Giffre, le **Borne**, la Menoge et le Foron du Chablais Genevois.

La figure ci-dessous est une cartographie du bassin versant de l'Arve :

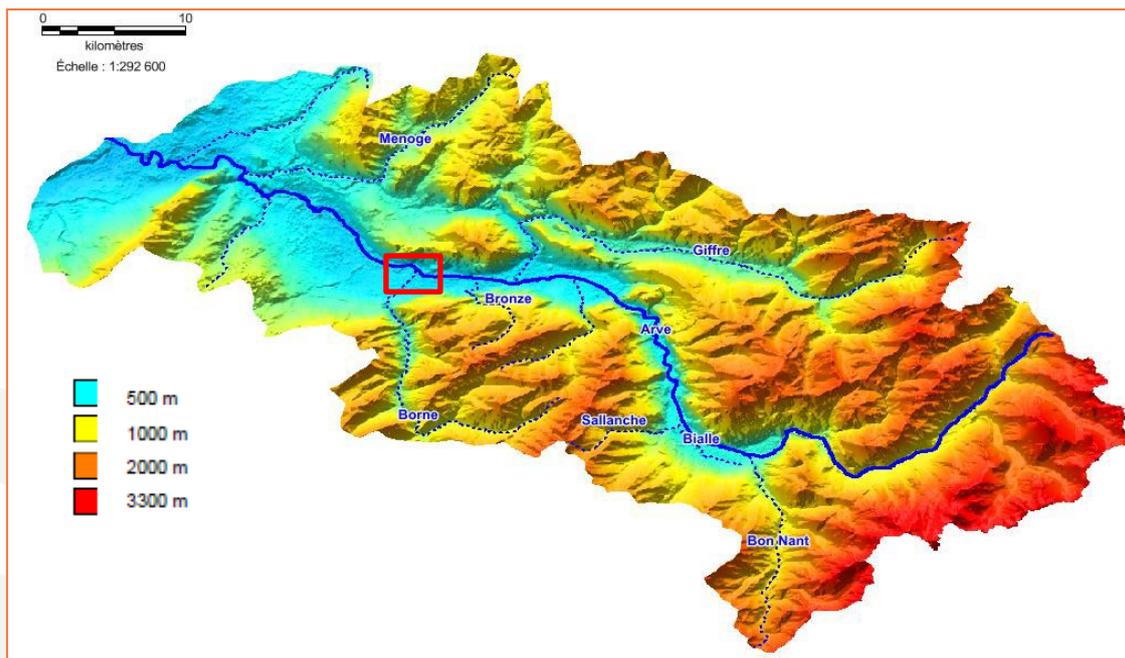


Figure 34 : Bassin versant de l'Arve avec ces principaux affluents (source : étude ISL). En rouge la localisation du SE objet de la présente étude

On distingue trois grandes régions naturelles sur le périmètre d'étude :

- L'Avant-Pays, d'une altitude moyenne, composé de chaînons calcaires et de plateaux molassiques ou morainiques : Salève, plaine de Saint-Julien, Bas-Faucigny, Bas-Chablais,
- Les Préalpes calcaires découpées en deux massifs : le Chablais s'étendant à l'Est jusqu'aux sommets du Haut Giffre, et le massif des bornes, comprenant la chaîne des Aravis,
- Les massifs cristallins externes, comprenant les reliefs composés de roches issues du socle : massif du Mont-Blanc et Aiguilles Rouges.

L'Arve, affluent de rive gauche du Rhône qu'il rejoint à la Jonction (alt. 372 m) en aval de la ville de Genève, prend sa source au pays du Mont Blanc, au col de Balme (alt. 2192 m), près de la frontière suisse du Valais. Elle représente, avec un parcours de 107 km (dont 98 km en France), l'axe structurant du périmètre et le principal cours d'eau de la Haute-Savoie.

Le régime hydrologique de l'Arve n'est pas le même sur l'ensemble du bassin versant : il se transforme graduellement et devient plus complexe d'amont vers l'aval. L'ensemble du bassin versant peut-être défini en 3 secteurs :

○ **Le haut bassin :**

Le haut bassin constitué entre autres par la vallée de Chamonix, est caractéristique des torrents de régime glaciaire et nival. Il s'agit de torrents issus du massif du Mont-Blanc et du massif des Aiguilles Rouges, dominés par la présence de glaciers.

○ **Le bassin intermédiaire :**

Le bassin intermédiaire est représenté par la vallée de l'Arve et les vallées du Giffre et du Borne. Les précipitations y sont fortes et se traduisent par des débits très importants. Les crues qui en résultent se manifestent surtout au printemps avec la concomitance de la fonte de la neige et des précipitations.

○ **Le bassin aval :**

Le relief du bassin aval de l'Arve et de la Menoge reçoit des précipitations dont les maximas se situent entre l'automne et le printemps. Le régime pluvial du bassin aval est à peu près inverse au régime glaciaire du bassin amont : les crues sur le bassin aval de l'Arve peuvent donc survenir en toutes saisons, même si les mois de juin-juillet-août puis octobre-novembre sont les plus à risques.

La zone d'étude se situe dans le bassin intermédiaire où le régime hydrologique peut être caractérisé de nivo-pluvial à pluvial. Il s'agit d'un régime complexe, des écoulements abondants et des variations saisonnières de grande amplitude qui reflètent les influences multiples de chacune des parties du versant.

#### 4.1.1.2 Bassin versant du Borne

Le Borne prend sa source au pied du Mont Fleurie en Haute Savoie (Altitude 2511m), le sommet de la chaîne des Aravis est la Pointe Percée située à 2750m d'altitude. Dans sa partie haute, il s'écoule selon un axe est-ouest, traverse la commune du Grand-Bornand, s'incurve vers le nord pour rejoindre la plaine de Saint-Pierre-en-Faucigny, puis se jette dans l'Arve à Bonneville. Au grand Bornand le Borne reçoit en rive droite les eaux du torrent du Chinailon, principal affluent.

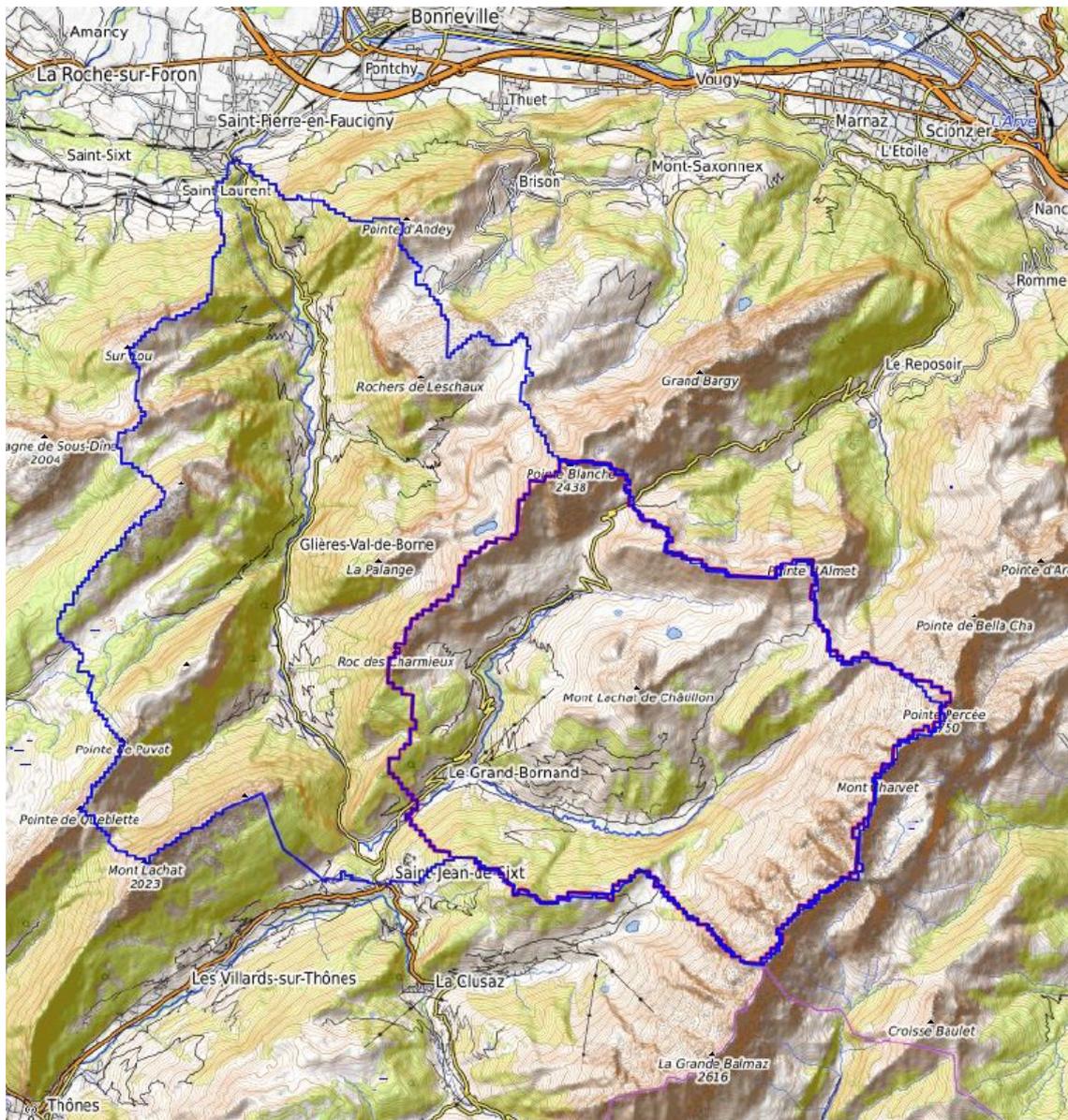


Figure 35 : Bassin versant du Borne (source : étude EDF). Découpage en deux sous bassins versants

#### 4.1.2 Les données hydrométriques

L'Arve possède cinq stations hydrométriques de mesures, le Borne en possède trois dont deux avec des résultats exploitables. Elles sont référencées dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Stations hydrométriques sur le bassin versant de l'Arve – Banque HYDRO

Nom de la station	Code	Gestionnaire	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Altitude	Hauteur - données disponibles	Débits - données disponibles
L'Arve à Chamonix-Mont Blanc	V0144010	DREAL	205	1020	1981-2018	1936-2018
L'Arve à Sallanches	V0154010	DREAL	514	535	1979-2018	1965-2018
L'Arve [le Nant d'Orlier] à Magland [Chez Party]	V0056410	DREAL	-	496	2011-2018	2011-2018
L'Arve [le Nant du Crêt] à Magland [Chez Gaudy]	V0056510	DREAL	-	495	2014-2018	2014-2018
L'Arve à Arthaz-Pont-Notre-Dame	V0222010	EDF	1664	410	-	1961-2015
Le Borne à Saint-Jean-de-Sixt	V0205420	DREAL	65	882	1980-2018	1964-2018
Le Borne à Saint-Laurent-les-Bains	V5045810	EDF	63	617	-	1969-2015
Le Borne à Saint Pierre en Faucigny (nommé par erreur Saint Pierre en Rumily)	-	-	142		-	1948-1968

Les stations de référence sur la zone d'étude seront :

- Pour l'Arve, la station de Sallanches située à une trentaine de kilomètres en amont de Bonneville ;
- Pour le Borne, la station de Saint-Jean-de-Sixt située à une vingtaine de kilomètres en amont de Bonneville.

Comme mentionné dans ce rapport, plusieurs études hydrologiques ont été réalisées sur le Borne et l'Arve (ISL, SUEZ Consulting, CNR, ...). Le SM3A a retenu l'étude EDF, réalisée en 2020 dans le cadre du projet de confortement des digues du Borne et de l'Arve à Bonneville.

**Les débits retenues pour la présente étude sont donnés dans le §4.3. Ces débits de pointe sont sécuritaires par rapports aux autres études, ce qui maximise les lignes d'eau modélisées et donc la protection contre les inondations.**

#### 4.1.3 Apports du Giffre (affluent de l'Arve)

Le Giffre est un affluent rive droite de l'Arve qui se rejette dans l'Arve en amont direct de la zone d'étude. Son bassin versant, de 456 km<sup>2</sup>, est de nature karstique, ce qui complique l'estimation de ces débits de pointe. Sa surface représente environ 32% de la surface du bassin de l'Arve à Bonneville. Les débits de pointe maximum du Giffre et les débits à Bonneville et Thyez de l'Arve, varient suivant les sources d'information. Le tableau suivant synthétise un extrait de l'étude ISL 2016 ([DA26]) et de l'étude, réalisée par Hydratec (cf. [DA28]) en 2014.

Tableau 21 : Débits de pointe pour des crues de l'Arve et du Giffre

	Station	Surface BV (km <sup>2</sup> )	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)
Giffre Etude ISL 2016	Taninges	325	331	552
Giffre Etude Hydratech 2014	Taninges	325	342	647
Giffre Etude Hydratech 2014	Marignier	475	439	790

En crue décennale, la valeur de l'étude Hydratech est très proche de celle calculée par l'étude ISL. Cette concordance s'explique par le fait que le débit de pointe Q10 est évaluée par analyse statistique à partir d'une chronique de plus de 10 ans (voire 64 ans suivant les stations). L'écart, beaucoup plus important sur le débit de pointe Q100 (95 m<sup>3</sup>/s) proviendrait, d'après ISL, d'une potentielle surestimation des débits à la station de Taninges d'environ 30%.

Pour les calculs des crues de l'Arve, les hydrogrammes définis dans la récente étude d'EDF [DA49] et retenus pour le dimensionnement du projet sont utilisés. En revanche, pour le système de prévision en cas de crue, il est important de retenir les données de l'étude Hydratech 2014 qui sont plus fiables dans la mesure où l'étude hydrologie a été menée spécifiquement pour le Giffre (source CNR).

En d'autres termes, le Giffre est un des principaux affluents de l'Arve, en particulier en amont de Bonneville (zone d'étude). La montée des crues du Giffre, qui participe grandement à l'augmentation des débits de l'Arve (réponse rapide du BV du Giffre), est à surveiller. Par exemple, la crue centennale du Giffre estimée par Hydratec est l'équivalent d'une Q20 de l'Arve (Estimation EDF, 2020).

Il est à noter que le SM3A a mis des seuils d'alerte à la station limnimétrique du Giffre à Marignier.

## 4.1.4 Environnement hydro-morphologique

### 4.1.4.1 Evolution historique

Source : SOGREAH pour S.M.3.A., *Etude des transports solides sur l'Arve*, Réf. 550490, Avril 2000 [DA17].

Anciennement, l'Arve divaguait dans sa plaine alluviale, n'étant contrainte, en crue, que par les pieds des versants et des cônes alluviaux de ses tributaires. L'Arve avait alors un lit en tresse caractérisé par de multiples bras et de nombreuses sinuosités. Les travaux d'endiguement sont probablement très anciens et datent très certainement des premières installations de l'homme aux abords de la rivière.

Cependant, ce n'est qu'à partir du début du 18<sup>ème</sup> siècle que des travaux de correction coordonnés vont être mis en œuvre, à l'initiative du gouvernement Sarde.

Bien qu'endiguée sur plusieurs sections de son cours, l'Arve conservait jusqu'au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle, des latitudes de divagation et de submersion d'un lit majeur important, qui conditionnait l'ensemble de son équilibre, qu'on pouvait considérer comme relativement stable (au moins à l'échelle humaine).

Les décennies d'après-guerre ont vu s'effectuer une transformation radicale de cet équilibre :

- Par les extractions de matériaux dont il a résulté, depuis Chedde jusqu'au Rhône, un enfoncement généralisé du lit,
- Par les multiples formes d'occupation des sols (urbanisation) qui ont réduit (souvent par remblai et endiguement) le domaine d'extension de la rivière,
- Par les actions nombreuses de confortement des ouvrages ou des berges, et de fixation du lit.

Source : SOGREAH Ingénierie Conseils pour Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Borne (S.M.3.A.) et D.D.A.F. de Haute Savoie, Etude Générale d'Aménagement Hydraulique du Borne, Septembre 1989 [DA14]

Le même constat peut être fait pour le lit du Borne. Anciennement torrent de montagne, il est aujourd'hui un cours d'eau presque complètement artificiel, rectiligne depuis la sortie des gorges du Haut-Rumily en aval du seuil du diable jusqu'à la confluence avec l'Arve. Dès 1730, les riverains ont cherché à se protéger des crues dévastatrices du Borne sur les plaines productrices qui venaient couper la route de la Roche - Bonneville, en mettant en place un système d'endiguement. Cette fixation du lit, couplée aux différentes extractions de matériaux pour la création de l'autoroute blanche un peu plus tard (1970), a nécessité la création d'ouvrages de corrections torrentielles un peu partout sur son linéaire pour limiter l'incision du cours d'eau.

Aujourd'hui le phénomène semble être stabilisé sur les deux cours d'eau grâce aux ouvrages hydrauliques et notamment les seuils de correction torrentielle mis en place à des niveaux très bas. Les seuils maintiennent un profil en long en marge d'escalier dont aucun ne peut être effacé. Par ailleurs, le SAGE prévoit, dans ses dispositions RIV 4 à RIV 6 du sous-objectif « Restaurer la morphologie des cours d'eau dégradés », une étude pour connaître les possibilités de modification du transport solide et une restauration morphologique de certains tronçons. L'état actuel est donc peut-être un profil minimum qui peut, si les études le juge pertinent, être revu à la hausse. Le profil en long présentant les évolutions morphologiques est disponible au 4.7.

Historiquement, la dynamique sédimentaire du Borne a été perturbée par la mise en place des premiers endiguements sur le Borne (secteur amont de Dessy), entraînant une tendance à l'incision du lit sur son secteur amont et à l'exhaussement de celui-ci sur le secteur aval situé en aval du pont RD1203 (objet de cette étude).

Cette tendance a évolué et c'est à partir des années 1950 qu'on commence à assister à un phénomène inattendu d'enfoncement progressif du lit de l'Arve, puis du Borne, en lien avec une rupture du transit sédimentaire. Plusieurs facteurs semblent expliquer le phénomène :

- Pour partie, faible, la fin du Petit Âge Glaciaire depuis 1850, ayant pour conséquence l'extinction naturelle de nombreux torrents sur les bassins versants, et donc une baisse de l'apport sédimentaire dans la vallée,
- Pour une majeure partie un ensemble de facteur en lien avec l'activité anthropique :
  - L'endiguement, lui-même, qui restreignant l'espace de divagation des deux rivières conduit par « effet rebond » à un enfoncement du lit,
  - La construction d'importants barrages hydroélectriques, en particulier sur l'Arve (Emosson, Les Houches...), sur le Giffre (Taninges Pressy) et sur le Borne (Beffay), coupant de facto l'alimentation en matériaux sédimentaire plus en aval.
  - L'extraction massive de matériaux dans le lit de l'Arve qui servait à la construction et les infrastructures routières. Environ 15 millions de m<sup>3</sup> ont été extraits. Ces opérations de « curage » du lit ont eu un impact important sur les fonds de la rivière, avec des incisions pouvant atteindre 5 à 10 m dans certains secteurs (en particulier à proximité des anciennes gravières). Ce facteur est probablement le plus important et a pu impacter les affluents (dont le Borne).

Il en résulte au final que le lit de l'Arve s'est enfoncé largement de plusieurs mètres, et par effet domino certains affluents, donc le Borne, réglant au passage pour partie les problématiques d'inondation, mais générant en contrepartie des problèmes d'instabilités des abords des rivières et même d'effondrement de la capacité de la ressource en eau souterraine (effondrement du toit de la nappe phréatique).

Il est apparu la nécessité de stabiliser l'évolution du profil en long de l'Arve et du Borne, par la multiplication de seuils le long de la confluence.

A ce jour et d'après les informations recueillies, le phénomène d'incision semble plus ou moins stabilisé. L'analyse comparative des profils en long du fil d'eau d'étiage de l'Arve entre Passy et la frontière suisse depuis 2009 (période 2009-2020) montre un arrêt du phénomène d'incision voire de légers dépôts par endroits.

#### 4.1.4.2 Les phénomènes naturels

Source : SOGREAH LEDOUX CONSULTANTS pour S.M.3.A., Plan de Gestion des Matériaux solides de l'Arve, Réf. 2814036, Janvier 2004 [DA18]

Sans évoquer les changements climatiques qui ne sont sensibles que sur des périodes très longues et dont les effets apparaissent négligeables comparés aux autres facteurs d'évolution, les modifications d'origine naturelle concernent plus particulièrement les mouvements de terrain et l'évolution des glaciers (rupture de poches glacières). Ces phénomènes ont pu être à l'origine de profondes modifications de l'état du cours d'eau (changements de lit, engravements importants d'un tronçon, destructions partielles ou totales d'aménagements, d'habitations ...). Parmi ces derniers on peut citer le glissement des Posettes ou le phénomène de lave torrentielle sur le Bonnant en 1892 qui a fait 175 morts à Saint-Gervais.

#### 4.1.4.3 L'intervention de l'Homme

Source : SOGREAH LEDOUX CONSULTANTS pour S.M.3.A., Plan de Gestion des Matériaux solides de l'Arve, Réf. 2814036, Janvier 2004 [DA18]

**C'est incontestablement l'intervention humaine qui est à l'origine des plus fortes modifications des cours d'eau observées ces dernières décennies.**

**L'endiguement du lit de l'Arve :**

Les modifications anthropiques ont débuté au 17<sup>ème</sup> siècle avec les aménagements d'endiguement visant à protéger les zones où allait se développer l'urbanisation. Ce n'est qu'à partir du 18<sup>ème</sup> siècle qu'un endiguement durable a commencé à se mettre en place et s'est poursuivi activement au 20<sup>ème</sup> siècle pour couvrir aujourd'hui les  $\frac{3}{4}$  du linéaire de l'Arve.

L'Arve est une rivière torrentielle, qui divaguait naturellement sur une grande largeur et sur un lit formé de bancs de graviers sans végétation. L'endiguement, associé aux extractions, a participé à la fixation du cours d'eau dans un seul lit. Certains bancs de graviers ne se sont plus retrouvés alors noyés qu'au cours des crues. L'Arve y a déposé les matériaux fins, fertiles, ce qui a permis à la végétation de se développer. Au cours des crues suivantes, la végétation a limité les vitesses d'écoulement et a retenu encore plus de matériaux fins. Ceci a participé à l'exhaussement des bancs. A terme, on s'attend à l'établissement d'un milieu artificiel constituée d'une rivière figée dans un seul lit et des bancs fixes, végétalisés.

Parallèlement à ces travaux d'endiguement, les principales interventions qui ont contribué à l'évolution rapide du lit sont :

- **La création de barrages hydroélectriques, dont le barrage des Houches en 1953 :**  
Ces aménagements interceptent une partie des matériaux solides transités en amont et contribuent à l'incision du lit en aval. Au niveau du barrage des Houches, sur les 180 000 m<sup>3</sup> de matériaux arrivant dès l'amont, seuls 15 000 m<sup>3</sup> transitent au travers du barrage ;
- **Le remblaiement du lit majeur de l'Arve** dont l'effet est de réduire les possibilités d'écrêtement des crues ;
- **Les extractions massives réalisées dans le lit, entre 1950 et 1983 :** On estime aujourd'hui qu'environ 10 millions de m<sup>3</sup> de matériaux ont été extraits entre 1950 et 1983\* de l'Arve, auxquels il faudrait ajouter les très importantes extractions effectuées sur le tronçon suisse au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Sachant que, dans l'état naturel, en supposant que chaque tronçon de l'Arve se trouve en équilibre, le transport annuel par charriage dans l'Arve est d'environ 100 000 m<sup>3</sup>, il faudrait au moins 100 ans pour reconstituer le

stock alluvial, en supposant que l'alimentation en matériaux n'ait pas été modifiée, ce qui n'est pas le cas ;

- **Les aménagements de correction torrentielle sur les affluents** : les travaux de restauration des terrains en montagne entrepris avec succès par les services RTM et l'allègement de la pression pastorale ont conduit à limiter l'érosion des versants et réduire les apports de matériaux solides dans l'Arve.

Il a résulté de ces différentes interventions une chenalisation généralisée du lit de l'Arve en aval du barrage des Houches, avec formation de bancs végétalisés, et des enfoncements considérables depuis Servoz jusqu'à la confluence avec le Rhône, atteignant une profondeur d'environ 12 mètres au Fayet, ce qui est le record d'enfoncement des rivières alluviales françaises.

D'importants travaux de fixation du lit et de consolidation des ouvrages ont dû être entrepris depuis cette incision, souvent dans l'urgence comme le seuil du Fayet ou le seuil de la Sardagne. Aujourd'hui le transport solide à l'échelle de l'Arve est régulé et le phénomène d'incision s'est, semble-t-il, considérablement ralenti voire annulé.

#### 4.1.4.4 Morphologie actuelle

*L'Arve* : Source : Hydratech pour S.M.3.A., Analyse des évolutions topographiques du lit de l'Arve, Ref 0163102, Juillet 2013. [DA22]

Aujourd'hui, le lit tout en divagations de l'Arve a été fixé par les différents systèmes d'endiguement mis en place dans la région de Bonneville. L'incision liée à ce phénomène, combinée avec l'extraction massive des matériaux du lit, a laissé des séquelles dans le paysage. La plupart des ouvrages de protection contre les crues étant désormais perchés, menaçant parfois leur stabilité. Le secteur étudié, Seuil aval Bonneville – Seuil Marignier, semble avoir retrouvé, année après année, sa pente d'équilibre entraînant une stabilisation du phénomène d'incision. Cette stabilisation est maintenue par la mise en place de seuils le long du lit de l'Arve.

**Le Borne** : A proximité de Bonneville, située en aval de son cône de déjection, le Borne à une pente d'environ 1%. Le linéaire est parfaitement endigué depuis la sortie des Gorges du Haut-Rumilly et plusieurs seuils ont été créés pour contrer le phénomène d'incision qui en résultait en concomitance avec les extractions de matériaux dans le lit. Le phénomène d'incision est stabilisé, le transport solide est désormais peu abondant et est régulé par les seuils en amont : Seuil Métral, Seuil du Diable ainsi que le Seuil en aval de la confluence avec l'Arve.

#### 4.1.5 Environnement géologique et hydrogéologique

Ce paragraphe est extrait du rapport géotechnique réalisé par la société Hydrogéotechnique Sud Est [DA35] en août 2017.

Les cartes géologiques (éditions du BRGM) au 1/50000 n°654 d'Annemasse et n°678 d'Annecy-Bonneville montrent que les zones d'étude se situent, sous les formations de surface et d'altération non mentionnées par le document, au niveau des formations suivantes :

- au droit des digues « Les Bordets » et « Les Places » : les alluvions de l'Arve (Fz),
- au droit des digues « Merlon Prison » et « Queue du Borne » : les alluvions de l'Arve et du Borne (Fz),
- au droit des digues « Bois Jolivet B », « Vorziers » et « Dessy » : les alluvions du cône de déjection du Borne.

**Selon les notices** : « Fz (Fz1, Fz2). Alluvions fluviales des fonds de vallée (galets, sables et limons). On a pu localement distinguer le lit majeur (Fz1) et le lit mineur (Fz2). Pour l'Arve, l'épaisseur des alluvions correspondantes s'établit en moyenne autour de 5m, avec des extrêmes de 2m (Étrembières) et de plus de 10m à la Jonction (Genève). » ; « Leur épaisseur n'est pas connue avec précision encore aujourd'hui. S'il est évident qu'en surface les alluvions sont modernes et par conséquent cartographiées sous la notation Fz, il est par contre difficile d'estimer l'âge de leur base. Comme le relève Lombard (1985, p. 151-152), dans la vallée de

l'Arve, "la couverture quaternaire est épaisse et étendue ; les indices d'accidents profonds sont rares...". Des lignes structurales et morphologiques couvertes ont marqué le cours inférieur de l'Arve ou du moins celui de son premier glacier près de Genève. Plus haut, entre le Salève et Bonneville, aucun affleurement ne montre d'accident du soubassement ayant précédé l'invasion glaciaire" »

À noter qu'en partie Sud de « Dessy », la carte géologique fait mention de formations morainiques et de formations calcaires, qui pourraient se retrouver localement à faible profondeur.

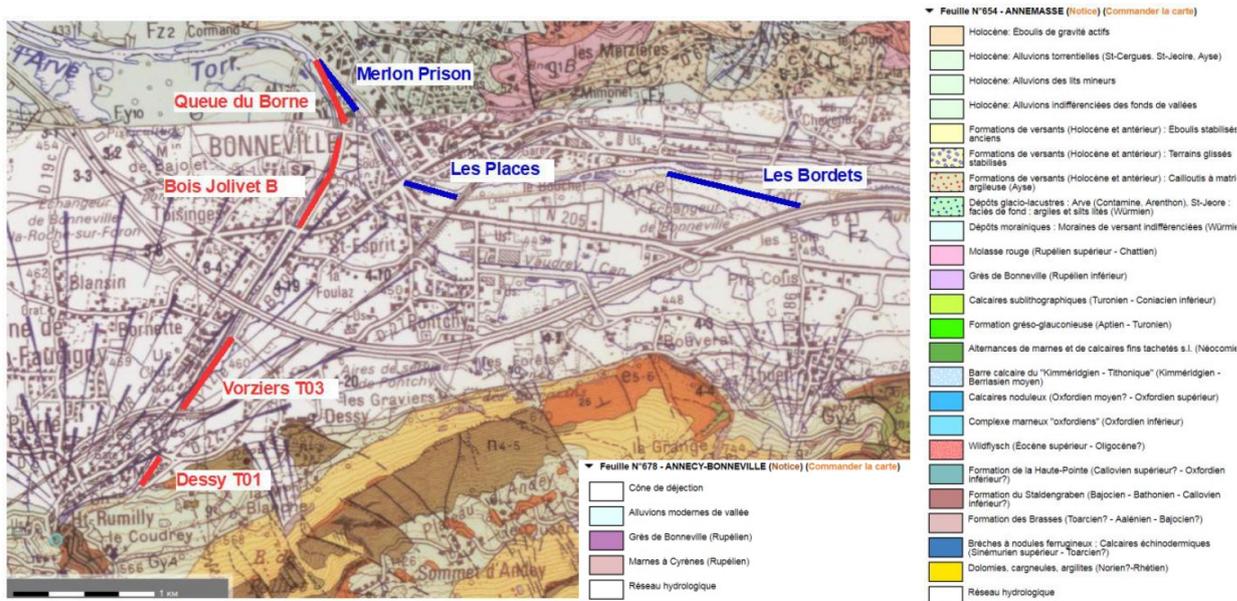


Figure 36 : Extrait des cartes géologiques d'Annemasse et d'Annecy-Bonneville au 1/50000 du BRGM

Le dossier d'ouvrage [DA34] a permis de compléter cette analyse :

L'alternance des périodes glaciaires a creusé la partie Nord de l'anticlinal de Dessy, où l'on retrouve notre zone d'étude, en y déposant petit à petit des sédiments (alternance de périodes glaciaires et lacustres). Ce phénomène a abouti à la création de la vallée de l'Arve. C'est le creusement de cet anticlinal qui explique que l'on peut observer sensiblement la même lithologie de part et d'autre du cours d'eau, mais pas à la même altitude (cf. schéma ci-dessous).

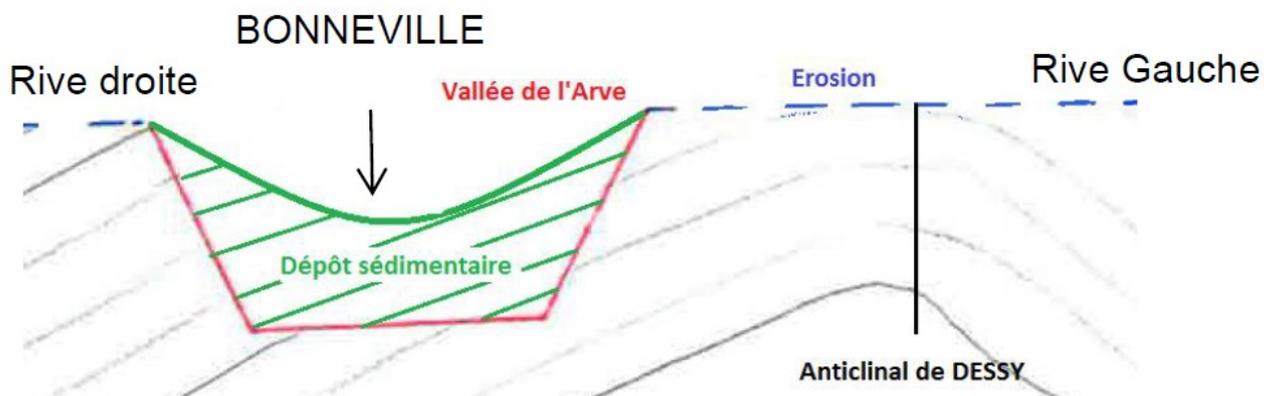


Figure 37 : Schéma en coupe de la géologie du site

On retrouve en partie Nord (rive droite) des niveaux plus jeunes (les molasses ou grès), déjà érodés en partie Sud (rive gauche).

En conclusion, les schistes marno-micacés (Molasses ou Grès de Bonneville, ici), qui tapissent généralement le fond de tous les synclinaux des chaînes subalpines (dont celui de Dessy),

s'étendent sous les dépôts quaternaires (Sédiments) de la plaine de l'Arve et semblent affleurer, en rive droite, notamment dans la ville de Bonneville.

Du point de vue de l'hydrogéologie, le site est caractérisé par les nappes d'accompagnement de l'Arve et du Borne. On peut également s'attendre à rencontrer des circulations erratiques et intermittentes susceptibles de se développer à différentes profondeurs, à la faveur de chenaux plus perméables et/ou en fonction des conditions météorologiques.

D'après le rapport d'Artelia en 2014 [DA23], seules les alluvions récentes de l'Arve sont aquifères. Elles sont épaisses de quelques mètres (en moyenne 5 m, localement un peu plus) et reposent directement sur les formations silteuses et argileuses de remplissage de la vallée. Les alluvions de l'Arve sont le plus souvent dépourvues d'une couverture argileuse. Le secteur immédiatement en amont de Bonneville a fait l'objet d'une prospection géophysique (BEGG 1966). Les 3 profils de sondages électriques recoupent transversalement la vallée et montrent une couche de terrains de fortes résistivités (alluvions récentes de l'Arve) peu épaisse recouvrant au moins 40 m de formations argileuses très faiblement résistantes. Quelques forages de reconnaissance confirment ce schéma. Le forage 06784X0007/S au sud-ouest de Bonneville dans la zone d'activité des Bordets (rive gauche de l'Arve) a traversé 10,7 m d'alluvions grossières de l'Arve entrecoupées de passes argileuses, puis 40 m d'argiles feuilletées à petits horizons sableux. Les forages de reconnaissance du Conseil General pour la réalisation du nouveau pont de Bonneville ont traversé les limons sableux et les argiles lacustres sur 40 m de profondeur sous les alluvions récentes de l'Arve. Un puits AEP exploitait les alluvions vers 6 m de profondeur sur Bonneville en limite de la commune d'Ayze. Il n'existe pas de coupe géologique (puits d'Ayze, rapport Bapendier d'avril 1999). Ce forage très vulnérable aux pollutions, a été récemment abandonné au profit du nouveau forage des Vorziers sur le cône du Borne en rive droite.

Les cônes de déjection des cours d'eau, comme le Giffre à Marignier ou le Borne à Saint-Pierre-en-Faucigny sont des formations grossières aquifères qui relayent généralement les anciens deltas imbriqués dans les formations lacustres. Les cônes de déjection sont souvent imbriqués dans les alluvions récentes de la vallée de l'Arve. Les formations aquifères vont donc préférentiellement se concentrer au droit des cônes de déjection ou des alluvions récentes de l'Arve et du Giffre. En profondeur, les formations de delta imbriquées dans les alluvions lacustres présentent également un potentiel aquifère. Ces deltas sont en toute logique en continuité des cônes de déjection actuels en bordure de vallée.

Les alluvions récentes de l'Arve sont alimentées par le ruissellement de bordure et les précipitations directes. L'Arve, qui s'est incisée, est en position drainante. Il n'existe pas de carte piézométrique pour confirmer cette hypothèse.

Le sol de fondation n'implique pas des particularités de comportement à prendre en compte vis-à-vis du risque sismique. Cela est confirmé par les sondages géotechniques réalisés sur les digues du Borne (voir §7).

## 4.1.6 Environnement naturel

### 4.1.6.1 Zones naturelles remarquables

#### Zonages de protection

Le projet n'empiète sur aucun zonage de protection réglementaire : ni Parc National Régional (PRN), ni Réserve Naturelle Nationale ou Régionale, ni Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (APPB).

#### Zonages d'inventaire ZNIEFF

Les digues de l'Arve sont situées dans la ZNIEFF de type II n°820031533 "Ensemble fonctionnel de la rivière Arve et de ses annexes".

Les tronçons du Borne et de l'Arve étudiés ne sont pas concernés par une ZNIEFF de type I.

#### Zones humides

L'inventaire départemental des zones humides identifie une zone humide au niveau de la confluence Borne/Arve : « Arve alluvial à l'aval de Bonneville ». Les autres zones humides situées à proximité sans interférer avec les digues sont situées au bord de l'Arve à l'amont de Bonneville : « Les bois Est-Nord-Est/Charbonnières/Thuet », « Chef-lieu Sud-Est/lac est » et « Chef-lieu Sud-Ouest/lac ouest ».

#### Sites Natura 2000

Le site Natura 2000 ZSC FR8201715 et ZPS FR8212032 "Vallée de l'Arve" comporte des zones à l'amont et à l'aval du système d'endiguement, ces zones restent éloignées de 2 km du système d'endiguement concerné.

#### 4.1.6.2 Corridors biologiques

La zone d'étude présente un enjeu fort concernant la trame verte et bleue à l'échelle locale avec la présence de continuums terrestres et aquatiques le long des cours d'eau de l'Arve et du Borne.

Le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) Rhône-Alpes identifie au niveau de la zone d'étude :

- Le Borne est un cours d'eau identifié comme d'intérêt écologique pour la trame bleue, dont l'objectif est la remise en état. Le SCOT Faucigny Glière et le PLU de Bonneville identifient également le Borne comme corridor écologique.
- Des espaces perméables associés aux milieux forestiers et aux milieux aquatiques.
- Des obstacles au déplacement des espèces : infrastructures de transport créant des zones de conflit et des zones d'écrasement de la faune (A40, RD1205, RD1203) ; seuil sur les cours d'eau.
- Un fuseau d'importance régionale le long du Bronze jusqu'à son embouchure avec l'Arve. Il relie également l'Etang de Thuet.
- Les réservoirs de biodiversité (ZNIEFF Gravière de l'Arve, ZNIEFF Etang de Thuet) restent extérieurs au système d'endiguement.

Le PLU de Bonneville considère l'Arve et ses abords comme espaces naturels d'intérêt écologique majeur, réservoirs de biodiversité.

Au-delà des éléments identifiés dans ces documents cadres, tous les espaces boisés des digues et les marges alluviales constituent des corridors biologiques pour la faune :

- Sous-trame aquatique composée des cours d'eau, des gravières, mares, milieux aquatiques temporaires, balastières. Ces milieux sont favorables aux amphibiens, aux odonates et à l'avifaune.
- Sous-trame boisée, de perméabilité forte, représentée par les ripisylves est favorable aux mammifères semi-aquatiques et terrestres, aux chiroptères et à l'avifaune.

Ces corridors sont notamment importants pour la traversée des zones urbaines.

Certains éléments augmentent la perméabilité : passages petite faune créés pour les déplacements de Castor d'Europe (sous la route RD19), passages grande faune au niveau des infrastructures de transport (RD19 et A40).

#### 4.1.6.3 Enjeux faune-flore-habitats

Les éléments sont extraits du Diagnostic environnemental Aménagement des digues de l'Arve et du Borne aval produit par Mosaïque environnement (Réf. [DA40])

### Habitats naturels

Les habitats de zone humide sont peu développés sur le Borne et se cantonnent à l'intérieur du lit vif. Ces habitats sont un plus présents au bord de l'Arve, au niveau des bordures boisées internes du cours d'eau.

La rive droite du Borne possède peu de surface d'habitat à enjeux : 1 patch d'habitat à enjeu fort et un linéaire d'habitat à enjeu moyen près du pont de la RD1203.

La rive gauche de l'Arve possède des habitats à enjeu fort et à enjeu moyen sur des linéaires significatifs.

Les habitats naturels à enjeux forts sont surtout présents au niveau de l'Arve. Les enjeux les plus forts portent sur les habitats pionniers liés à la dynamique historique du cours d'eau et présents aujourd'hui à l'état de reliques. Leur maintien est conditionné par le maintien de la dynamique alluviale et la dynamique de mobilité des bancs, dont l'existence est elle-même conditionnée par la largeur suffisante (supérieure à 80m de lit actif) et le maintien à minima du transport solide existant. Cette remarque sur les habitats naturels est aussi valable pour la flore à enjeux.

### Flore patrimoniale

La flore patrimoniale est constituée d'espèces pionnières qui colonise les alluvions de l'Arve.

- Borne : Cyclamen rouge pourpre loin du système d'endiguement.
- Arve : Calamagrostide faux-phragmite, Souchet d'Autriche, Tamarin d'Allemagne (VU RA), Petite massette (fort enjeu EN RA et PN).

Les stations de flore patrimoniales ne sont pas étendues le long du système d'endiguement, elles restent ponctuelles.

### Flore envahissante

- Borne : Renouée du Japon, Robinier faux-acacia, Tête d'or, Buddleja du père David, développés surtout en amont de l'autoroute. Une station de Buddleja est présente à la confluence
- Arve : Renouée du Japon, Robinier faux-acacia, Tête d'or, Buddleja du père David, Balsamine à petites fleurs, Berce du Caucase. Les stations les plus importantes sont 2 spots de Buddleja, 2 stations de Robinier de part et d'autre du pont de la RD19 et des linéaires assez importants de Tête d'or près du pont de la voie ferrée.

Ces espèces pouvant rapidement masquer l'ensemble du parement et diminuer très fortement la visibilité lors des visites de site, il est important de réaliser un entretien annuel. Cet entretien des digues devra tenir compte de ces espèces envahissantes pour le choix des techniques de débroussaillage.

### Faune à enjeux

Parmi les espèces protégées recensées par Mosaïque, plusieurs espèces à enjeu moyen et fort ont été identifiées en bordure du Borne et de l'Arve.

La plupart sont des espèces d'oiseaux liés à la ripisylve ou aux bancs de graviers.

Le Castor fréquente l'Arve mais aussi le Borne.

Les espèces patrimoniales constituant un enjeu fort de conservation sur le secteur sont les suivantes :

Enjeu moyen		Enjeu fort	
oiseaux	Chardonneret élégant	Chevalier Guignette	
	Verdier d'Europe	Hirondelle de fenêtre	
	Serin cini	Martin-pêcheur d'Europe	
	Martinet noir		
	Petit gravelot		
	Harle bièvre		
mammifères	Muscardin	Castor	
chiroptères	Barbastelle d'Europe	Potentielles espèces arboricoles : Noctule de Leisler, Pipistrelle de Nathusius	
insectes	Lucane cerf-volant		

Tableau 22 : Faune à enjeux écologiques moyen et fort - indicatif

## 4.2 Analyse hydrologique locale

### 4.2.1 Régime hydrologique au droit de notre zone d'étude

Le bassin intermédiaire de l'Arve comprend la vallée alluviale de l'Arve, entre le Fayet et Bonneville, et les vallées affluentes du Giffre et du Borne, ainsi que des multiples torrents qui parviennent directement à l'Arve sur ce tronçon (Diosaz, Sallanches, Ugine, Foron du Reposoir, Bronze...). Le régime des cours d'eau y est de type nival, régime typique des rivières alpines de moyenne altitude avec des influences pluviales et glaciaires. Les graphes ci-après présentent les débits mesurés à la station de l'Arve à Sallanches et du Borne à Saint-Jean-de-Sixt, les stations les plus proches de la zone d'étude.

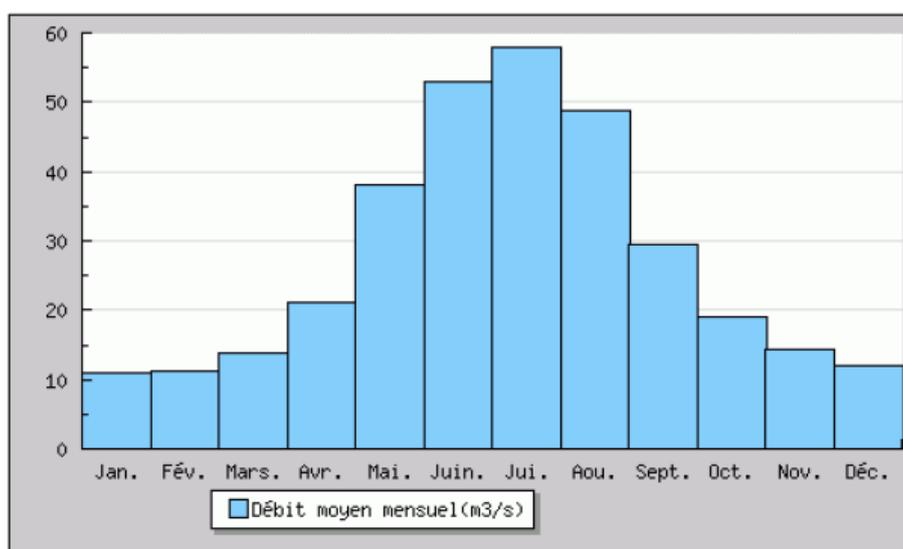


Figure 38 : Débit moyen mensuel de l'Arve à Sallanches – Période 1965 – 2018 – Source banque HYDRO

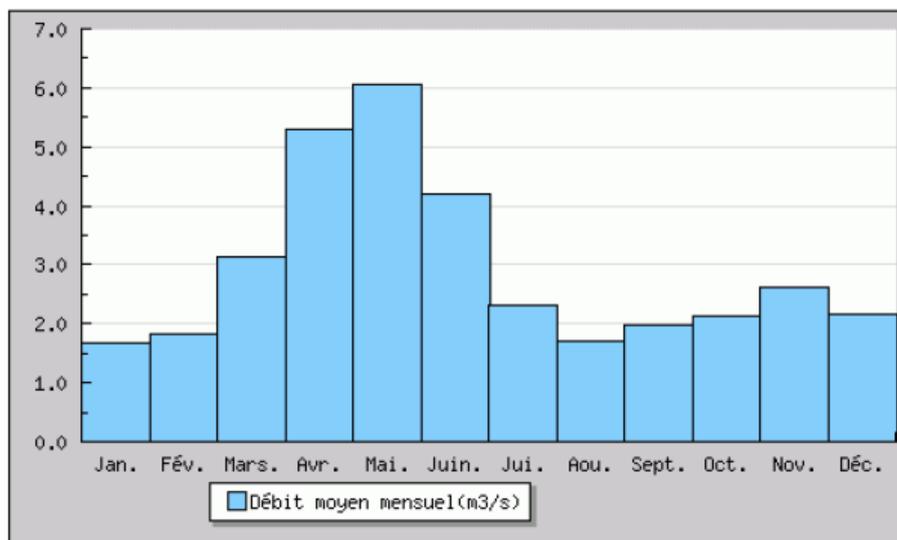


Figure 39 : Débit moyen mensuel du Borne à Saint-Jean-de-Sixt – Période 1964 – 2018 – Source banque HYDRO

Les deux bassins versants sont sensibles à la nivologie avec des débits maximaux intervenant en saison chaude lors de la fonte des neiges et des minima lors de la rétention nivale. L'altitude des sommets les plus élevés et la surface enneigée explique en partie la translation des pics de débits entre les deux bassins versants. Mais le facteur le plus important est la prise en compte de la pluviométrie. En effet, hormis le bassin du Chinailon, les affluents du Borne ne disposent pas de bassin versant suffisamment étendu pour générer à eux seuls de forts débits de crue liés à une pluviométrie accrue et soudaine.

Le bassin intermédiaire de l'Arve est exposé aux perturbations les plus fréquentes d'ouest (d'origine océanique) et est soumis 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 résultantes se manifestent principalement au printemps (pluie et fonte) et dans une moindre mesure en fin d'été.

#### 4.2.2 Débits caractéristiques et hydrogrammes des crues

Les principales crues ont lieu essentiellement en période de fonte des neiges, elles peuvent également intervenir à l'automne lors d'épisodes pluvieux intenses. Les crues de l'Arve et du Borne peuvent être concomitantes. Par ailleurs, un point de référence a été ajouté en amont de la confluence Borne/Arve (sur le Borne).

L'hydrologie de crue a été récemment actualisée sur la base de deux études EDF, portées par le SM3A :

- Etude des crues extrêmes du Borne à Saint-Pierre-en-Faucigny (149 km<sup>2</sup>) par la méthode SCHADEX pour SM3A, EDF, indice A, H-44200966-2020-000007, 14/01/2020
- Estimation de l'aléa crue de l'Arve à Bonneville (1353 km<sup>2</sup>), à la station EDF/DTG du Pont Neuf à Arthaz/Reignier (1635 km<sup>2</sup>) et au Pont d'Etrembières (1875 km<sup>2</sup>) par la méthode SCHADEX pour SM3A, EDF, indice A, H-44200966-2020-000284, 07/10/2020

Concernant les occurrences retenues sur l'Arve et le Borne, le parti a donc été pris de procéder comme détaillé ci-dessous :

Tableau 23 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze pour les crues du Borne - CNR

Période de retour Borne [ans]	Période de retour Arve [ans]	Arve (Bonneville) [m³/s]	Borne (Saint-Pierre-en-Faucigny) [m³/s]	Bronze [m³/s]
2	2	380.4	66.6	7.2
5	5	475.5	93.5	8.8
10	10	525.0	113.5	9.8
20	20	630.7	130.0	10.8
30	30	691.5	141.9	13.0
50	30	691.0	156.6	13.0
80	30	691.0	171.4	13.0
100	30	691.0	178.4	13.0
200	50	767.0	201.4	13.0
1000	50	767.0	254.7	13.0

Tableau 24 : Débits de pointe de l'Arve, du Borne et du Bronze (pour les crues de l'Arve de différentes périodes de retour) - CNR

Nom simulation	Période de retour Arve [ans]	Arve [m³/s]	Borne [m³/s]	Bronze [m³/s]
Q2	2	364.1	19.7	7.6
Q5	5	496.6	38.5	9.0
Q10	10	613.0	51.0	10.0
Q20	20	736.7	62.9	10.9
Q30	30	813.6	69.8	11.4
Q50	50	917.1	78.4	12.1
Q80	80	1028.3	86.3	12.7
Q100	100	1081.0	90.0	13.0
Q200	200	1244.1	101.5	13.9
Q300	300	1344.6	108.3	14.4
Q1000	1000	-	128.3	15.9

Ainsi dans le cadre de cette présente étude de dangers centrée sur les digues du Borne, les occurrence modélisées sont :

- **Q100 Borne** (178.4 m³/s) + **Q Arve** (691.0 m³/s)
- **Q300 Borne** (212.9 m³/s) + **Q Arve** (767.0 m³/s)

La figure ci-après présente les hydrogrammes de la crue centennale du Borne :

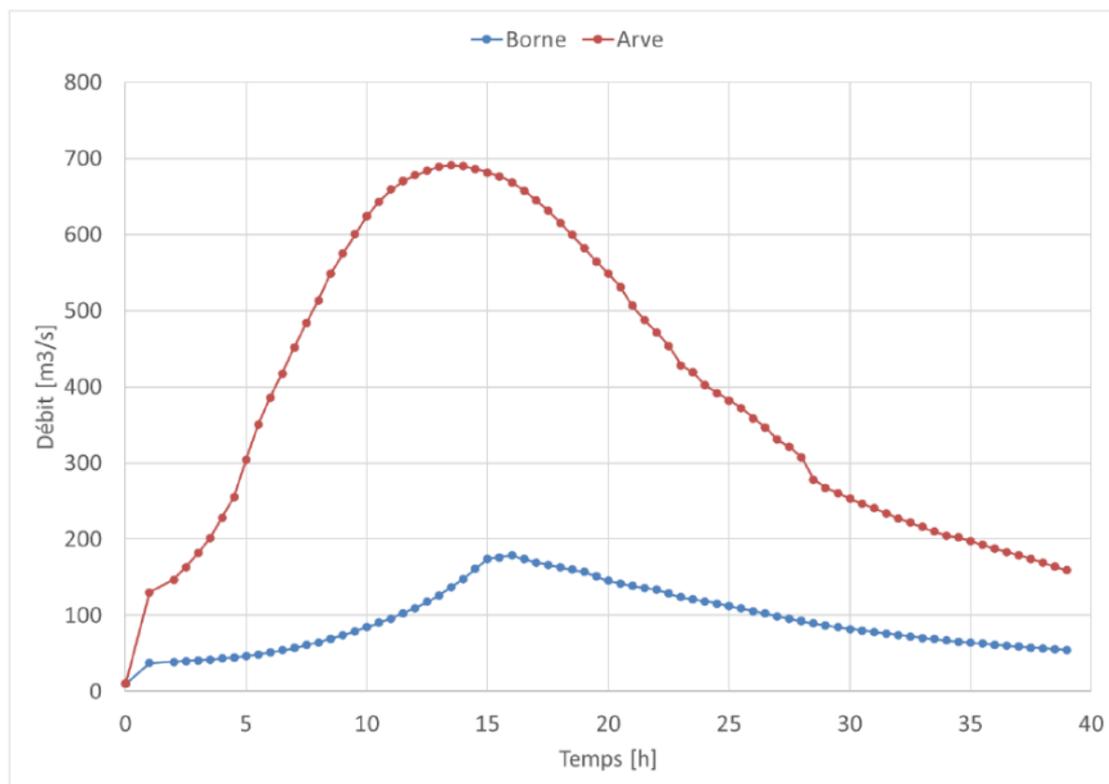


Figure 40 : Hydrogrammes de crues relatives à la crue centennale du Borne - CNR

### 4.2.3 Les crues historiques

Les principales crues ayant le plus impacté le système d'endiguement "Saint-Pierre entre Arve et Borne" ont principalement eu lieu de juin à novembre. La fonte des neiges et les orages d'été sont à l'origine des forts débits de juin à août. Les crues d'automne, septembre à novembre voire décembre, sont provoquées par des pluies chaudes associées à une remontée du vent du midi entraînant la fonte des zones de névés ou de glaciers. Ces crues sont des crues rapides, charriant une quantité importante de matériaux solides, et pouvant générer des dégâts importants sur les habitations. L'étude historique réalisée par la société Acthys Diffusion en Juillet 2017 [DA37] est un référentiel plus détaillé. Après 1968, la source des informations change au profit du PPRi de Bonneville en vigueur [DA5].

Le tableau suivant présente les crues majeures observées sur l'Arve et le Borne, avec, lorsque cela était disponible, les dégâts observés et les secteurs du système d'étude impactés.

Date	Cours d'eau	Descriptif	Digue(s) touchée(s)
14/09/1733	Borne	Importante crue du Borne, lit comblé jusqu'au-dessus des terrains. 51 ha sont inondés à Bonneville, 66 à Pontchy, 16 à Ayze.	Non précisé
27/07/1758	Borne	Les digues sont rompues en deux endroits. Le torrent se jette dans la plaine de Pontchy.	Dessy amont/aval – Vorzier T03
25-26/10/1778	Arve/Borne	Très forte crue de l'Arve. La plaine est inondée de part et d'autre. Le lit de la rivière s'est déplacé en plusieurs endroits. Crue du Borne. Les digues en pierre établies latéralement au cours du torrent de Borne sont considérablement endommagées	Dessy amont/aval – Vorzier T01/T02/T03 – Les Ouches
16-17/09/1852	Arve	L'Arve connaît une nouvelle grande crue à la suite de pluies diluviennes associées à un vent chaud. Le volume total écoulé est estimé à l'époque à 192 Mm <sup>3</sup> . Les eaux atteignent 2.50m à l'échelle du pont de Bonneville (447.21m NGF). Le faubourg des Places est inondé sous deux mètres d'eau. Toutes les digues existantes sont surpassées.	Bordets T01/T02 – Places T01/T02
01/11/1859	Arve/Borne	Grande crue de l'Arve. Selon les témoins, il s'agit de la plus forte connue à cette date. Le volume total écoulé est estimé à 204 M m3. Les eaux atteignent 2.83 m à l'échelle. A tempérer toutefois par le fait que le débouché du pont a été réduit en 1853. On relève dix brèches en rive gauche amont : - 2 sur la digue non perreyée située en amont immédiat du pont - 7 plus en amont, pour un total de 400m - 1 brèche de 192 m en amont de l'embouchure du torrent du Bronze Crue du Borne. Au niveau de la confluence, les digues rive droite sont dépassées et détruites sur 381 m de long. Vingt ans plus tard, cette longue brèche ne sera toujours pas réparée. On constate au même moment que depuis les endiguements achevés en 1838, le lit du Borne s'est creusé de plus de 1.50m sur sa section amont et, à l'inverse, s'est exhaussé de près de 2 m à l'aval. A tel point que le secteur de Bois Jolivet se trouve désormais en contrebas des eaux ordinaires du Borne.	Merlon Prison – Bordets T01/T02 – Places T01/T02
31/09/1860	Arve	Forte crue de l'Arve. Les terres riveraines du secteur des Places sont inondées. On relève une brèche à la digue Places T1 et deux brèches à 800m en amont du pont de Bonneville. Trois personnes sont emportées.	Places T01 – Bordets T01
10-11/06/1864	Arve	La crue de l'Arve fait suite à de fortes pluies entre le 09/06 à 16h et le 11/06 à 2h du matin. Les eaux	Bois Jolivet A – Bordets T01 – Places T01/T02

		s'élèvent à 1.76m au pont de Bonneville et atteignent le couronnement des digues rive gauche 150m en aval du pont. Une digue rompt en amont du pont. La RD4 et des terrains de la plaine de Ponchy et du faubourg des Places sont submergés. On relève jusqu'à 60cm d'eau dans les maisons.	
13-14/08/1866	Arve	La crue de l'Arve atteint 2.50 m au pont de Bonneville. Plusieurs brèches s'ouvrent sur les deux rives sur une longueur cumulée de 270 m. Trois brèches sont identifiées rive gauche : deux de 70 et 52 m à environ 2 km en amont du pont, et une de 9 m à environ 1200 m du pont, associée à un endommagement sur 60 m de longueur un peu plus en aval. On enregistre à cette occasion entre 1,50 et 2 mètres d'eau dans les maisons du faubourg des Places. Suite à cette crue, exhaussement du lit de l'Arve à Bonneville.	Bordets T01/T02
25/05/1968	Arve	Un violent orage est à l'origine d'une crue subite de l'Arve et de ses affluents. Les eaux atteignent 2.70 m au pont de Bonneville. Les digues rompent à 2 km en amont de la ville (aval Bordets T2), avec formation d'une brèche dans la levée en terre de la Bergerie. Les eaux se répandent dans le quartier des Places où 30 maisons sont inondées jusqu'au 1 <sup>er</sup> étage. Le village de Pontchy est sous les eaux, la RD4 partiellement coupée.	Bordets T02
21-23/09/1968	Arve/Borne	Forte crue de l'Arve. En dépit d'un enfoncement d'environ 1,50 m du lit consécutif aux extractions, les eaux atteignent la cote 3.12 m au pont de Bonneville. De nombreux quartiers sont inondés sur les deux rives. En rive gauche, le quartier des Places est sous l'eau, tout comme l'avenue des Glières, le Bois Jolivet, le quartier des Iles et la place de la Liberté. La crue concerne également le Borne. La digue rive droite protégeant la nouvelle prison est affouillée sur 63 m et bascule dans le torrent. L'établissement n'est pas encore occupé.	Bois Jolivet A/B – Bordets T01 – Places T01/T02 – Merlon Prison
05/07/1980	Arve	Forte Crue. Débit évalué à 720m <sup>3</sup> /s.	-
11/10/1981	Arve	Crue forte à l'aval de Passy, seuil de Sardagne emporté.	-
14/07/1987	Borne	Crue meurtrière au grand Bomant. 23 personnes décédées.	Amont projet
10-11/10/1988	Arve	L'Arve déborde en aval d'Arthaz-Pont-Notre-Dame et Reigner. Le charriage de la rivière coupe la route CD202, cours et caves inondées.	-
15/02/1990	Arve	Crue du bassin moyen et aval seulement.	-
24-25/07/1996	Arve	Orages violents, fonte glaciaire et formation de poches sous-glaciaires. Le débit de l'Arve à Chamonix 125m <sup>3</sup> /s, légèrement inférieur à Q10 au barrage des Houches (160m <sup>3</sup> /s).	

Tableau 25 : Description des crues historiques – source étude historique réalisée par Acthys Diffusion [DA37]

#### 4.2.4 Influence aval

Les niveaux variant en fonction du temps en aval de la zone d'étude sont extraits du modèle ISL au niveau de la Passerelle SM3A (PK24.1). Cette courbe est présentée ci-après. Elle permet d'approcher au mieux les points de calculs et d'établir une relation niveau/débit à l'aval du modèle valable sur une plage de débit suffisante pour atteindre la crue millénaire.

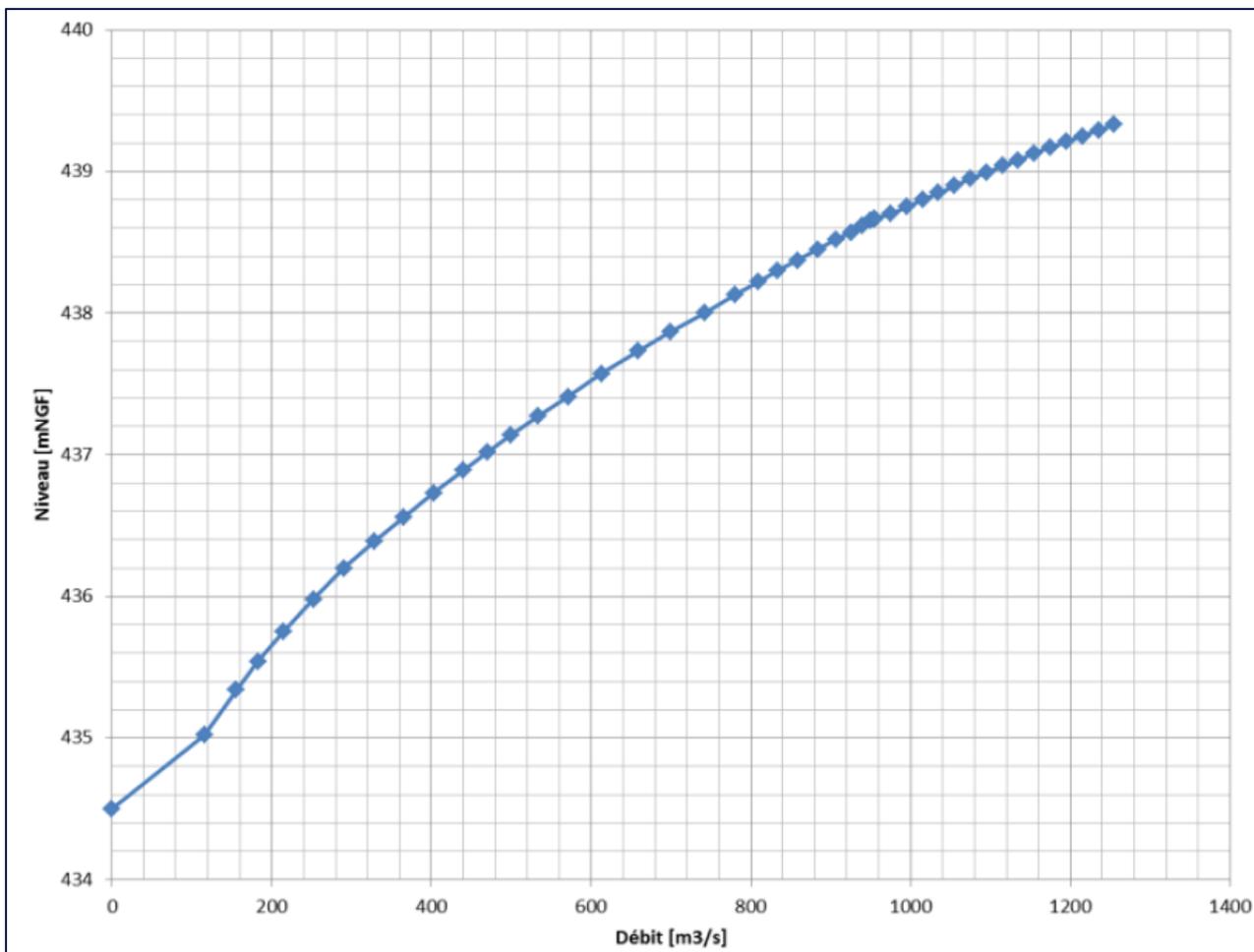


Figure 41 : Construction de la courbe de tarage à l'aval du modèle

## 4.3 Analyse hydraulique

### 4.3.1 Le code de calculs Telemac-2D

Pour plus de détails, voir l'annexe 6 – étude hydraulique, CNR.

L'analyse du fonctionnement hydraulique du secteur des endiguements a été réalisée à l'aide du logiciel « Telemac-2D ». Ce code de calculs résout les équations de Barré-Saint-Venant en deux dimensions horizontales. Ses résultats principaux sont en chaque point du maillage de résolution (ensemble des points de calculs), la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale.

### 4.3.2 Emprise du modèle

Le périmètre de l'étude hydraulique concerne :

- Les lits mineurs :
  - Arve : 9.2 km
  - Borne : 4.2 km
- L'ensemble des zones urbaines et naturelles (forêts, plaine, ...) potentiellement inondé par une crue et/ou une rupture d'une digue.

Le modèle hydraulique couvre une superficie totale de 12.4 km<sup>2</sup>.

Les petits ruisseaux, autres que le Bonze, s'écoulant à proximité de la zone d'étude ont des apports négligeables par rapport au débit induit par les crues des cours d'eau principaux. Ils ne sont donc pas intégrés dans l'étude.

Le modèle représente le Borne du Pk4.2 au PK0 jusqu'à la confluence avec l'Arve et l'Arve du PK33.3 au PK24.1.

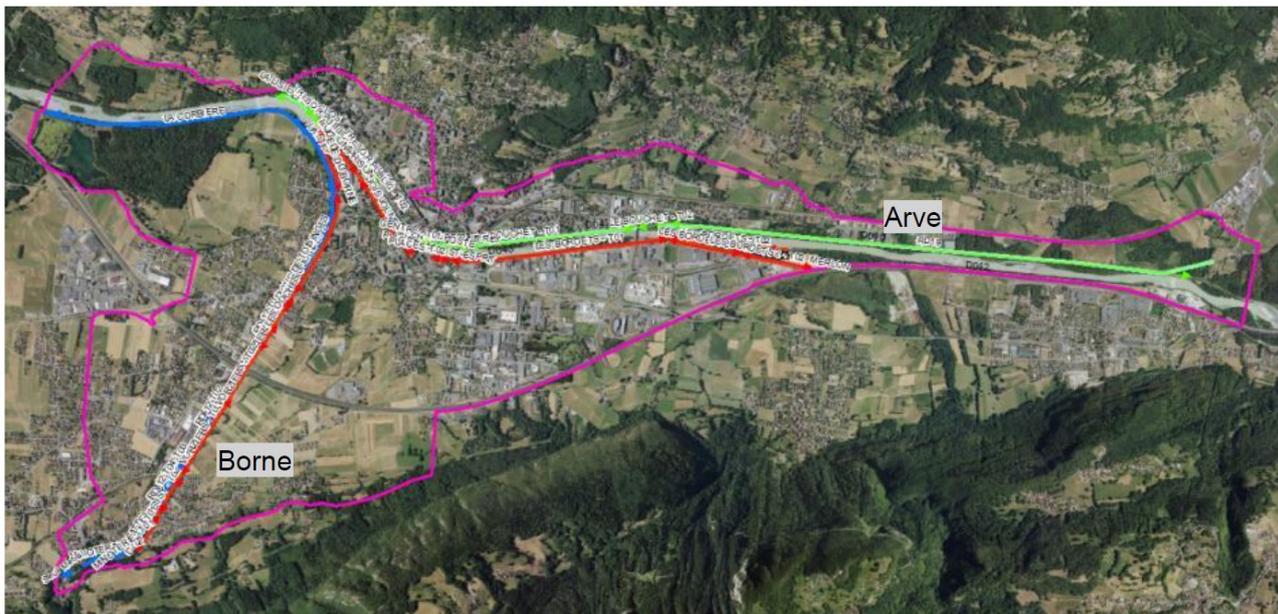


Figure 42 : Périmètre du modèle hydraulique (rose)

### 4.3.3 Modélisation des ponts et ouvrages

Les ouvrages principaux ont été modélisés de la manière suivante :

- Les ponts par les données topographiques et la prise en compte des piles de pont ;
- Les seuils (lit mineur) et les trémies (passage lit majeur) directement dans la bathymétrie du modèle ;
- Les ouvrages annexes types buses, sont modélisés comme des ouvrages souterrains.

### 4.3.4 Le calage du modèle

Le calage du modèle consiste à assigner aux paramètres de calage (principalement le coefficient de frottement sur le fond, ici le coefficient de Strickler) les valeurs qui permettent au modèle de reproduire aussi fidèlement que possible les écoulements naturels observés tout en gardant un sens physique sous-jacent.

La reprise du calage du modèle 2D Telemac de CNR est décrite dans le rapport CNR de mai 2021 faisant une description de la modélisation hydraulique.

Ceci permet de :

- Maintenir une certaine homogénéité des résultats entre les modèles déjà existants ;
- Préciser les résultats sur des zones plus restreintes et au droit d'habitations grâce au maillage en 2 dimensions affiné.

Sur le Borne, tout en gardant une cohérence sur les coefficients de rugosité, le calage du modèle 2D CNR permet de reproduire les résultats du modèle HEC RAS avec une précision en moyenne inférieure à 20 cm pour 140 et 180 m<sup>3</sup>/s (Q100).

Sur l'Arve, le calage avec le modèle ISL s'est concentré sur la crue de mai 2015. Des différences de modélisation importantes ont été observées lors de la phase calage. Ces écarts sont principalement liés à une différence de paramétrisation du pas de temps de calcul. Des adaptations sur les coefficients de rugosités CNR ont permis de retrouver des niveaux similaires pour les deux modèles.

Les écarts entre les deux modèles sont inférieurs à 10 cm sur le linéaire, à l'exception de deux zones particulières :

- PKA 26.6-27.2 (correspond au linéaire de l'endiguement « Bois Jolivet A ») : le modèle CNR donne un exhaussement de la ligne d'eau par rapport à la référence. Le coefficient de Strickler n'a pas été augmenté artificiellement pour abaisser la ligne d'eau car le calcul du modèle ISL n'est probablement pas très fiable sur ce court linéaire. En effet, les vitesses sont élevées et le pas de temps de ce modèle semble trop fort pour cette crue notable (T>50ans).
- PKA24.5-25.2 (vers le milieu de Corbière) : l'utilisation du récent levé LIDAR pour les parties non émergés met en avant une zone avec des atterrissements. La mise à jour de la bathymétrie sur ce linéaire explique les écarts entre les deux modélisations.

Etant donné ces observations, il est proposé de retenir une précision moyenne équivalente au Borne soit environ 20 cm jusqu'à la crue de calage de mai 2015 (période de retour supérieure à 50 ans).

L'occupation des sols est aussi intégrée dans la définition des coefficients de rugosité du champ majeur.

Le détail du calage et de la construction du modèle sont présentés dans l'annexe hydraulique.

**Le modèle utilisé inclut ces éléments :**

- **Bathymétrie Arve : 2017**
- **Prise en compte de l'AVP du Borne**
- **Calage Strickler sur le Borne : 22 m<sup>1/3</sup>/s (validé par SM3A au début des études)**
- **Calage Strickler sur l'Arve : 35 m<sup>1/3</sup>/s (validé par SM3A lors de la réunion du 16/02/2022 et le rapport de CNR du 26/05/2021).**

## 4.4 Risque sismique

L'impact d'un séisme sur les ouvrages est étudié au titre des obligations de l'arrêté de 2008 [DA2].

### 4.4.1 Position des ouvrages vis-à-vis des séismes

La prise en compte de l'aléa séisme et la justification de stabilité des digues et barrages étaient jusqu'à présent peu codifiées et affaire de spécialistes.

Le décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 a défini un nouveau zonage sismique de la France allant de la zone 1 (sismicité très faible) à la zone 5 (sismicité forte). Les ouvrages du système d'étude St-Pierre-en-Faucigny entre Arve et Borne se situent en zone 4 (sismicité moyenne).

La figure suivante présente les échelles de magnitudes, d'intensité et le zonage sismique en vigueur en France jusqu'au 22 octobre 2010, ainsi que la carte du nouveau zonage depuis cette date. La carte suivante présente les zones de sismicité au niveau de Rhône Alpes suivant cette

nouvelle réglementation. En référence à cette carte on note que le secteur de Bonneville se situe dans une zone de sismicité moyenne.

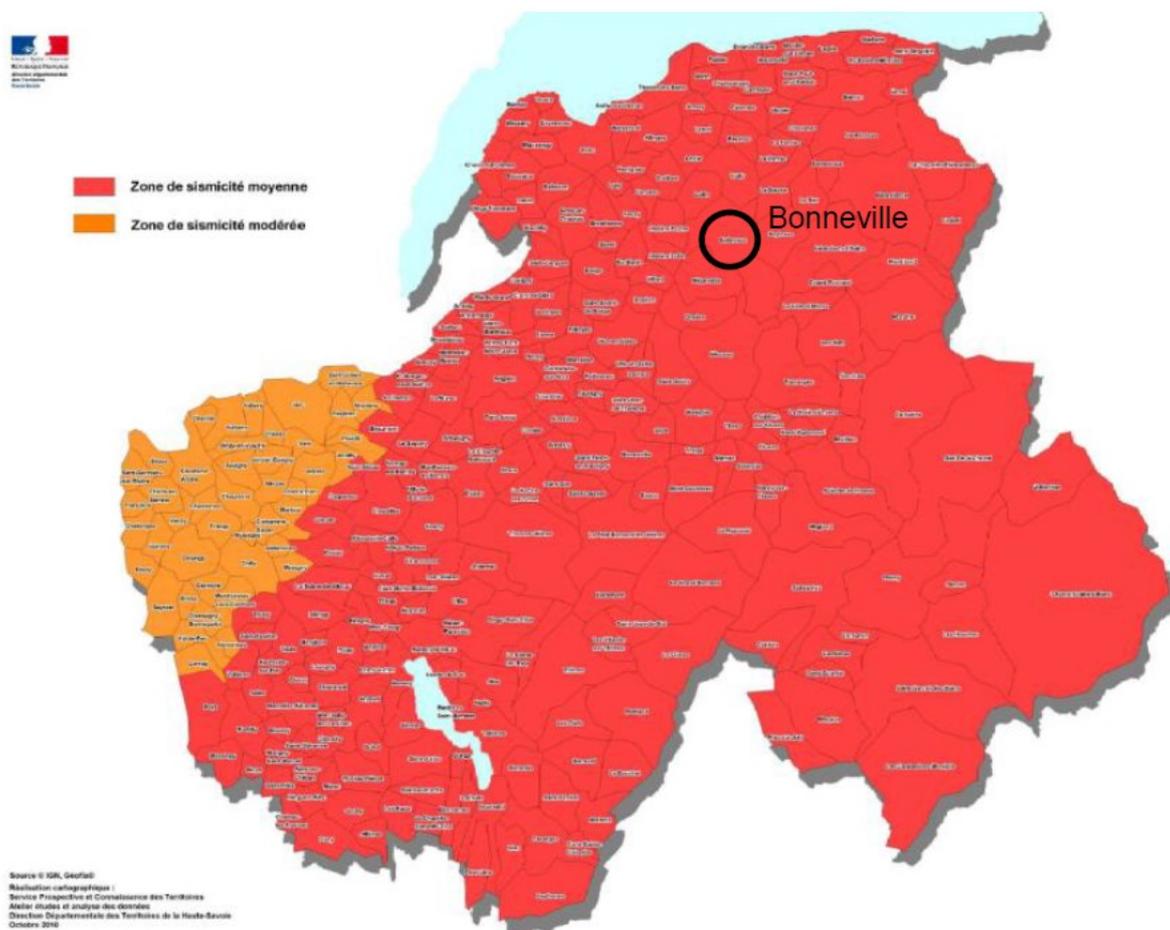


Figure 43 : Zone de sismicité de la Haute-Savoie – Source [www.haute-savoie.gouv.fr](http://www.haute-savoie.gouv.fr)

#### 4.4.2 Evolution de la réglementation

Un projet d'arrêté ministériel fixe des prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les barrages et les digues afin que leur sûreté soit assurée dans les cas de charge et d'exploitation prévisibles. Parmi les cas de charge et d'exploitation prévisibles, est abordé notamment le séisme. Ceci amènera le SM3A à compléter l'approche de la question sismique qui est faite dans ses études de dangers. Notamment, la concomitance des phénomènes crues et séismes sera analysée pour évaluer la probabilité d'occurrence de l'évènement redouté.

#### 4.5 Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol ; il est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Il est dû à des processus lents de dissolution ou d'érosion favorisés par l'action de l'eau et de l'homme.

Les bases de données du BRGM et de géorisque ont été consultées. Aucune zone présentant des risques d'instabilité (éboulement, affouillement ou glissement) n'a été identifiée sur les digues du secteur. Le risque vis-à-vis des effondrements ne nécessite donc pas d'étude complémentaire.

## 4.6 Les embâcles et leurs effets potentiels

Si le tirant d'air sous un pont est faible, un risque d'embâcle est à craindre. Les embâcles peuvent créer un exhaussement des niveaux et potentiellement des débordements.

Sur le Borne, 3 ouvrages type pont sont recensés. Il est à noter l'absence de piles centrales sur ces ponts.

Le tableau ci-dessous présente les hauteurs d'air libres sous ces ouvrages pour les crues Q100 et Q200.

Identifiant	Nom	Rivière	PK	Tablier Pont	Q100 180 m <sup>3</sup> /s	Q200 195 m <sup>3</sup> /s	Tirant d'air Q100	Tirant d'air Q200
PB4	Pont D1203*	Borne	1.4	453.82	451.9	452	1.92	1.82
PB4	Pont D1203*	Borne	1.3	454.17	451.9	452	2.27	2.17
PB5	Pont de Toisinges	Borne	0.6	447.63	446.5	446.6	1.13	1.03

\*Il s'agit de deux ouvrages avoisinants, un dans chaque sens de circulation sur RD1203

**Tableau 26 : Ponts présents sur la zone d'étude**

Suivant ce tableau, les hauteurs d'eau minimales d'air libre pour la Q200 sont :

- 1.44 m sous le pont de la RD1203 (pont Royal) ;
- 1.03 m sous le pont de Toisinges pour le Borne.

**Ces hauteurs sont largement suffisantes pour évacuer les potentiels sujets ligneux qui se retrouveraient dans les cours d'eau en crue. Le risque d'embâcle est donc improbable sur les ouvrages identifiés. La ligne d'eau Q300 est environ 10-15 cm au-dessus de la Q200 (le tirant d'air est également suffisant).**

Il est à noter qu'un diagnostic de la végétation a été réalisé par la société Arbeausolution (Réf. [DA38]). Suivant ce diagnostic, environ 2 383 sujets ont été recensés sur les digues du système d'endiguement. Parmi ces sujets, 77% présentent un diamètre inférieur à 50 cm et environ 1% des sujets présentent un diamètre supérieur à 1 m.

## 4.7 Les évolutions morphologiques locales et apports solides

Le profil en long du Borne sur le secteur de Bonneville est globalement stable à l'heure actuelle. La construction du seuil du Pont du Diable devrait néanmoins créer une légère incision à l'aval, en amont du Seuil Métral, dans les années futures. La zone la plus à risques en termes d'engravement se situe à l'aval du pont de l'A40 jusqu'à la confluence avec l'Arve ou la pente du cours d'eau diminue, favorisant la dépose de sédiments. En période de crue ces phénomènes seraient plus marqués. Cet engravement est estimé à **environ 50 cm** d'épaisseur en corrélant avec les évolutions prévisibles de l'Arve. Nous rappelons que la revanche des digues en état de travaux achevés est de 1 m et comprend donc le risque d'engravement.

## 4.8 Les laves torrentielles et leurs effets potentiels

Sans objet.

## 5. DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Ce chapitre est centré sur les digues du Borne rive droite. Les éléments relatifs aux digues de l'Arve rive gauche seront apportés dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve », conformément à la réunion du 21/06/2023 (cf. § 0.3.2).

### 5.1 Ouvrages existants

#### 5.1.1 Identification et localisation des ouvrages

Le système d'endiguement **Bonneville entre Arve et Borne** est situé entièrement sur la commune de Bonneville dans le département de la Haute-Savoie (74). Il a été classé sous l'identifiant : **ARVE-RG-BONNE-26.24**.

La figure ci-dessous est un plan de recollement de la zone d'étude et son environnement principal.

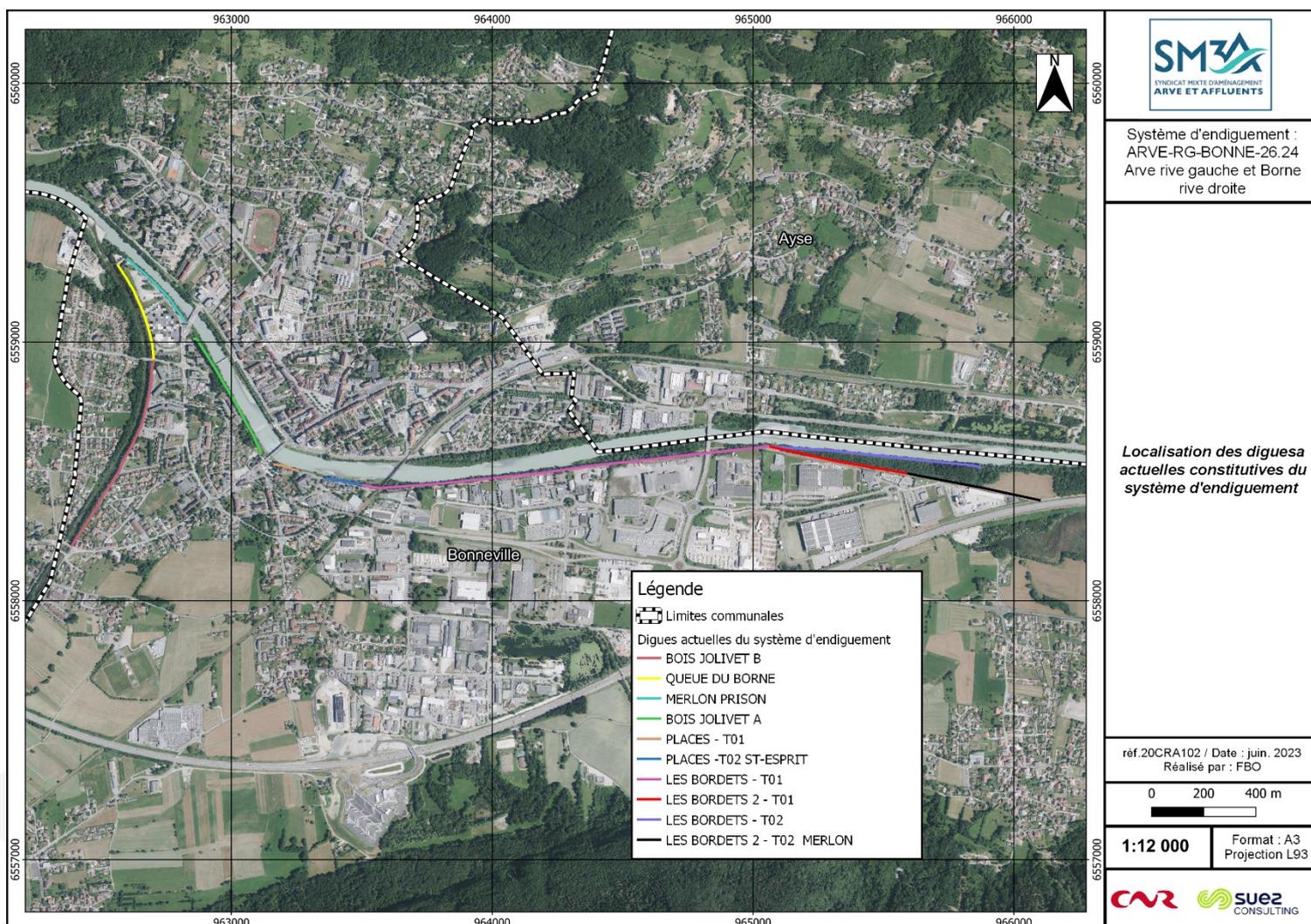


Figure 44 : Carte de localisation des tronçons du système d'endiguement de Bonneville Entre Arve et Borne

## 5.1.2 Caractéristiques de dimensionnement générales

Ce paragraphe est en partie extrait du dossier d'ouvrage du système d'endiguement de Bonneville entre Arve et Borne [21], de l'étude historique [20] et des visites réalisées sur les digues en 2017 [24].

### 5.1.2.1 Historique

Les digues de l'Arve et du Borne constituent des digues dites « sèches » (ou de protection contre les inondations) dans la mesure où elles ne maintiennent pas une charge hydraulique permanente entre la rivière et le côté terre (val). Elles assurent ce rôle de manière temporaire en période de crue lors des plus hautes eaux.

Le début de l'endiguement le long de l'Arve et du Borne est probablement très ancien, antérieur à la période Sarde. Les premiers programmes importants de travaux le long de l'Arve datent du XVIIIème siècle. Ultérieurement, 30 km de digues furent construits entre 1824 et 1872 le long de l'Arve. Les éléments plus précis de l'étude historique sont présentés dans l'étude ACTHYS Diffusion.

Jusqu'à cette période, les riverains de la rivière étaient très souvent affectés par les conséquences des crues, où ponts, maisons et berges étaient très souvent emportés par les crues, les lits de l'Arve et du Borne divaguant largement dans la vallée. C'est pourquoi d'importants travaux de rectification de berge furent entrepris pour fixer une fois pour toutes le pied du lit de l'Arve et du Borne.

D'une manière générale, les observations sur le site rendent compte de la protection en maçonnerie des parements amont, avec de nombreux murs/murets et perrés le long des cours d'eau.

Cet endiguement progressif correspondait de plus à une nécessité de canaliser les eaux en période de crue, dont les lits s'exhaussaient largement et continuellement, compte tenu des importants apports de matériaux issus du bassin versant.

Mais ce fut au cours des années 1970, lors de la construction de l'autoroute Blanche, que l'on multiplia les protections le long des berges de l'Arve.

### 5.1.2.2 Digue des Bordets 2 - T02 Merlon

Type : Digue remblais

- Date de construction : > 2011 ;
- Cours d'eau : Arve rive gauche ;
- Limite amont : A40, en retrait par rapport à la berge de l'Arve ;
- Limite aval : déchetterie Bordets ;
- Ouvrage récent composé d'un talus de faible hauteur, constitué de remblais issus de la construction de l'extension de la zone d'activité située à proximité ;
- Le linéaire total est de 519 m pour une hauteur maximum de 1,1 m et un fruit du talus 2H/1V. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 0,8m pour une hauteur minimum de 0,2m ;
- Les reconnaissances géophysiques ne semblent pas indiquer la présence de réseaux ;
- Une voie de circulation en crête, où des engins et des piétons peuvent circuler ;
- Pas de végétation, si ce n'est la présence d'herbe ;

- Un point bas sur l'amont du tronçon permet le passage des engins agricoles.

A noter la présence d'un point bas à hauteur de la jonction avec l'autoroute blanche au niveau du chemin d'accès réservé à la maintenance des ouvrages.



Figure 45 : Bordets 2 - T02 Merlon : Profil historique - Acthys Diffusion / Photo du profil de digue vue vers l'aval (CNR)

### 5.1.2.3 Digue des Bordets 2 - T01

Type : Digue en remblais, prolongement du tronçon T02 Merlon : géométrie identique.

- Date de construction : 2004-2010
- Cours d'eau : Arve rive gauche
- Limite amont : déchetterie Bordets
- Limite aval : amont champ cultivé en bordure de l'Arve
- Talus de faible hauteur qui pourrait être constitué des matériaux de déblais issus des travaux du parc d'activités. On notera à l'aval de l'ouvrage, un talus en terre plus élevé, rajouté très récemment, sans doute début 2017.
- Le linéaire total est de 538m pour une hauteur maximum de 1,1m et un fruit du talus 3H/2V. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 0,8m pour une hauteur minimum de 0,2m.
- Les reconnaissances géophysiques ne semblent pas indiquer la présence de réseaux
- Une voie de circulation, où des engins peuvent circuler, se situe à proximité directe et la circulation piétonne est possible en crête.
- Présence de nombreux arbres côté rivière (saules, peupliers) mais qui ne semblent pas influencer sur la stabilité de l'ouvrage.

### 5.1.2.4 Digue des Bordets - T02

- Digue en remblais avec dénivelé aval très faible (assimilable à une berge)
- Date de construction : 1833-1835

- Cours d'eau : Arve rive gauche
- Limite amont : amont champ cultivé en bordure de l'Arve
- Limite aval : amont bâtiment SOCOPA viandes
- Ouvrage qui date de la période sarde, non réhabilité malgré plusieurs projets. Le profil des digues est trapézoïdal, avec enrochement en jetée rangé en forme de glacis côté rivière et en mur taluté côté plaine. Aujourd'hui c'est toujours l'ouvrage initial qui est en place, mais très détérioré : les enrochements et les murs sont complètement déstructurés et certains endroits ne s'effondrent pas uniquement grâce à la végétation (Figure 46). Les réparations aux brèches survenues lors des crues de 1852, 1859, 1863 et 1866 consistent généralement en un talus en perré maçonné côté rivière avec rechargement en enrochements. Ces réparations sont ponctuelles.
- Le linéaire total est de 817m pour une hauteur maximum de 1m et un fruit du talus 1V/1V à subvertical. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 0,8m.
- Pas de chemin en crête, mais circulation théorique d'engins possible en pied côté talus aval.
- De nombreux ligneux instables sont implantés en crête de l'ancienne digue embroussaillée côté terre et côté rivière (centenaires pour certains). Le talus côté rivière est haut et pentu. En cas d'affouillement de la base un glissement d'ensemble pourrait avoir lieu.



Figure 46 : Les Bordets T02 : Profil historique - Acthys Diffusion



Figure 47 : Les Bordets T02 : Profil de digue très végétalisé en crête comme en talus amont (CNR)

### 5.1.2.5 Digue des Bordets – T01

Type : digue en remblais

- Date de construction : 1835-1836, 1875-1876
- Cours d'eau : Arve rive gauche
- Limite amont : amont bâtiment SOCOPA viandes
- Limite aval : viaduc SNCF
- La digue est établie à la période sarde. Sa partie amont, réalisée en enrochements grossiers, n'a pas connu de modifications majeures depuis (A). L'ancienne confluence du Bronze marque la limite des travaux de rehaussement et de renforcements réalisés en aval en 1876 (B), la digue initiale est remblayée et un glacis en pierre maçonnée est mis en place sur la pente amont (Figure 48).



Figure 48 : Localisation des différentes formes de digues secteur BORDET - T01

Les très nombreuses brèches qui se sont produites lors des crues des années 1850 et 1860 ont été réparées avec des techniques variées : pieux et fascines côté Arve ou plaine, perré, rechargement en enrochements, création ou exhaussement du talus, etc. Les linéaires de ces multiples réparations n'excèdent parfois pas quelques mètres. Ils ne seront pas représentés sur les profils généraux. Ce tronçon est fortement érodé en pied avec un phénomène de sous-cavage important.

- Le linéaire total est de 1563m pour une hauteur maximum de 2,4m et un fruit du talus 3H/2V à subvertical. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 2m (0.7m en partie A).

- Présence d'un chemin en crête ainsi que d'une voie circulaire côté talus aval, permettant l'accès à différents engins.
- Nombreuses broussailles que ce soit côté talus amont ou aval avec une densité importante de hauts ligneux venant déstructurer le perré, accentuant le risque de glissement de l'ensemble du talus.



Figure 49 : Les Bordets T01 : Profil historique - Acthy Diffusion



Figure 50 : Les Bordets T01 : Vu depuis la rive droite, zone de SOCOPA - CNR

#### 5.1.2.6 Digue des Places -T02

Type : Digue en remblais circulable. Prolongement des Bordets T01 en partie amont, couronnée par du béton en partie aval (quai).

- Date de construction : 1740, 1840-1842, 1875-1876, fin XXème
- Cours d'eau : Arve rive gauche
- Limite amont : haut rue Paul Verlaine
- Limite aval : bas rue Paul Verlaine
- Aujourd'hui, le couronnement de l'ancienne digue (merlon) est bien visible, avec localement quelques perrés apparents. Le talus incliné, construit au-dessus du mur droit,

est également discernable, tout comme les aménagements de la fin du XXème siècle, formant risberme. On constate l'abaissement du lit de l'Arve, avec au droit de cette digue une zone de dépôt alluvionnaire. Une promenade en béton a été établie au-dessus du couronnement de la digue lors de la construction de la barre d'immeubles. Le faible dénivelé entre le sommet du talus et la route est sans doute à rattacher à un remblaiement survenu lors de l'urbanisation du quartier dans les années 1990. Les ouvrages en bois et pierre réalisés au XVIIIème siècle sont peut-être présents localement au-dessous du mur droit (Figure 50). Le talus en pied de franc bord est érodé.

- Le linéaire total est de 139m pour une hauteur maximum de 1,4m et un fruit du talus 1H/1V à vertical. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 1m.
- Présence d'un chemin en crête ainsi que d'une voie circulaire côté talus aval, permettant l'accès à différents engins. Il faut noter la présence de barrières qui devraient être retirées en cas d'intervention.
- • Plusieurs arbres sont implantés côté rivière (frênes, tilleuls) et côté terre (alignement de tilleuls), mais dans l'ensemble la digue est bien visible et la densité d'arbres localisés sur le perré est assez faible pour ne pas nuire à la stabilité globale.

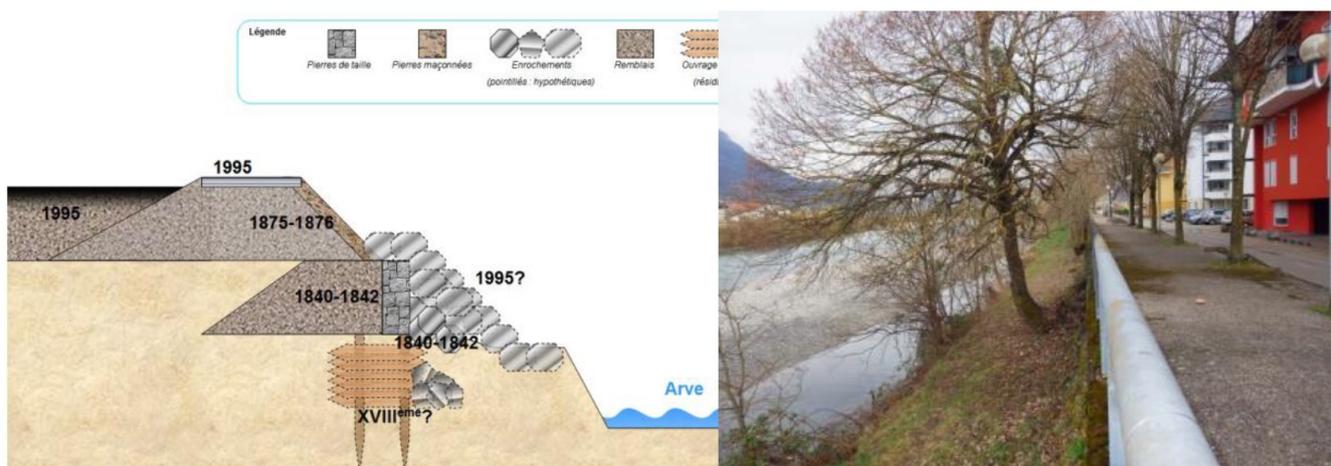


Figure 51 : Les Places T02 : Profil historique - Acthys Diffusion / Profil de digue – CNR

### 5.1.2.7 Digue des Places - T01

**Type : Digue en terre partiellement circulaire (présence d'un parking sur les 40m aval)**

- Date de construction : XVIIIe, 1840-1842, 1875-1876, 1995
- Cours d'eau : Arve rive gauche
- Limite amont : Monastère
- Limite aval : 1ère maison à 50 m environ en amont du pont
- Aujourd'hui, on distingue la partie amont de la digue au profil vertical, de la partie aval plus inclinée. Dans les deux cas, les ouvrages plus récents peuvent recouvrir partiellement ou totalement des portions de la digue établie dans les années 1820, sans qu'on puisse toutefois en préciser l'emplacement exact. L'enfoncement du lit depuis de la seconde moitié du XXème siècle explique le caractère perché des ouvrages au-dessus du lit de l'Arve avec la création d'une petite risberme naturelle. D'après les visites sur site, l'ouvrage semble en bon état.
- Le linéaire total est de 94m pour une hauteur maximum de 1,4m et un fruit du talus 1H/1V à vertical. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 1m.

- Pas de chemin en crête, mais un accès possible à différents engins sur les 40 derniers mètres à l'aval juste avant le pont au niveau du parking.
- Présence de groupements d'arbres (gros diamètres > 1m) implantés dans le mur, certes avec une faible densité, mais venant créer une déstructuration très importante des pierres de tailles appareillées.

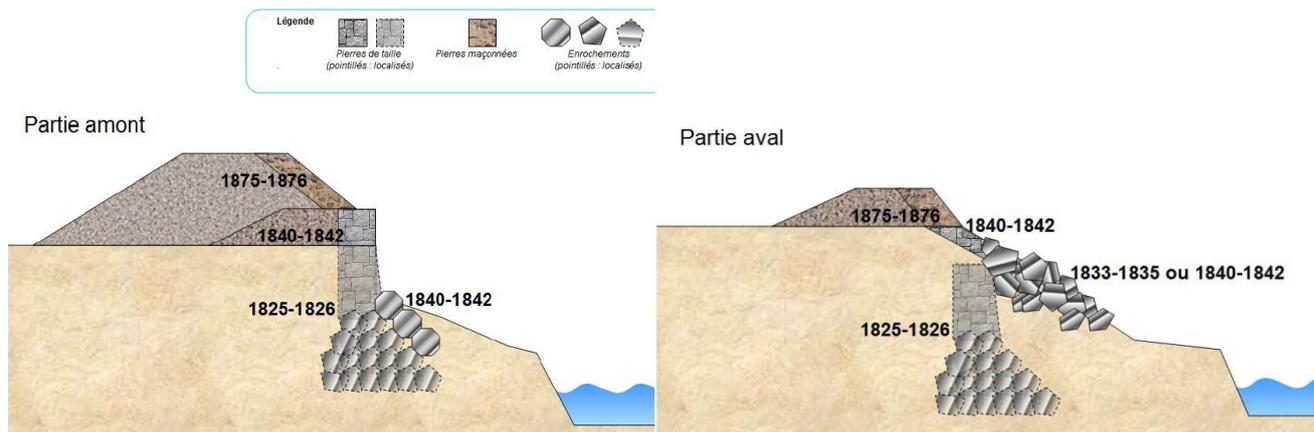


Figure 52 : Les Places T01 : Profils historiques - Acthys Diffusion



Figure 53 : Les Places T01 : Profil de digue aval / amont – CNR

### 5.1.2.8 Digue du Bois Jolivet A

Type : Digue remblais partiellement circulaire

- Date de construction : 1852, 1874, 1879, 1980, 2004-2006
- Cours d'eau : Arve rive gauche
- Limite amont : Seuil aval pont de Bonneville
- Limite aval : amont rond-point pont prison
- Structure très complexe bâtie en plusieurs étapes clefs :
  - Partie A : de son origine (seuil) à la portion détruite en 1863 (environ 40 mètres) ;

- Partie B : de ce point au raccordement (environ 30 mètres) ;
- Partie C : la partie constituée des deux couches (construction en 1852, rehaussement en 1874), sur 220 mètres ;
- Partie D : partie prolongée en 1879, non reprise en 1980 (environ 100 mètres) ;
- Partie E : partie prolongée en 1879, reprise en 1980 (environ 80 mètres) avec talus en remblai du XXI<sup>ème</sup> siècle ;
- Partie F : partie construite en 1980 avec talus en remblai du XXI<sup>ème</sup> siècle (environ 50 mètres).



Figure 54 : Localisation des différentes formes de digues secteur BOIS JOLIVET A

La plupart du linéaire est fortement érodée en pied malgré les recharges récentes en enrochements. A noter cependant la présence d'une risberme ayant une portée non négligeable (>15m).

- Le linéaire total est de 517m pour une hauteur maximum de 1,5m et un fruit du talus très grand à l'aval et d'environ 2H/1V à 3H/1V à l'amont. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 1m.
- Pas de chemin en crête (forêt), ni de voie de circulation à proximité, excepté sur les 100 derniers mètres à l'amont.
- Sur l'ensemble du linéaire, autant en talus amont qu'aval, il faut noter la présence de nombreux arbres de diamètres important (70cm-120cm) venant déstructurer les zones perrayées et dont les racines se propagent dans le cœur de la digue.



Figure 55 : Bois Jolivet A : Vue en crête du profil de digue – CNR

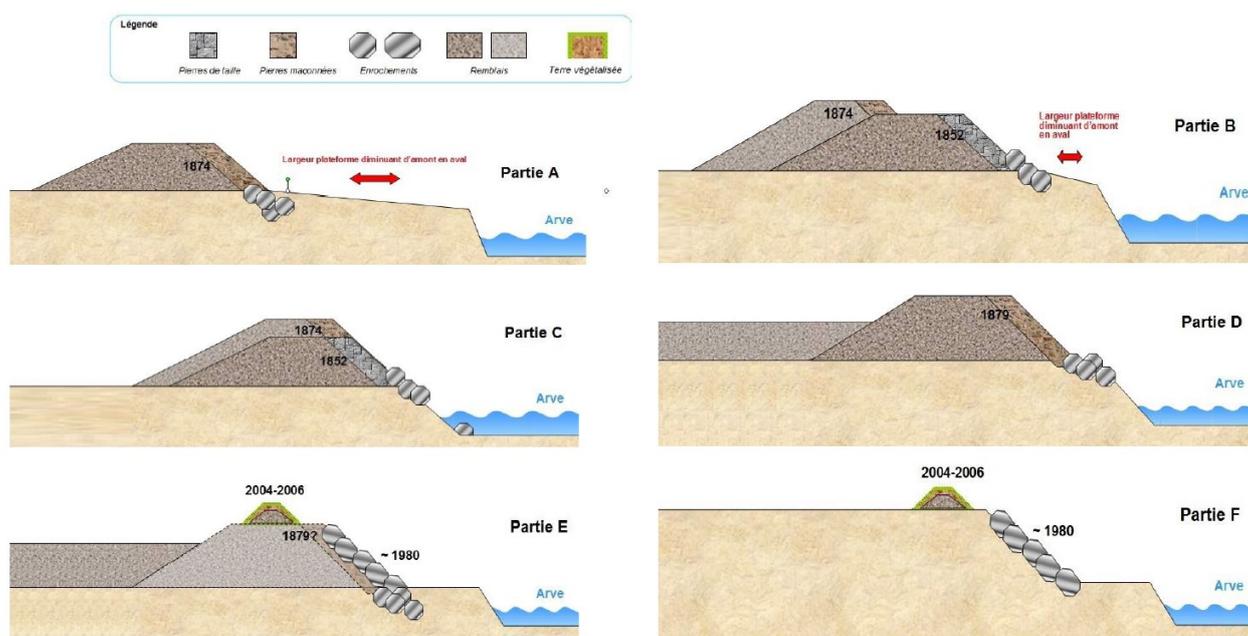


Figure 56 : Bois Jolivet A : Profils historiques - Acthys Diffusion

### 5.1.2.9 Digue du Merlon Prison

Type : Digue en enrochements remblayés

- Date de construction : fin années 1970, 2004/2006
- Cours d'eau : Arve rive gauche
- Limite amont : Pont prison
- Limite aval : confluence Borne

- Composition : Aujourd'hui, on constate une très importante dégradation des enrochements mis en place en 1976 ainsi qu'un abaissement du lit de l'Arve pouvant aller de 2m à 3m. De ce fait les fondations en béton des enrochements en pied, ont partiellement glissées dans le lit (Figure 57).
- Le linéaire total est de 390m pour une hauteur maximum de 3,3m et un fruit du talus 1H/4V. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 1,5m.
- Présence de nombreux arbres en crête et d'une végétation importante sur la risberme, ce qui n'arrange pas l'état déjà médiocre des enrochements.



Figure 57 : Merlon Prison : Profil historique - Acthys Diffusion / Vue du talus amont depuis la rive opposée - CNR

#### 5.1.2.10 Digue du Bois Jolivet B

Type : Digue mur/terre

- Date de construction : 1818-1863, 1879-1880
- Cours d'eau : Borne rive droite
- Limite amont : pont RD 1203
- Limite aval : pont de Toisinges
- L'exhaussement du lit en aval du pont de la RD1203 - conséquence de l'endiguement amont, oblige à d'incessants rehaussements des berges. La digue alterne enrochements grossiers et sections en pierre disposées en glacis ou formant un mur droit, le tout avec de longues et de pentes variables. Il s'agit de créer au-dessus de l'ouvrage existant, souvent avec un léger décalage, un talus perreyé côté Borne (pente 45°), et nu côté plaine (pente 2/3). Il n'a que quelques dizaines de centimètres de hauteur, avec une largeur en couronne de 2.60 m. C'est ce qui subsiste aujourd'hui, combiné à un enfoncement du lit de l'Arve dans les années 1945. De ce fait on retrouve des blocs de grande taille plongeant dans le Borne, surmontés d'une risberme sur laquelle repose la digue homogénéisée de 1880. L'affouillement en pied est très visible et pose un problème majeur quant à la stabilité de l'ouvrage.



Figure 58 : Bois Jolivet B : Profil de digue – CNR

- Le linéaire total est de 787m pour une hauteur maximum de 3,1m et un fruit du talus amont de 2H/1V à quasiment vertical. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 2,25m.
- • Pas de chemin en crête, mais située proche d'une route donc accès possible pour différents engins.
- • Beaucoup de gros arbres ou vieilles souches implantés en crête dans des restes de mur en pierres ou dans le talus côté rivière. Cela a pour effet de totalement déstructurer le corps de digue, tout en contenant le sol à certains endroits où il menace de s'effondrer (cf. Figure 58).
- La reconnaissance géophysique indique la présence potentielle de réseaux.

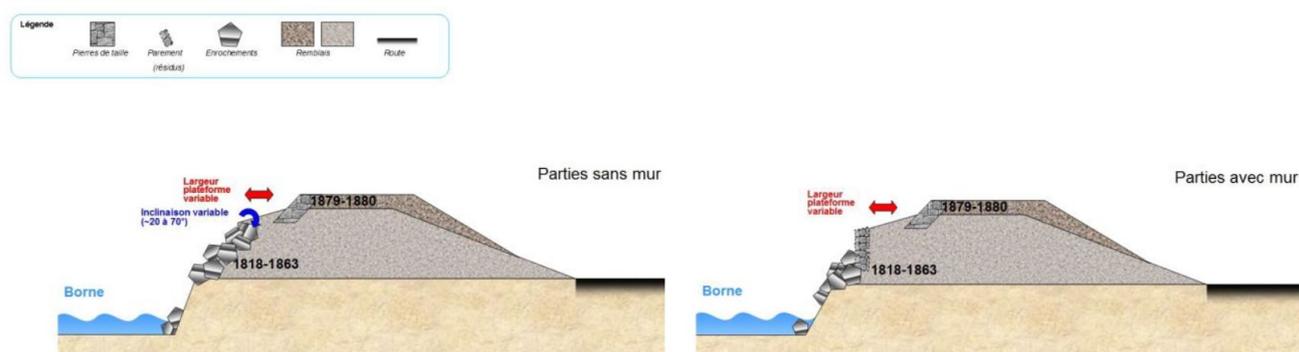


Figure 59 : Bois Jolivet B : Profils historiques - Acthys Diffusion

#### 5.1.2.11 Digue de la Queue du Borne Type : Digue terre/gabions/enrochements

- Date de construction : 1850 ?, 1943, 1880, >1960 ?, 1969
- Cours d'eau : Borne rive droite
- Limite amont : pont de Toisinges

- Limite aval : environ 40 m en amont du seuil du Borne
- La digue est composée, côté Borne, d'un perré régulier et incliné, côté terre d'un talus ou d'un petit muret.
- Aujourd'hui, la base de la digue est constituée par de gros enrochements ou des gabions qui ont servis à combler les nombreuses brèches (1880-1943). Celles-ci ont été remblayées suite à l'exhaussement des terrains entre Arve et Borne. Il faut ajouter à cela l'incision du lit de l'Arve et du Borne dans la zone de confluence ayant pour effet un fort affouillement en pied.

Trois profils distincts se dégagent alors (Figure 60) :

- Partie A : La partie amont (résidus de 1850, reconstruction de 1880) s'étend sur 160 mètres linéaires. Il s'agit ici d'un profil-type. Pour plus de précisions on se référera à la Figure 61 détaillant les profils d'amont en aval ;
- Partie B : La partie médiane (gabions du XXème siècle uniquement) s'étend sur 170 mètres ;
- Partie C : La partie aval (réparations avec blocs d'enrochements) s'étend sur 40mètres linéaires.

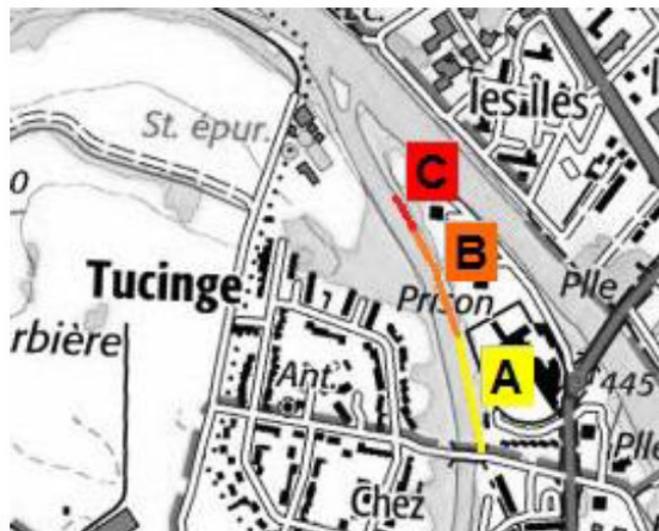


Figure 60 : Localisation des différentes formes de digues secteur QUEUE DU BORNE

- Le linéaire total est de 372m pour une hauteur maximum de 4,1m et un fruit du talus amont de 1H/1V à quasiment vertical. La hauteur moyenne sur l'ensemble du linéaire est d'environ 3m.
- Pas de chemin à clairement parler en crête, mais la circulation piétonne est très facile. Impossibilité d'accès pour différents engins.
- Au vu de la localisation, la présence de réseaux est très peu probable, de plus la campagne géophysique ne relève pas d'anomalie particulière dans cette zone.

- Présence de nombreux arbres de gros diamètres et de souches un peu partout en crête comme sur les talus amont et aval, qui viennent gangréner totalement les gabions et enrochement ainsi que le cœur de digue, c'est l'un des points les plus critiques.

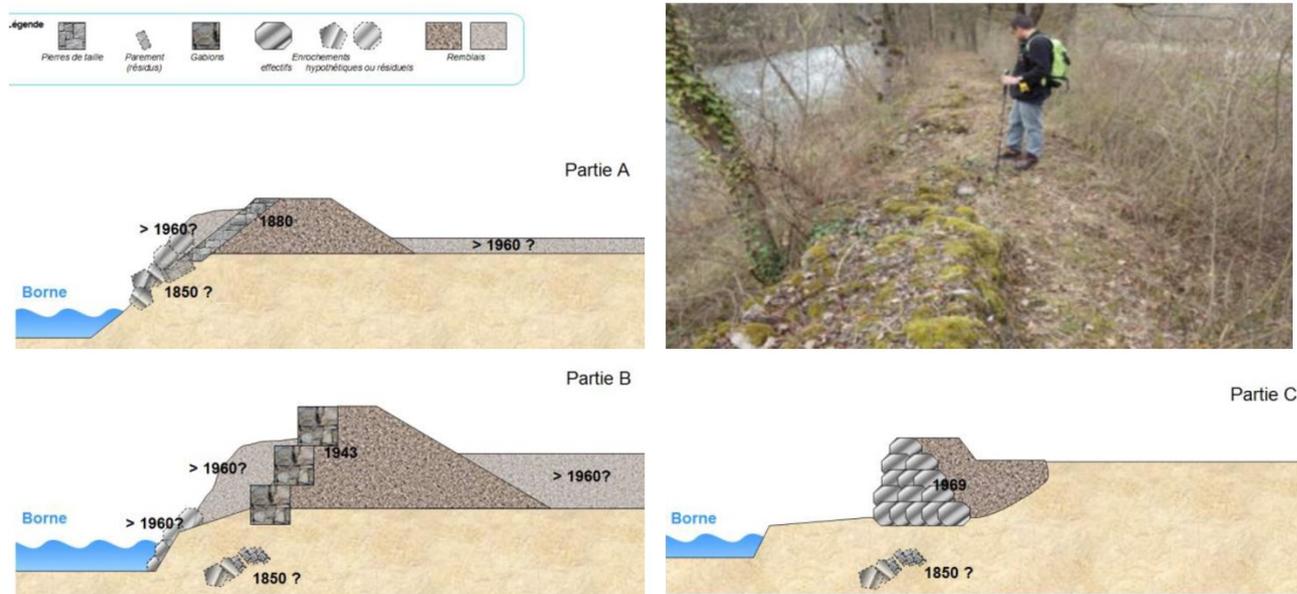


Figure 61 : Queue du Borne : Profils historiques - Acthys Diffusion / Profil de digue – CNR

### 5.1.2.12 Conclusion sur la géométrie externe des ouvrages existants

Les tableaux suivants présentent les principales caractéristiques géométriques de chaque portion de système et la composition générale des protections.

SYSTÈME	IDENTIFIANT_SIRS	DIGUE	PK amont	PK aval	Hauteur moyenne aval (m)	Charge	LARGEUR MOYENNE EN CRETE (m)	Risberme
BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE ARVE-RG-BONNE-26.24	ARVE-RG-BONNE-29.65	LES BORDETS 2-T02 MERLON	30.16	29.65	0.80	Q10	2.5 à 3	Ségonnal de 80 m
	ARVE-RG-BONNE-29.11	LES BORDETS 2-T01	29.65	29.13	1.00	Q10	2.5 à 3	Ségonnal de 0 à 80 m
	ARVE-RG-BONNE-28.87	LES BORDETS-T02	29.95	29.13	1.00	Entre Q10 et Q100	2.50	Non
	ARVE-RG-BONNE-27.62	LES BORDETS-T01	29.13	27.56	2.50	Q10	2.5 à 3	2 à 50 m sur 770m amont
	ARVE-RG-BONNE-27.41	LES PLACES - T02 -ST ESPRIT	27.56	27.54	0.80	Q100	2.50	0 à 3 m
	ARVE-RG-BONNE-27.21	LES PLACES - T01	27.30	27.22	1.30	Q100	0.5 à 2	1 à 2 m
	ARVE-RG-BONNE-26.63	BOIS JOLIVET A	27.19	26.58	1.10	Entre Q10 et Q100	2.5 en amont puis 1	2 m ponctuellement
	ARVE-RG-BONNE-26.24	MERLON PRISON	26.58	26.19	0.80	Q1000	1.50	Non
	BORNE-RD-BONNE-0.61	BOIS JOLIVET B	0.61	1.39	2.00	Q10	1.5 à 2 et 1 ponctuellement	Non
BORNE-RD-BONNE-0.23	QUEUE DU BORNE	0.16	0.59	0.50	Q10	1.00	Banc	

Tableau 27 : Résumé des caractéristiques géométriques externes des ouvrages existants

SYSTÈME	DIGUE	Hauteur moyenne amont	Pente AM	Pente AV	Revetement AM	Revetement AV
BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE ARVE-RG-BONNE-26.24	LES BORDETS 2-T02 MERLON	1.00	2/1 à 3/1, localement 3/2	2/1 à 3/1	Terre	Terre
	LES BORDETS 2-T01	1.00	3/2	2/1 à 3/1 localement 3/2	Terre	Terre
	LES BORDETS-T02	6.00	1/1 à subverticale	2/1 à 3/1	Enrochements perchés en pied	Terre
	LES BORDETS-T01	5.00	3/2 à subverticale	2/1 à 3/1	Enrochements perchés en pied	Terre
	LES PLACES - T02 - ST ESPRIT	6.00	Subverticale	Très douce	Mur de soutènement	Elements maçonnés
	LES PLACES - T01	6.00	1/1 à verticale	Faible en aval et vertical en amont	Perré en pierres appareillées, localement mur/muret	Terre ou Mur
	BOIS JOLIVET A	6.00	1.25/1 à 3/2	Aval très douce Amont 2/1 à 3/1	Enrochements (amont)	Terre
	MERLON PRISON	6.00	1/1 à subverticale	3/2 à 3/1	Terre	Terre
	BOIS JOLIVET B	5.00	1/1 à subverticale	3/2 voire 2/1	Pérres maçonnés	Terre
	QUEUE DU BORNE	6.00	1/1 à subverticale	3/2 puis aval plus doux	Anciens perrés en partie haute + enrochements épars	RAS

Tableau 28 : Résumé des caractéristiques géométriques externes des ouvrages existants (bis)

### 5.1.3 Autres ouvrages

#### 5.1.3.1 Ponts

Onze ouvrages sont recensés sur le linéaire d'endiguement, franchissant l'Arve ou le Borne :

Identifiant	Nom	Rivière	PK	Tablier Pont	Q100	Q200	Tirant d'air Q100	Tirant d'air Q200
					870m <sup>3</sup> /s Arve 180m <sup>3</sup> /s Borne	972m <sup>3</sup> /s Arve 195m <sup>3</sup> /s Borne		
PA1	Pont ZI (D19)	Arve	28.9	-	448.75	449		
PA2	Viaduc SNCF Arve	Arve	27.7	449.05	447.2	447	1.85	2.05
PA3	Pont de l'Europe	Arve	27.2	448.44	446	446.3	2.44	2.14
PA4	Passerelle	Arve	26.8	449.99	445.6	446	4.39	3.99
PA5	Pont de la Prison	Arve	26.6	447.24	445.4	445.8	1.84	1.44
PA6	Passerelle SM3A*	Arve	24.1	-	438.8	439		
PB1	Pont de Monaz	Borne	3.3	471.72	469.6	469.7	2.12	2.02
PB2	Viaduc SNCF Borne	Borne	3	470.1	466.4	466.5	3.7	3.6
PB3	Pont A40	Borne	2.1	463.26	457.8	458	5.46	5.26
PB4	Pont D1203	Borne	1.4	453.82	451.9	452	1.92	1.82
PB4	Pont D1203	Borne	1.3	454.17	451.9	452	2.27	2.17
PB5	Pont de Toisinges	Borne	0.6	447.63	446.5	446.6	1.13	1.03

Tableau 29 : Ponts présents sur la zone d'étude

### 5.1.3.2 Seuils transversaux

Plusieurs seuils sont recensés le long des cours d'eau relatifs aux endiguements étudiés. Ils ont pour but de réguler le transport solide et de stabiliser le phénomène d'incision lié à l'endiguement progressif et à l'extraction massive passée dans les gravières.

L'ouvrage le plus récent étant le seuil de Marignier, qui a été réalisé en limite amont au PK 32.8 entre 2000 et 2009, pour stabiliser le lit et freiner les érosions régressives en cours dans la zone de confluence du Giffre, qui venaient à déstabiliser le seuil d'Anterne en amont.

Identifiant	Nom	Rivière	PK
SB1	Seuil Métral (Figure 63)	Borne	4.1
SB2	Seuil amont confluence (Figure 64)	Borne	0.2
SA1	Seuil de Marignier	Arve	32.8
SA2	2Seuils aval pont Europe (Figure 65)	Arve	27.1
SA3	Seuil aval confluence	Arve	25.7

Tableau 30 : Liste des seuils dans le lit de l'Arve et du Borne sur la zone d'étude

Le seuil « amont confluence » est situé au droit de la digue de la STEP. Le seuil « Métral » est situé en sortie des gorges, bien en amont des digues du Borne.



Figure 62 : Seuil Métral vue vers l'aval (à gauche) et seuil amont à la confluence vue vers l'aval (à droite) – photos CNR



Figure 63 : Seuil aval au pont de l'Europe, vue vers l'amont - CNR

### 5.1.3.3 Buses

Plusieurs débits d'eau annexes peuvent venir s'ajouter à ceux initiaux de l'Arve et du Borne par l'intermédiaire de différents systèmes de buse et de vannage. Ces ouvrages peuvent être également considérés comme des discontinuités du système d'endiguement, qui en cas de crue pourraient causer des venues d'eau et dégrader la partie aval des digues s'ils ne sont pas correctement maîtrisés. Le tableau ci-après liste de façon exhaustive les équipements cités précédemment et présents sur le linéaire de protection hydraulique étudié.

N°	Ouvrages	Rivière	PK	Caractéristiques	Zamont [m NGF]	Zaval [m NGF]
1	Buse sous RD19	Arve	29.970	Section rectangulaire (1.1x0.55m=0.6m <sup>2</sup> ) Longueur : 40m	447.73	447.73
2	Buse sous RD19	Arve	29.170	Section rectangulaire (1.1x0.55m = 0.6 m <sup>2</sup> ) Longueur : 40m	447.70	447.70
3	Buse sous RD19	Arve	31.700	Diamètre 1m (Section = 0.79 m <sup>2</sup> ) Longueur : 40m	453.74	453.14
4	Bois Jolivet (RG : Arve)	Arve	27.150	Diamètre : 2.20m (Section = 3.80 m <sup>2</sup> )	? (TN)	440.46
5	Quai Jean-Baptiste Rey (RD : Ruisseau de la Madeleine)	Arve	27.380	Diamètre : 1m (Section = 0.79 m <sup>2</sup> )	444.88	444.19
6	Vanne à l'aval du Seuil Métral (RG)	Borne	4.150	Section arquée = 4.96m <sup>2</sup> - Régulé sur 2,24m <sup>2</sup> actuellement	480.71	480.71

Tableau 31 : Caractéristiques des buses

La vanne à l'aval du seuil Métral, situé sur le Borne, est hors du système d'endiguement étudié. Les ouvrages présents sur l'Arve font l'objet d'analyse dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve ».

### 5.1.3.4 Conduites et réseaux

#### Sur l'Arve rive gauche :

Un diagnostic des réseaux traversants a été mené sur les digues de l'Arve en 2023 (cf. étude de dangers Arve rive gauche qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve »). La synthèse sur ces réseaux est donnée en annexes.

La figure ci-après présente la localisation des réseaux traversant (EP pour la plupart) sur les digues de l'Arve actuellement.

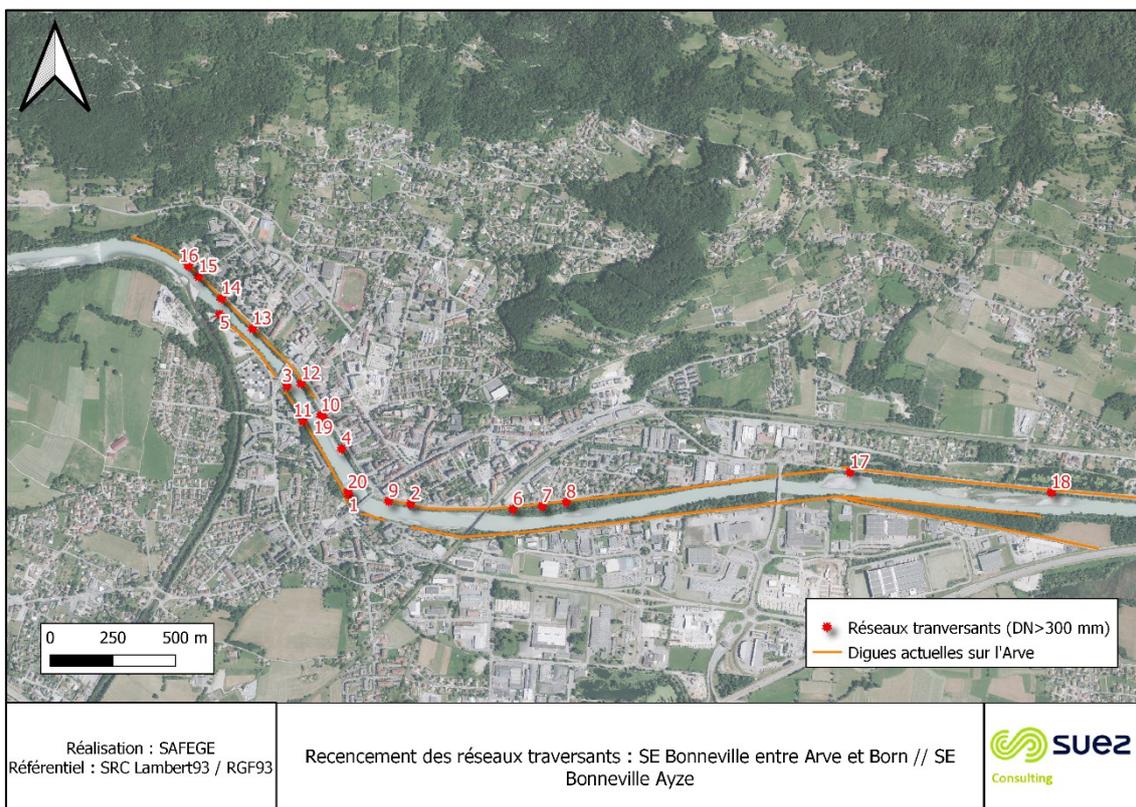


Figure 64 : Réseaux traversants sur les digues de l'Arve

Les réseaux 17 et 18 sont les seuls réseaux dont les fils d'eau sont au-dessus du terrain naturel. Ce sont deux castor-ducs qui permettent aux castors de traverser la RD19 afin de passer de la rive droite de l'Arve aux rives des lacs d'Ayze.

Le réseau de ressuyage de la ZAC des bordets (réseau n°1 : Bois Jolivet) possède les caractéristiques suivantes :

Bois Jolivet (RG : Arve)	Arve	27.150	Diamètre : 2.20m (Section = 3.80 m²)	? (TN)	440.46
-----------------------------	------	--------	---	--------	--------

Ce réseau de gros diamètre sera équipé, comme le reste des réseaux d'un clapet anti-retour. Une défaillance fonctionnelle de ce clapet est étudiée dans cet étude de dangers.

Aucun réseau longitudinal (type EP) ne longe le corps des digues de l'Arve. Dans tous les cas, l'ensemble des réseaux (réseaux secs) sera dévié de l'emprise projet.

#### Sur le Borne rive droite :

Sur les digues du Borne rive droite, il n'existe aucun réseau qui traverse les ouvrages de protection (type EP, EU, ...), ni aucun réseau qui longe le corps des ouvrages (hormis les réseaux aériens). **La défaillance fonctionnelle est écartée.**

## 5.2 Description des ouvrages en phase avant-projet

La grande majorité des ouvrages cités dans le chapitre 5.1, existent depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle. Quelques réparations ponctuelles ont bien été effectuées mais l'évolution de la morphologie du lit ainsi que la progression non maîtrisée de la végétation oblige aujourd'hui le gestionnaire à prévoir une mise à jour du système d'endiguement de Bonneville entre Arve et Borne ainsi que les systèmes environnants.

**Ce sont les travaux sur les digues du Borne qui sont décrits dans cette présente étude de dangers.**

### 5.2.1 Objectif de protection – digues du Borne

La crue de projet fixée par le Maître d'ouvrage est la crue centennale ( $Q_{100}$ ), c'est-à-dire que les systèmes d'endiguement devront être capables de faire transiter ce débit sans dommages pour les enjeux situés à proximité. De manière à intégrer les incertitudes et autres évolutions du cours d'eau, il est nécessaire d'ajouter au niveau de la ligne d'eau en crue de projet, une revanche qui intègre :

- L'incertitude sur les niveaux en sortie du modèle hydraulique,
- L'engravement potentiel du lit du Borne.

L'incertitude sur les niveaux en sortie du modèle hydraulique est estimée à 0.5 m, valeur calculée à partir de la charge hydraulique moyenne en  $Q_{100}$ . En cohérence avec le plan de gestion sédimentaire de 2020, l'engravement potentiel est également estimé à 0.50 m.

En conséquence, le niveau de protection de l'ouvrage est identique pour l'ensemble du secteur, rive droite et rive gauche :

**Niveau de protection homogène sur l'ensemble du projet :**

**Niveau de la ligne d'eau en crue de projet  $Q_{100}$  (\*)**

(\*) Débit du Borne à la confluence = 178.4 m<sup>3</sup>/s

Le **niveau d'arase des ouvrages projetés**, appelé aussi niveau de submersion ou niveau de crue extrême, est le suivant : **Niveau de la ligne d'eau en crue de projet  $Q_{100}$  + 1 m\***.

(\*) Ou supérieur à ce niveau au droit de l'élargissement aval (digue de la STEP)

### 5.2.2 Description du projet d'aménagement des digues du Borne

#### 5.2.2.1 Rappels de l'AVP structurel (2018) – non retenu

*NB : l'AVP « structurels n'est pas retenu par le SM3A. Ce chapitre est ajouté pour rappeler l'historique de conception des nouvelles digues du Borne.*

Un Avant-Projet dit « structurel » a été conçu en intégrant les niveaux suivants :

- Niveau de protection :  $Q_{100}$  et crue de Dangers à  $Q_{200}$
- Niveau des crêtes de digues : ligne d'eau de la  $Q_{200}$  avec une revanche :
  - de 0.5 m en amont du pont de la RD1203,

- de 1 m en aval de la RD1203.

Il comprend :

- La reconstruction intégrale des digues du secteur d'étude (RD et RG à l'aval du pont de la RD1203),
- Le confortement ponctuel des talus affouillés et des préconisations de gestion de la végétation en amont de la RD1203 (hors périmètre de la présente étude),
- Une protection de berge en rive gauche du seuil Métral (hors périmètre de la présente étude).

A l'aval de la RD1203, le projet portait sur un linéaire de 1200 m en rive droite, et de 1400 m en rive gauche.

Le profil-type préconisé était homogène sur l'ensemble du linéaire, et présentait les caractéristiques suivantes :

- Pentes de talus amont : 3H/2V
- Pentes de talus aval : 3H/2V
- Largeur en crête : 4 m
- Protection contre l'érosion externe (talus amont) :
  - Partie inférieure (jusqu'à Q100) : enrochements 300/1000 kg, épaisseur 1.30 m,
  - Partie supérieure (Q100 à la crête) : matelas Reno (ép. : 0.23 m),
  - Bèche de stabilisation en pied : 3 m de largeur au niveau du lit, 2 m de largeur en base de la bèche.

La figure suivante présente le profil type proposé lors de l'AVP structural de 2018.

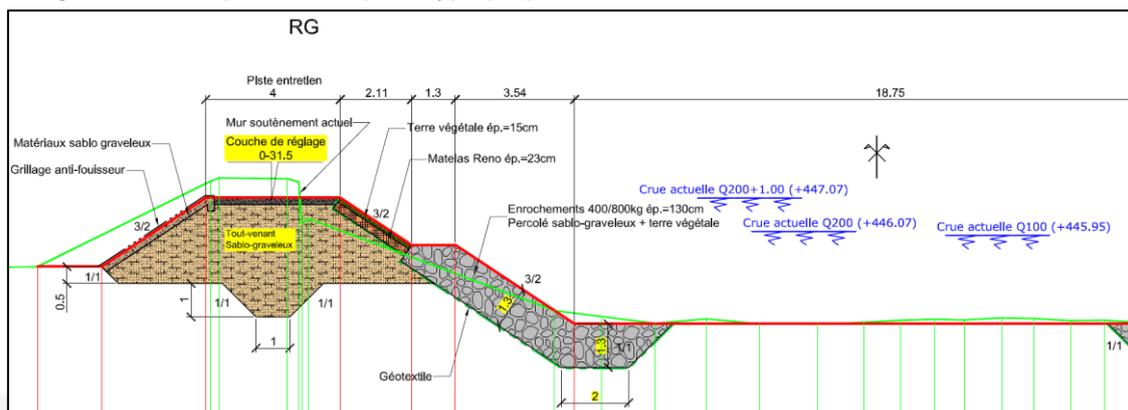


Figure 65 : Profil type de l'AVP structural de 2018 (non retenu)

Cet AVP constitue un optimum en termes de sûreté des ouvrages et de coût financier. Il est en revanche très impactant sur le plan environnemental et paysager, impliquant un déboisement des deux rives sur l'ensemble du linéaire, non contrebalancé par des actions de restauration de la ripisylve ou du lit mineur.

Il a servi de base de réflexion pour l'élaboration de l'Avant-projet « optimisé » pour les aspects environnementaux, paysagers et intégration des usages.

### 5.2.2.2 Ebauche dimensionnelle des solutions de confortement

Ce paragraphe constitue l'ébauche dimensionnelle des solutions de confortement dont les principes ont été présentés dans le document en annexe 4 (G2AVP). Il vise à définir les solutions techniques précisées dans le PRO.

Cette partie synthétise les réflexions concernant l'ébauche structurelle des ouvrages (géométrie, constitution, etc.) proposée au stade AVP.

#### 5.2.2.2.1 Hypothèses

Les hypothèses suivantes sont communes à l'ensemble des tronçons et utilisées pour le dimensionnement des ouvrages :

- Cote de protection : niveau d'eau atteint pour  $Q_{100} = Z_{Q_{100}}$  ;
- Cote de crue extrême :
  - Globalement équivalente à  $Z_{Q_{100}}$  à laquelle on ajoute une revanche de 1 m (niveau d'arasement des digues) ;
  - Sur le tronçon situé entre les PM 303 et 455 (aval du pont de Tucinge et dans l'intervalle entre le seuil actuel et les seuils futurs), la cote de crue extrême a été modifiée de manière à tenir compte d'un éventuel futur dépôt solide conséquence d'un abaissement des vitesses en crue à l'état projet. Ainsi, l'abaissement de ligne d'eau à  $Q_{100}$  qui allait jusqu'à 80 cm à l'état projet par rapport à l'état actuel n'a été considéré que partiellement à hauteur de 30 cm. Cette disposition est détaillée dans le paragraphe § 5 de la notice globale d'AVP référencée DIGP 2021-776 ;
- Hydraulique : lignes d'eau issues du modèle hydraulique de CNR
- Foncier : Cadastre
- Topographie : levé Sintegra 2017 et LIDAR 2014 & 2015
- Aspect géotechnique : Exploitation des reconnaissances Hydrogéotechnique 2017 comme réalisé pour le diagnostic de 2018 ;
- Autres matériaux :
  - o Remblai : type tout venant /  $c' = 0$  kPa /  $f' = 30^\circ$  /  $\gamma = 20$  kN/m<sup>3</sup>
  - o Enrochements : blocométrie adaptée /  $c' = 0$  kPa /  $f' = 45^\circ$  /  $\gamma = 26$  kN/m<sup>3</sup>.

#### 5.2.2.2.2 Méthodologie

L'enveloppe géométrique des ouvrages a été déterminée à partir de modèles réalisés sur le logiciel Talren v5.2.7 en utilisant la méthode de Bishop.

##### **Blocométrie des protections en enrochements (butées et épis) :**

Le poids et la taille des enrochements sont estimés à partir de la formule d'Isbach avec correction de Lane (pente de talus).

Les vitesses majorées d'écoulements pour la crue  $Q_{100}$  varient sur le tronçon aval de la RD1203 entre 3.8 m/s et 4.2 m/s, **ce qui en première approche conduit à retenir une classe blocométrique de type 300/1000 kg**. L'analyse spécifique est réalisée pour chaque tronçon par la suite.

##### **Butée de pied en enrochements – Géométrie :**

L'évaluation de l'affouillement prévisible du fond du lit du Borne a été réalisé lors du diagnostic de 2018 à l'aide de la formule de Degoutte bien que celle-ci s'avère très conservatrice lorsqu'elle est utilisée sur des segments de cours d'eau homogènes. Il a alors été estimé à 1.5 à 2 m le long du Borne entre le pont de la RD1203 et la confluence pour la crue centennale en tenant compte :

- du pavage apparent du fond du lit du Borne
- de la granulométrie apparente relativement grossière des matériaux sédimentaires sous le pavage,
- de notre expérience sur des cours d'eau de géométrie et comportement similaire.

Ainsi, **les sabots de pied seront largement prolongés dans le lit, sur une longueur de 3 m en pied et 2 m en pied de bêche**, ce qui apparaît suffisant compte tenu des conditions d'encastrement initiales de la bêche en enrochements (1.2 m). Il est en effet généralement d'usage de considérer que la longueur de la bêche est égale à environ 2 fois la profondeur d'affouillement prévisible.

#### **Epis en enrochements – Géométrie & positionnement :**

La modélisation hydraulique à l'état projet au droit des zones comportant des épis fait ressortir les vitesses maximales suivantes en pied de berge :

- 4.15 m/s pour la Q100 ;
- 3.64 m/s pour la Q10.

L'application d'Isbach à partir de ces vitesses et de la géométrie d'épis proposée ci-dessus fait ressortir la nécessité d'emploi d'enrochements de diamètre D50 de 59 cm équivalent à un W50 de 400 kg. **Ainsi, en première base les enrochements à employer pour la construction des épis sont également de la classe 300/1000 kg.**

L'adaptation spécifique aux tronçons présentant un confortement par épis est réalisée dans les paragraphes suivants.

### **5.2.2.2.3 Résultats par tronçons**

#### **5.2.2.2.3.1 Seuil double rampe**

Le nouveau seuil est composé de deux rampes pentues à 1V/30H.

Les modélisations hydrauliques font ressortir les vitesses d'écoulement suivantes :

- 3.6 m/s dans l'état actuel, pour Q100, au droit du seuil actuel ;
- 3.7 à 4 m/s pour l'état projeté, pour Q100, au droit du seuil projeté.

De manière conservatrice, on retiendra une vitesse de 4.6 m/s (hors majoration) pour le dimensionnement de ce seuil.

Ainsi, l'application de la formule d'Isbach fournit un poids moyen W50 de 630 kg, soit une classe d'enrochements de 300/1000 kg telle que préconisée pour les butées de pied en enrochements proposées sur certains tronçons.

Ainsi, l'épaisseur des seuils sera de 1.3 m minimum (soit 2 fois le D50).

A noter qu'en plus de la survitesse considérée de manière arbitraire, cette application intègre un coefficient multiplicateur de 1.2 à la vitesse pour le calcul du poids moyen d'enrochements.

**Une optimisation a été réalisée au stade AVP via la mise à jour du modèle hydraulique en intégrant notamment les fonds présumés traduisant des engravements/surcreusements projetés à termes.** Cette mise à jour du modèle hydraulique a également été utilisée pour le

recalage des crêtes d'endiguement sur les tronçons situés au plus proches de la confluence avec l'Arve, soit RD-T7, RG-T8 et RG-T9.

#### 5.2.2.2.3.2 Protection de talus sous le pont de Toisinges

La protection de talus sous le pont de Toisinges est actuellement assurée par des enrochements dressés aléatoirement.

En l'absence de documents (plans et notes de calculs) décrivant la protection d'origine et/ou actuelle, il est proposé de reprendre la protection de talus sous le pont de Toisinges à l'aide d'enrochements calibrés, de classe minimale 300/1000 kg, et dressés soigneusement. Il est également proposé de réaliser une percolation des enrochements qui composent la base de cette protection de manière à avoir une assise stable et robuste.

#### 5.2.2.2.3.3 Tronçons homogènes

Il est donné pour chaque tronçon les résultats des éléments de dimensionnement sans rentrer dans les détails de calculs. La synthèse est illustrée par une coupe type propre à chaque tronçon.

Pour rappel, la justification générale du profil type proposé pour chaque tronçon a été réalisée et détaillée dans l'annexe 4 de la présente étude de dangers (G2AVP).

##### 5.2.2.2.3.3.1 RD – T1

Le mur à installer en pied aval présente une hauteur totale minimale variable entre environ 2 et 2.4 m (dont 0.87 m pour mise hors gel) afin que son arase supérieure soit calée à la cote de crue extrême.

Le remblai, réalisé en tout venant, permettra l'élargissement de la piste piétonne de crête à la largeur cible de 1.5 – 2 m. Ainsi, la hauteur de mur pourrait être revue de manière à permettre cette disposition.

Le mur pourra être réalisé en éléments préfabriqués assemblés mécaniquement les uns aux autres par emboîtement et de manière étanche par un dispositif adapté (membrane par exemple). Afin de pouvoir installer ce mur, la digue sera décaissée de manière à dégager l'emprise nécessaire à la mise en place du mur et la fouille sera réalisée jusqu'à l'atteinte de la cote de mise hors gel du mur. L'assise sera alors préparée par compactage soigné du fond de forme et mise en œuvre d'un béton de propreté. Une fois le mur installé, les dispositifs d'étanchéité (membrane) et de drainage (delta MS et drain de pied) pourront être mis en œuvre avant de terminer avec les travaux de finition (terrassament, réfection de l'enrobé, etc.).

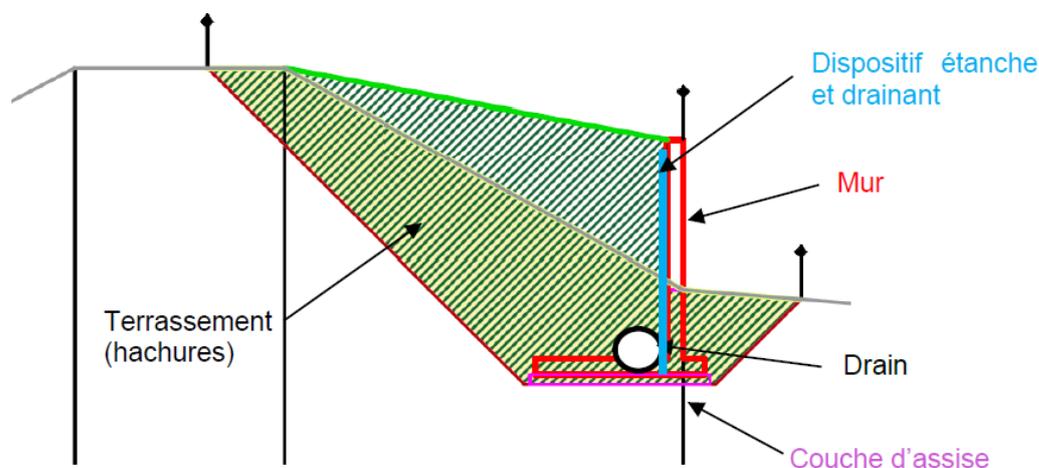


Figure 66 : Installation du mur – Schéma de principe.

Des épis ont été intégrés dans une optique de diversification bioécologique du cours d'eau. Ils peuvent également ralentir le phénomène d'érosion externe en diminuant les vitesses d'écoulement en pied de digue.

Le tableau suivant présente les vitesses moyennes obtenues sur ce tronçon aux états actuel et projeté.

Les épis ne réduisent pas significativement les vitesses d'écoulement en pied de digue. Leur utilité reste donc uniquement bioécologique et non pas structurelle. Cette inefficacité à réduire le phénomène d'érosion externe ne remet pas en cause la viabilité de la solution de confortement, ces épis ayant été intégrés de façon additionnelle pour un autre but. La solution proposée à l'AVP 2018 serait celle qui permettrait de supprimer le risque d'érosion externe.

L'utilisation de la formule d'Isbach avec la vitesse maximale de 4.12 m/s obtenue par modélisation après intégration des épis reste dans la gamme de celle utilisée pour le dimensionnement général de ces derniers. Ce dimensionnement reste donc valable et des enrochements de la classe 300/1000 kg devront être employés.

#### Coupe type :

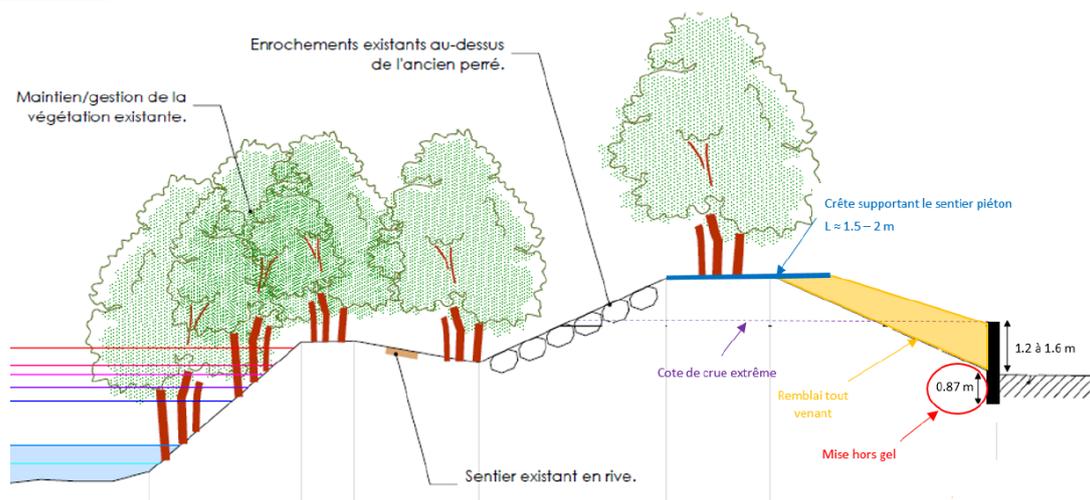


Figure 67 : RD-T1 – Confortement – Coupe type

#### 5.2.2.2.3.3.2 RD – T2

Sur ce tronçon, le mur à installer en pied aval présente une hauteur totale comprise entre 1.2 et 2.1 m (dont 0.87 m pour mise hors gel) afin que son arase supérieure soit calée à la cote de crue extrême.

Le dimensionnement général des épis est détaillé dans le rapport G2 AVP.

Les épis ont pour effet de réduire les vitesses d'écoulement en pied de talus qui restent néanmoins supérieures à 2 m/s quelle que soit la crue étudiée. Ceci implique que les épis ont bien un effet bénéfique vis-à-vis de l'érosion externe mais que cette protection ne permet pas de s'affranchir de ce risque.

En conclusion, les épis tels que dimensionnés sur ce tronçon permettent de ralentir le phénomène d'érosion externe sans le stopper. Leur rôle est davantage prépondérant dans la diversification bioécologique du cours d'eau que dans la stabilisation des endiguements.

La solution proposée à l'AVP 2018 serait celle qui permettrait de supprimer ce risque.

L'utilisation de la formule d'Isbach avec la vitesse maximale de 3.93 m/s obtenue par modélisation après intégration des épis débouche sur la nécessité d'employer des enrochements de diamètre  $D_{50}$  de 53 cm soit un  $W_{50}$  de 290 kg.

Pour ces épis, des enrochements de type 300/1000 kg pourrait être utilisés, comme proposé dans le dimensionnement général des épis derniers.

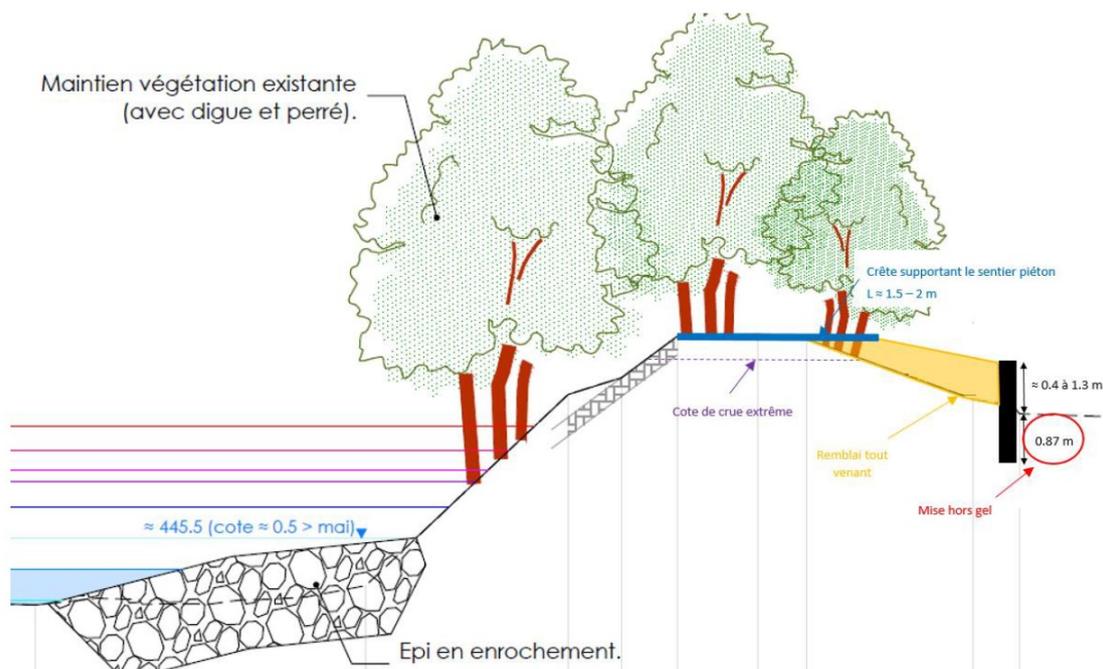


Figure 68 : RD-T2 – Confortement – Coupe type

#### 5.2.2.2.3.3.3 RD – T3 & T4

Dimensionnement :

Protection amont :

- Blocométrie : La modélisation hydraulique fait ressortir une vitesse maximale en pied de talus pour la cote de protection (Q100) de l'ordre de 3.68 m/s, ce qui reste dans la gamme de vitesse considérée lors de l'AVP de 2018. En première approche, les pentes de talus resteront proches de celles existantes de par les contraintes foncières fortes, la protection en enrochements 300/1000 kg reste valable.
- Dimensions du sabot : En considérant les éléments évoqués auparavant, le sabot devra avoir les dimensions minimales suivantes :
  - Epaisseur = 1.3 m (2 fois le  $D_{50}$ )
  - Largeur de bêche = 2 m en partie inférieure et supérieure à 3 m en partie supérieure
- Hauteur enrochements : L'arase supérieure des enrochements a été calée en première approche à la cote du niveau des eaux moyennes de Mai + 0.20 m. A cette cote, la modélisation hydraulique fait ressortir des vitesses d'écoulement de l'ordre de 1.7 à 2.2 m/s.

Des techniques végétales de type plants et plançons ont été intégrées au projet pour contrer le phénomène d'érosion externe au-dessus de la butée de pied en enrochements.

### Enveloppe géométrique :

L'ébauche dimensionnelle structurelle Talren a été réalisée sur le profil 507RD. Le tableau suivant synthétise les résultats de calcul obtenus pour la géométrie retenue tandis que les résultats globaux sont disponibles dans l'Annexe 2 du rapport de G2 AVP (annexe 4 de l'EDD).

De manière sécuritaire, il est considéré la mise en œuvre d'un talus aval à la pente de 2.5H/1V. L'emprise foncière disponible côté val est globalement suffisante pour mettre en œuvre un talus pentu à 2.5H/1V.

Au plus proche de l'angle Nord-Ouest de la prison, il conviendra de vérifier cette disposition. En cas d'impossibilité, le talus pourra être raidi par l'emploi d'un renforcement du remblai en géogrilles.

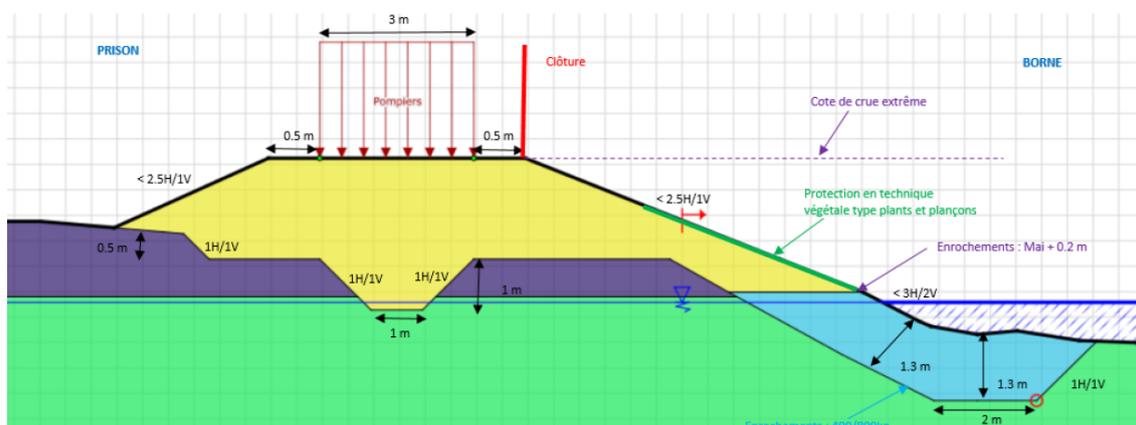


Figure 69 : RD-T3 et T4 – Confortement – Coupe type

### Matériaux :

Les matériaux utilisés pour le remblai devront satisfaire les critères de stabilité vis-à-vis des problématiques d'érosion interne, soit principalement :

- Un critère adapté aux matériaux rencontrés et envisagés pour les remblais. Dans la lignée de l'étude de diagnostic, il est proposé de considérer :
  - Le critère de Li&Fannin (fusion des critères de Kezdi et Kenney&Lau) pour les fractions granulométriques < 35% (estimation conservative) avec  $F(d)$  le pourcentage massique des grains inférieur au diamètre  $d$  et  $H(d) = F(4d) - F(d)$  ;
  - Le critère de Burenkova en gardant à l'esprit ses limitations (expérimentation pour des diamètres maximaux de 100 mm et un CU maximal de 200).

Ces approches sont conservatives et ne tiennent pas compte du degré de porosité et/ou de compacité des remblais mis en œuvre. D'autres approches pourraient être utilisées, le cas échéant pour définir la possibilité d'emploi des matériaux envisagés tout en considérant les limites associées à chaque méthodologie.

Globalement, il conviendra de vérifier en particulier que les fuseaux granulométriques des matériaux pressentis ne présentent pas d'éléments grossiers ( $D_{max} < 80$  mm, le cas échéant, ils devront être éliminés).

Par ailleurs, les courbes granulométriques des matériaux de remblai devront être suffisamment étalées et continues.

Enfin, les matériaux de remblai devront être exempts de matériaux évolutifs (organiques, etc.). Les tourbes, terre végétale, et remblais anthropiques au sens large du terme sont à proscrire.

**Les reconnaissances géotechniques réalisées en préalable de la mission G2PRO seront utilisées, en complément des données existantes, au stade PRO de manière à statuer sur**

**la possibilité mécanique de réemploi des déblais issus de l'aménagement des autres tronçons.**

Si de tels matériaux ne pouvaient être obtenus en quantité et qualité suffisante pour la réalisation des ouvrages projetés, il conviendrait de modifier la conception des ouvrages en ajoutant des couches filtres et/ou en les remplaçant par des ouvrages de protection zonés à membrane interne (géomembrane ou béton bitumineux) ou à paroi d'étanchéité (paroi mince ou épaisse) qui s'avèreront de réalisation plus délicate et coûteuse.

**Drainage du talus aval :**

Le parement côté val pourra être protégé par une couche de matériau sablo-graveleux drainant qui permettra de diminuer la charge piézométrique dans l'ouvrage et de drainer les eaux de ruissellement en direction du pied aval, éventuellement dans un dispositif de drainage en pied dont le rejet est à étudier.

Des matériaux de ce type devraient pouvoir être tirés des déblais à venir dans le cadre de la mise en œuvre de l'ensemble des solutions de confortement.

5.2.2.2.3.3.4 RD – T5

**Dimensionnement :**

**Protection amont :**

- Blocométrie : La modélisation hydraulique fait ressortir une vitesse maximale en pied de talus pour la cote de protection ( $Q_{100}$ ) de l'ordre de 3.68 m/s.
- Dimensions du sabot : Idem que le secteur amont.
- Hauteur enrochements : Idem que le secteur amont.

Des techniques végétales de type plants et plançons par exemple, pourraient s'avérer suffisantes pour contrer le phénomène d'érosion externe au-dessus de la butée de pied en enrochements. Dans le cas contraire, la cote des enrochements pourra être réhaussée.

**Enveloppe géométrique :**

Par conservatismisme et de manière sécuritaire, on conservera une pente de talus amont minimale de 2.5H/1V et une pente de talus aval du merlon de 2.5H/1V.

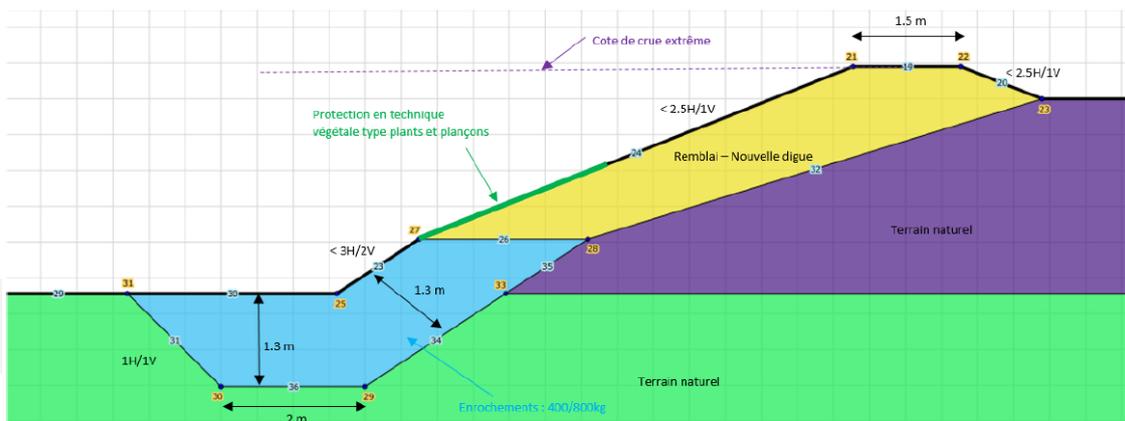


Figure 70 : RD-T5 – Confortement – Coupe type

**Matériaux :**

Idem tronçon T3 & T4

**Drainage :**

Idem tronçon T3 & T4

5.2.2.2.3.3.5 RD – T6 (tronçon hors système d'endiguement - berge)

**Dimensionnement :**

**Enveloppe géométrique :**

L'ébauche dimensionnelle structurelle Talren a été réalisée sur le profil 341RD. Le tableau suivant synthétise les résultats de calcul obtenus pour la géométrie retenue.

Le coefficient de 0.99 obtenu pour le talus aval correspond à un glissement superficiel (cercle de peau) qui ne remet pas en cause la stabilité globale de l'ouvrage.

Par conservatisme et de manière sécuritaire, on conservera une pente de talus amont minimale de 3H/1V et une pente de talus aval du merlon de 2.5H/1V.

Dans le design proposé pour le tracé des solutions de confortement et la mise à jour de la modélisation hydraulique, considérer un talus amont plus doux (par exemple 4H/1V) serait bénéfique vis-à-vis de la gestion du risque d'érosion externe et limiterait la nécessité d'une protection de talus par enrochements.

**Protection amont :**

La modélisation hydraulique à l'état projet fait ressortir une vitesse d'écoulement en pied de talus amont de 1.73 m/s au maximum.

Ainsi, la protection mécanique constituée d'une butée de pied en enrochements pourra être remplacée par une protection de talus en technique végétale (type lits de plants et plançons, fascines, etc.).

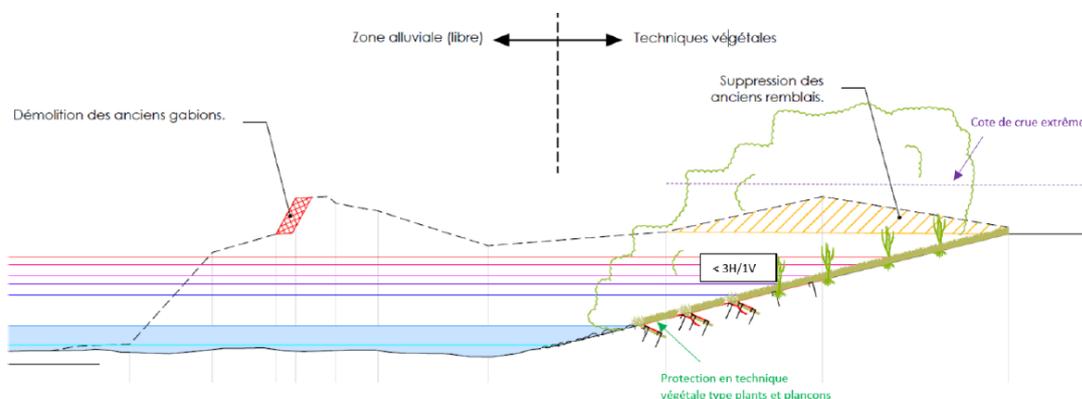


Figure 71 : RD-T6 – Confortement – Coupe type

5.2.2.2.3.3.6 RD – T7 (tronçon hors système d'endiguement - berge)

**Dimensionnement :**

Le dimensionnement réalisé pour le tronçon précédent sur le profil 341RD (RDT6 – figure précédente) reste valable pour ce tronçon.

A noter que ce tronçon se situe en pointe de la plateforme de confluence entre Arve et Borne, il est donc impacté par l'hydraulicité de ces deux cours d'eau. La modélisation hydraulique de l'Arve n'étant pas disponible lors de la réalisation de cette étude, le dimensionnement a été réalisé sur la base de l'hydraulicité du Borne uniquement.

### 5.2.2.3 Ebauche hydrogéologique

Voir G2AVP pour plus de détails.

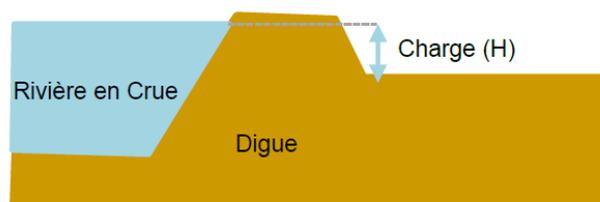
L'ébauche dimensionnelle hydrogéologique consiste à évaluer le temps de percolation minimal au sein d'un milieu poreux (digue) que mettrait l'eau pour transiter depuis le Borne jusqu'au pied aval et à le comparer avec les hydrogrammes de crue.

Cette approche s'appuie sur deux lois :

- La loi de Kozeny pour déterminer la ligne de saturation ;
- La loi de Darcy pour déterminer la vitesse de percolation en milieu poreux.

Les hydrogrammes de crue du Borne sont traduits, via le modèle hydraulique, en limnigrammes au droit des points étudiés de la digue.

L'interprétation consiste à comparer le **temps modélisé de passage de la crue** dès lors que la digue est mise en charge avec le **temps de percolation calculé**. Cette approche est menée sur 5 profils de digue.



La charge sur la digue correspond à la différence entre le niveau du terrain naturel en aval de la digue (coté terre) et le niveau d'eau.

PM	Tperco		Tcrue	
	K=10 <sup>-3</sup> m/s	K=10 <sup>-4</sup> m/s	1	2
110	Sans objet – Laissé inondable pour la cote de crue extrême			
180				
380	4.27	42.7	23.5	16.5
510	13.67	136.7	52.35	37.3
730	11.92	119.2	17.95	12.5
830	9.16	91.6	15.97	11.16
1080	6.96	69.6	28.83	20.5

Tableau 32 : Comparaison temps de percolation / crue – RD

Tperco [h] est fonction de la perméabilité des matériaux de la digue et de sa géométrie (gradient hydraulique). Il représente le temps nécessaire à la mise en charge hydraulique de l'ouvrage afin que l'eau atteigne le pied aval de la digue (risque de résurgence et de perte de matériaux).

Il est calculé de la manière suivante :  $[\text{gradient (en m)} / \text{vitesse de Darcy (en m/s)}] / 3600$ . Dans notre cas, deux cas de possibilités ont été étudiés : perméabilité des matériaux de  $K = 10^{-3}$  m/s et perméabilité des matériaux de  $K = 10^{-4}$  m/s.

Tcrue [h] est fonction de la durée de la crue centennale modélisée (hydrogramme/limnigramme) et donc de la durée de mise en charge de la digue. Il est calculé suivant deux approches :

- Approche 1 : Une approche très conservatrice qui consiste à considérer, dès la mise en charge de la digue, que cette dernière est saturée et que la charge qui s'applique est celle obtenue pour le pic de crue extrême. Ceci revient à maximiser le temps de passage de crue et à minimiser le temps de percolation.

- Approche 2 : Une seconde approche, plus réaliste mais aussi conservatrice, qui consiste à considérer l'activation du phénomène de percolation en milieu saturé lorsque le pic de crue extrême est atteint et avec une charge appliquée maximale (cote de crue extrême). Cette approche, induit un temps de mise en charge plus court que l'approche 1 mais plus proche de la réalité.

### Conclusions :

Les comparaisons présentées ci-avant montrent que l'emploi d'un matériau de perméabilité  $10^{-4}$  m/s sera suffisant pour couvrir l'ensemble des risques hydrogéologiques moyennant une réalisation soignée.

Une étude plus fine pourra être réalisée au stade PRO en fonction des résultats de reconnaissances in situ afin d'optimiser le réemploi des matériaux.

#### 5.2.2.4 Avant-Projet optimisé (2021)

L'avant-projet optimisé est présent en Annexe 7.

##### 5.2.2.4.1 Description générale du projet

Il est à noter que la conception technique du projet de restauration des ouvrages de protection s'est accompagnée d'un travail de consultation des usagers et riverains des secteurs de Bonneville concernés d'une part, et d'acteurs environnementaux d'autre part. Ce travail a été mené à l'échelle des projets du Borne et de l'Arve.

##### 5.2.2.4.1.1 Sectorisation des digues en tronçons homogènes

Une sectorisation des linéaires de digues du secteur d'étude (digues rive gauche et digues rive droite) en tronçons homogènes a été effectuée en croisant :

- Le diagnostic de stabilité des endiguements (risques d'érosion interne, externe stabilité au glissement, caractéristiques géométriques, niveaux de mise en charge, etc.), mis à jour avec les données d'entrées hydrauliques actualisées,
- Les contraintes externes au projet (emprise foncière, projets connexes, etc.),
- Les solutions techniques envisagées, guidées notamment par les enjeux écologiques et paysagers de préservation de la végétation, ainsi que les potentialités de restauration du lit et des berges.

La topographie du projet ainsi que les contraintes géotechniques et hydro-écologiques associée a conduit à définir **7 tronçons en rive droite (les deux derniers tronçons ne font pas partie du SE « Bonneville entre Arve et Borne »)** et 9 tronçons en rive gauche.

La vue en plan de l'avant-projet « optimisé » avec indication des tronçons homogènes est donnée par la figure suivante :

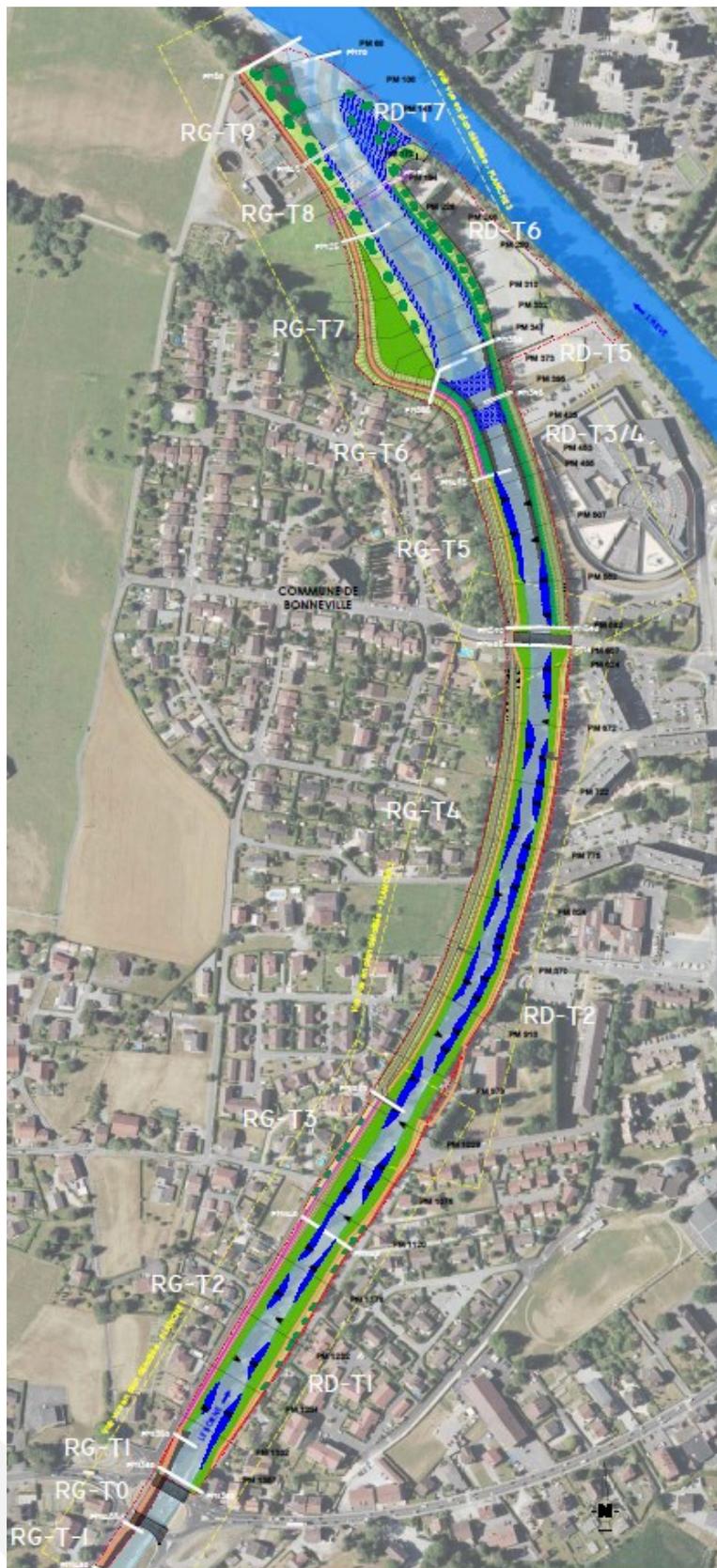


Figure 72 : Vue en plan des travaux de confortement des digues du Borne rive gauche et rive droite (avec indication des tronçons homogènes)

Tableau 33 : Sectorisation des digues en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur – digues du Borne rive droite

Digue	Tronçon homogène	PM Amont	PM Aval	Type d'intervention
<b>Rive droite</b>				
Bois Jolivet B	RD-T1	1380	1140	Confortement par l'aval (mur béton)
	RD-T2	1140	605	
Queue du Borne	RD-T3+T4	590	395	Reprise intégrale de la digue
	RD-T5	395	350	Reprise intégrale de la digue (merlon)
	RD-T6	350	195	Arasement digue + adoucissement berge ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )
	RD-T7	195	70	Abaissement confluence ( <b>tronçon HORS SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b> )

#### 5.2.2.4.1.2 Principe général de conception

Pour mémoire, tel que susmentionné, l'endiguement du Borne, très ancien, puis l'urbanisation du lit majeur (ancien cône de déjection) limitent très fortement toute possibilité d'élargissement de l'espace alluvial.

Une des seules emprises disponibles sur le secteur d'étude est représentée par la partie aval, avec en rive droite des possibilités d'élargissement en aval de la prison à la confluence avec l'Arve (tronçons RD-T6 et T7) et en rive gauche, en face, soit en amont immédiat de la STEP (tronçon RG-T7). Ces élargissements étendent le secteur de confluence dynamique avec l'Arve, en créant un contexte alluvial varié et évolutif dans le temps (alternance de bancs graveleux, de surfaces de végétation pionnière, de surfaces plus ou moins en eau, de granulométrie variée des fonds, etc.). La création de cet élargissement nécessite le déplacement vers l'amont du point de contrôle de la cote des fonds du lit du Borne, avec la création d'une double rampe franchissable en blocs d'enrochements et le déplacement de la canalisation des eaux usées qui lui est associée.

La réflexion s'est faite pour maintenir au maximum la végétation en place. Aucun secteur n'est totalement défriché dans le cadre de l'opération. Il est proposé la gestion de la végétation en place avec la suppression des espèces végétales exotiques à tendance invasive, l'abattage sélectif des sujets arborés menaçant de basculer en berge puis l'enlèvement de la végétation existante uniquement au droit des ouvrages construits (ancrages des protections de berge, ancrages des épis, etc.). La lutte contre les espèces exotiques envahissantes se réalise principalement par la coupe des tiges aériennes des renouées asiatiques et buddleias, leur mise en bigs-bags avec évacuation puis le terrassement en déblais des substrats contaminés par les racines de ces espèces puis le broyage-concassage de ces matériaux.

**Les interventions permettant de préserver tout ou partie de la végétation des berges sont les suivantes :**

- **Confortement interne** : il s'agit de créer un voile imperméable à l'intérieur de la digue, afin d'assurer une coupure hydraulique supprimant tout risque d'érosion interne de l'ouvrage (lié à la végétation, aux caractéristiques du remblais en place, etc.). Si la digue dans laquelle le voile est disposé n'est pas stable (glissement ou érosion externe), le voile

est rendu auto-stable ; il constitue alors à lui seul l'ouvrage de protection contre les inondations.

- **Confortement par l'aval** : il s'agit de créer un ouvrage au droit du talus aval de la digue actuelle, qui joue le rôle de digue. Le type d'ouvrage retenu (mur, remblais) dépend notamment de l'emprise disponible. Le nouvel ouvrage doit être stable en cas de glissement ou érosion de l'ancienne digue.
- **Création complète d'une nouvelle digue en retrait de la végétation existante** : lorsque les emprises le permettent, l'élargissement de l'espace alluvial peut être opéré en maintenant les franges de végétation actuelles puis en recréant une nouvelle digue complète auto-stable et étanche en retrait.

Afin de délester les pieds de berges d'une partie de leurs contraintes hydrauliques, une série d'épis est proposée, essentiellement en rive droite qui marque un léger extrados de courbure. Le calage de la cote supérieure des épis est établi quelques 50 cm au-dessus de la cote atteinte par les hautes eaux moyennes du mois de mai (fonte des neiges). On verra plus loin que les épis n'ont pas pour seule fonction de participer à la stabilisation des pieds de berge mais jouent également un rôle prépondérant dans la restauration hydro-écologique du lit vif du Borne. Ils sont également le support ou le "squelette" au maintien et au développement de risbermes graveleuses au pied des berges ; élément essentiel à la fonction de corridor écologique du cours d'eau.

Lorsque des protections de berge sont néanmoins nécessaires (par exemple sur les tronçons RD-T3/T4 au droit du secteur de la prison, soit en remplacement d'anciens enrochements/remblais), des techniques mixtes sont proposées, combinant une base sous-fluviale et de pied de berge en enrochement et une partie supérieure issue du génie biologique, illustrée par la technique des lits de plants et plançons (la limite d'implantation de la végétation au-dessus des enrochements est calée quelques 20 cm au-dessus de la cote atteinte par les hautes eaux moyennes du mois de mai).

#### 5.2.2.4.2 Description par secteur – Borne rive droite

##### 5.2.2.4.2.1 Digue rive droite – RD-T1 et RD-T2

Linéaire d'application : 775 m

Type d'intervention : confortement par l'aval (mur digue).

Le regroupement de ces deux tronçons correspond à l'intégralité de la digue de Bois Jolivet B. L'objectif est de réaliser un confortement via un mur de soutènement disposé en pied de talus aval, tout en maintenant la digue actuelle, dont l'altimétrie est supérieure à la cote d'arase projetée ( $Q_{100}+$ revanche), afin de conserver la végétation présente sur le talus amont.

Le mur de soutènement, dont l'arase supérieure est positionnée à l'altimétrie de  $Q_{100}+$ revanche est étanche et constitue l'ouvrage de protection. Les caractéristiques prises en compte à ce stade sont les suivantes :

- Mur préfabriqué de type LT H120-240,
- Hauteur totale : 1.2 à 2.4 m,
- Largeur de la semelle : 1.05 à 1.5 m,
- Semelle positionnée hors gel, reposant sur un béton de propreté.

Un drain sera positionné en pied de l'ouvrage pour évacuer les eaux d'infiltration dans la digue vers l'amont et ou l'aval du tronçon. Ce drain sera dimensionné en phase projet.

Le remblai, réalisé en tout venant, permettra l'élargissement de la piste piétonne de crête à la largeur cible de 1.5 – 2 m. Ainsi, la hauteur de mur pourrait être revue de manière à permettre cette disposition.

Côté amont, une vingtaine d'épis seront disposés en pied afin de réduire le risque d'érosion externe du talus en place, associé à une diversification des habitats du lit mineur.

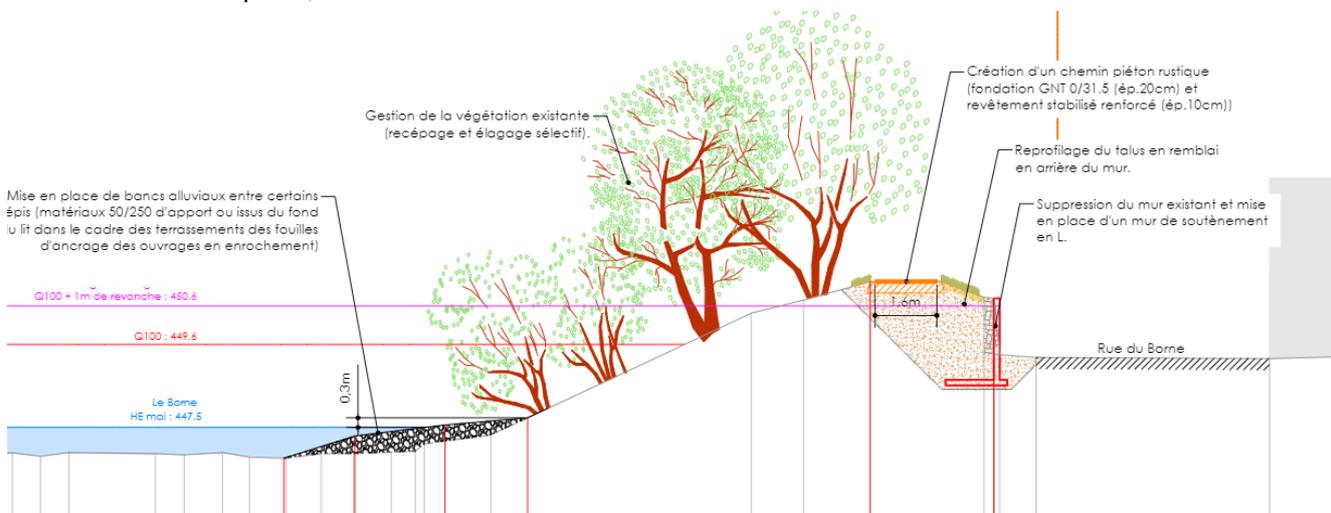


Figure 73 : Profil type RD T01 / T02 (PM1076) – géotechnique et aménagements hydro-écologiques

### Réflexion paysage

Sur ce tronçon amont (cf. illustration suivante), l'objectif est de maintenir la végétation en place et d'améliorer la continuité piétonne en crête de digue. L'aménagement du chemin (1,6 m de large) sur la crête nécessitera de supprimer la végétation installée naturellement. Entre le chemin et le muret, une strate arbustive basse pourra être plantée afin de dissimuler la pente géométrique du talus. Un chemin implanté sur la partie remblayée poserait des problèmes de sécurité causés par la hauteur de chute depuis le sommet du muret. Des escaliers (au nombre de deux sur le trajet) pourront être construits afin de faciliter les connexions piétonnes avec les habitations riveraines et les rues transversales vers le centre de Bonneville.

Le sentier existant de 1m de large, en contrebas du talus sera maintenu et des sentiers ponctuels reliant les deux axes piétons pourront être aménagés au sein de la végétation du talus.



Figure 74 : Profil type RD-T1 et vue en plan des escaliers d'accès

À l'aval (RD T2), le cheminement sera maintenu en crête de digue et une plantation arbustive gardera à distance les piétons du muret. Des escaliers faciliteront l'accès depuis le parking en contrebas du muret. Ces derniers seront localisés plus précisément en phase PROJET au droit d'axes piétons logiques, identifiés au préalable.

Côté Borne, sur un secteur restreint, la pente du talus pourra être aménagée en escaliers et gradins invitant les usagers à interrompre leur promenade pour profiter d'un point de vue sur le Borne au plus proche de l'eau. Les gradins seront aménagés au droit d'un épis, plongeant dans le Borne et donnant accès à une grève naturelle, formée juste en aval de l'épis. Les escaliers présenteront une largeur de 1,6 m et les gradins 3,4 m, pour une largeur totale de 5 m. Cette largeur assez limitée, n'interrompt pas la continuité écologique du corridor rivulaire et assure de l'ombre aux usagers. Sur les deux premiers gradins hauts, une strate arbustive sera maintenue afin d'isoler l'espace contemplatif du chemin et d'assurer une continuité minimale pour le corridor. L'entretien de cet espace devra être régulier : plusieurs fois par an pour maintenir une végétation basse et plus régulièrement pour limiter le dépôt d'ordures lié à la fréquentation.

Côté quartier, des emmarchements placés stratégiquement au droit d'un axe piéton assureront le passage du parking au sentier sur la crête de digue.

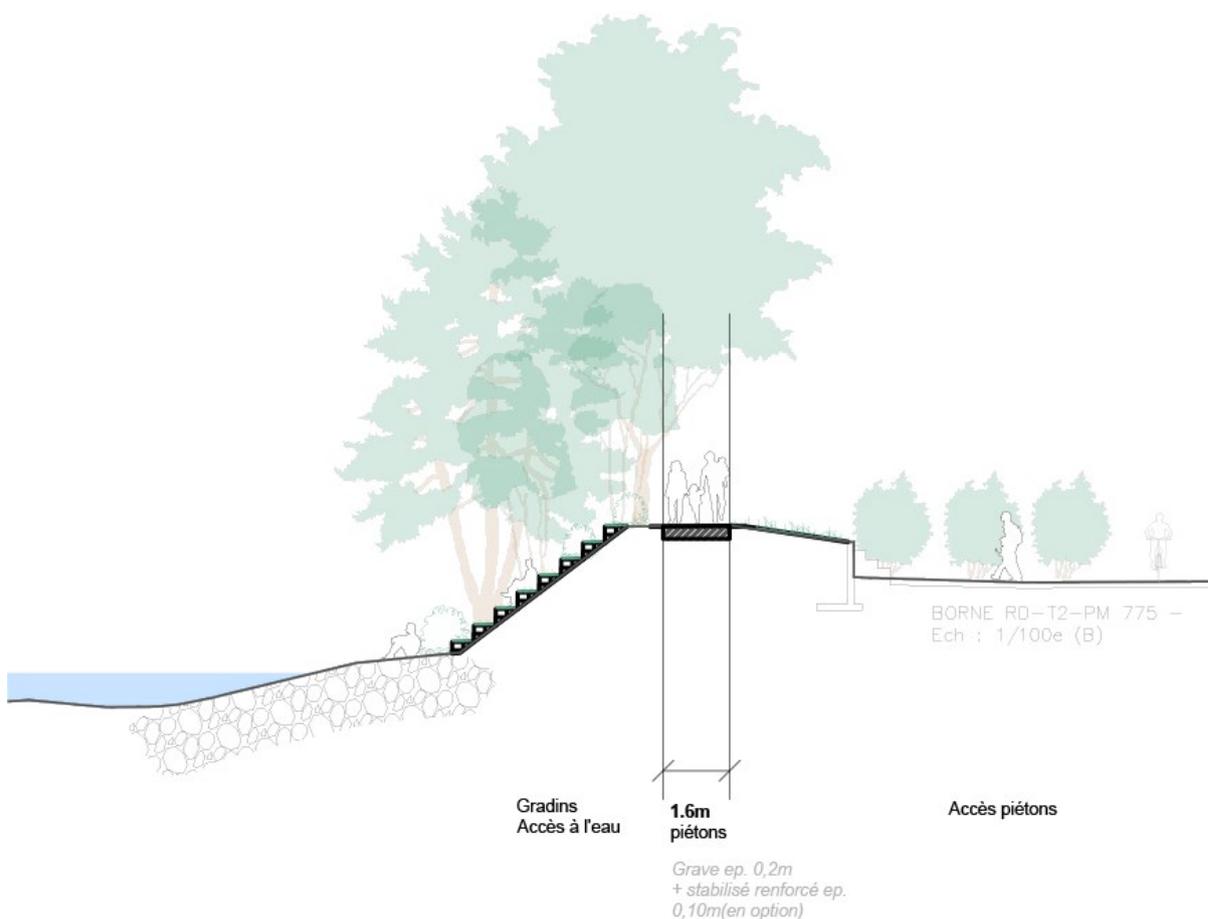


Figure 75 : Profil type RD-T2 et principe d'accès à l'eau

#### 5.2.2.4.2.2 Digue rive droite – RD-T3 et RD-T4

Linéaire d'application : 195 m,

Type d'intervention : reprise intégrale de la digue.

Ce secteur est situé au droit de la maison d'arrêt de Bonneville et du parking attenant, à l'aval immédiat. Il s'agit ici d'une reprise intégrale de l'ouvrage. Par rapport à l'AVP structurel de 2018, le profil type est optimisé sur le plan environnemental, par l'emploi sur le talus amont d'une technique mixte pour assurer la protection vis-à-vis de l'érosion externe. Ceci permet de recréer un cordon ripicole indigène et adapté.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4 m,
- Pentes de talus : 2.5H/1V,
- Talus amont :
  - ♦ Enrochement 300/1000 kg jusqu'au niveau du débit moyen mensuel du mois de mai surélevé de 20 cm,
  - ♦ Lits de plants et plançons 20 cm au-dessus du niveau du débit moyen mensuel de mai établis sur trois niveaux

- ♦ Végétalisation simple de la partie supérieure du talus sous forme de prairie indigène adaptée (pas de plantations ligneuses au-dessus du TN).
- Talus aval :
  - ♦ Sur les talus plus raides que 2.5H/1V, des géogrilles sont proposées sur le principe de terre armée. Ces matériaux demandent un soin particulier pour l'entretien.
- Bèche de stabilisation :
  - ♦ Epaisseur : 1.3 m,
  - ♦ Largeur en partie inférieure : 2 m,
  - ♦ Largeur en partie supérieure : 3 m,
  - ♦ Arase supérieure : 20 cm au-dessus du niveau des eaux moyennes du mois de mai.

Le corps de la digue est constitué d'un remblai homogène avec un fuseau granulométrique adapté.

La partie digue (au-delà de la cote du TN aval) est végétalisée par un ensemencement herbacé. Une piste d'exploitation est réalisée en crête de l'ouvrage.

Quatre à cinq épis seront disposés en pied afin de réduire le risque d'érosion externe du talus en place, associé à une diversification des habitats du lit mineur.

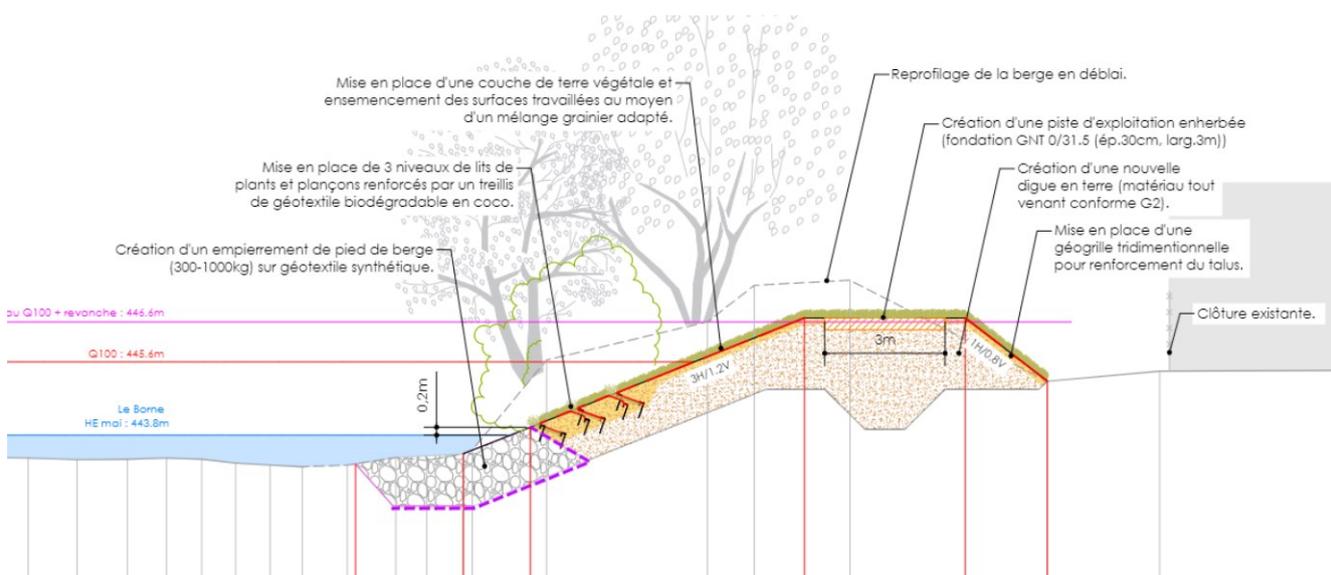


Figure 76 : Profil type RD T03 / T04 (PM507) – vue géotechnique et hydro-écologiques

### Réflexion paysage

Au droit de la maison d'arrêt de Bonneville, aucun chemin piéton ne sera aménagé. Il se poursuivra en rive gauche. Les randonneurs/promeneurs devront traverser le Borne sur le pont de Tucinge.

Une piste en crête de digue sera néanmoins maintenue afin d'assurer un accès aux véhicules d'entretien.

La berge sera végétalisée et assurera un arrière-plan paysager depuis la rive gauche, dissimulant la crête de digue, la clôture et le pied du mur d'enceinte de la maison d'arrêt.

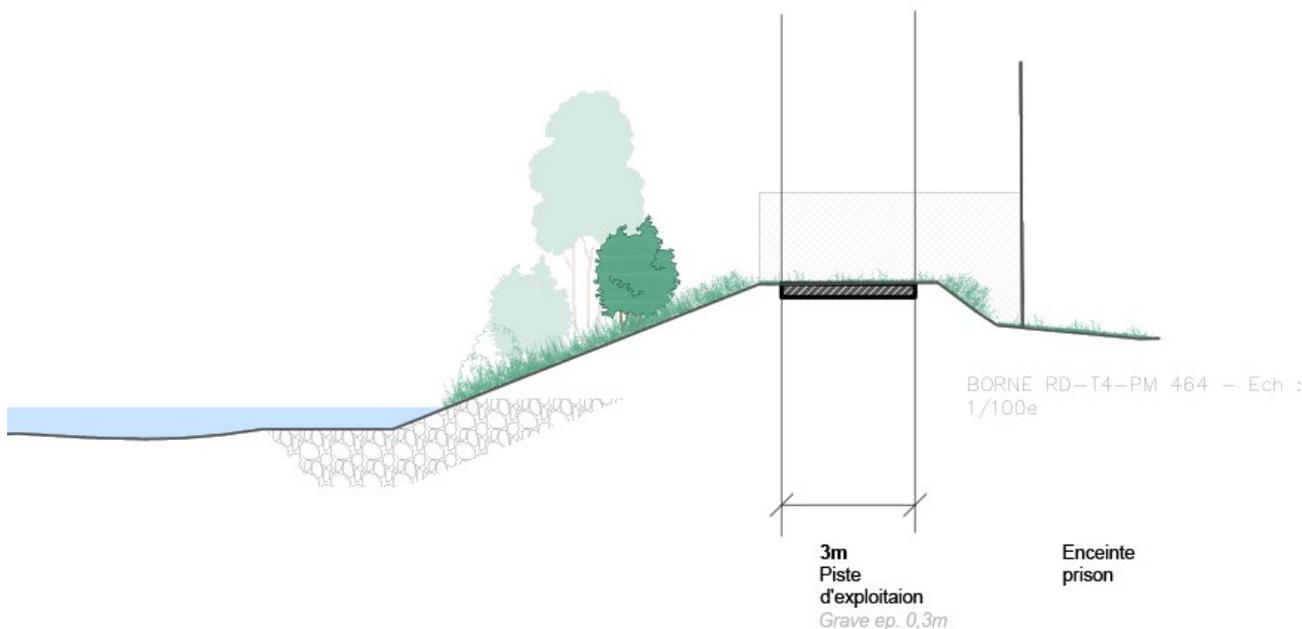


Figure 77 : Profil type RD-T3 et RD-T4 au droit du centre d'arrêt

#### 5.2.2.4.2.3 Digue rive droite – RD-T5

Linéaire d'application : 45 m,

Type d'intervention : reprise intégrale et réalisation d'un merlon.

Ce tronçon se situe au droit du nouveau parking relais, à l'aval immédiat du parking de la maison d'arrêt. Du fait de la faible charge hydraulique sur ce secteur (altimétrie du TN aval légèrement supérieure à la cote de la ligne d'eau de  $Q_{100}$ ), un merlon est préconisé pour permettre de gérer le risque d'inondation jusqu'à la cote de crue extrême (gestion de la revanche).

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Largeur en crête : 1.5 m,
- Pentes de talus : 2.5H/1V,
- Talus amont :
  - ♦ Enrochement 300/1000 kg jusqu'au niveau du débit moyen mensuel du mois de mai surélevé de 20 cm,
  - ♦ Lits de plants et plançons 20 cm au-dessus du niveau du débit moyen mensuel de mai établis sur trois niveaux.
- Bèche de stabilisation :
  - ♦ Epaisseur : 1.3 m,
  - ♦ Largeur en partie inférieure : 2 m,
  - ♦ Largeur en partie supérieure : 3 m,
  - ♦ Arase supérieure : 20 cm au-dessus du niveau des eaux moyennes du mois de mai.

La partie merlon (au-delà de la cote du TN aval) est végétalisée par un ensemencement herbacé. Il est à noter que ce secteur comprend la réalisation de la double rampe de stabilisation du lit du Borne. Cet ouvrage sera détaillé plus loin mais au droit de cette rampe, les berges seront également aménagées avec des techniques mixtes, alliant enrochements et lits de plants et

plançons, calés ici quelques 60 cm au-dessus de la cote atteinte par le niveau de débit moyen du mois de mai et mis en place sur deux niveaux.

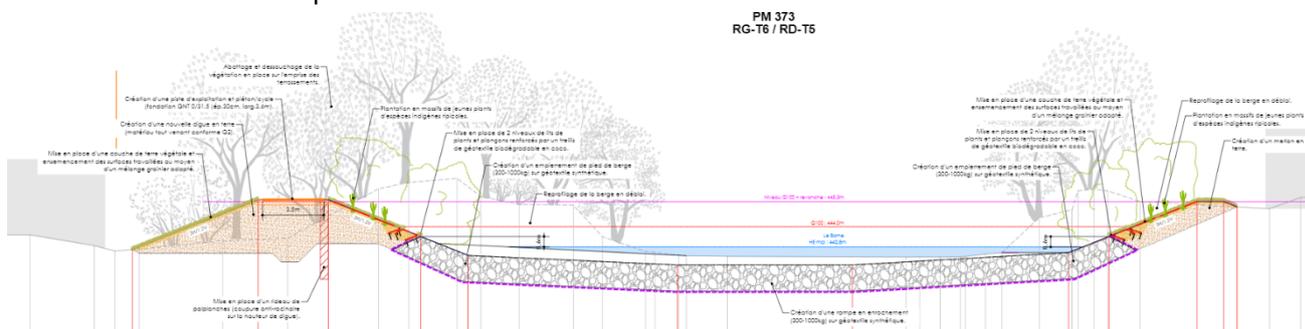


Figure 78 : Profil type au droit rampe de stabilisation du lit du Borne / PM373 – digue rive droite à droite de la figure

### Réflexion paysage

Sur ce secteur, un chemin piéton en crête de berge sera assuré. Cependant, ce sentier devra être intégré dans une vision globale d'aménagement pour la totalité du secteur de la pointe de la confluence. En fonction du projet paysager, ce sentier pourra disparaître au profit d'un axe structurant rejoignant la pointe jusqu'à un belvédère entre Borne et Arve.

La continuité hydraulique de la digue du Borne jusqu'à l'Arve, en aval du parking relais, permettrait de dissimuler les véhicules depuis l'espace confluence, grâce à la plantation d'une haie implantée sur une pente douce en avant du merlon (profil à étudier en phase PROJET).

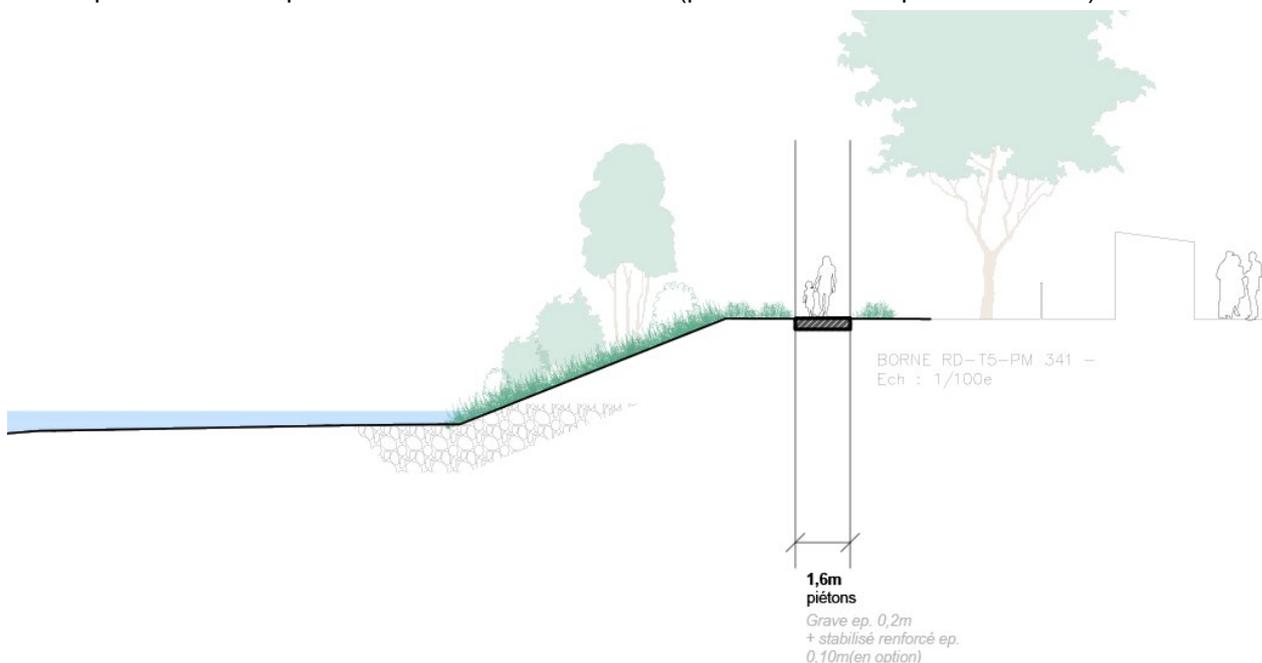


Figure 79 : Profil type RD-T5 au droit du nouveau parking relais et du projet de jardins familiaux

#### 5.2.2.4.2.4 Berge rive droite – RD-T6 - tronçon hors système d'endiguement

Linéaire d'application : 155 m,

Type d'intervention : arasement de la digue et adoucissement de la berge.

Au droit de ce secteur, le TN est situé au-dessus de la cote de protection (ligne d'eau de  $Q_{100}$ ). Du fait de l'absence d'enjeu fort en arrière de l'ouvrage, un arasement de la digue actuelle au niveau du TN est préconisé, associé à un recul et un adoucissement de la berge dans une logique de restauration des habitats écologiques, en cohérence avec les actions prescrites dans le lit mineur et sur la rive opposée.

Le pied de berge est laissé à l'évolution naturelle de la dynamique alluviale du Borne. La berge adoucie est ensuite entièrement végétalisée sous forme de techniques végétales pures en partie basse et de plantations indigènes adaptées en massifs en partie supérieure. La limite inférieure du génie végétal est calée à la cote atteinte par le niveau moyen des eaux de mai. Des géotextiles tissés biodégradables sont mis en place sur la partie inférieure du talus alors qu'un ensemencement généralisé de l'ensemble des surfaces travaillées est prévu.

#### 5.2.2.4.2.5 Berge rive droite – RD-T7 - tronçon hors système d'endiguement

Ce dernier tronçon concerne la restauration du secteur de confluence avec l'Arve. La berge droite du Borne est ainsi totalement adoucie, le TN abaissé pour se mettre en relation avec les écoulements, crues de l'Arve. Aucune protection de berge n'est prévue sur ce secteur. Les massifs d'espèces exotiques invasives présentes sur ce tronçon et représentées essentiellement par des massifs de buddleias seront entièrement supprimés, les substrats contaminés évacués puis criblés-concassés.

Les îlots seront végétalisés localement sous la forme de pieux vivants et gosses boutures de salicacées en massifs. Des hibernaculums pourront également avantageusement être créés sur ces surfaces élargies.

#### 5.2.2.4.2.6 Déplacement du seuil de la confluence et dévoiement du réseau d'eaux usées

Tel que susmentionné, l'élargissement proposé du lit du Borne avant sa confluence avec l'Arve nécessite le déplacement du seuil actuel présent au droit de la Step. Il est prévu de le déporter vers l'amont, juste avant l'élargissement, ce qui permettra au Borne de dissiper son énergie au droit de la surlargeur créée. Il est à noter qu'un ouvrage de stabilisation du fond du lit du Borne reste indispensable afin d'éviter toute érosion régressive du fond du lit remettant en cause la tenue des digues à l'amont.

Cet ouvrage est proposé sous la forme d'une double rampe en enrochements rangés, d'une épaisseur supérieure ou égale à 1.5 mètre. Les deux rampes mesureraient 15 mètres de long chacune, avec une pente de 3 %, soit un dénivelé total amont-aval de 0.9-1.0 mètre. Entre les deux rampes, une sur profondeur protégée par un lit d'enrochements sera réalisée sur un linéaire de 15 mètres en tant que point de dissipation intermédiaire et zone de repos pour les espèces piscicoles. Les deux rampes seront légèrement cintrées au centre pour concentrer les écoulements d'étiage du Borne. Les blocs seront mis en place un par un et selon une certaine hétérogénéité afin d'éviter le lissage des écoulements et faciliter le transit piscicole pour tous types d'espèces et tailles d'individus.

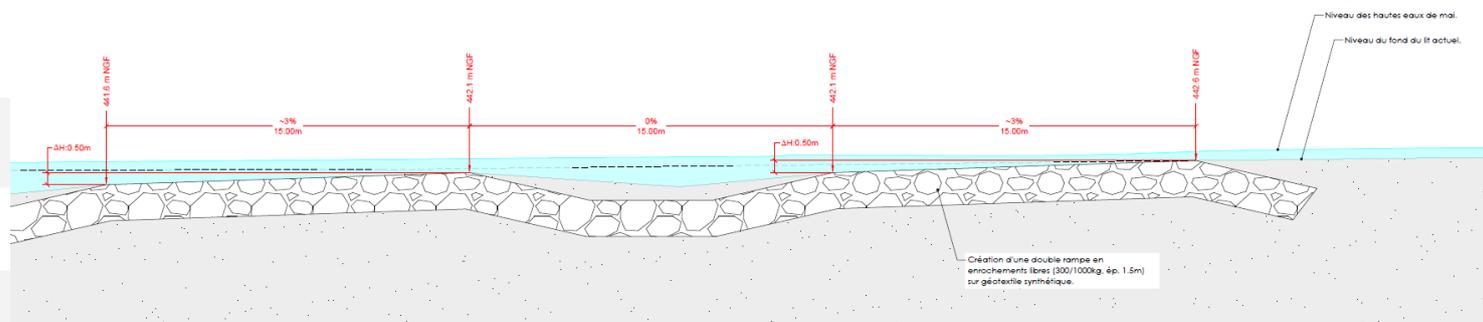


Figure 80 : Profil en long de la double rampe proposée en stabilisation du lit du Borne

La cote supérieure de cet ouvrage sera calée sur la cote actuelle du fond du lit du Borne à l'amont. A l'aval, le lit pourra évoluer librement pour se caler sur le profil en long de l'Arve. Des chenaux pourront se créer, en alternance avec des îlots et bandes graveleuses (espace alluvial restauré).



**Illustration d'un seuil infranchissable sur le Sierroz à Aix-Les-Bains, puis de sa démolition et la constitution d'une rampe de stabilisation du profil en long ; conception, photos et maîtrise d'œuvre Biotec**

#### 5.2.2.4.2.7 Pistes d'exploitations

La réalisation d'une piste d'exploitation en crête de digue est intégrée au droit des tronçon suivants :

- RD-T3
- RD-T4

Cette piste d'exploitation est constituée de grave non traitée (GNT) 0/31.5, sur une largeur de 3 m et une épaisseur de 0.3 m. A l'exception d'une partie du tronçon RG-T2, où la largeur en crête est réduite à 3 m, des accotements enherbés de 0.5 m de largeur seront réalisés de part et d'autre de la piste.

Hormis pour les tronçons au droit desquels une coupure hydraulique est mise en œuvre (palplanche ou mur béton), l'intégration d'une couche de grave sur la partie supérieure de l'ouvrage est de nature à augmenter fortement la perméabilité dans les 30 derniers centimètres

(revanche). En conséquence, une étanchéité est prolongée jusqu'au niveau de  $Q_{100} +$  revanche via la mise en place d'une géomembrane. Les sujétions d'ancrage et de confinement de cette géomembrane nécessitent, au droit des secteurs concernés, de relever l'arase de la piste de 10 cm par rapport d'arase usuelle de  $Q_{100} +$  revanche (cf. figure ci-après).

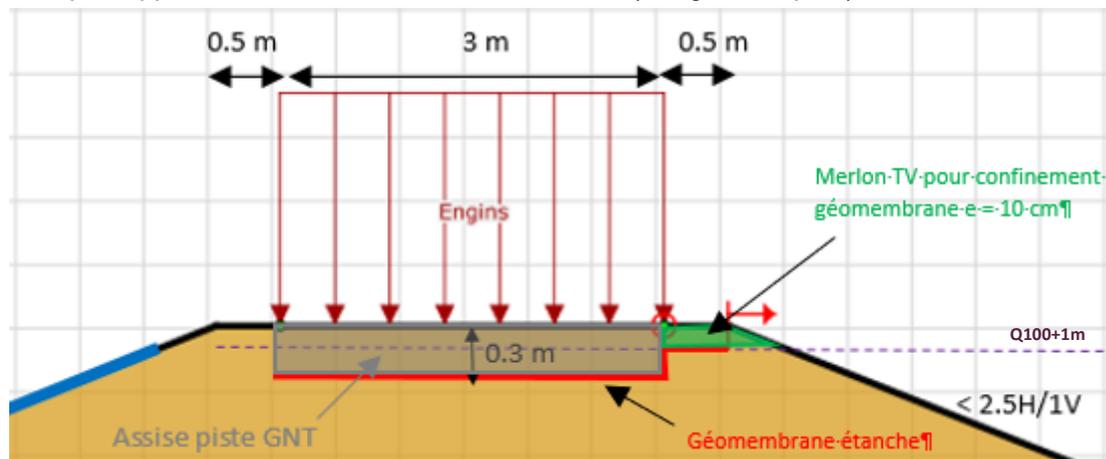


Figure 81 : Etanchéité au droit des pistes d'exploitation.

Sur l'aval du tronçon T5, la piste d'exploitation sera également utilisée pour les cycles de type VTC/MTT afin d'assurer une continuité des circulations "rustiques" vers l'aval de Bonneville. Ici le chemin piéton est maintenu le long du perré.

Sur les tronçons T6 et T7, le chemin rustique sur la piste d'exploitation est partagé entre tous les usagers, il présente une largeur suffisante pour limiter les conflits d'usages.

#### 5.2.2.4.2.8 Synthèse des continuités piétonnes et cycles

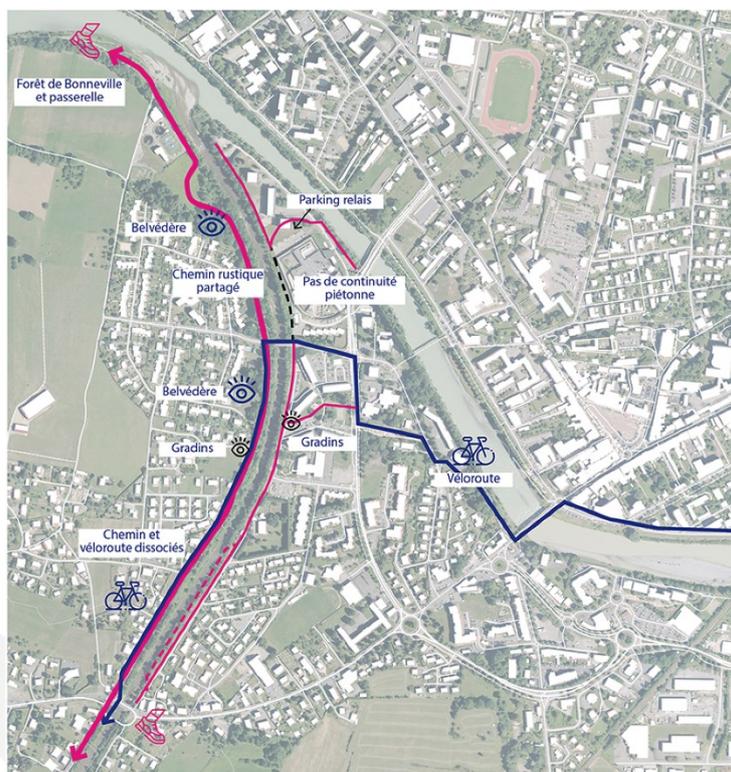


Figure 82 : Carte de synthèse des cheminements piétons et cycles aux abords du Borne

Seule la véloroute sur l'épaulement sur le tronçon T5 sera éclairée grâce à l'installation de bornes lumineuses basses. Le passage sous le Pont Royal (détaillé après) sera également éclairé par des appliques fixées en hauteur.

Le mobilier, de type bancs et corbeilles, pourra être installé par la commune de Bonneville aux endroits stratégiques offrant des vues sur le Borne ou l'arrière-plan paysager.

#### 5.2.2.4.3 Voies d'accès aux digues

La largeur des digues projetées (RDT3 et RDT4) est de minimum 3 m afin de permettre le passage des engins d'entretien du SM3A. Les principales voies d'accès aux digues du Borne rive gauche sont représentées avec la couleur orange sur la figure ci-après :



Figure 83 : Voies d'accès au système d'endiguement

Les rampes permettant l'accès aux digues avec des engins ou des VL sont intégrées au programme de travaux.

Les voies d'accès aux digues de l'Arve seront précisées dans l'étude de dangers à déposer dans le cadre du dossier réglementaire « Arve ».

#### 5.2.2.4.4 Analyse fonctionnelle hydraulique des ouvrages confortés/construits

Le profil en long ci-après présente le calage des digues projetées. La revanche de 100 cm est assurée sur tout le linéaire endigué en rive droite du Borne.

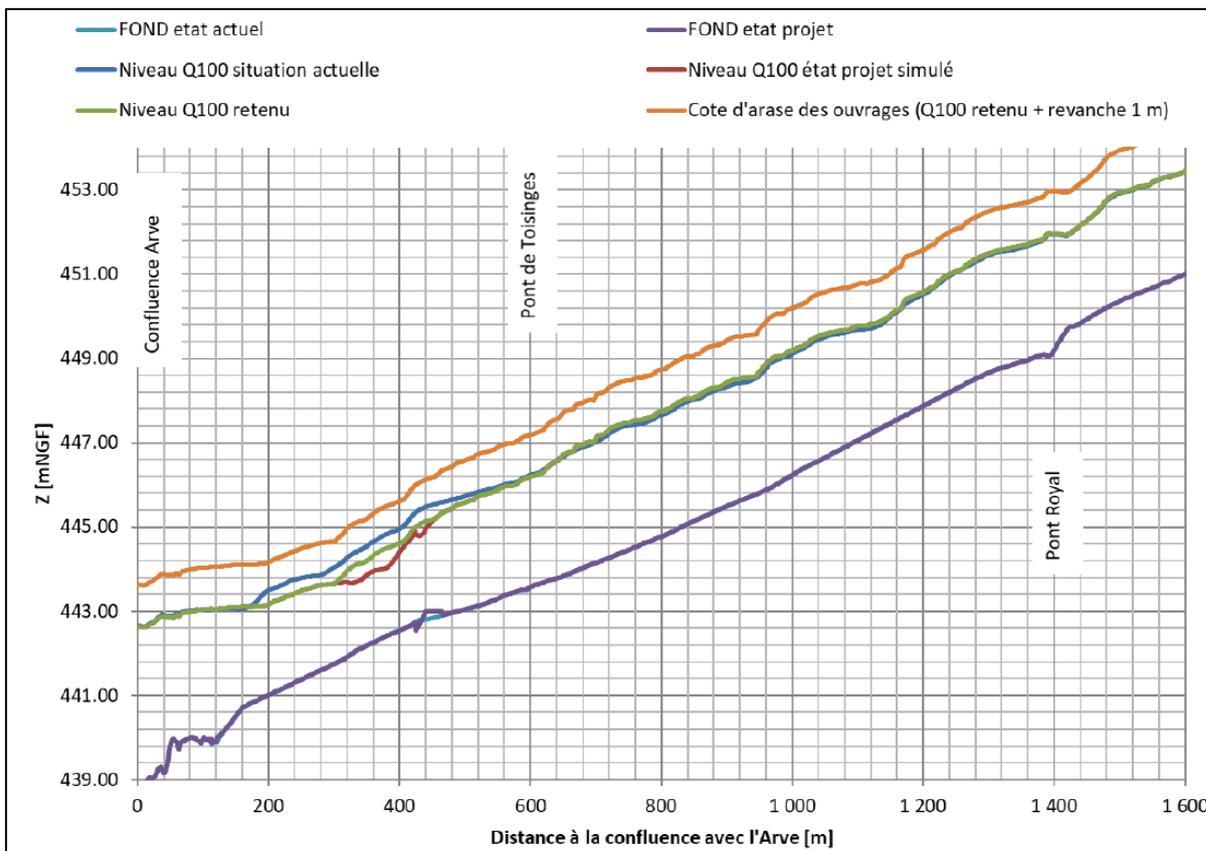


Figure 84 : Profil en long du Borne (Source : CNR) – calage des digues projetées

### 5.2.3 Travaux - Mesures temporaires prises contre les crues et tempêtes

Durant la période de rénovation des ouvrages existants, le risque de crue ou de tempêtes entraînant une montée brusque du niveau de l'eau n'est pas à écarter. C'est pourquoi plusieurs mesures seront mises en place afin de garantir la sécurité des différents enjeux présents derrière les ouvrages de protection en maintenance.

- La réfection des ouvrages de type digue se fera par passe maximum de 50m à 100m. Un protocole de confortement rapide sera établi en cas d'alerte crue. Ce protocole intégrera aussi des prescriptions de maintien de la continuité de la digue de façon qu'elle remplisse son rôle durant les phases d'arrêt de chantier.
- Un suivi scrupuleux des débits du Borne et de l'Arve sera mis en place pendant toute la période du chantier :
  - Réalisation d'une convention avec météo France ;
  - Suivi des stations hydrométriques présentes en amont des travaux sur le Borne (et sur l'Arve) ;
  - Le SM3A utilisera également son système de prévision des débits et le communiquera à l'entreprise des travaux.
- En cas d'alerte crue, un repli de chantier sera réalisé. Les secteurs en cours de travaux seront surveillés et des digues provisoires seront mises en place si nécessaire ;

- Un système d'astreinte sera demandé aux entreprises dans le cahier des charges avec une mise à disposition sur le chantier de matériaux, personnel d'astreinte et moyens matériels de remblaiement d'urgence ;
- Lors des périodes de travaux, un batardeau de protection sera mis en place, à la fois pour mettre la zone d'opération hors d'eau, mais aussi pour protéger les installations de chantier contre une crue de période de retour 5 ans.
- Des échelles limnimétriques seront mises en place en amont des zones de chantier et des seuils d'alerte seront fixés.
- Des seuils d'alerte seront aussi fixés aux stations limnimétriques en amont (station de Sallanches sur l'Arve ou Saint Jean de Sixt sur le Borne) et le Giffre à Marignier.
- D'une manière générale, les travaux seront engagés, dans la mesure du possible, sur des périodes de basses hydraulicités.

Il est à noter que cette liste est non exhaustive. D'autres mesures seront demandées aux entreprises pour assurer la sécurité du chantier et des riverains pendant toute la période du chantier (PA, PC, PAQ, procédures d'exécution, faire appel à un CSPS ...). Le cahier des charges « travaux » pourra être communiqué au service de la DREAL ultérieurement si besoin.

## 5.3 Description des sources d'agression

### 5.3.1 Sources d'agression anthropiques

Ce chapitre a pour objectif de lister les agresseurs potentiels pouvant impacter la digue. Ces agresseurs sont des installations classées de type SEVESO, des installations nucléaires de base (INB), les modes de transport de marchandises dangereuses (par voie ferrée, fluviale, routière ou par canalisations).

#### **Sites SEVESO**

Aucun site SEVESO n'a été recensé dans le périmètre d'étude.

#### **Installation Nucléaire de Base**

Aucune INB n'a été recensé dans le périmètre d'étude.

#### **Transport de Marchandises Dangereuses**

Aucun transport de marchandises dangereuses recensé sur la zone d'étude.

### 5.3.2 Risques naturels

#### **Risque minier**

La zone d'étude ne se situe pas en zone de risque minier.

#### **Les phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux**

La cartographie du BRGM de l'aléa des sols argileux aux phénomènes de retrait gonflement classe le site en zone d'aléa faible.

#### **Base de données des cavités souterraines**

Aucune cavité souterraine n'a été recensée par le BRGM au droit de la zone d'étude.

#### **Risque de glissement de terrain**

Aucun mouvement de terrain n'a été recensé par le BRGM au droit de la zone d'étude.

## 5.4 Description fonctionnelle du système d'endiguement – digues du Borne rive droite

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019, la description fonctionnelle du système d'endiguement comporte une étude hydraulique des écoulements qui se produisent, en tenant compte du système d'endiguement, autour de la zone protégée sans y pénétrer jusqu'au niveau de protection.

Des adaptations ont été apportées au modèle état actuel pour intégrer l'avant-projet de confortement. Le fond du modèle hydraulique état projeté intègre, par rapport au modèle état actuel :

- Le passage de la Véloroute sous le pont de la RD1203 (RG-T-1, à RG-T1) ;
- La mise en œuvre des 41 épis dans le lit du Borne, du pont de la RD1203 au PM480 ;
- La géométrie des nouvelles digues et l'élargissement du lit du Borne à partir du RD-T3/T4 en rive droite, et du RG-T6 en rive gauche.

Les évolutions du profil en long au long terme du fait du déplacement du seuil, ainsi que les potentielles banquettes engendrées par la mise en place des épis, ne sont pas intégrées dans la modélisation état projet.

Entre l'aval des rampes en enrochements projetées sur le fond du lit du Borne et le seuil de la confluence, déposé dans le cadre du projet, le fond du Borne, laissé en l'état à l'issue des travaux, est voué à s'abaisser sensiblement par érosion régressive à moyen terme. La situation considérée dans le modèle état projeté est celle jugée la plus pénalisante pour les niveaux du Borne en crue, c'est-à-dire la situation immédiatement après-travaux, sans modification altimétrique du fond du lit.

Le présent paragraphe explicite le mécanisme des écoulements d'une crue centennale du Borne (niveau de protection des digues du Borne rive droite). Les figures suivantes présentent :

- L'enveloppe maximale de la crue centennale sur le Borne (avec les hypothèses hydrauliques de concomitance les plus défavorables Q100 Borne avec une Q30 sur l'Arve) ;
- Une cartographie de la zone protégée par les digues du Borne rive droite et les niveaux de protection correspondant aux lieux de références

La modélisation montre que la crue centennale du Borne ne déborde pas dans la zone protégée par les digues du Borne rive droite en situation de travaux achevés.

### **Rappel :**

Dans l'étude de dangers de CNR 2019, il est justifié un niveau de sureté décennal pour les digues de l'Arve rive gauche (niveau conditionné par les digues situées entre le pont de la ZI et le pont SNCF).

La protection de la zone protégée par les digues du Borne rive droite est assurée à 100 % contre la crue centennale du Borne quand le débit de l'Arve ne dépasse pas sa crue décennale (niveau de protection défini par CNR dans l'EDD de 2019). Comme les digues de l'Arve feront également l'objet de travaux de confortement centennal à partir de 2024/2025, cette disposition est donc temporaire (cf. § 0.3.2). L'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve » est centrée sur les digues de l'Arve rive gauche (digues classées en état de travaux achevés).

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" - ARVE-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

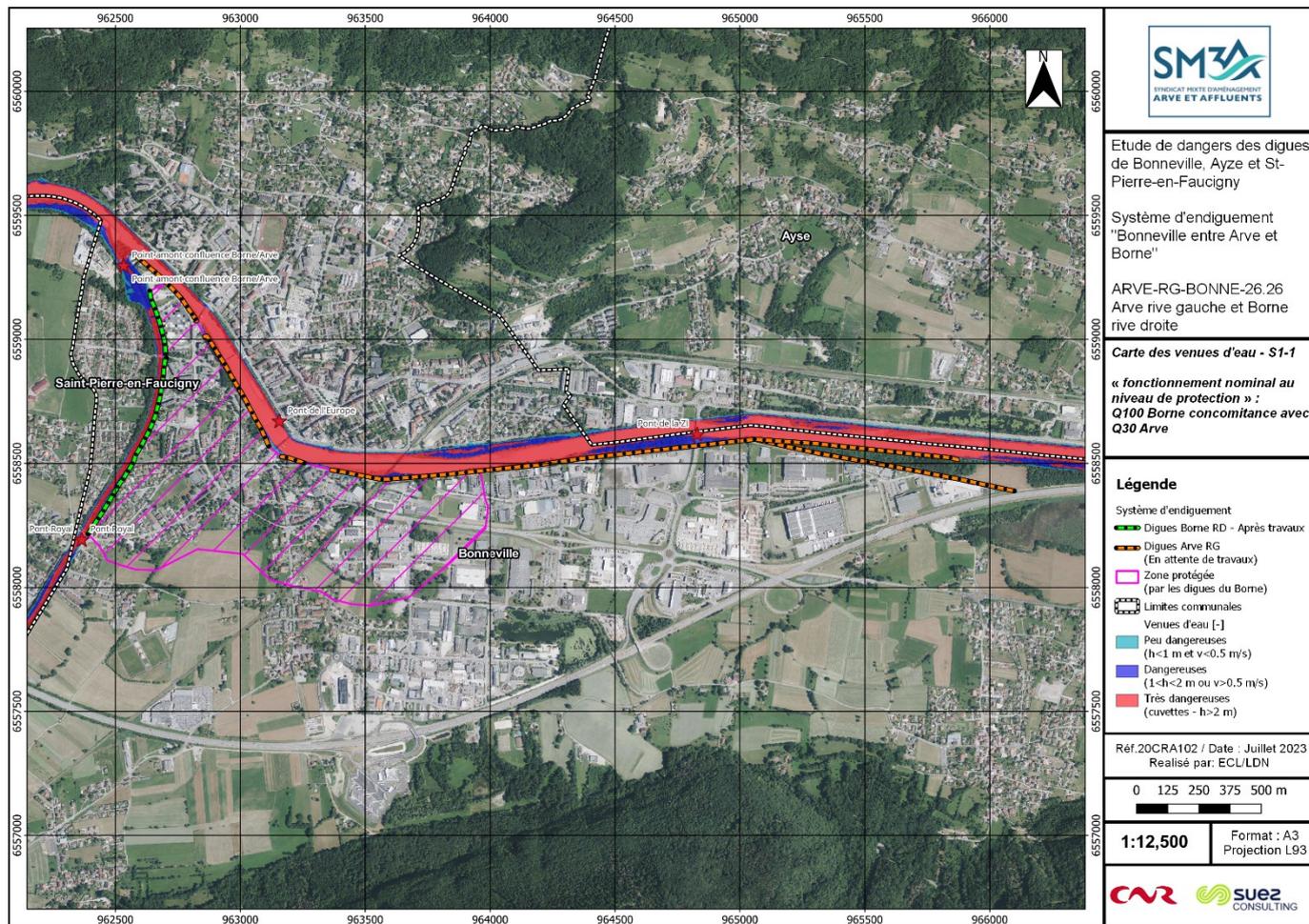


Figure 85 : Cartographie des venues d'eau en Q100 Borne - situation de travaux achevés

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

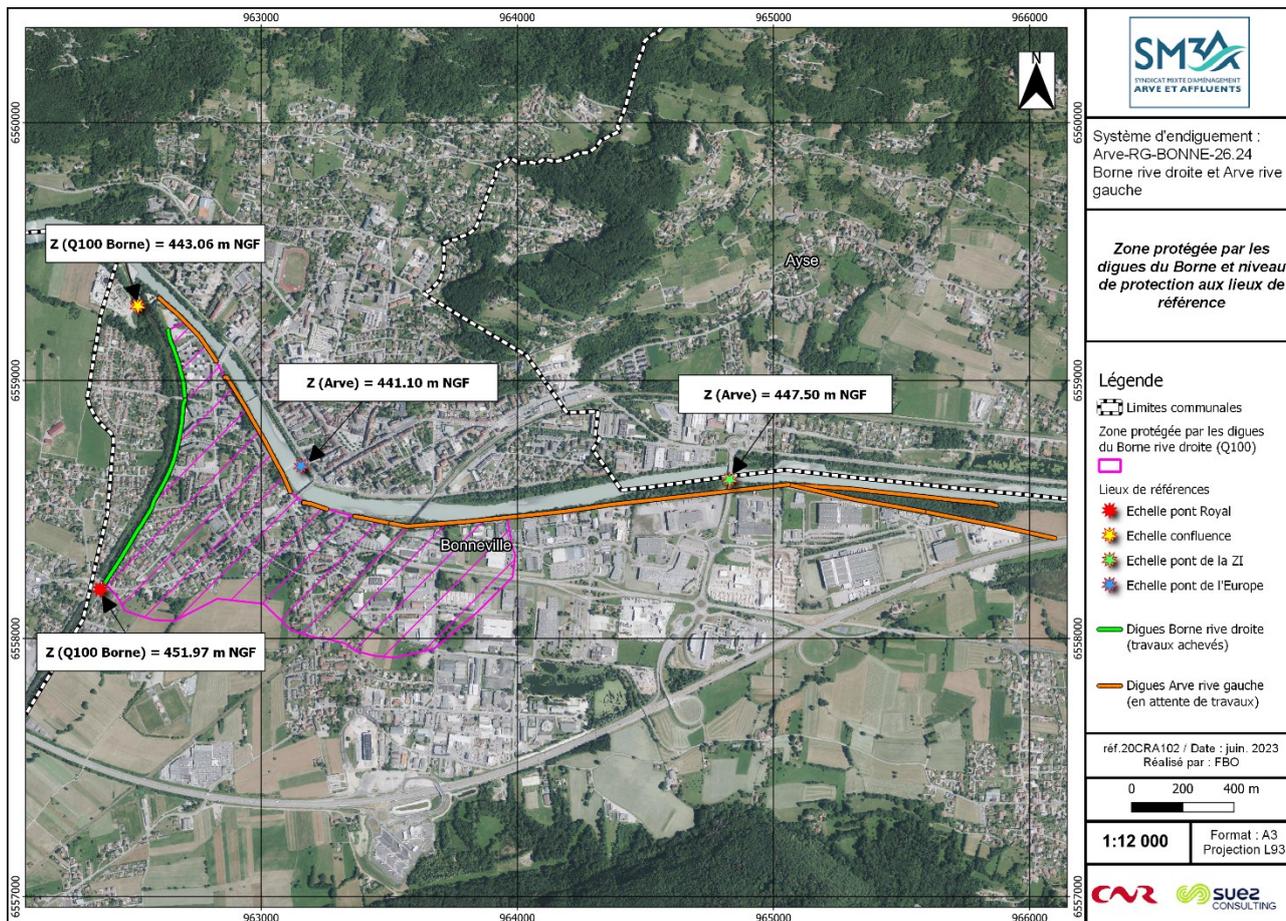


Figure 86 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection – digues du Borne rive droite

Les cotes de l'Arve correspondent à une occurrence de crue décennale (niveau de sureté des digues de l'Arve défini pas CNR dans les études de dangers de 2019).

## 6. RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE ET LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 définissant le plan de l'étude de danger des barrages et des digues et en précisant le contenu [2], la rubrique 6 « Retour d'expérience concernant la zone protégée et le système d'endiguement » est établie en préparation du chapitre 7 pour orienter la réalisation du diagnostic approfondi. Il vise aussi à orienter, en fonction des résultats du diagnostic approfondi, l'élaboration des consignes de surveillances et des consignes de surveillance lors des crues ou des tempêtes en fonction des points particuliers de fragilité identifiés sur les tronçons du système d'endiguement ou ses équipements annexes.

### 6.1 Présentation de la démarche

#### 6.1.1 Obligations réglementaires

La rubrique 6 de l'arrêté du 30 septembre modifiant l'arrêté du 7 Avril 2017 définissant le plan de l'étude de dangers, impose au responsable mentionné à l'article R. 214-115 du code de l'environnement (concessionnaire d'un barrage de classe A ou B ou d'une digue de classe A, B ou C) les obligations suivantes :

- 1° La liste et la description des incidents et accidents survenus sur l'ouvrage ;
- 2° Les exemples connus d'incidents et d'accidents survenus sur des ouvrages de même type ;
- 3° Les scénarios de défaillance qui peuvent être mis en évidence par l'étude d'accidentologie faite en exploitant les informations mentionnées dans les deux alinéas précédents et l'analyse de ces scénarios.

#### 6.1.2 Méthodologie

Nous avons analysé les événements significatifs survenus sur le système d'endiguement en nous appuyant sur les renseignements, analyses, mesures et retours d'expériences effectués disponibles et notamment sur les données historiques transmises par le S.M.3.A. (Obligation n°1) et notamment par le biais de l'étude historique réalisée par la société Acthys Diffusion en juillet 2017 [20]. Dans cette partie, nous mentionnerons les événements particuliers survenus sur le site tels que les crues d'importance significative et les séismes, y compris lorsqu'ils n'ont pas entraîné d'incident notable.

Dans un deuxième temps, nous évoquerons les événements ayant eu lieu sur d'autres tronçons du bassin versant de l'Arve et même plus généralement sur d'autres ouvrages du même type. Ces données permettront notamment d'éclairer la dynamique des phénomènes et leur occurrence (Obligation n°2).

Ces éléments permettront d'alimenter les modes de défaillances pouvant survenir sur les ouvrages en différenciant les agressions potentielles externes et internes (Obligation n°3).

### 6.2 Défaillances, accidents, incidents et évolutions lentes survenus sur les ouvrages

#### 6.2.1 Crues historiques sur le système

D'après l'étude historique, depuis le XVIIe siècle (1651), 154 crues (113 sur l'Arve et 41 sur le Borne son affluent) ont eu cours sur le système d'endiguement de Bonneville entre Arve et Borne et 60 l'ont impacté matériellement.

La plupart des crues ayant eu lieu avant les années 1965 sont surtout localisées durant la période automnale, du fait des fortes précipitations ou au printemps en combinaison avec la fonte des neiges.

Le CI6APR7S, tiré de l'étude historique [20] fait état des crues ayant eu le plus d'impact. Durant ces différentes crues ainsi que d'autres survenues récemment (2015). Plusieurs débits ont été soit calculés soit estimés aux abords de l'endiguement étudié.

Localisation	1852	1859	2015
Pont de Bonneville (Arve)	785-1050 m <sup>3</sup> /s	912-1000 m <sup>3</sup> /s	777m <sup>3</sup> /s*
Confluence avec le Borne	1250 m <sup>3</sup> /s	-	-
Amont du modèle hydraulique (Borne)	-	-	100m <sup>3</sup> /s*

Tableau 34 : Débits estimés et mesurés durant différentes crues de l'Arve et/ou du Borne dans le secteur de l'endiguement

\*Débit obtenu grâce au modèle ISL [17].

La carte en Figure 87 localise les crues en fonction de leur siècle d'occurrence sur un orthophotoplan.

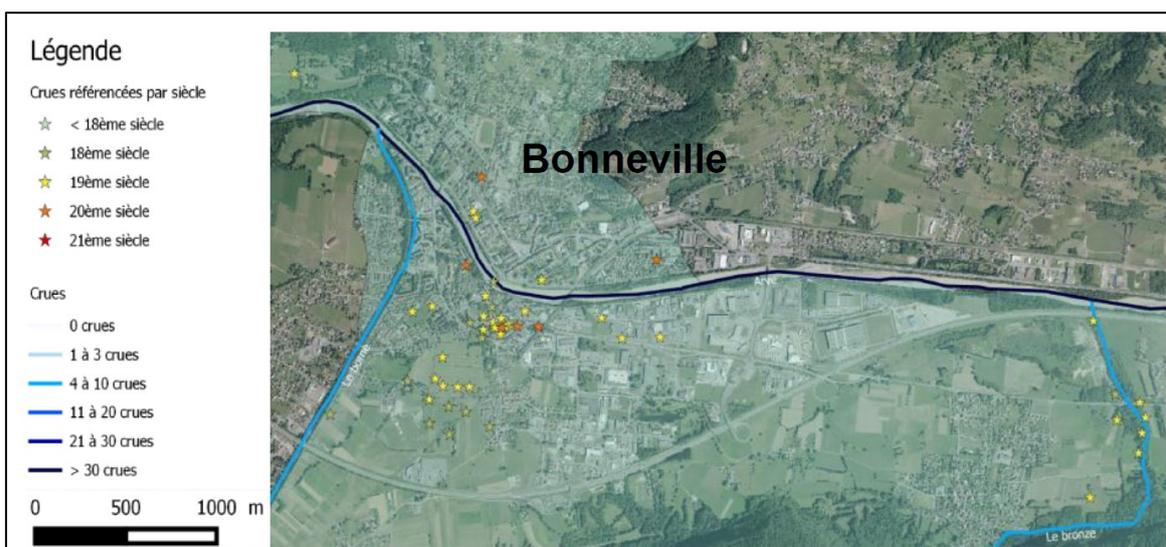


Figure 87 : Cartographie des crues sur le secteur d'étude - Source S.M.3.A.

## 6.2.2 Synthèse des observations – typologie des désordres (VTA)

Une visite technique approfondie a été réalisée par la CNR en 2017 sur l'ensemble des linéaires de digues à Bonneville (Borne et Arve).

Une nouvelle VTA a été réalisée en 2020/2021 dans le cadre de l'inventaire des systèmes d'endiguement du Borne et de l'Arve, à la demande et pour le compte de S.M.3.A – Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents.

Cette étude s'inscrit plus largement dans le cadre des études réglementaires obligatoires concernant :

- La surveillance des digues,
- La mise en œuvre de la directive inondation sur le bassin Rhône Méditerranée.

La VTA est une étape préalable dans l'élaboration des solutions techniques de confortement qui sont proposées en AVP détaillé et qui visent à garantir la sûreté hydraulique de l'ouvrage. Il s'agit

d'un diagnostic visuel présentant principalement des observations qualitatives, les aspects techniques et précisions quantitatives sont abordées dans l'AVP détaillé.

Contrairement à 2017, cette nouvelle Visite Technique Approfondie (VTA) est limitée au linéaire de digues faisant l'objet de travaux de confortement.

**Ce qui est présenté dans la suite de ce chapitre synthétise la VTA réalisée sur le système d'endiguement [ARVE-RG-BONNE-26.24 : Bonneville Entre Arve et Borne], objet de la présente étude.**

Pour information, la carte ci-dessous présente les linéaires de digues inventoriées sur le Borne (rive gauche et rive droite) en 2020.

L'ensemble des digues de l'Arve rive gauche ont fait l'objet d'une VTA (2017 et 2021).

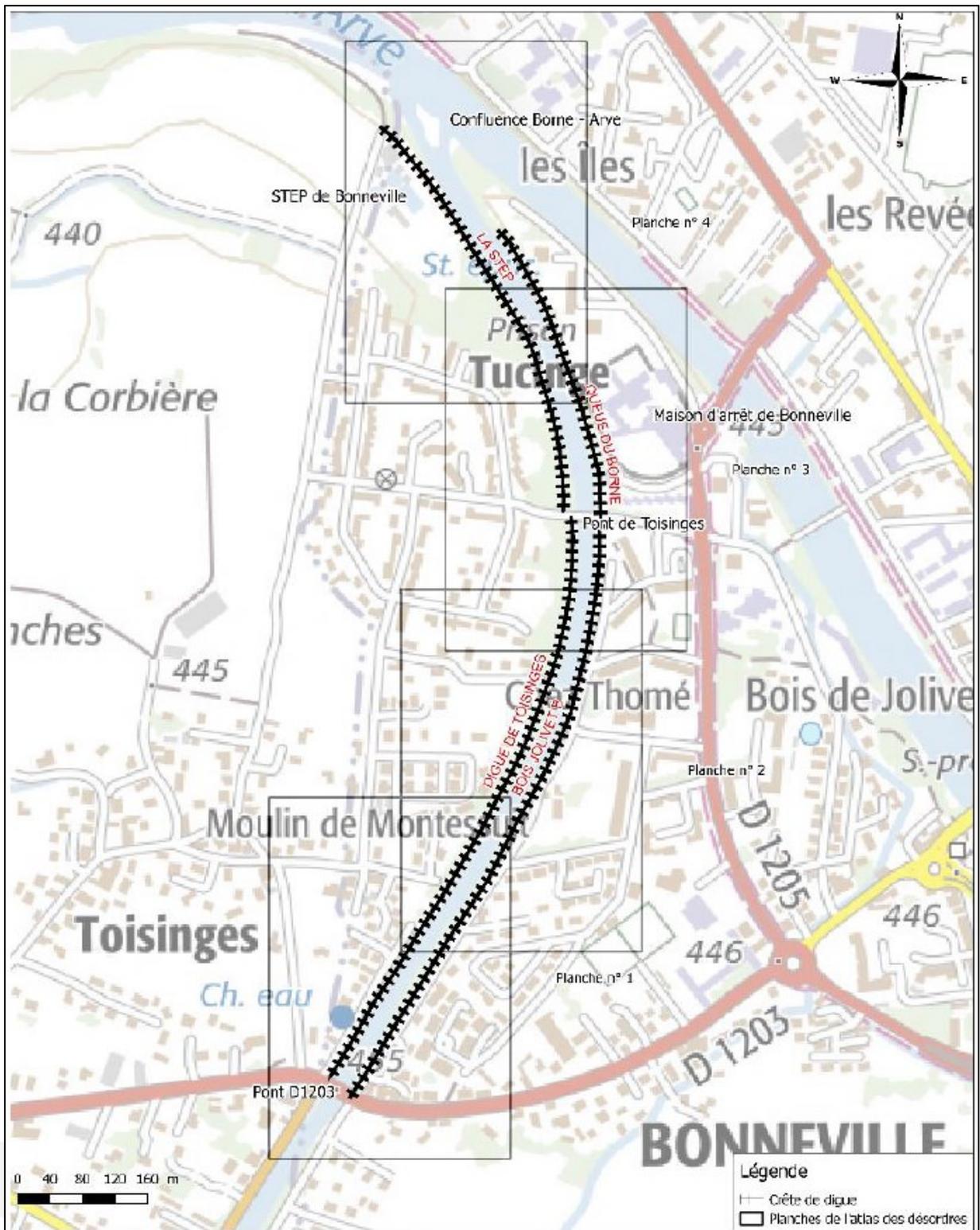


Figure 88 : Localisation des endiguements concernés par la VTA de 2020 – digues du Borne

### 6.2.2.1 En rive droite du Borne

Comme susmentionné, les endiguements en rive droite du Borne appartenant au système ARVE-RG-BONNE-26.24 ont fait l'objet de plusieurs VTA (2017 et 2020).

Le système d'endiguement le long du Borne apparaît comme un dispositif de protection ayant mal vieilli du fait :

- Du manque d'entretien d'une manière générale dans le temps,
- De l'évolution rapide du lit du Borne, en particulier son incision,
- De la forte pression anthropique qui a dénaturé le système de protection original (pied aval rogné, ravinements, etc.).

Le développement de la végétation contribue par ailleurs à largement déstructurer les maçonneries sèches existantes (murs, perrés, gabions) qui bordent le cours d'eau, qui plus est lorsque cette dernière tend à mourir/pourrir, créant de nombreux points de faiblesses dans le talus amont des ouvrages.

#### Une incision prononcée – conséquences

Le développement de l'incision est caractérisé de manière récurrente le long du Borne par la présence d'une marche d'érosion plus ou moins continue le long des berges du Borne.

Elle contribue à saper largement l'assise des berges/digues sur le Borne aval sur l'ensemble du linéaire de digues objet de la présente étude.

Lors des crues, les talus amont, dont les protections amont sont vieillissantes et déstructurées, sont mis à nu suite à l'arrachage de la végétation arborée, affaiblie du fait de l'âge ou d'une croissance dans un milieu peu favorable (forte pente...). Les matériaux de berge ainsi mis à nu n'autorisent pas de tels profils d'équilibre compte tenu de leur nature (matériaux pulvérulents sans cohésion : sables, limons, graviers, ...). Il en résulte alors :

- Une érosion externe régressive par ravinement accentuant la pente du talus,
- Dans les cas extrêmes l'apparition de zones d'effondrement / glissement.

La propagation de proche en proche de l'érosion peut conduire au démantèlement quasi systématique des digues sus-jacentes, du fait qu'il n'existe pas de « zone tampon » suffisante (Franc-Bord ou ségonnal) entre la crête de berge et le pied de talus de digue.

Compte tenu des géométries des digues, des aménagements qu'elles ont subies au cours de leur histoire, les fonctions de protection hydrauliques de ces ouvrages ne sont plus totalement assurées sur le linéaire d'étude en période de crue exceptionnelle, et ce principalement en aval du pont de la RD1203 sur la quasi-totalité du linéaire de digues objet de la présente étude, du fait de la relative étroitesse des ouvrages :

- Tronçon Bois Jolivet B,
- Queue du Borne.

#### Hiérarchisation des désordres

Le tableau ci-après récapitule l'importance des différentes typologies de désordres par tronçon et une appréciation globale de l'état de vulnérabilité des ouvrages à l'échelle d'un tronçon tandis que chaque désordre fait l'objet d'une cotation d'urgence spécifique suivant la classification de France Digue dans le SIRS Digue.

**Cette cotation de vulnérabilité est uniquement basée sur une approche visuelle. Le croisement des constats visuels avec les autres données d'entrée (charges hydrauliques réelles des ouvrages, revanches retenues, contraintes foncières, etc.) devrait permettre d'affiner le diagnostic en détaillant les actions à mener sur des sous-tronçons.**

On distingue :

- +++ : désordre très important
- ++ : désordre moyen
- + : désordre faible
- - : absence de désordres significatifs

La note de l'état de Vulnérabilité est basée sur une note de 5 :

- 1 : aléa de rupture très faible
- 2 : aléa de rupture faible
- 3 : aléa de rupture moyen
- 4 : aléa de rupture élevé
- 5 : aléa de rupture très élevé

Les résultats de cette analyse sont récapitulés dans le tableau d'analyse ci-après :

		Typologie de désordre					Niveau de vulnérabilité
		Instabilités talus amont	Ouvrages traversants	Végétation	Défaut de continuité de protection hydraulique	Modification géométrie du talus aval	
Borne aval RD	Bois Jolivet B	++	++ (ruine moulin et maison encastrée)	+++	-	++ (mur soutènement, rétrécissements pour ligne électrique)	4
	Queue du Borne (amont)	++	+	+++	-	-	3
	Queue du Borne (aval)	++	+	+++	++ (difficulté à savoir où se finit la digue au niveau de la confluence ; discontinuité entre la protection par des gabions déstructurés et le perré)	-	4
Borne aval RG	Toisings	++	+	+++	-	+	4
	STEP (amont)	++	+	+++	-	-	4
	STEP (aval)	++	+	+++	++ (altimétrie chahutée, points bas)	-	4

Tableau 35 : Hiérarchisation de l'état de fragilité des endiguements du Borne

Ce diagnostic a abouti au plan d'action suivant :

○ **Suppression des points de débordements**

Il convient rapidement d'homogénéiser les altitudes des crêtes de digue, et ce en particulier dans le secteur STEP et à sa jonction avec la digue de Corbières ainsi qu'à l'extrémité du tronçon de la Queue du Borne en lien avec les résultats du modèle hydraulique.

○ **Travaux de restauration globaux**

L'importance, l'extension et la forte récurrence des désordres le long des tronçons de digue étudiés conduisent d'une manière générale à envisager des travaux de réfection lourde, impliquant un démantèlement partiel ou total des ouvrages existant, puis leur reconstruction. L'objectif des confortements est de :

- Limiter le développement des instabilités des berges/talus amont existantes si la charge sur l'endiguement est significative,
- Assurer la sûreté hydraulique vis-à-vis des risques de surverse et d'érosion interne,
- Rectifier de manière draconienne le développement anarchique de la végétation arborée sur les ouvrages.

Sur les tronçons suivants (soit la quasi-totalité du linéaire d'étude) :

- Bois Jolivet B,
- Toisinges,
- STEP,
- Amont queue du Borne,

Les hypothèses de dimensionnement (cote de protection et cote de danger notamment) et les solutions techniques de confortement adaptées aux problématiques rencontrées sont présentées en AVP.

### ○ Entretien courant des ouvrages

Les digues objet de cette étude présentent un état de dégradation avancé, notamment au niveau des protections de berge existantes le long des cours d'eau, expliqué en grande partie par l'hydraulicité du cours d'eau et la présence d'une végétation actuelle abondante.

De manière à ralentir la cinétique de dégradation des ouvrages vis-à-vis du phénomène d'érosion externe du talus amont, il est nécessaire de conserver et maintenir la fonctionnalité de protection et/ou de soutènement de la protection de berge. Dans ce sens, il est nécessaire d'engager des travaux de restauration des anciens parements de maçonnerie (murs, perrés) le long de la confluence Arve – Borne sur les tronçons non visés par une démolition/reconstruction de digue partielle et/ou totale. Dans l'autre cas, la restauration de la protection de berge sera intégrée au design de la nouvelle digue.

Aussi, afin de ne pas aggraver la dégradation de la digue et augmenter les risques associés (érosion externe, érosion interne, etc.), il est nécessaire de mettre en place un entretien courant et régulier des ouvrages.

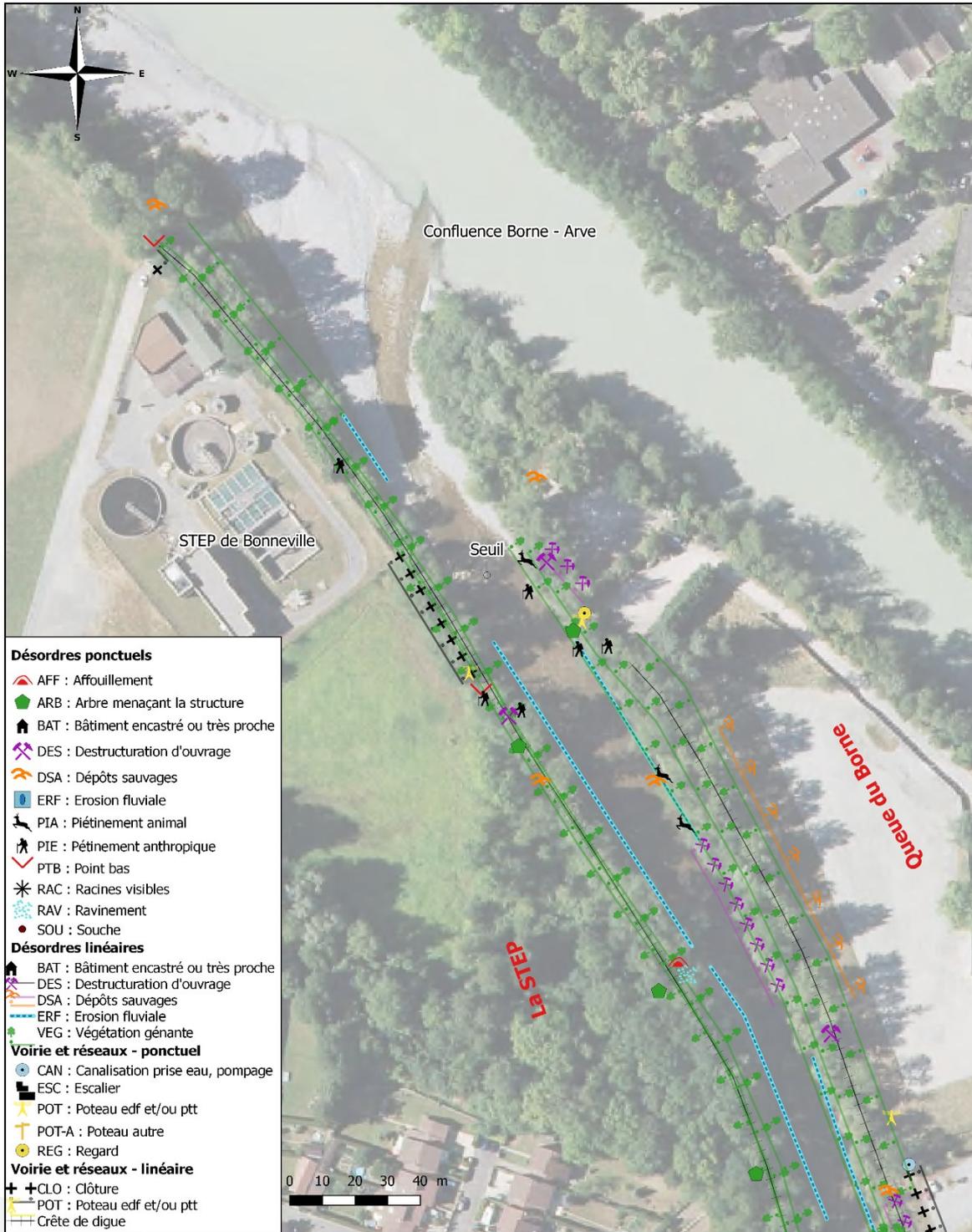
Il conviendra notamment de :

- Surveiller/réparer les traces/impacts éventuels liés au passage d'animaux sauvages et de tiers,
- Reprendre si nécessaire les portions de talus ravinées ou affouillées (enherbement ...),
- Contenir dans la mesure du possible le développement d'essences arborées en pied et sur les talus de digue, côté amont et aval,
- Maintenir régulièrement la végétation à un niveau compatible avec la surveillance des ouvrages via la production d'un plan de gestion raisonnée de la végétation.

Ces points sont développés dans l'AVP.

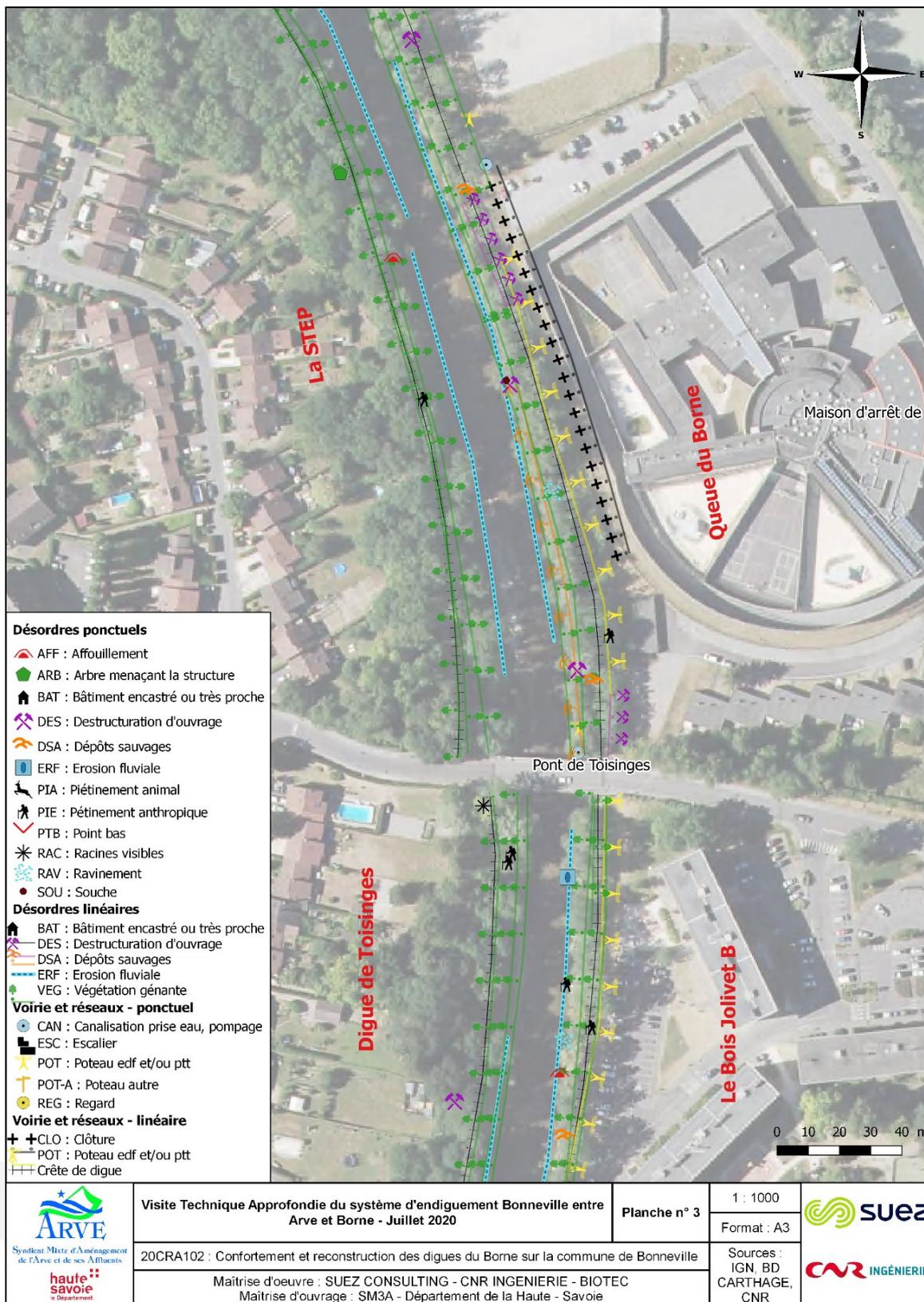
Les cartes suivantes permettent de récapituler les désordres inventoriés sur les digues du Borne en aval du pont de la D1203 (VTA 2020, CNR/SAFEGE).

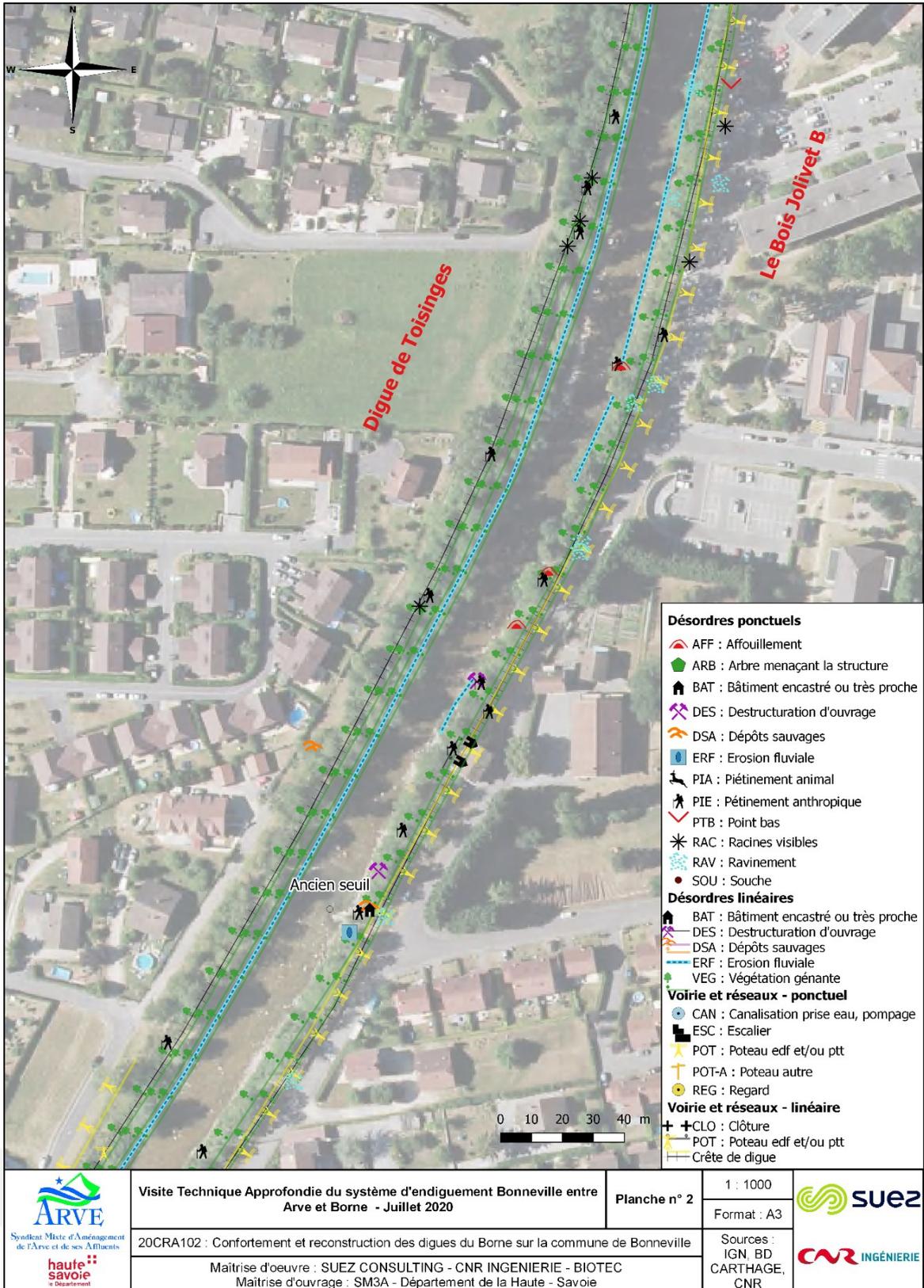
Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE



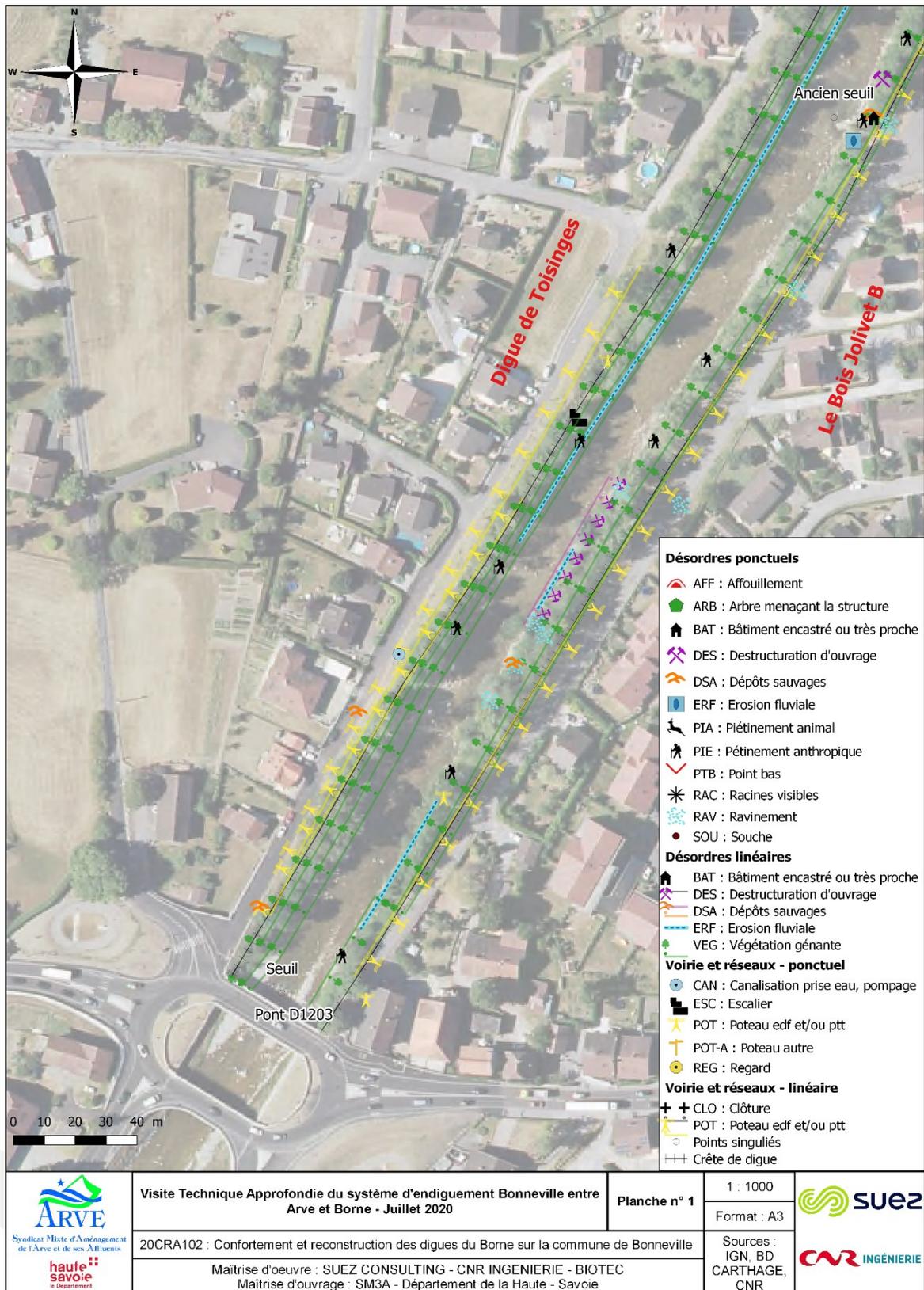
- Désordres ponctuels**
- AFF : Affoulement
  - ARB : Arbre menaçant la structure
  - BAT : Bâtiment encastré ou très proche
  - DES : Destruction d'ouvrage
  - DSA : Dépôts sauvages
  - ERF : Erosion fluviale
  - PIA : Piétinement animal
  - PIE : Piétinement anthropique
  - PTB : Point bas
  - RAC : Racines visibles
  - RAV : Ravinement
  - SOU : Souche
- Désordres linéaires**
- BAT : Bâtiment encastré ou très proche
  - DES : Destruction d'ouvrage
  - DSA : Dépôts sauvages
  - ERF : Erosion fluviale
  - VEG : Végétation gênante
- Voirie et réseaux - ponctuel**
- CAN : Canalisation prise eau, pompage
  - ESC : Escalier
  - POT : Poteau edf et/ou ptt
  - POT-A : Poteau autre
  - REG : Regard
- Voirie et réseaux - linéaire**
- CLO : Clôture
  - POT : Poteau edf et/ou ptt
  - Crête de digue

 	Visite Technique Approfondie du système d'endiguement Bonneville entre Arve et Borne - Juillet 2020	Planche n° 4	1 : 1000 Format : A3	 
	20CRA102 : Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville		Sources : IGN, BD CARTHAGE, CNR	
	Maîtrise d'oeuvre : SUEZ CONSULTING - CNR INGENIERIE - BIOTEC Maîtrise d'ouvrage : SM3A - Département de la Haute - Savoie			





 	Visite Technique Approfondie du système d'endiguement Bonneville entre Arve et Borne - Juillet 2020	Planche n° 2	1 : 1000 Format : A3	 
	20CRA102 : Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville		Sources : IGN, BD CARTHAGE, CNR	
Maîtrise d'oeuvre : SUEZ CONSULTING - CNR INGENIERIE - BIOTEC Maîtrise d'ouvrage : SM3A - Département de la Haute - Savoie				



Visite Technique Approfondie du système d'endiguement Bonneville entre Arve et Borne - Juillet 2020	Planche n° 1	1 : 1000 Format : A3
20CRA102 : Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville		
Maîtrise d'oeuvre : SUEZ CONSULTING - CNR INGENIERIE - BIOTEC Maîtrise d'ouvrage : SM3A - Département de la Haute - Savoie		



### 6.2.2.2 En rive gauche de l'Arve

Les éléments synthèse de VTA en rive gauche de l'Arve appartenant au système ARVE-RG-BONNE-26.24 sont extraits de la VTA de 2017 réalisée par CNR.

Le système d'endiguement le long de l'Arve apparaît comme un dispositif de protection ayant mal vieilli du fait :

- du manque d'entretien d'une manière générale dans le temps,
- de l'évolution rapide du lit de l'Arve, en particulier son incision, qui a conduit à rapidement endommager les ouvrages de protection situés à proximité,
- des fortes contraintes anthropiques, en lien avec le développement des zones d'activités en bordure immédiate des ouvrages.

Le développement de la végétation contribue à déstructurer les maçonneries sèches existantes (murs, perrés) qui bordent le cours d'eau, qui plus est lorsque les arbres meurent, créant de nombreux points de faiblesses dans le talus amont des ouvrages.

#### **Des talus arborés, partiellement protégés côté rivière, généralement érodés**

Du fait du phénomène d'incision du lit de l'Arve, Les talus côté rivière sont très raides, de l'ordre de 1H/1V, voir plus raides en de nombreux points (supérieur 1H/2V, voir sub-verticale), et ce pour des hauteurs de talus élevées (plusieurs mètres, voir jusqu'à 5-10 m depuis le fond du lit), ce qui constitue des configurations limites extrêmes en termes de stabilité.

L'érosion importante, jusqu'en partie haute des talus, indique que :

- L'érosion des berges s'effectue principalement pour les grosses crues, et est amplifiée par :
  - la présence d'une végétation arborée dense et de souches,
  - l'absence de protections hydrauliques continues adéquates sur les talus,
  - des matériaux facilement érodables (limons sables graviers ...).
- Les petites crues courantes n'impactent pas la géomorphologie de la rivière, sauf sur certains secteurs où la stabilité du talus n'est pas acquise.

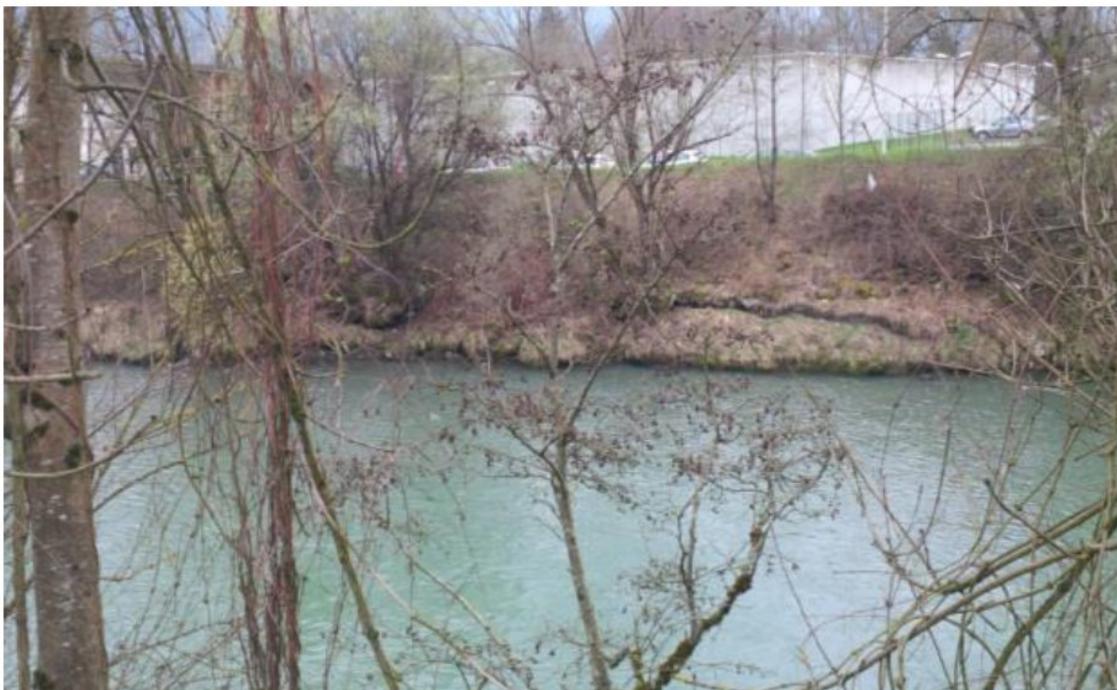
On observe d'ailleurs souvent de petites banquettes végétalisées en pied ce qui tend à prouver que le pied de berge se fixe de lui-même en l'absence de grandes crues, mais qui sont potentiellement largement remobilisables.

La plupart des tronçons sont touchés par ce phénomène, à l'exception des secteurs situés en intrados du cours d'eau ou plus régulièrement entretenus dans le centre-ville de Bonneville.

#### **Des potentialités d'évolution importantes**

Lors des crues, les talus amont sont mis à nu à la suite de l'arrachage de la végétation arborée, affaiblie du fait de l'âge ou d'une croissance dans un milieu peu favorable (forte pente...). Les matériaux de berge ainsi mis à nu n'autorisent pas de tels profils d'équilibre compte tenu de leur nature (matériaux pulvérulents sans cohésion : sables, limons, graviers...). Il en résulte :

- Une érosion régressive par ravinement accentuant la pente du talus,
- Dans les cas extrêmes l'apparition de zones d'effondrement / glissement (Figure 89).



**Figure 89 : Merlon de la maison d'arrêt en rive gauche de l'Arve : érosion en pied / affaissement**

La propagation de proche en proche de l'érosion peut conduire au démantèlement des digues, sachant qu'il n'existe pas de « zone tampon » suffisante (Franc-Bord ou ségonnal) entre la crête de berge et le pied de talus de digue.

Compte tenu des géométries des digues, des aménagements qu'elles ont subi au cours de leur histoire, les fonctions de protection hydrauliques de ces ouvrages ne sont plus totalement assurées sur le linéaire en période de crue exceptionnelle.

Les désordres observés sont encore largement évolutifs et attendent les prochaines grandes crues pour être réactivés.

Nous craignons plus particulièrement l'apparition de désordres graves à court terme ou moyen terme sur le secteur en amont du pont SNCF en rive gauche (Bordet T01 / T02 en particulier).

Sur cette rive, le risque d'un effondrement de la berge et de la digue est très élevé. Des sous cavages allant jusqu'à 1,5m de profondeur ont pu être observés.

En outre, l'omniprésence de la végétation arborée et les risques d'érosion interne associés conduisent à augmenter de manière significative la fragilité de ces ouvrages.

#### **Merlon des Bordets - la présence d'un point bas**

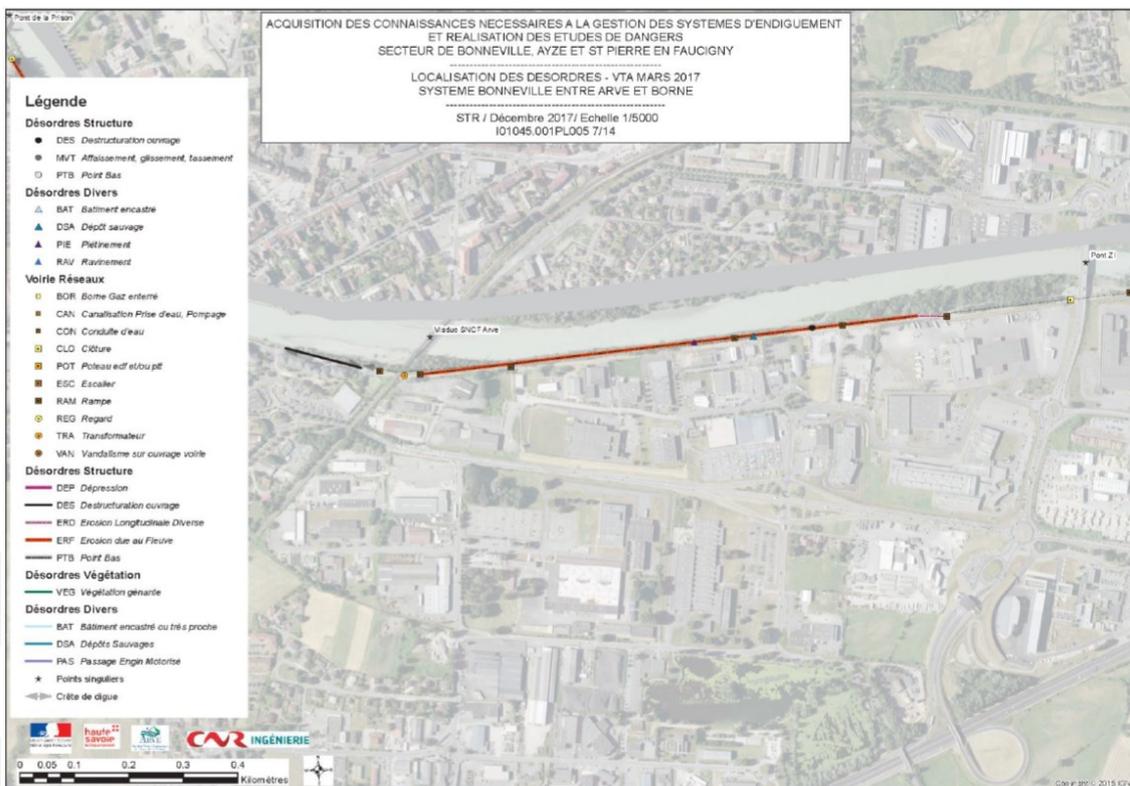
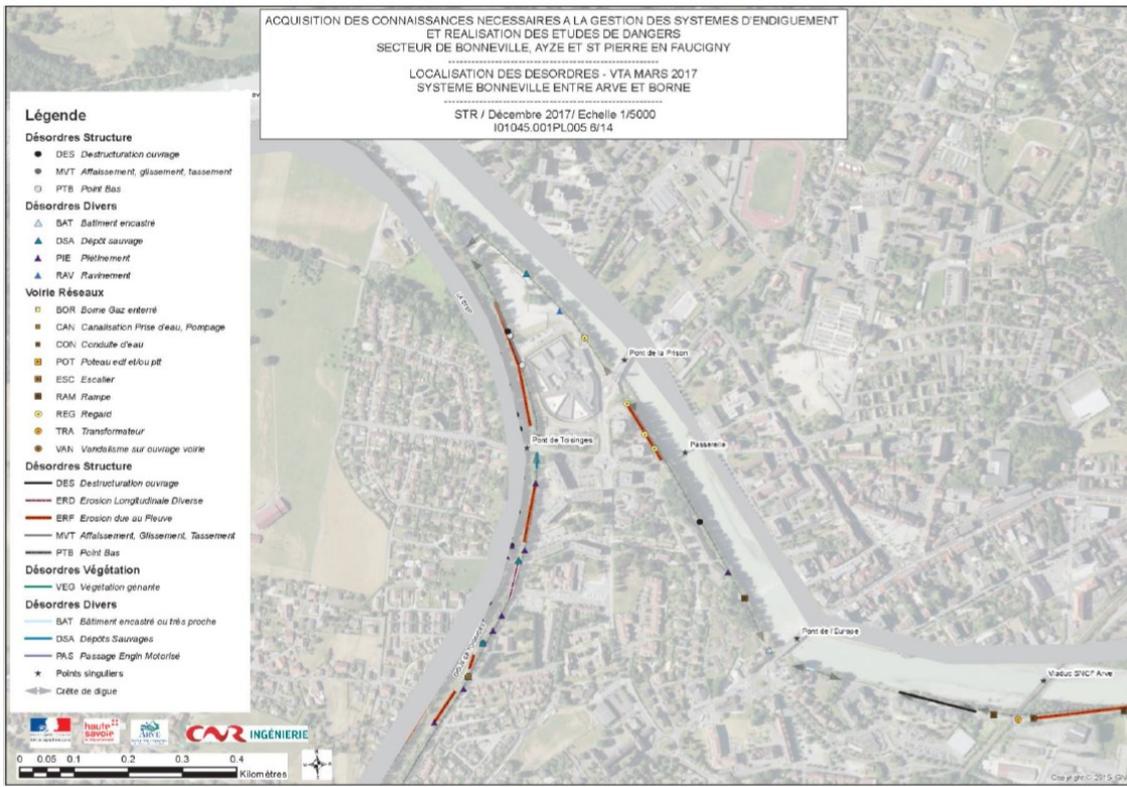
La jonction Ouest du Merlon des Bordets à l'autoroute A40 présente un point bas allant jusqu'à - 70 cm en dessous de la cote de protection du tronçon des Bordets T02. En cas de surverse sur cette zone, l'eau pourrait se propager par le chemin d'accès réservé à la maintenance derrière le merlon. Ce chemin préférentiel viendrait directement inonder la ZAC des Bordets.

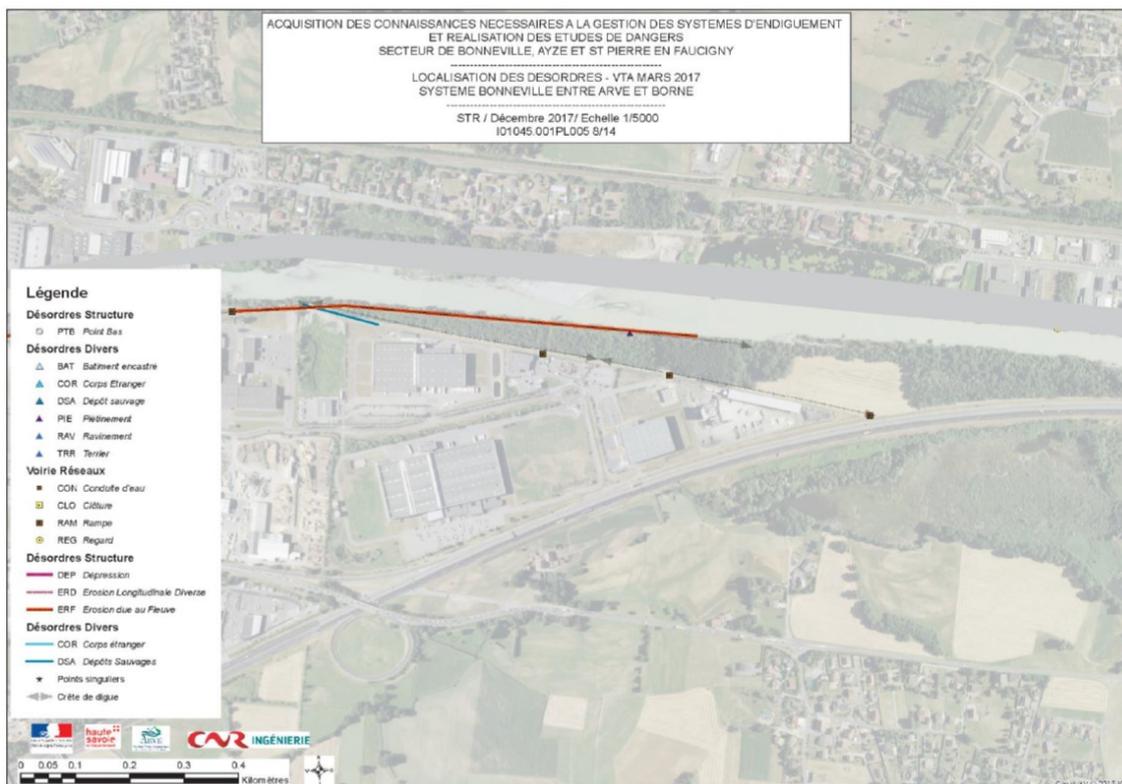
Pour rappel, des travaux de confortement des digues de l'Arve (rive gauche et rive droite) sont programmés à partir de 2024 (cette présente EDD sera mise à jour très prochainement en intégrant les travaux sur les digues de l'Arve).

Les cartes suivantes permettent de récapituler les désordres inventoriés sur les digues de l'Arve rive gauche en aval du pont de la D1203 (VTA 2017, CNR).

La VTA de 2021 est en annexes du présent document.

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE





### 6.2.3 Autres évènements particuliers survenus sur le site

Sans objet.

### 6.2.4 Retour d'expérience sur des ouvrages gérés par le SM3A

Référence : SM3A.

L'analyse d'accidentologie des événements survenus sur des ouvrages gérés par le S.M.3.A. confirme que les mécanismes et causes de rupture des ouvrages (érosion interne, externe, glissement), identifiés par l'accidentologie internationale, sont effectivement observés dans la vie de ses ouvrages.

D'une manière générale, les retours d'expérience mettent en évidence les points suivants :

- Les brèches font des dégâts importants, surtout matériels, aux voies de circulation et aux habitations ;
- Le coût des réparations des digues est conséquent ;
- Le risque lié à un mauvais confortement d'une brèche est important. Ce risque a été observé sur les digues bonnevilloises, les brèches se produisant majoritairement aux mêmes endroits ;
- Les digues, dans la plupart des cas, ne sont pas résistantes à la surverse ;
- Les digues de montagne sont sujettes au risque d'érosion externe et à l'affouillement du fait des fortes vitesses des cours d'eau ;
- L'évaluation du risque d'érosion interne est complexe et encore difficile à évaluer surtout sur les digues de protection contre les inondations qui ne sont en charge que peu de jours par an.

Un entretien régulier des digues allié à une gestion de la végétation raisonnée et une surveillance en crue limite le risque de rupture de l'ouvrage, ce qui n'était pas le cas sur les digues du SM3A jusqu'à présent.

Plus précisément, sur les digues du SM3A, les brèches observées sont dues à une structure de digue qui n'était pas adéquate (érosion interne, perte de stabilité avant surverse) du fait :

- Soit d'une construction d'ouvrage qui ne répondait pas aux règles de l'art ;
- Soit des réparations réalisées rapidement en temps de crue ou très rapidement après ;
- Soit d'un entretien et une surveillance qui ont fait défaut.

Une meilleure gestion du risque passe donc par :

- Des retours d'expérience entre gestionnaires de digues de protection ;
- L'établissement de diagnostics et une sectorisation des digues dangereuses ;
- La remise en état des ouvrages défaillants suivant un plan de gestion des risques inondation global et raisonné en intégrant la vulnérabilité des sites ;
- L'organisation d'actions d'entretien et de surveillance périodiques et efficaces.

## 6.2.5 Exemples connus d'incidents et d'accidents survenus sur des ouvrages similaires

Les digues de protection contre les inondations peuvent être un danger réel, à la fois pour les vies humaines et pour les activités économiques. Contrairement aux ruptures de barrage, le phénomène de rupture de digue est moins documenté. Quelques exemples de rupture de digue peuvent cependant illustrer ce danger. Le retour d'expérience porte particulièrement sur les deux exemples suivants :

- La crue de mai 2015 sur l'Isère ;
- Rupture de la digue en rive gauche à Domène (crue de 2005 sur le Domeynon).

### 6.2.5.1 La crue de mai 2015 sur l'Isère

*Référence :* [www.isere-drac-romanche.fr](http://www.isere-drac-romanche.fr) et <http://www.irma-grenoble.com>

#### 6.2.5.1.1 Contexte météorologique

L'épisode pluvieux marqué du vendredi 1<sup>er</sup> mai a provoqué une crue généralisée de l'Isère le lendemain.

Le jeudi 30 avril, le SPC – Service de Prévision des Crues – a diffusé un bulletin annonçant qu'une perturbation océanique très active était attendue en fin de nuit et toute la journée de vendredi sur les Alpes du Nord, en particulier sur le bassin de l'Arly. Elle devait être accompagnée d'un redoux marqué et de précipitations abondantes sur une grande partie du bassin de l'Isère le vendredi, la limite pluie-neige étant située autour de 2 500 m.

L'épisode pluvieux du 1<sup>er</sup> mai a effectivement été très marqué, provoquant une crue généralisée de l'Isère et un premier pic de crue le samedi 2 mai. Entre samedi fin d'après-midi et le milieu de la journée du dimanche 3 mai, de nouvelles précipitations ont concerné le bassin de l'Arly et le nord de la Tarentaise. Bien que les cumuls aient été inférieurs à ceux du 1<sup>er</sup> mai, elles ont provoqué un second pic de crue mais avec des niveaux moindres que ceux du 2 mai.

#### 6.2.5.1.2 Déroulement de la crue

Sur l'Isère amont, le débit a commencé à croître à partir de vendredi 1<sup>er</sup> mai 14 h, le gradient d'environ 55 m<sup>3</sup>/s et par heure s'amenuisant ensuite, après 1 h du matin. A Pontcharra, le pic de crue a été observé dans la nuit de vendredi à samedi, vers 3 h 30. Avec le décalage habituel de 8 h, il a ensuite atteint Grenoble-Bastille le samedi 2 mai à 11 h 30 du matin.

Le débit mesuré alors à cette station – 966 m<sup>3</sup>/s – apparaît comme étant supérieur au pic de crue de la crue de mars 2001 mais inférieur aux 980 m<sup>3</sup>/s de la crue de septembre 1968 qui reste le débit de référence pour une crue d'ordre décennale. Le débit de l'Isère a ensuite décro jusqu'à

600 m<sup>3</sup>/s dimanche 3 mai à 12 h 30, puis il est remonté jusqu'à 729 m<sup>3</sup>/s dans la nuit de dimanche à lundi, avant de décroître durablement.

En aval de Grenoble, le pic de crue a été observé à la station de Saint-Gervais le 2 mai entre 10 h et 10 h 30, avec un débit estimé à 1 354 m<sup>3</sup>/s. Après un premier fléchissement à 785 m<sup>3</sup>/s, le niveau s'est à nouveau élevé jusqu'à 961 m<sup>3</sup>/s lundi 4 mai avant d'amorcer une nouvelle baisse durable. Le débit d'une crue décennale à Saint-Gervais étant de 1 600 m<sup>3</sup>/s, la crue de début mai 2015 reste donc bien inférieure à ce niveau, ceci grâce au fait que les précipitations ont été bien moindres dans le secteur Drac-Romanche que sur le bassin de l'Isère.

#### 6.2.5.1.3 Dispositions prises par le gestionnaire de digues

Dès le bulletin d'information du SPC du 30 avril, l'AD Isère Drac Romanche a immédiatement déclenché son dispositif alerte-crue. Cela s'est traduit par une notification de mise en alerte de niveau 1 aux entreprises Converso TP et Midali chargées d'effectuer d'éventuels travaux d'urgence en amont de Grenoble, et par l'établissement du planning des équipes de surveillance durant ce long week-end de 3 jours en cas d'atteinte des niveaux d'alerte de l'AD.

Le vendredi 1<sup>er</sup> mai marqué par de fortes précipitations, la surveillance diurne s'est limitée à effectuer un suivi des niveaux de l'Isère amont et de l'Isère aval sur le site Vigicruces. Les seuils d'alerte de niveau 1 et 2 sur l'Isère amont ayant été atteints respectivement vendredi 1<sup>er</sup> mai à 23 h 30 et samedi 2 mai à 7 h du matin et l'alerte de niveau 1 sur l'Isère aval samedi 2 mai à 3 h 30 du matin, le personnel a rejoint les locaux dès 8 h du matin. Après notification aux entreprises Carron et Mandier d'une alerte crue et d'éventuels travaux à effectuer en aval de Grenoble, les 3 équipes de 2 personnes ont rejoint leur secteur de surveillance : deux sur l'Isère amont et une sur l'Isère aval.



Figure 90 : Meylan, Ile d'Amour et Isère amont, courbe de Charlet (photos : AD Isère)

Sur l'Isère amont, le directeur de l'AD Isère Drac Romanche est resté en contact permanent toute la journée avec de nombreux interlocuteurs locaux (agriculteurs, communes) et acteurs de la sécurité civile (SIPC, pompiers, gendarmes) afin de limiter la circulation dans certains secteurs comme autour de la Chantourne de Meylan, ou certaines parties de digues. L'inondation ponctuelle par refoulement de l'Isère dans le canal Cheminade et le fossé de l'Essorton a été réglée par une intervention manuelle pour fermer des vannes (Egis et Moulin TP). Sur demande de l'AD et après concertation avec les représentants du Symbhi, l'entreprise Guintoli a rehaussé de 50 cm le niveau de la crête de la courbe de Charlet afin d'éviter une surverse et tout risque de rupture de la digue associé.

Le dimanche 2 mai, notre surveillance s'est poursuivie sur l'Isère amont malgré l'atténuation du niveau d'alerte. Puis, le lendemain, des visites « post-crue » ont été organisées afin de préciser les désordres que les ouvrages hydrauliques avaient pu subir par endroits. Depuis, nos observations ont fait l'objet de rapports remis aux services de contrôle.

#### 6.2.5.1.4 Analyse et enseignements

Le retour d'expérience du gestionnaire des digues de l'Isère lors de la crue de mai 2015 traduit l'application des consignes de surveillance des ouvrages, basée sur les différents niveaux d'alerte.

La mobilisation importante des personnels et entreprises impliqués dans le suivi, la surveillance et la gestion des ouvrages de protection a permis de limiter les conséquences de la crue : fermeture ponctuelle de vanne pour limiter les entrées d'eau, intervention d'urgence sur les digues pour éviter la surverse... Par ailleurs, une communication efficace avec les communes et la sécurité civile a eu pour effet de limiter l'accès du public à certaines zones potentiellement dangereuses du fait de la montée des eaux.

Après la crue, la surveillance s'est poursuivie, et les visites post-crués ont eu pour objet d'identifier les éventuels désordres apparus sur les ouvrages.

**Cet exemple traduit l'importance, lorsque la durée de la crue le permet, de suivre et d'anticiper l'évolution de la montée des eaux pour assurer à la fois la sécurisation des ouvrages de protection et la mise en sécurité des personnes.**

#### 6.2.5.2 Crue de 2005 sur le Domeynon

*Référence* : <http://www.irma-grenoble.com>

Le Domeynon est un torrent de montagne. Il descend des lacs du Grand et du Petit Domeynon pour se jeter dans l'Isère à Domène, milieu très urbanisé où le Domeynon est endigué sur une grande partie de son linéaire.

La crue du 22/08/2005 concerne le secteur des Chenevières et l'ensemble sportif Salvador Allende.

##### 6.2.5.2.1 Observations et déroulé de la crue

La crue de 2005 est une 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 envahi l'ensemble du lotissement de la Chenevières causant des dégâts très importants mais heureusement sans faire de victime. Dès le matin une pelleteuse travaillait à reconstruire la digue pour ramener le Domeynon dans son lit.

##### 6.2.5.2.2 Désordres et brèches observés

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.

Il semblerait que la brèche ait été provoquée par surverse suite à l'obstruction de l'écoulement du Domeynon par des dépôts solides. Cette accumulation de matériaux a complètement détourné le ruisseau de son lit.



© Photothèque IRMa / Sébastien Gomet

Figure 91 : Rupture de la digue en rive gauche



Figure 92 : Début de renard hydraulique RG en amont de la brèche

#### 6.2.5.2.3 Analyse et enseignements

La crue du Domeynon est liée à un événement météorologique intense et très rapide, quasi impossible à anticiper. Le mécanisme à l'origine de la rupture de la digue est la surverse, qui a été provoquée par une obstruction du lit en aval. Une fois la brèche amorcée, le lit s'est comblé et le torrent s'est dévié de son lit originel vers le lit majeur, emmenant avec lui d'importants volumes de matériaux.

Cependant, les photographies fournies montrent également des amorces de renard hydraulique dans la digue, ce qui aurait tout autant pu déclencher la rupture en l'absence de surverse. Les mécanismes potentiels à l'origine de la rupture peuvent être multiples.

Sur ce type de torrent à réaction rapide, la brutalité et la variabilité des épisodes pluvieux, le caractère torrentiel des écoulements et le transport solide potentiel rendent impossible la prédiction des événements et ne permettent pas de mettre en œuvre de façon fiable des mesures d'anticipation ou de suivi de la crue.

**Les mesures de réductions des risques passent donc par l'entretien, la surveillance et le suivi des ouvrages de protection, mais aussi de leurs abords : gestion de la végétation pour limiter les embâcles, gestion du transport solide en amont... Le rôle du gestionnaire de digue est dans ce cadre essentiel.**

## 6.3 Scénarios de défaillance probables

Une analyse primaire des événements pouvant être à l'origine d'une défaillance des ouvrages de protection formant le système d'endiguement est réalisée sur la base des informations mentionnées dans les paragraphes précédents.

### 6.3.1 Analyse accidentologique

L'analyse des crues historiques et le retour d'expérience met en avant les scénarios de défaillance possibles sur l'Arve :

- Déversement dans le lit majeur du fait de conditions supérieures à la capacité du système d'endiguement ;
- Rupture d'une digue mal entretenue dont l'origine de la rupture est inconnue (érosion interne ou externe, érosion par surverse, chocs, glissements d'ensemble).

Afin de compléter l'analyse sur les scénarios de défaillance, il est rappelé les scénarios « classiques » observés sur des digues fluviales en terre. Une analyse de ce qui peut être ou non rencontré sur un système d'endiguement de protections contre les crues est proposée ici.

La rupture de la digue peut être la cause de :

- Rupture par surverse ;
- Rupture par érosion externe (affouillement) ;
- Rupture par érosion interne (renard hydraulique) ;
- Rupture par glissement d'ensemble (défaut de stabilité).

#### 6.3.1.1 Rupture par surverse

L'ouvrage est submergé par le niveau d'eau du cours d'eau. L'eau déborde sur la digue et érode le parement aval. Les matériaux sont arrachés par la force du courant en pied de digue. S'en suit un affouillement important qui peut conduire à la rupture de l'ouvrage.

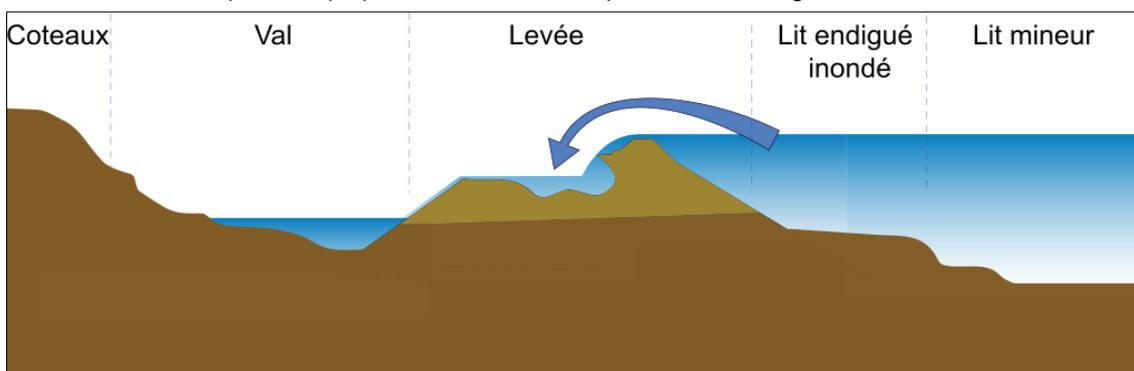


Figure 93 : Schéma de principe d'une rupture par surverse

Les facteurs de sensibilité d'une rupture par surverse sont les suivants :

- Hauteur d'eau / charge ;
- Les vitesses locales : les érosions augmentent avec la vitesse du courant ;
- Caractéristiques géotechniques : la nature des matériaux constitutifs de la digue, leurs homogénéité, compacité, etc. conditionne la rupture et sa rapidité ;

- Protection de la digue au niveau du parement extérieur de la digue ;
- Surélévation du fond du lit augmentant les chances de surverse.

### 6.3.1.2 Rupture par érosion externe (affouillement)

L'ouvrage est déstabilisé par l'érosion externe par affouillement de sa base (imputable au courant de la rivière) avec affaiblissement des caractéristiques mécaniques du corps de la digue pouvant conduire à la rupture de l'ouvrage.

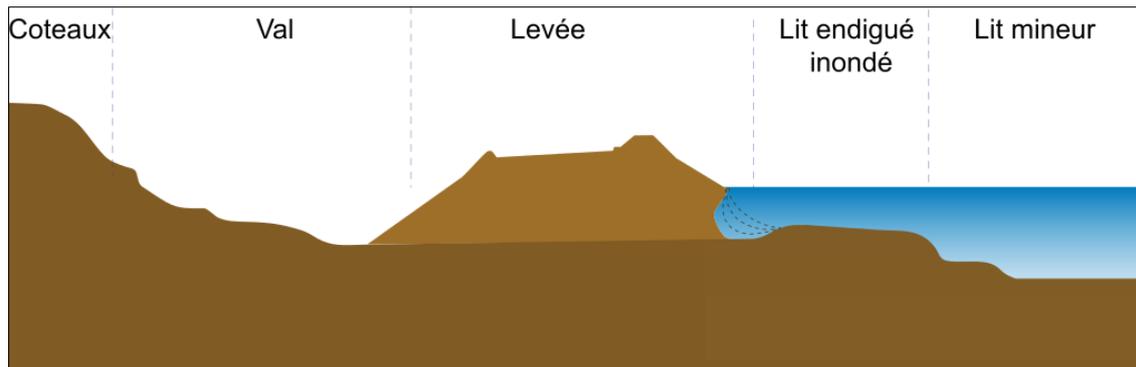


Figure 94 : Schéma de principe d'une rupture par érosion externe

Les facteurs de sensibilité d'une rupture par érosion externe sont les suivants :

- Hauteur d'eau / charge ;
- L'hydromorphologie : au cours de la crue, le fond du cours d'eau peut notamment s'abaisser (incision) et mettre à nu le pied des protections de berge ;
- Les vitesses locales : les érosions augmentent avec la vitesse du courant ;
- Les perturbations hydrauliques locales : la présence de souches, arbres, élargissement brusque, etc. peuvent entraîner des tourbillons favorisant les érosions ;
- Caractéristiques géotechniques : la nature des matériaux constitutifs de la digue, leurs homogénéité, compacité, etc. conditionne la rupture et sa rapidité ;
- Protections de la digue : la présence de protections de berges (type gabions, enrochements, génie végétal) protège contre les érosions.

### 6.3.1.3 Rupture par érosion interne

Les hétérogénéités de perméabilité dans le corps de la levée peuvent être à l'origine de circulation d'eau. Selon la nature des matériaux et la charge hydraulique, on peut atteindre le gradient hydraulique critique qui provoque localement l'érosion interne. De part en part, cette érosion peut se propager jusqu'à former une vraie galerie qui provoque une brèche dans la levée par effondrement des matériaux.

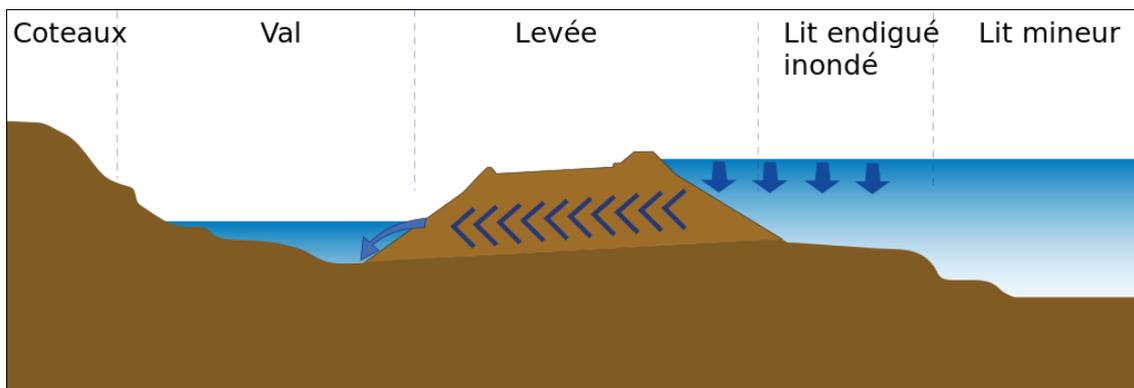


Figure 95 : Schéma de principe d'une rupture par effet de renard hydraulique

Les facteurs de sensibilité d'une rupture par érosion interne sont les suivants :

- La présence de galeries, comme celles que peuvent faire certains animaux comme les ragondins ou les castors ;
- Une mauvaise étanchéité entre couches de remblais ;
- La présence de conduites traversantes ;
- Une hétérogénéité des matériaux ;
- Les racines d'arbres abattus qui, en pourrissant, laissent pénétrer l'eau sous les digues ;

#### 6.3.1.4 Défaut de stabilité de la digue et de sa fondation

Une rupture de masse de la levée peut intervenir en cas d'instabilité générale du corps de remblai. On pense qu'une rupture de masse peut intervenir quand les facteurs suivants sont réunis :

- Profil de digue étroit avec pente de talus fortes ;
- Piézométrie élevée dans la digue en absence de drainage.

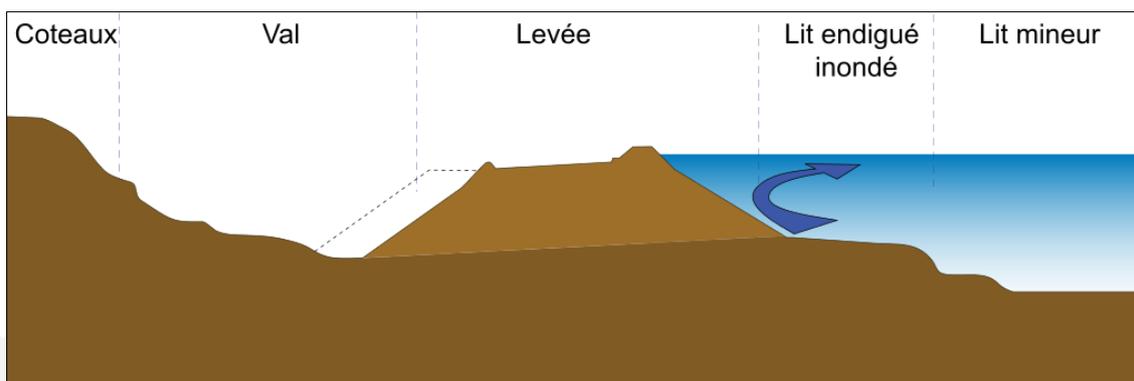


Figure 96 : Schéma de principe de rupture d'ensemble

#### 6.3.1.5 Surverse sans rupture

Dans le cas d'une surverse sans rupture, la capacité du lit est dépassée, la crête de la digue est submergée et la zone protégée est progressivement inondée.

Les facteurs de sensibilité dans le cas d'une surverse sans rupture sont les suivants :

- Hauteur d'eau / charge : plus le niveau d'eau est élevé, plus le débit déversé est important,

- Surélévation du fond du lit du cours d'eau par transport solide ponctuel lors d'une crue ou par dépôt progressif et exhaussement.

### 6.3.1.6 Dysfonctionnement d'un ouvrage hydraulique participant à la protection

Notre système d'endiguement est composé de digues et de protections de berges. Aucun ouvrage de régulation type déversoir ou vanne n'y est associé. De ce fait, le potentiel de danger associé au dysfonctionnement d'un ouvrage hydraulique est inexistant.

Néanmoins, des ouvrages traversants (rejets EP) sont présents. Une analyse de défaillance fonctionnelle est à mener (voir chapitres suivants).

### 6.3.1.7 Rupture à la suite d'un séisme

L'événement redouté associé à un séisme est la survenue d'eau dans la zone protégée à la suite d'un séisme. La méthode d'analyse au séisme est décrite dans le diagnostic approfondi au chapitre 7.

## 6.3.2 Synthèse sur les scénarios de défaillance probables

L'analyse réalisée précédemment permet d'aboutir aux éventuels scénarios de défaillance suivants :

- **Défaillance fonctionnelle** : à écarter sur les digues du Borne rive droite car absence d'aménagements hydrauliques participant à la protection contre les inondations. *Des scénarios de défaillance fonctionnelle sont étudiés sur les digues de l'Arve rive gauche dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaires « Arve ».*
- **Défaillance structurelle** :
  - Erosion externe en pied de berge entraînant une déstabilisation /
  - Glissement du parement de la protection ;
  - Erosion interne (renard entraînant la formation d'une brèche) ;
  - Surverse à la suite du dépassement du niveau de protection.

Ce paragraphe a permis de détailler l'ensemble des potentiels de dangers, et de situations dangereuses associées, pouvant impacter le système d'endiguement.

**1. Les situations dangereuses** (qui peuvent conduire ou qui conduisent à la perte d'une fonction principale). Les situations suivantes, représentatives des événements susceptibles d'impacter les ouvrages, sont à rechercher en priorité :

- un affouillement du talus amont de l'endiguement,
- une érosion interne,
- une érosion externe du talus amont de l'endiguement,
- une niche de glissement du talus amont.

**2. Les causes potentielles** (défaillance conduisant à la situation dangereuse). Les causes suivantes, représentatives des situations dangereuses peuvent être liées à :

- **Causes internes à l'ouvrage** :
  - Une couche de sol du corps de digue suffusive ;

- Un parement amont de l'ouvrage non protégé (absence de couche filtre/géotextile sous les enrochements) ;
- Causes externes à l'ouvrage :**
  - une crue exceptionnelle ;
  - une décrue rapide ;
  - une végétation dense ;
  - la présence potentielle d'animaux fouisseurs ;
  - la défaillance d'un ouvrage transversal dans le lit mineur.

### 3. Les conséquences ou accidents potentiels.

Les situations dangereuses peuvent conduire aux événements redoutés centraux suivant :

- la rupture de l'endiguement par brèche ;
- la rupture de l'endiguement par surverse pour des crues supérieures à la crête des endiguements.

Le tableau suivant résume les principaux potentiels de rupture ainsi que les modes de rupture associés.

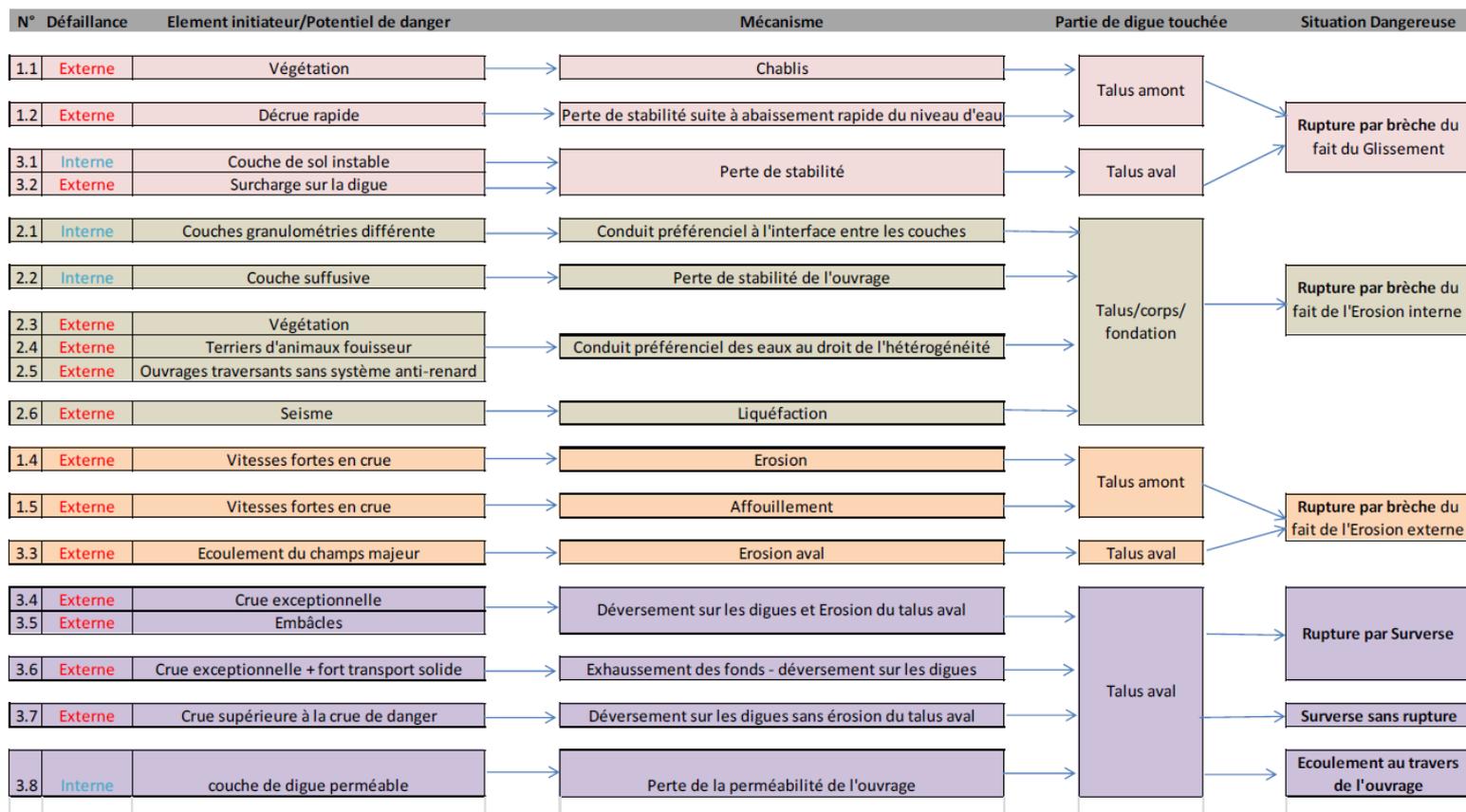


Tableau 36 : Identification des Situations dangereuses et Potentiels de danger pouvant intervenir sur une digue de protection contre les inondations (source : CNR)

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

Ce chapitre établit le diagnostic approfondi des digues et autres ouvrages associés composant le système d'endiguement. Il s'appuie sur les éléments exposés dans le chapitre 6. Il détaille l'ensemble des connaissances disponibles sur chacun des éléments qui composent ce système, en présentant le contenu et les résultats des reconnaissances spécifiques et approfondies. Il tient notamment compte de la présence d'ouvrages traversant et d'éventuelles singularités.

La justification de la résistance mécanique des ouvrages au moins jusqu'au niveau de protection s'appuie sur :

- Les résultats d'un diagnostic approfondi effectué par un organisme agréé ;
- L'ensemble de la documentation afférente aux ouvrages, en particulier le dossier technique constitué en application de l'article R. 214-122, les rapports de surveillance passés et la précédente étude de dangers ;
- L'analyse des moyens mis en œuvre pour assurer l'entretien, la surveillance et les réparations courantes des ouvrages.

*NB : Ce chapitre est centré sur les digues du Borne rive droite. Les éléments relatifs aux digues de l'Arve rive gauche seront apportés dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve », conformément à la réunion du 21/06/2023 (cf. § 0.3.2).*

*Les digues de l'Arve seront classées en état de travaux achevés.*

### 7.1 Historique des reconnaissances réalisés

#### 7.1.1 Rappel de l'historique du diagnostic du système d'endiguement

- Analyse des données historiques et issues des reconnaissances topographiques, géophysiques et géotechniques menées dans le cadre de la production des **Etudes De Dangers de 2019 par CNR** ;
- Données réutilisées dans l'Avant-Projet de confortement et de reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville en aval du Pont de la RD1203 (**AVP structurel de 2018 puis AVP optimisé de 2020**).

L'AVP optimisé de 2020, s'appuie sur l'AVP préalable et les données associées. Il a pour objet d'approfondir les possibilités d'aménagement des digues RD et RG du Borne entre les PM 0 et 1380 (Pont de la RD 1203) de façon à protéger les enjeux exposés pour Q100 tout en intégrant davantage les problématiques écologiques, environnementales et d'urbanisme associées à ce secteur. Pour cela, il est prévu la mise en œuvre de diverses solutions de confortement en fonction des tronçons considérés.

Les résultats présentés correspondent à une mission géotechnique normalisée de type G2 – AVP au sens de la norme NF P 94-500 de novembre 2013. Cette mission a fait l'objet d'un rapport faisant partie intégrante de la notice globale d'AVP, et propose une ébauche dimensionnelle de ces profils types de confortement.

## 7.1.2 Documents sources

Les documents ayant servi de support à la réalisation du rapport de G2 AVP (présent en annexe) sont rappelés ci-après :

- VTA Notice générale référencée DIGP 2017-087-01 et fiches synthèses de Mai 2017, CNR/Arbeausolutions
- VTA Notice générale référencée DIGP 2020-633-00 et fiches synthèses d'Octobre 2020, CNR/Safege
- Avant-Projet de confortement référencé DIGP 2018-625-02 de Décembre 2018, CNR
- Etude de dangers sur les digues de Bonneville, Ayze et Saint-Pierre en Faucigny – Reconnaissances géophysiques, digues de Bois Jolivet B, Queue du Borne, Toisinges et STEP – 2017 – IMG
- Etude de dangers sur les digues de Bonneville, Ayze et Saint-Pierre en Faucigny – Reconnaissances géotechniques – Rapport d'étude géotechnique Mission G1 (ES) – 2017 – HYDROGÉOTECHNIQUE
- Levés topographiques de Novembre 2017, Sintegra
- Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville - Construction du modèle hydraulique Notice I.001094.001 – DIGP 2021-834-00
- Levés LIDAR 2014 et 2015
- Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville – Etude d'Avant-Projet – Annexe 1 – Définition des profils type de confortement, Groupement Suez Consulting/CNR/Biotec, Mai 2021.

## 7.1.3 Historique des reconnaissances géotechniques

L'étude de dangers de 2019 (CNR) nous renseigne sur l'historique des reconnaissances géotechniques et géophysiques réalisées sur les digues en Rive gauche du Borne et en rive droite de l'Arve :

- **Bois Jolivet A** : Etude SAGE Ingénierie – 2010 [25] ;
- **Les Bordets T01** : Etude SAFEGE 2011 [26] ;
- **Les Bordets T02, Paces, Merlon Prison, Vorziers, Ouvhes, Bois Jolivet B et Queue du Borne** : Reconnaissances Géotechniques réalisées par Hydrogéotechnique de Septembre 2017 [27] ;
- **Les Bordets T02, Places, Merlon Prison, Dessy, Vorziers, Ouches, Bois Jolivet B et Queue du Borne** : reconnaissances Géophysiques réalisées par IMG de Septembre 2017. [28]

## 7.1.4 Reconnaissances géophysiques

### 7.1.4.1 Localisation des reconnaissances

Plusieurs investigations géophysiques ont été réalisées par les entreprises SAGE (2010), SAFEGE (2011) et plus récemment IMG (2017). On retrouve sur la Figure 97 la localisation des reconnaissances géophysiques réalisées :

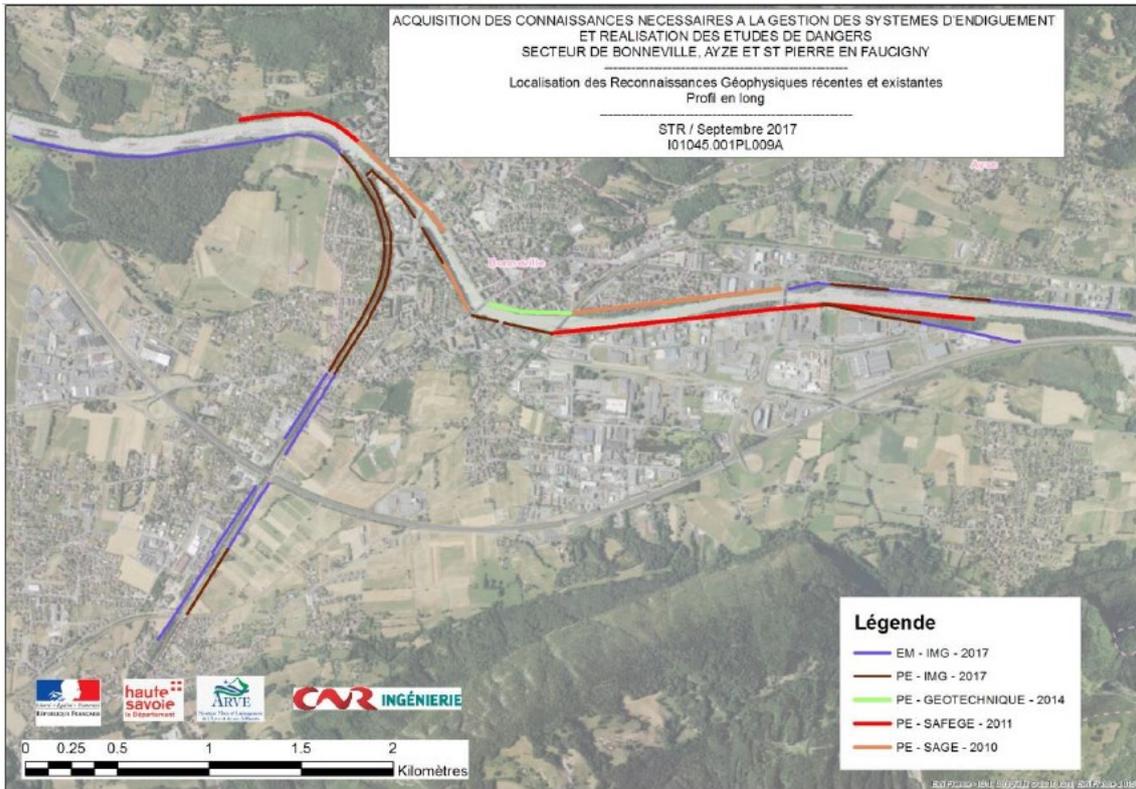
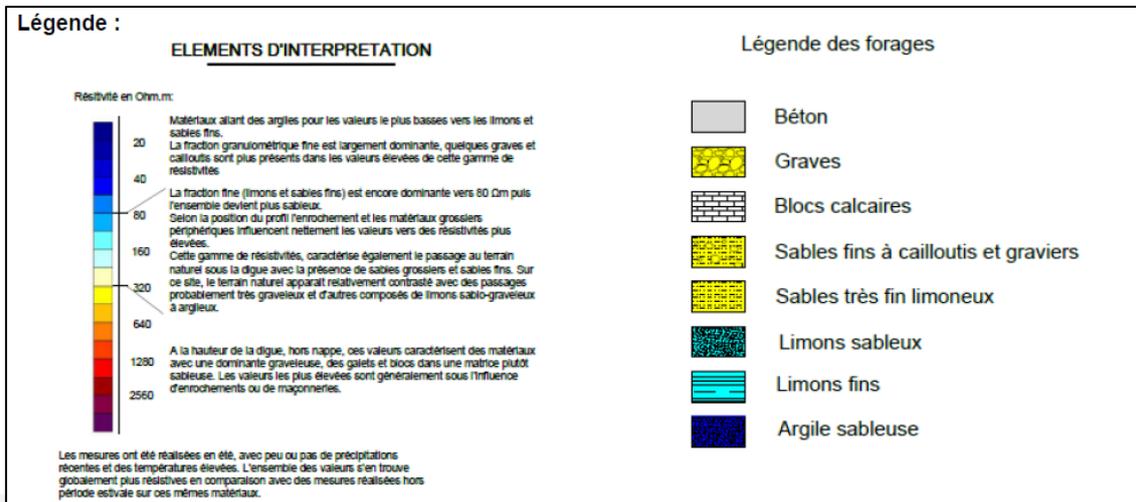


Figure 97 - Localisation des campagnes de reconnaissances géophysiques

### 7.1.4.2 Reconnaissances géophysiques en rive gauche de l'Arve

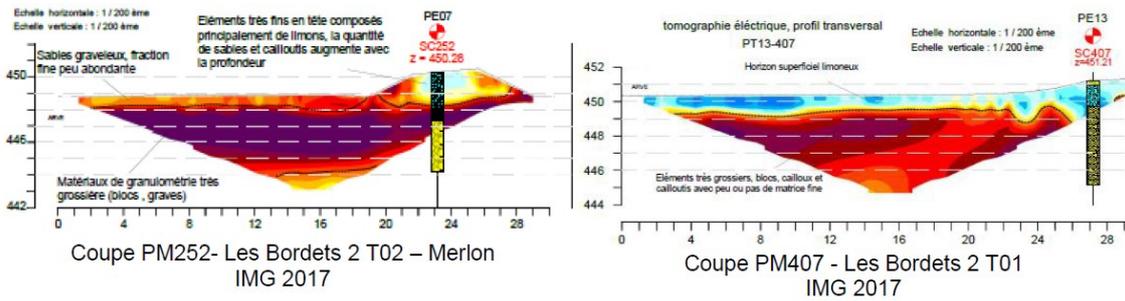
Les figures suivantes sont légendées comme suit :



#### 7.1.4.2.1 Les Bordets 2 T01 et T02

Composition : Digue homogène sur le linéaire. Corps sablo-limoneux et fondation sablo-graveleuse.

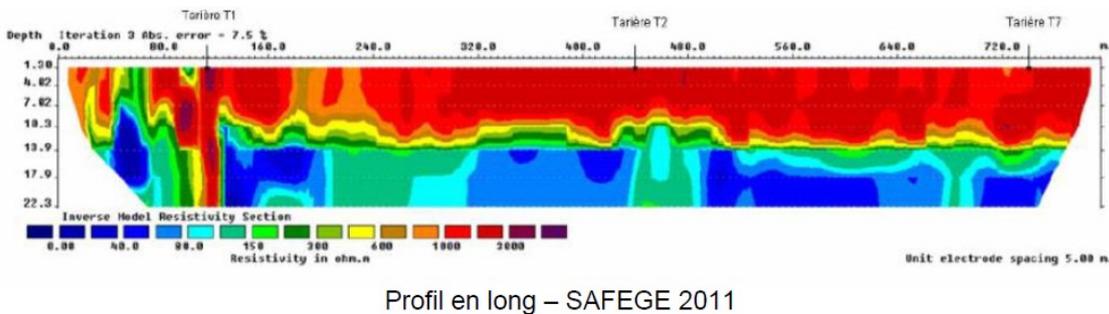
Réseaux – singularité : pas de réseaux repérés par les méthodes.



### 7.1.4.2.2 Les Bordets T02

Composition : sable fin sur les 3 premiers mètres puis corps grossier sablo-graveleux jusqu'à 11m ;

Réseaux – Singularités : Artefacts entre PM 560 et PM 1000.

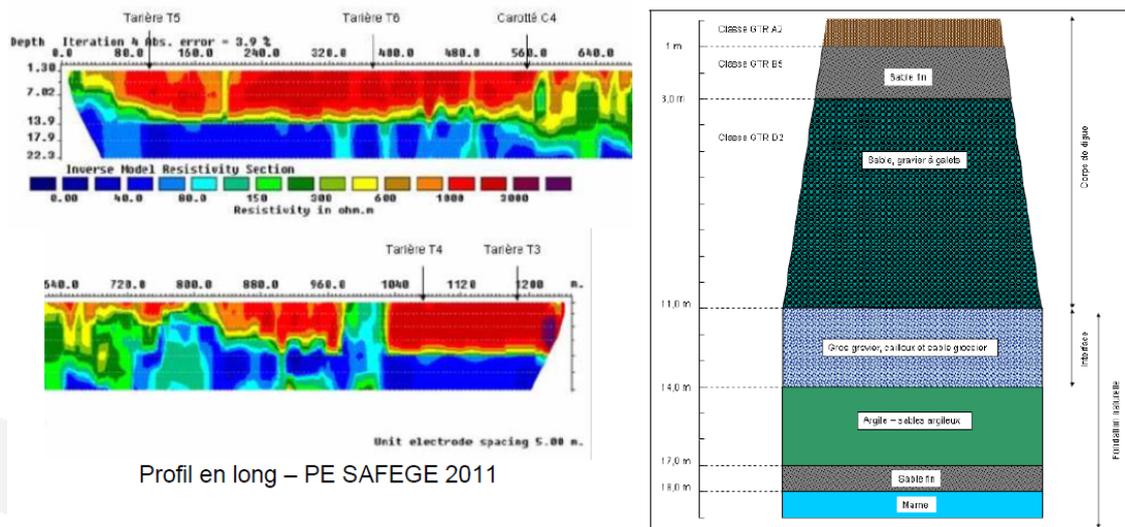


Profil en long – SAFEGE 2011

### 7.1.4.2.3 Les Bordets T01

Composition : Sable fin sur les 3 premiers mètres puis corps grossiers sablo-graveleux jusqu'à 11m ;

Réseaux – Singularités : Artefacts entre PM 560 et PM 1000.



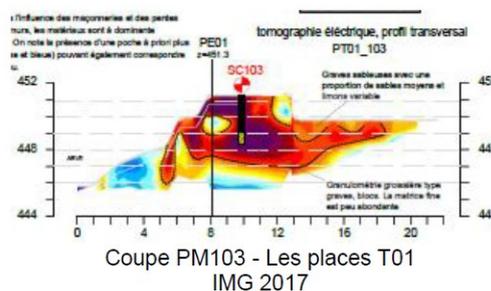
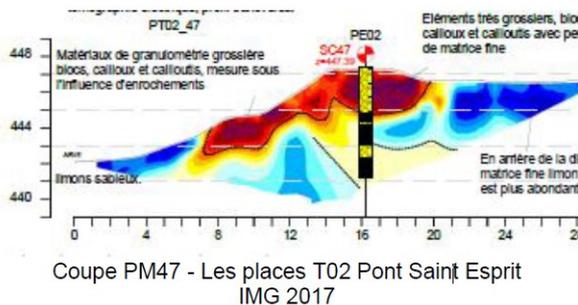
Profil en long – PE SAFEGE 2011

Profil en travers type – SAFEGE 2011

### 7.1.4.2.4 Les Places

Composition : Corps grossier et fondation plus fine. Parements en enrochements ou perré ;

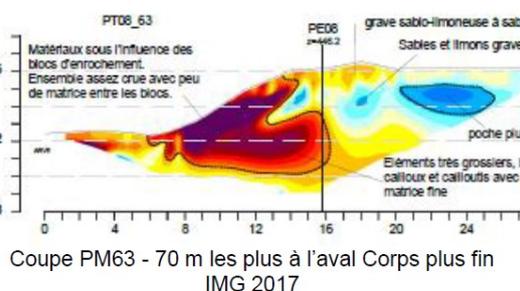
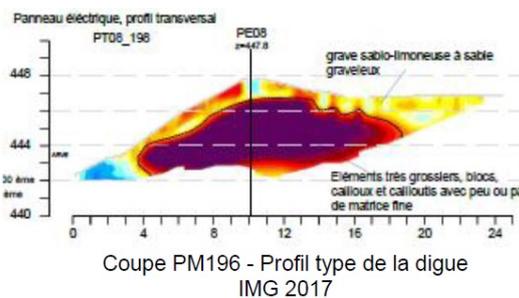
Réseaux – Singularités : Passages plus fin en surface en début de T01.



### 7.1.4.2.5 Bois Jolivet A

**Composition :** Premier mètre assez fin et fondation plus grossière voire très grossière. Parements en enrochements pas toujours très marqué ;

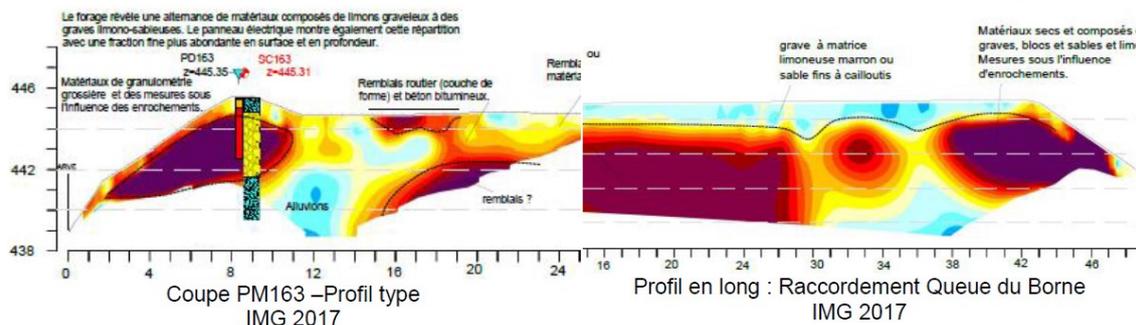
**Réseaux – Singularités :** Passages plus fin en corps de digue sur les profils les 70 m les plus en aval.



### 7.1.4.2.6 Merlon Prison

**Composition :** Corps de digue fin et fondation plus grossière voire très grossière. Parements en enrochements ;

**Réseaux – Singularités :** Raccordement à la queue du Borne corps fin sur matériaux grossiers.



### 7.1.4.3 Reconnaissances géophysiques en rive droite du Borne

La campagne de reconnaissance de 2017 a notamment consisté en la réalisation de profils de panneaux électriques en rive droite du Borne avec espacement des électrodes compris entre 5 m (profils en long) et 2 m (profils en travers). Les profils en long ont été réalisés en crête de digue. Le programme exécuté par système d'endiguement est détaillé dans le tableau ci-contre.

Digue	Profil en long	Profil en travers
Bois Jolivet B	1 de longueur 792.5 m en crête de digue (entre les deux ponts)	1 au PM 645
		1 au PM 820
Queue du Borne	1 de longueur 397.5 m en crête de digue (du pont de Toisinges au PM 210)	1 au PM 370
		1 au PM 435
Toisinges	1 de longueur 772.5 m en crête de digue (entre les deux ponts)	1 au PM 760
		1 au PM 1055
STEP	1 de longueur 540 m en crête de digue (entre les deux ponts)	1 au PM 245
		1 au PM 515

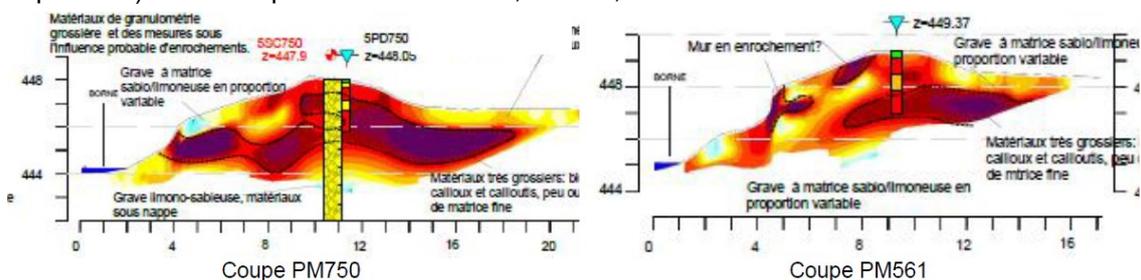
Tableau 37 : Contenu des reconnaissances géophysiques 2017

Ces reconnaissances visaient à caractériser la stratigraphie des digues sur la base de la mesure de résistivité apparente des sols et de faire apparaître les éventuelles hétérogénéités. Associées aux résultats des reconnaissances géotechniques, ces reconnaissances devaient permettre de statuer quant à la composition des digues sur le linéaire d'étude global.

### 7.1.4.3.1 Bois Jolivet B

Composition : Fondation et corps sablo-graveleux. Protection en enrochement partielle ;

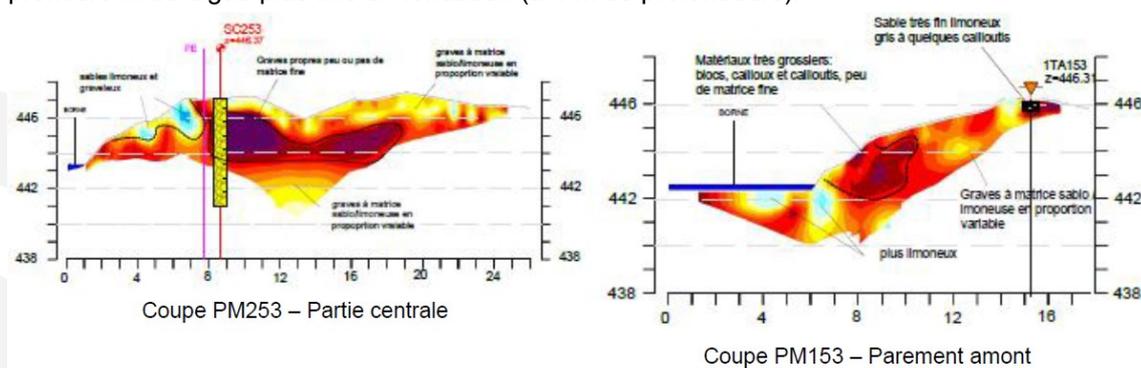
Réseaux-Singularités : 150 m en amont de digue plus fin en fondation (reconnaissance impossible). Réseaux potentiels aux PM35, PM406, et PM748.



### 7.1.4.3.2 Queue du Borne

Composition : 50 premiers cm assez fin puis corps et fondation plus sablo graveleuse. Parement en enrochements partiellement présents ;

Réseaux-Singularités : 50 derniers m de digue aval plus grossiers sur toute la hauteur. 150 premiers m de digue plus fins en fondation (à 4 m de profondeurs).



### 7.1.5 Reconnaissances géotechniques

Les reconnaissances géotechniques in situ et en laboratoire ont été réalisées par HYDROGÉOTECHNIQUE entre juin et août 2017.

La campagne de reconnaissances a consisté en la réalisation des prestations suivantes :

Digue	Sondages réalisés	Sondages et essais in situ (Unité)			Essais laboratoire (Unité)			
		Carotté (SC)	Pénétromètre Dynamique (PD)	Tarière manuelle (TA)	Analyses GTR	Sédimentométrie	Cisaillement	Analyse physico-chimique
Bois Jolivet B	SC748 PD561-320-748 TA35-726	1	3	2	2	0	0	2
Queue du Borne	SC253 TA153	1	0	1	2	1	1	2
Toisinges	SC442 PD441/442-153/154 TA70-745	1	2	2	2	2	1	2
STEP	SC195 TA464-65	1	0	2	2	1	1	0

Tableau 38 : Contenu des reconnaissances géotechniques 2017

La figure suivante localise les reconnaissances réalisées en 2017 sur les digues du Borne et de l'Arve, les sondages répertoriés dans le tableau ci-dessus et utiles à cette étude étant situés sur le tronçon aval du Borne (forme rouge).



Figure 98 : Localisation des sondages géotechniques réalisés en 2017 sur les digues objets de l'étude

## 7.1.6 Caractéristiques géotechniques issues des différentes campagnes de reconnaissances

### 7.1.6.1 Résultats issus des reconnaissances in-situ

Les résultats issus des sondages à la tarière manuelle ne sont pas rappelés du fait de l'atteinte rapide du refus (maximum 0.45 m / TA).

#### 7.1.6.1.1 Digue de Bois Jolivet B

##### 7.1.6.1.1.1 Reconnaissances géophysiques :

Il est possible d'en ressortir les conclusions suivantes :

- La présence d'enrochements côté rivière qui se répartissent sur le talus d'une façon assez hétérogènes, discontinus, recouverts de terrain de couverture ponctuellement épais et sous un couvert végétal assez dense.
- Le centre de la digue au niveau des sondages et du profil en long montre une succession en deux ou trois horizons granulométriques.

On distingue :

- Des PM 1380 (Pont Royal) à 1230, une répartition globalement en deux horizons.
- Des PM 1230 à 1110, une répartition que l'on peut définir en trois horizons. Le superficiel composé de graves limono-sableuses est constant mais on retient la présence d'une surépaisseur résistive (teintes oranges) bien marquée entre PM. On se situe sous la nappe d'accompagnement de la rivière mais les matériaux restent très graveleux éventuellement des galets propres ou avec très peu de fines. En profondeur, on retrouve une baisse des résistivités correspondant à des matériaux plus limoneux.
- Entre les PM 1110 et 1050, un retour à une répartition en deux couches.
- Des PM 1050 à 950, des variations de résistivités horizontales et verticales importantes liées probablement à des blocs ou des ouvrages en profondeur et à l'influence de la maison encadrée (ancien moulin).
- Des PM 950 à 870 : on retrouve cette structure que nous qualifions en trois horizons.
- Du PM 870 et jusqu'à la fin du profil (pont de Toisinges), on retrouve la répartition globalement similaire du début avec deux horizons distincts.

##### 7.1.6.1.1.2 Sondages carottés

Le log géologique issu du sondage carotté fait ressortir la présence d'un matériau de type grave sablo-limoneuse grise sur l'ensemble du forage (6 m / TA) soit sur l'ensemble du corps de digue et sa fondation.

Le taux de récupération a toujours été supérieur ou égal à 95% hormis pour la couche superficielle (0 – 1.6 m / TA) ou le taux était de 50%. D'après les photos cela correspondrait à un matériau plus grossier et présentant moins de matrice fine que sur le reste du carottage.

##### 7.1.6.1.1.3 Sondages pénétrométriques

Le sondage PD320 a fait ressortir la présence de terrains compacts ( $q_d > 12$  MPa) jusqu'au refus à 2,8 m / TA.

Les sondages PD561 et PD748 ont fait ressortir la présence de terrains compacts ( $8$  MPa  $< q_d < 15$  MPa) en tête respectivement jusqu'à 0,6 m et 0,8 m puis moyennement compacts ( $q_d \approx 5,2$  MPa) jusqu'à 1,4 m et enfin très compact ( $q_d > 20$  MPa) jusqu'au refus respectivement à 2,4 m et 2,2 m.

### 7.1.6.1.2 Digue de Queue du Borne

#### 7.1.6.1.2.1 Reconnaissances géophysiques

Des PM 590 (pont de Toisinges) à 435, la structure de la digue est conforme à la répartition type des horizons tels qu'ils sont également décrits dans le système d'endiguement de Bois Jolivet B, c'est-à-dire un horizon superficiel résistif (teintes rouges, graves sablo-limoneuses) sur des alluvions sous nappe, moins résistives (teintes oranges à bleues) et composées de sables, graves et une fraction fine limoneuse à priori plus abondante.

Des PM 435 à 235, cette succession décrite est surmontée d'un placage de 2m environ d'épaisseur et caractérisée par des résistivités nettement plus faibles et correspondant à des matériaux plus sablo-limoneux. On se situe au-delà de l'enceinte de la prison et la digue longe un parking. Morphologiquement, la digue est différente sur cette section et apparaît bien délimitée topographiquement. Il est possible que cet horizon superficiel corresponde à des dépôts récents de rehausse de digue. Au-delà de ce placage superficiel (teintes bleues) on retrouve en dessous la structure type en deux couches distinctes.

#### 7.1.6.1.2.2 Sondage carotté

Le log géologique issu du sondage carotté fait ressortir la présence d'un matériau de type grave sablo-limoneuse à limono-sableuse gris brun à gris blanc sur l'ensemble du forage (6.10 m / TA).

Le taux de récupération a toujours été supérieur ou égal à 90%.

### 7.1.6.2 Caractéristiques géotechniques issues des essais de laboratoire

#### 7.1.6.2.1 Analyse des essais de cisaillement

Des essais de cisaillement à la boîte ont été réalisés sur des échantillons remanié avec écrêtage de la fraction 0/5 mm. Les résultats ci-après caractérisent donc cette fraction.

Tableau 39 : Résultats des essais de cisaillement

Digue	Profondeur (m/TA)	Nature	C'(kPa)		$\varphi'$ (°)	
			C'p	C'r	$\varphi'$ p	$\varphi'$ r
Queue du Borne	3.85	Sables légèrement limoneux à cailloutis	0	0	30.3	30.3
Toisinges	0.85	Grave sablo-limoneuse	8	3	32.4	31.2
STEP	0.75	Sables limoneux à cailloutis	0	0	29.4	29.2

#### 7.1.6.2.2 Granulométrie – classification GTR

Des essais granulométriques complétés par sédimentométrie en fonction de la fraction fine résiduelle ont été réalisés sur les échantillons mentionnés dans le tableau suivant. Les courbes granulométriques sont données dans la figure suivante.

Tableau 40 : Résultats des essais d'identification

Digue	Profondeur	Nature	Classification GTR	Teneur en eau	Valeur au bleu
Bois Jolivet B	0 – 1.60 m	Grave à cailloux et cailloutis, matrice sablo-limoneuse grise	D3	0.8	0.08
	3.10 – 4.60	Grave à cailloux et cailloutis, matrice sablo-limoneuse grise	B5	0.1	0.15
Queue du Borne	1 – 1.60	Grave à cailloutis et quelques cailloux, matrice sablo-limoneuse grise	C1B3	1.1	0.17
	3.10 – 4.60	Sables limoneux gris, nombreux cailloutis et cailloux	B5	1.5	0.13
Toisinges	0 – 1.20	Sables limoneux gris, nombreux cailloutis et cailloux	C1B5	4.7	0.17
	3 – 4.50	Sables limoneux gris, nombreux cailloutis et cailloux	C1B5	3.2	0.12
STEP	0 – 1.50	Sables limoneux gris-beige, nombreux cailloutis et quelques cailloux	B5	1.7	0.26
	3.90 – 4.50	Limons sableux marron gris, quelques cailloux et cailloutis	A1	2.8	0.49

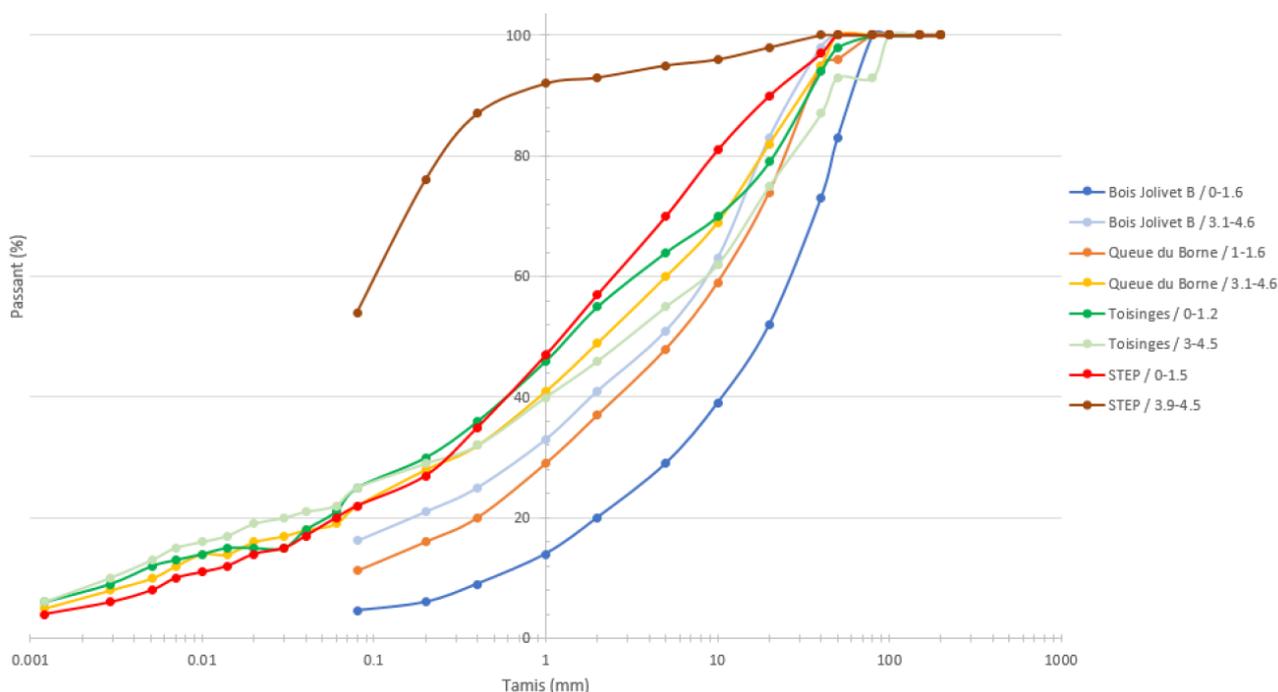


Figure 99 : granulométries

### 7.1.6.2.3 Caractéristiques physico-chimiques

Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur certains échantillons afin de déterminer la catégorie de déchets des potentiels matériaux excavés. Les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 41 : Résultats des analyses physico-chimiques

Échantillon	Seuils d'admissibilité en I.S.D (en mg/kg)			QueueBorne – SC253		Toisinges – SC442		BoisJolivetB – SC748	
	I.S.D.I	I.S.D.N.D	I.S.D.D	0,00-1,60	1,60-3,10	0,00-1,20	1,00-2,00	0,00-1,60	2,30-2,60
<b>Sur brut</b>									
pH	-	> 6	> 5 et < 13	8,7	8,5	7,7	7,9	8,4	7,5
indice hydrocarbures	500	2 000	10 000	105,0	107,0	104,0	195,0	492,0	44,9
COT	30 000 <sup>1</sup>	50 000 <sup>2</sup>	60 000 <sup>3</sup>	18500	34000	22500	20200	28800	15900
somme des HAP	50	100	500	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
somme des PCB	1	10	50	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
somme des BTEX	6	< 30	> 30	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500
<b>Sur lixiviat</b>									
Fraction soluble	4000 <sup>3</sup>	60000	100000	4910	<2000	<2000	<2000	3570	3110
Carbone Organique Total (COT)	500 <sup>4</sup>	800 <sup>1</sup>	1 000 <sup>4</sup>	<51	<50	<51	<50	55	<50
Chlorure	800 <sup>3</sup>	15000	25000	16,7	<10,0	16,2	<10,0	13,5	<10,1
Fluorure	10	150	500	<5,08	<5,00	<5,07	<5,00	<5,07	<5,04
Sulfate	1000 <sup>7*</sup>	20000	50000	<50,8	<50,0	59,8	<50,0	<50,7	54,9
Antimoine	0.06	0.7	5	<0.005	<0.005	0.007	0.005	<0.005	<0.005
Arsenic	0.5	2	25	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Baryum	20	100	300	0.29	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Cadmium	0.04	1	5	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Chrome	0.5	10	70	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Cuivre	2	50	100	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	0.36	<0.20
Mercurure	0.01	0.2	2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Molybdène	0.5	10	30	0.027	0.014	0.061	0.029	0.017	0.021
Nickel	0.4	10	40	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Plomb	0.5	10	50	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Sélénium	0.1	0.5	7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc	4	50	200	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Indice phénol	1	50	100	<0.51	<0.50	<0.51	<0.50	<0.51	<0.50
Orientation optimisée en Installation de Stockage des Déchets (I.S.D)				I.S.D.I <sup>6*</sup>	I.S.D.I <sup>6*</sup>	I.S.D.I	I.S.D.I	I.S.D.I	I.S.D.I

L'ensemble des digues sont constituées de matériaux inertes non pollués (ISDI) qu'il est possible de valoriser en l'état (sans dépollution).

### 7.1.6.3 Synthèse des reconnaissances géotechniques

LES BORDETS T02					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 0.8m	Sable grossier à petits galets	20	0	35	Extrapolation
0.8 à 3.10m	Sable fin gris-noir à galets	19	5	33.2	T2 en corrélation avec SC548 et SC252
3.10 à 6m	Galets matrice sableuse grise	20	0	37	T2 en corrélation avec SC548 et SC252
LES BORDETS T01					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 3m	Sable fin limoneux avec présence ponctuelle de petits galets	19	5	33.2	Pas dispo mais corrélation avec SC 548
3 à 6m	Galets à matrice sableuse grossière	20	0	37	Pas dispo mais corrélation avec SC 252
BORDETS 2 (T01-T02 Merlon)					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 3m	Limon sableux	19.3	5	33.2	Panneau électrique IMG 2017 + SC252 en profondeur non utilisable (présence de profil en travers géophy) + SC548 + PD200
3 à 6m	Graves (avec beaucoup de matrice )	20	0	37	
DIGUE DES PLACES					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 1.2m	Limon sableux marron foncé + cailloux + cailloutis	19.3	6	27	
1.2 à 4m	Limon sablo-graveleux gris	21	3	23	SC20/PD24 et SC103 + PT01-103
4 à 4.5m	Bloc calcaire	20	0	45	
4.5 à 6m	Graves à matrice limono sableuse grise	20	0	37	
BOIS JOLIVET A					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 2.3m	Limon sableux marron foncé + cailloux + cailloutis	21	5	30	SPD3/SPD4/SC7/PE6 (Granulo similaire à SC252 3-3.8m)
2.3 à 6m	Limon sablo-graveleux gris	20	0	37	Fixé par le rapport SAGE 2010 (valeur homogénéisée en prenant compte des résultats environnants)
MERLON PRISON					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 0.7m	Limon sableux à graviers	19	4	27	SC163/PD163 (granulo similaire à SC54 0.5-1m)
0.7 à 2m	Graves sablo-limoneuses grise	23	3	30.3	Cisaillage SC163
2 à 3.2	Limons sableux très mou	19	2	25	Valeur de référence car pas d'infos
3.2 à 6m	Limon sableux gris + graves	23	3	30.3	Cisaillément SC163

LES OUCHES (pas d'infos, données prises similaires à Bois Jolivet B)					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 4m	Grave + matrice sablo limoneuse grise (D3) très grossier (29% de passant à 5mm)	20	0	37	
4 à 6m	Graves à cailloux + matrice sablo limoneuse grise (B5) donc un peu plus fin	20	0	35	
BOIS JOLIVET B					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 4m	Grave + matrice sablo limoneuse grise (D3) très grossier (29% de passant à 5mm)	20	0	37	SC748 : 0-1.6m
4 à 6m	Graves à cailloux + matrice sablo limoneuse grise (B5) donc un peu plus fin	20	0	35	SC748 : 3.10 - 4.60
QUEUE DU BORNE					
Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	Sondage utilisé
0 à 1 m	Sable très fin limoneux marron gris à quelques cailloutis et graviers (TV ?)	19	4	27	Idem Merlon Prison sur la couche sup (proches géographiquement) + TA153
1 à 4m	Grave quasiment pures légère matrice matrice (C1B3)	18	0	37	IMG 2017 + PT09_253SC253 + cisaillement
4 à 6m	Graves à matrice sablo limoneuse en proportion variable (B5)	20	0	35	SC253 + cisaillement

Figure 100 - synthèse des différentes reconnaissances géotechniques - EDD CNR, 2019

#### 7.1.6.4 Synthèse géologique des reconnaissances de 2017

Deux profils type actuels de digue établis sur la base des éléments présentés ci-avant sont présentés ci-dessous, tous les autres profils sont consultables dans le rapport complet de G2 AVP.

Du fait de la non-obtention de données techniques supplémentaires depuis 2017, ces profils sont identiques à ceux proposés dans le diagnostic de 2018. Ils ont été complétés par quelques profils types au niveau de Toisinges et de la STEP.

De la même manière, les caractéristiques géomécaniques des sols déterminés pour le diagnostic de 2018 sur la base des reconnaissances de 2017 restent valables et utilisées pour cette étude.

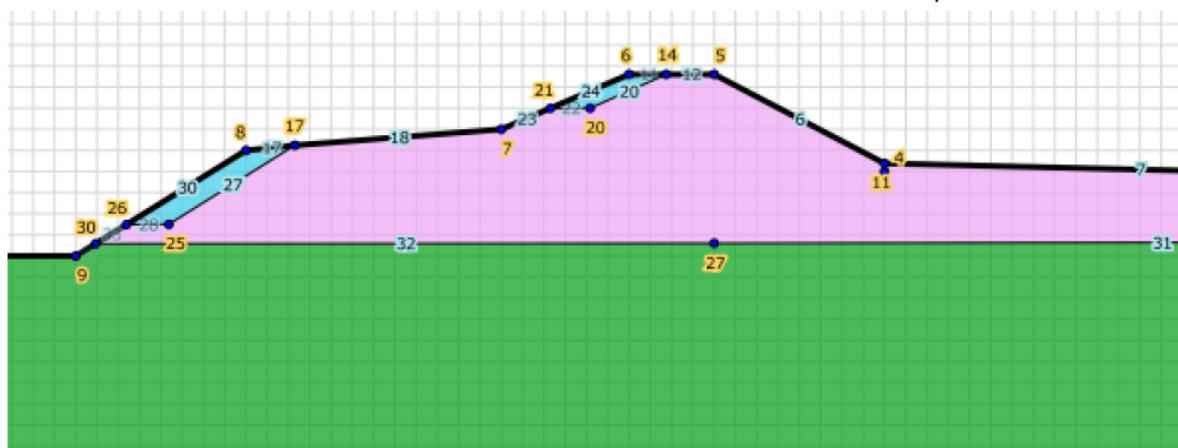


Figure 101 : Bois Jolivet B – PM 1200

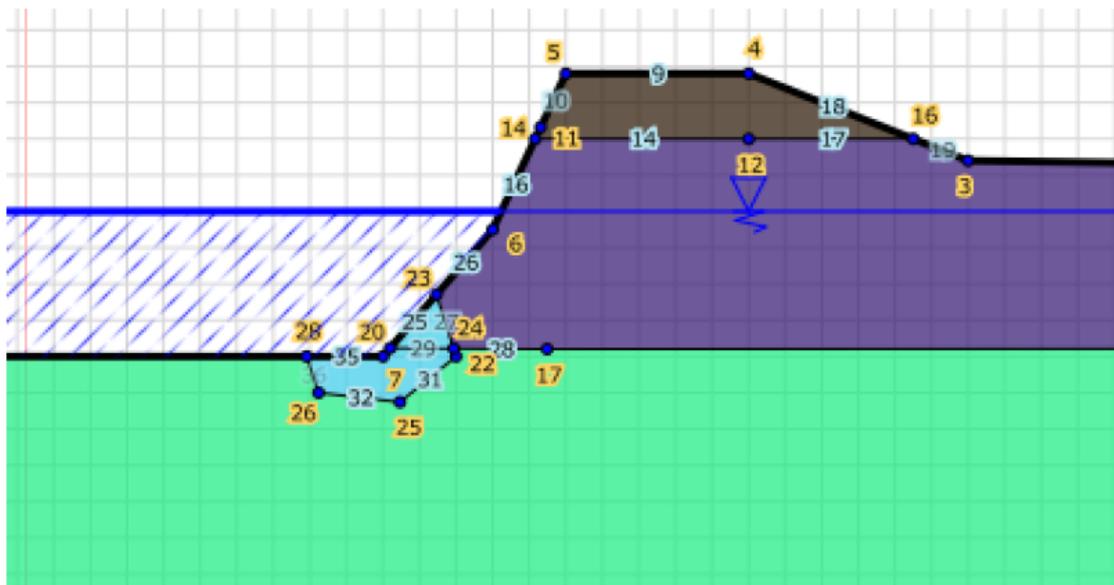


Figure 102 : Queue du Borne – PM 400  
Tableau 42 : Rive droite – Paramètres géomécaniques

Caractéristiques mécaniques des sols					
Profil topo	Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\varphi'$ (°)
Variable	Parement amont	Enrochements/Perrés	20	0	45
<b>BOIS JOLIVET B</b>					
Profil topo retenu	Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\varphi'$ (°)
1200 +1300+722	0 à 4m	Grave + matrice sablo limoneuse grise (D3) très grossier (29% de passant à 5mm)	20	0	37
	4 à 6m	Graves à cailloux + matrice sablo limoneuse grise (B5) donc un peu plus fin !	20	0	35
<b>QUEUE DU BORNE</b>					
Profil topo retenu	Profondeur	Description	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\varphi'$ (°)
200+400	0 à 1 m	Sable très fin limoneux marron gris à quelques cailloutis et graviers (TV ?)	19	4	27
	1 à 4m	Grave quasiment pures légère matrice matrice (C1B3)	18	0	37
	4 à 6m	Graves à matrice sablo limoneuse en proportion variable (B5)	20	0	35

### 7.1.7 Caractéristiques issues des reconnaissances géotechniques de 2021

La campagne de reconnaissances géotechniques de 2021 a permis de mettre en œuvre les investigations suivantes :

#### Secteur bois jolivet

- 1 sondage destructif : PM1232RD ; 8 m de profondeur, essais de chargement in situ de type préssiométrique tous les 1m ;
- 1 sondage carotté : SC1150RD ; 8 m de profondeur.
- 2 essais de perméabilité : Lefranc et Nasberg ;

- Essais en laboratoire : 2 analyses GTR, 1 analyse sédimentométrique, 1 essais de cisaillement à la boîte.

#### **Secteur en queue de Borne**

- 5 sondages à la pelle mécanique : PEL500RD, PEL450RD, PEL291RD, PEL 120RD et PEL120RD bis ; Profondeur de 0,8 à 2,6m ;
- 1 sondage destructif : PM220RD ; 8m de profondeur, essais de chargement in situ pressiométrique ;
- Essais en laboratoire : 6 analyses GTR, 5 analyses sédimentométriques, 5 mesures de densité, 4 mesures de teneur en matière organique, 4 mesures de l'indice portant immédiat IPI, 4 analyses de pollution ISDI, 1 essai de cisaillement à la grande boîte.

On retrouve dans la l'implantation des sondages réalisés :

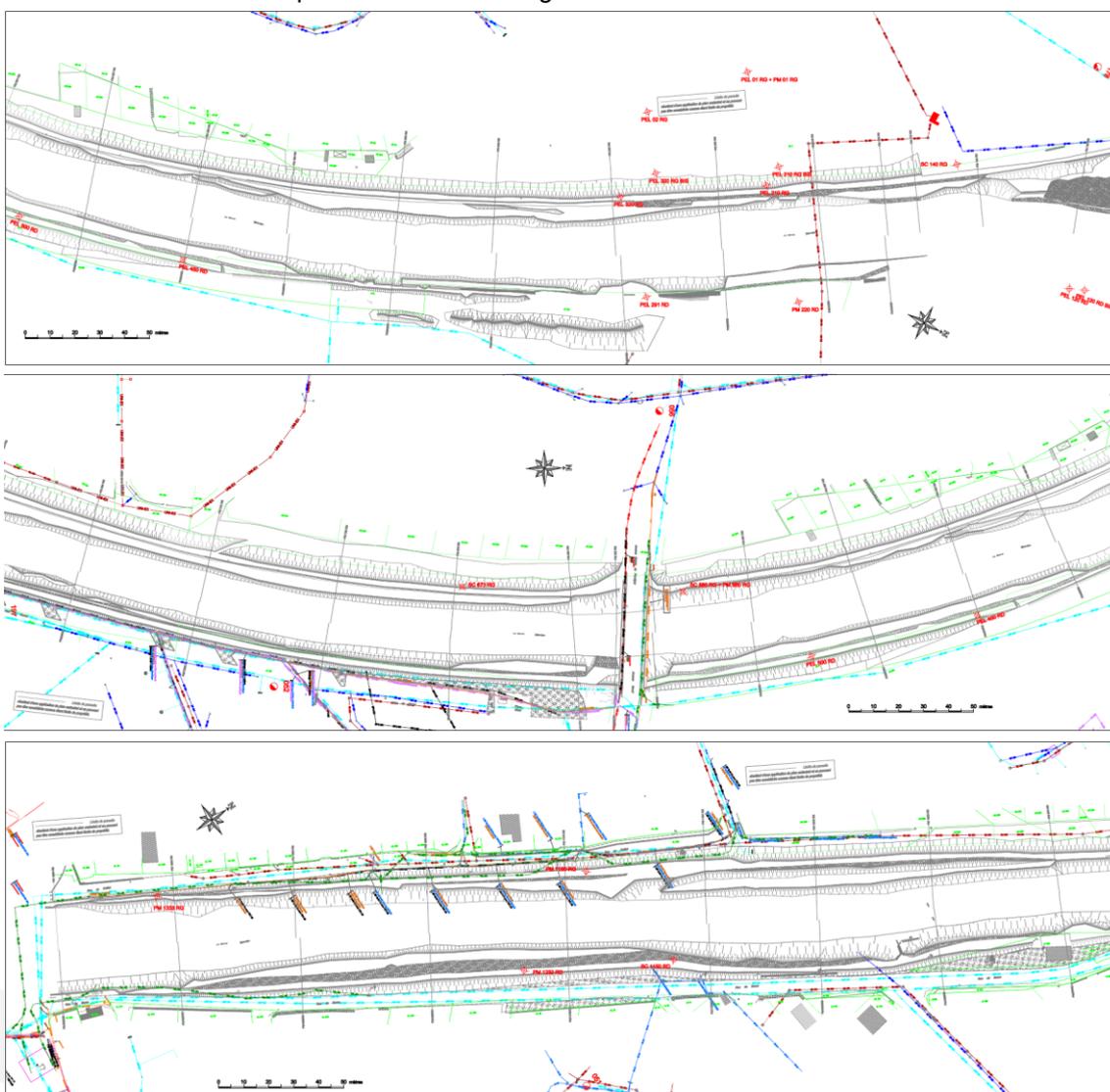


Figure 103 - Plan d'implantation des sondages de la campagne de reconnaissance de 2021 (a: PM 59RG à 465 RG ; b : PM 426RD à 870RD c: 979RD à 1380RD)

Le détail des sondages de la campagne de reconnaissance est fourni en annexe.

## 7.2 Etat actuel du système d'endiguement

### 7.2.1 Evaluation de la stabilité des digues existantes

#### 7.2.1.1 Rappel du diagnostic de 2018

Un diagnostic de stabilité complet a été réalisé en 2018 sur les digues du linéaire d'étude à partir des mêmes informations géologiques et géotechniques que celles présentées dans ce rapport (par CNR).

Par rapport au diagnostic 2018, les hypothèses suivantes ont changé :

- Les lignes d'eau issues d'une mise à jour du modèle hydraulique traduisant de l'état actuel ont été légèrement modifiées sans remettre en cause les grands principes étudiés au diagnostic 2018 ;
- De manière générale, il a été demandé de considérer une protection à la cote de protection correspondant à la ligne d'eau maximale atteinte lors d'une crue centennale ( $Q_{100}$ ) avec ajout d'une revanche minimale de 1 m (cf. § 5 de la notice globale d'AVP) ;
- Les profils de calculs additionnels RD-722, RG-1076, RG-774 et RG-145 ont été étudiés dans l'état actuel mais montrent les mêmes tendances que les profils étudiés au diagnostic.

Le tableau suivant reprend, à la maille des tronçons globaux, les conclusions apportées par le diagnostic de 2018 en considérant les nouvelles hypothèses hydrauliques tandis que les réflexions complètes (hypothèses, application des principes, etc.) restants semblables à celles du diagnostic, elles sont disponibles dans les rapports de diagnostic.

Tableau 43 : synthèse extraite de l'EDD de 2019 avec Arve en état actuel (Source EDD CNR – 2018)

	Cours d'eau	Charge	B/H	Surverse	Erosion interne	Erosion Externe Affouillement	Glissement	Risque
BORDETS - T02	Arve RG	Entre Q10 et Q100	6.6	Q1000 / PK29.2	Instable	Oui	Talus rivière Instable	3
BORDETS - T01		Q10	4.0	Q1000 PK27.7 voire PK28.6	Instable	Oui	Talus rivière Instable	4
LES BORDETS 2 - T01 et T02		Q10	11.88	Q1000 PK29.2	Instable	Non	Non testé car rapport B/H fort	1
PLACES T01 - T02		Q100	4.0	Q1000 PK27.5	Instable	Non mais perré voire mur	Talus rivière Instable	3
BOIS JOLIVET A		Entre Q10 et Q100	4.3	Q1000 PK26.9 à PK26.7	Instable	Oui partie aval	Talus rivière Instable	3
Merlon PRISON		Q1000	0.9	>Q1000	Instable	Non (1 profil très raide, les	Non Testé car en charge à Q1000	2
DESSY - T01	Borne RD	>Q1000	1.0	>Q1000	Instable	Non	Non Testé car charge >Q1000	2
DESSY T02		>Q1000	1.5	>Q1000	Instable	Oui sous pont	Non Testé car charge >Q1000	2
VORZIERS T03		>Q1000	7.5	>Q1000	Instable	Non	Non Testé car charge >Q1000	2
VORZIERS T02		>Q1000	9.3	>Q1000	Non Testé	Oui	Non Testé car charge >Q1000	2
VORZIERS T01		>Q1000	11.4	>Q1000	Non Testé	Oui	Non Testé car charge >Q1000	2
Les Ouches		Q10	8.2	>Q1000	Non Testé	Non mais 1 seul profil	Non Testé car charge >Q1000	2
Bois Jolivet B		Q10	4.5	>Q1000	Instable	Oui	Talus rivière Instable	4
Queue du borne		Q10	6.9	>Q1000	Instable	Oui	Talus rivière Instable	4

Le tableau résume les principales conclusions selon les caractéristiques et les risques propres à chaque secteur : Charge sur les digues, Dimensions des ouvrages, Erosion interne, Erosion externe, Surverse et Glissement.

Ce tableau présente aussi un niveau de risque associé à chaque digue. Ce niveau est hiérarchisé de 1 à 5.

- Le niveau 1 correspond aux digues non en charge et ne présentant pas de risque d'érosion externe ;
- Le niveau 2 correspond aux digues très faiblement en charge ou non en charge présentant des dysfonctionnements locaux comme des érosions externes ou des débordements hors endiguement ;
- Le niveau 3 correspond à des digues en charge généralement entre Q10 et Q100, présentant des risques d'instabilité soit par glissement soit par érosion interne et/ou externe et des rapports B/H modérés à faibles ;
- Le niveau 4 correspond à des digues en charge pour des crues Q10 présentant des risques d'instabilité sur au moins 3 à 4 des phénomènes testés et des rapports B/H très faibles ;
- Le niveau 5 correspond à des digues en charge pour des crues inférieures à Q10 présentant des risques d'instabilité sur au moins 3 à 4 des phénomènes testés et des rapports B/H très faibles.

D'un point de vue rupture d'ouvrage, il peut être retenu que les classes de risque 1 à 2 ne sont pas susceptibles de créer des brèches potentielles sur les ouvrages.

Pour les niveaux de risque 3 à 5, un risque de brèche est possible. L'occurrence de ce risque de brèche est très proche du niveau de mise en charge des endiguements.

### 7.2.1.2 Etude de sensibilité de 2020

Une étude de sensibilité sur les paramètres géomécaniques des sols rencontrés sur les digues du Borne a été réalisée en 2020 de manière à quantifier l'impact de ces coefficients sur les résultats de stabilité au glissement. Celle-ci concluait sur le fait que les deux approches montraient que les paramètres géomécaniques ont une influence relative qui ne permet pas de modifier les conclusions. En effet, la conclusion sur la stabilité des profils reste identique dans plus de 98% des calculs. En l'absence de données nouvelles depuis les reconnaissances géotechniques de 2017, la poursuite de l'étude (G2PRO) et notamment le dimensionnement des ouvrages de confortement sera réalisé en utilisant les paramètres géomécaniques retenus pour l'établissement du diagnostic de 2018.

### 7.2.2 Synthèse des résultats de l'EDD CNR – Niveau de sûreté

On retrouve ci-dessous les résultats du diagnostic approfondi de l'étude CNR sur les digues existantes :

Facteur de sécurité Talren	Figure correspondante	Conditions normales (Q10) (Talus TN)	Conditions exceptionnelles de crue (Q100) (Talus TN)	Conditions extrêmes de crue (Q200) (Talus TN)	Décru rapide (Talus rivière)	Niveau Bas (Talus Rivière)
BORDETS 1 T01	-	1.86	1.85	2.23	1.19	1.09
	Figure 106	1.49	1.39	1.6	0.5	0.64
BORDETS 1 T02	-	23.13	même ordre de grandeur	même ordre de grandeur	0.86	0.82
	Figure 105	2.35	2.3	2.89	0.85	0.79
Digue des Places	Figure 107	2.63	2.57	3.22	0.73	0.78
	Figure 108	1.57	1.48	1.74	0.74	0.75
Bois Jolivet A	Figure 109	1.49	1.38	1.63	0.79	0.67
Merlon Prison	Figure 110				2.08	1.57
Les Ouches	Figure 111	1.79	1.61	1.61	1.86	1.86
Bois Jolivet B	-	1.37	1.35	1.53	1.04	1.69
	Figure 112	1.2	1.45	1.7	0.7	0.66
Queue du Borne	-	3.58	4.5	4.04	0.81	0.7
	Figure 113	2.28	2.22	2.42	0.6	0.71

Figure 104 - Coefficients de sécurité calculés - étude de stabilité au glissement (Source : EDD CNR 2019)

Digue	Suffusion	Contact	Conduit	Erosion régressive		Claquage	Conclusion
				Surface	Conduit		
Bordets T01 et T02	Instable (corps et fondation)	Stable	Potentiellement instable	Stable	Instable localement	Stable	Instable Conduit Suffusion
Bordets2 T01 et T02					Instable localement		
Place T01							
Place T02							
Bois Jolivet A							
Merlon Prison					Stable		
Dessy					Stable		
Vorzier T03					Stable		
Vorzier T02					Stable		
Vorzier T01	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé	Non testé
Ouches							
Bois Jolivet B	Instable (corps et fondation)	Stable	Potentiellement instable	Stable	Stable	Stable	Instable Conduit Suffusion
Queue du Borne							

Figure 105 - Synthèse de la sensibilité au risque d'érosion interne (Source : EDD CNR 2019)

	Cours d'eau	Poids des enrochements à mettre en place		Pente moyenne	Poids des enrochements à mettre en place		Risque observé lors des VTA Erosion Externe
		Pente Max	Pente max		Pente moyenne	Pente moyenne	
BORDETS - T02	Arve	0.4	SubVertical	1	Sub Vertical	Oui	
BORDETS - T01		1.3	5704	2	206	Oui	
LES BORDETS 2 - T01 et T02		1.5	0	2	0	Non	
PLACES T01 - T02		0.2	SubVertical	1.2	Sub Vertical	Non mais perré voire mur	
BOIS JOLIVET A		0.8	SubVertical	1	Sub Vertical	Oui partie aval	
Merlon PRISON		0.2	SubVertical	1.5	1021	Non (1 profil très raide, les autres assez doux)	
DESSY - T01	Borne	quasiment verticale	quasiment verticale	1.4	3404	Non	
DESSY - T02		0.3	Vertical	1.6	1143	Oui sous pont	
VORZIERS T03		quasiment verticale	quasiment verticale	1.7	789	Non	
VORZIERS T02		1.4	quasiment verticale	1.4	1041	Oui	
VORZIERS T01		1.1	quasiment verticale	2.0	249	Oui	
Les Ouches		2.3	153	2.3	153	Non mais 1 seul profil disponible	
Bois Jolivet B		1.1	1694	2.6	88	Oui	
Queue du borne		1.9	167	2.0	164	Oui	

Figure 106 - Synthèse du risque d'érosion externe par tronçon (Source : EDD CNR 2019)

	Cours d'eau	Charge	B/H	Surverse	Erosion interne	Erosion Externe Affouillement	Glissement	Risque
BORDETS - T02	Arve RG	Entre Q10 et Q100	6.6	Q1000 / PK29.2	Instable	Oui	Talus rivière Instable	3
BORDETS - T01		Q10	4.0	Q1000 PK27.7 voire PK28.6	Instable	Oui	Talus rivière Instable	4
LES BORDETS 2 - T01 et T02		Q10	11.88	Q1000 PK29.2	Instable	Non	Non testé car rapport B/H fort	1
PLACES T01 - T02		Q100	4.0	Q1000 PK27.5	Instable	Non mais perré voire mur	Talus rivière Instable	3
BOIS JOLIVET A		Entre Q10 et Q100	4.3	Q1000 PK26.9 à PK26.7	Instable	Oui partie aval	Talus rivière Instable	3
Merlon PRISON		Q1000	0.9	>Q1000	Instable	Non (1 profil très raide, les	Non Testé car en charge à Q1000	2
DESSY - T01	Borne RD	>Q1000	1.0	>Q1000	Instable	Non	Non Testé car charge >Q1000	2
DESSY T02		>Q1000	1.5	>Q1000	Instable	Oui sous pont	Non Testé car charge >Q1000	2
VORZIERS T03		>Q1000	7.5	>Q1000	Instable	Non	Non Testé car charge >Q1000	2
VORZIERS T02		>Q1000	9.3	>Q1000	Non Testé	Oui	Non Testé car charge >Q1000	2
VORZIERS T01		>Q1000	11.4	>Q1000	Non Testé	Oui	Non Testé car charge >Q1000	2
Les Ouches		Q10	8.2	>Q1000	Non Testé	Non mais 1 seul profil	Non Testé car charge >Q1000	2
Bois Jolivet B		Q10	4.5	>Q1000	Instable	Oui	Talus rivière Instable	4
Queue du borne		Q10	6.9	>Q1000	Instable	Oui	Talus rivière Instable	4

Figure 107 - Conclusions, risques et préconisations (Source : EDD CNR 2019)

### 7.2.3 Conclusion

Le diagnostic réalisé par CNR montre que les digues du Borne rive droite et de l'Arve rive gauche sont à conforter nécessairement sur l'ensemble de leur linéaire vis-à-vis des risques d'érosion externe, érosion interne (suffusion et érosion de conduit) et instabilité mécanique (glissement du talus amont).

L'ensemble du système d'endiguement (Borne rive droite et Arve rive gauche) a fait l'objet d'un avant-projet de confortement.

**La présente étude de dangers est centrée sur les digues du Borne rive droite (voir § 0.3.2).**

Concernant les digues de l'Arve rive gauche, nous rappelons ci-dessous les niveaux identifiées par CNR dans l'EDD de 2019 (tableau indicatif et non réglementaire) :

DIGUE	Niveau protection Etat actuel	Niveau de Sureté Etat actuel	Niveau dangers Etat actuel
LES BORDETS 2-T02 MERLON			
LES BORDETS 2-T01			
LES BORDETS-T02			
LES BORDETS-T01	Q10 Arve 525 m <sup>3</sup> /s Cas 1	Q10 Arve Cas 1	Q100 Arve 870 m <sup>3</sup> /s Cas 1
LES PLACES - T02 - ST ESPRIT			
LES PLACES - T01			
BOIS JOLIVET A			
MERLON PRISON			

**Conformément l'arrêté du 30 septembre 2019 et suite à la réunion du 21/06/2023, le SM3A ne souhaite pas classer les digues de l'Arve en état actuel étant donné que des travaux de confortement jusqu'à la crue centennale sont également prévus sur ces dernières à partir de fin 2024 (voir § 0.3.2).**

**Le diagnostic approfondie sur les digues de l'Arve et leur classement réglementaire (niveau de protection et niveau de dangers) seront précisés dans l'étude de dangers, centrée sur les digues de l'Arve rive gauche, qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve ».**

## 7.3 Rive droite du Borne – Etat Avant-projet

Les tronçons RDT6 et RDT7 ne font pas partie du système d'endiguement.

### 7.3.1 Principes d'adaptation des ouvrages

Une actualisation spécifique des diagnostics présentés au chapitre précédent à ce projet, via notamment l'intégration d'aspects transverses (emprise foncière disponible, intégration paysagère, etc.), a été réalisée et est présent en annexe (G2AVP). Cette dernière débouche sur la définition de tronçons homogènes et la proposition de solutions de confortement adaptées à ces tronçons. Les tableaux suivants rappellent pour information le découpage en tronçons homogènes issu de cette analyse spécifique.

Tableau 44 : Découpage en tronçons homogènes – RD (Source EDD CNR – 2018)

PM	RD-T1	RD-T2	RD-T3/4	RD-T5	RD-T6	RD-T7
Début	1380 (Pont)	1140	590 (Pont)	395	350	195
Fin	1140	605 (Pont)	395	350	195	70 (Confluence)

### 7.3.2 Avant-projet de confortement – digues du Borne rive droite

NB :

- La description complète de l'AVP est dans la partie 5.2 du présent rapport, il est question dans cette partie des éléments de justification de la tenue mécanique des aménagements envisagés.
- Le découpage en tronçons homogènes est décrit en chapitre 5.
- Dans la partie précédente 7.2 « Etat actuel du système d'endiguement » nous avons présenté une synthèse des éléments disponibles sur tout le système d'endiguement (Arve + Borne). Or, les travaux envisagés portent actuellement uniquement sur le Borne. **Les éléments détaillés ci-après ne concernent donc que le Borne.**

PM	RD-T1	RD-T2	RD-T3/4	RD-T5	RD-T6	RD-T7
Début	1380 (Pont)	1140	590 (Pont)	395	350	195
Fin	1140	605 (Pont)	395	350	195	70 (Confluence)

Pour ne pas alourdir la lecture du dossier d'EDD, nous renvoyons au dossier G2 AVP pour tous les détails techniques sur les méthodes présentées synthétiquement et les résultats.

### 7.3.3 Principes généraux

Etant donnée les conclusions du diagnostic, un avant-projet de confortement des digues a été proposé afin de diminuer les risques de rupture des ouvrages en cas de crue. Ce projet de confortement se décrit ainsi comme la **Reprise complète des tronçons d'endiguement** ; i.e. corps de digue et protection des talus. Les tronçons concernés sont :

- Bois Jolivet B – Borne Rive Droite (PM1380 - PM620)
- Queue du Borne – Borne Rive Droite (PM690 – PM330)

### 7.3.4 Objectif de protection

Il a été convenu avec le Maître d'Ouvrage de concevoir l'avant-projet avec le niveau de protection suivant :

	Correspondance (Borne)
Crue de protection	Q100 = 178 m <sup>3</sup> /s
Cote des crêtes de digues	Cote Q100 + 1 m

Tableau 45 : Objectifs de protection du système d'endiguement

A noter que l'AVP présente un objectif de protection et de sureté fixé. Des recherches d'optimisation seront apportées dans les phases suivantes du projet.

### 7.3.5 Méthode de vérification de la tenue des ouvrages

#### 7.3.5.1 Arbres de défaillance

Le diagnostic technique approfondi vise à vérifier la tenue des ouvrages jusqu'au niveau de protection. Pour ce niveau de protection, la probabilité résiduelle de rupture acceptable est de 5%.

La probabilité de rupture pour la crue de projet correspondant à la crue centennale est déterminée pour différentes modalités de rupture définies par des scénarios de rupture détaillés en arbre de défaillance, chaque bifurcation correspondant à une étape de rupture de l'ouvrage.

Une probabilité est associée à chaque étape sur la base de l'analyse des connaissances disponibles, le retour d'expérience sur l'ouvrage, le projet prévu, et en intégrant une approche calculatoire.

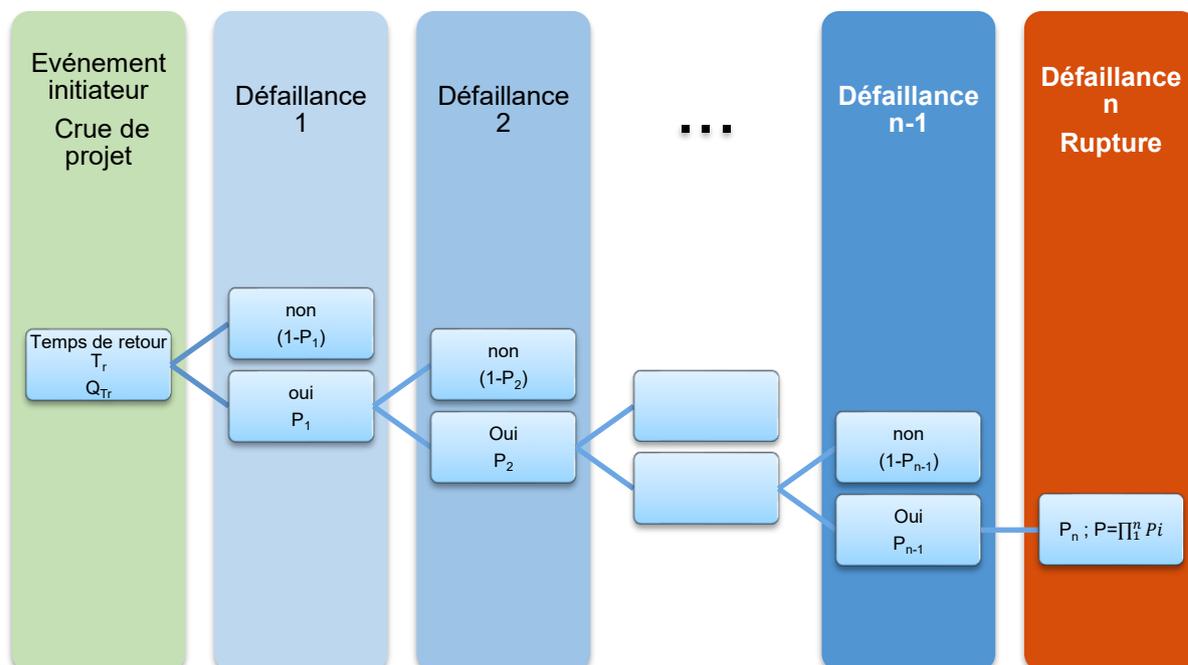


Figure 108 - Arbre type de probabilité

#### 7.3.5.2 Mécanismes de rupture identifiés

Les quatre mécanismes de rupture principaux d'une digue sont l'objet du présent diagnostic approfondi :

- Rupture par surverse,
- Rupture par érosion externe côté cours d'eau,

- Rupture érosion interne du corps de la digue ou de la fondation, en partie courante ou au droit des franchissements,
- Rupture par instabilité.

Ces mécanismes de défaillances sont décrits au chapitre 6.3 de ce rapport.

### 7.3.5.3 Appréciation des probabilités de rupture

Les probabilités des différents phénomènes pouvant conduire à un accident (érosion interne, érosion externe, ...) sont rarement quantifiables de manière absolue.

Lorsqu'une quantification numérique de la probabilité d'une étape (cf. § 7.2.1) est envisageable, celle-ci est réalisée. En pratique, cela est rarement le cas (voire jamais) et il est nécessaire de faire appel à des approches expertes des probabilités.

Pour la détermination de ces dernières, nous avons retenu dans le cadre du présent diagnostic les valeurs proposées par Vick 2002 [29] et adaptées par l'United States Bureau of Reclamation (USBR).

L'USBR a adopté un système de qualification verbale pour la plupart des estimations de probabilité subjective, basé principalement sur des expériences rapportées par Reagan et al (1989) [30]. celles-ci montrent que, dans des limites raisonnables, les gens sont assez bien calibrés pour des probabilités connues, à condition :

- D'utiliser des mots que la plupart des gens adopteraient pour leur propre cas,
- Que les probabilités soient plus probables que 1%.

Vick (2002) [29] a résumé ces résultats et a proposé une convention verbale de transformation numérique, indiqué dans le tableau ci-dessous. Les résultats des expériences réalisées par Reagan et al [30] figurent à côté de ces valeurs. Une des principales conclusions des expériences est que la capacité des gens à quantifier des probabilités ne se prolonge pas très loin à chaque extrémité de l'échelle de probabilité, même si des mots comme "presque impossible" ou "presque certain" sont utilisés. Cela est probablement dû au fait que l'expérience de la plupart des gens ne leur permet pas de conceptualiser des probabilités pour des valeurs extrêmes, et on ne dispose donc pas des termes qui décrivent adéquatement ces valeurs extrêmes.

Qualification verbale de l'évènement	Code couleur	Probabilité suggéré Vick (2002) [29]	Gamme de probabilités Reagan et al (1989) [30]
<b>Très improbable</b> En raison de conditions physiques connues ou des procédés qui peuvent être décrits et qualifiés avec une entière confiance		<b>0.01</b>	<b>0 - 0,05</b>
<b>Improbable</b> Bien que la possibilité ne puisse être écartée		<b>0.1</b>	<b>0,002 – 0,15</b>
<b>Neutre</b> Avec aucune raison de croire qu'un résultat est plus ou moins probable que l'autre		<b>0.5</b>	<b>0,45 - 0,55</b>
<b>Probable</b> Mais sans être complètement certain		<b>0.9</b>	<b>0,75 - 0,90</b>
<b>Très probable</b> En raison de conditions physiques connues ou des procédés qui peuvent être décrits et qualifiés avec une entière confiance		<b>0.99</b>	<b>0,9 - 0,995</b>

Tableau 46 - Probabilité conditionnelle proposée par Vick (2002)

Ces probabilités conditionnelles seront affectées directement à chaque élément de chaque scénario de rupture identifié.

## 7.3.6 Caractérisation des probabilités de rupture des digues

### 7.3.6.1 Calcul de sollicitations hydrauliques

L'analyse des modes de rupture des ouvrages est réalisée pour la crue de dimensionnement théorique des ouvrages à l'état projet, soit la crue de période de retour 100 ans sur le Borne, avec une crue de période de retour de 5 ans de l'Arve. Si le risque de rupture résiduel est supérieur à 5% pour la crue centennale, alors, il est cherché le niveau d'eau maximal pouvant garantir un risque de rupture inférieur à 5%.

La ligne d'eau du Borne est directement issue du modèle hydraulique réalisé par CNR et présentée dans cette étude de dangers. Les niveaux d'eau côté zone protégée ont été évalués par une modélisation des écoulements dans le corps des digues et de leur fondation dont les résultats sont décrits dans la présente étude au chapitre 5.

### 7.3.6.2 Sensibilité au séisme

Selon les recommandations du groupe de travail barrage et séismes d'octobre 2014 [31], l'étude du cas d'une rupture sous séisme est recommandée compte tenue de la classe de la digue (classe B) et de la zone de sismicité (zone 4 : sismicité modérée).

**7.5.2.3. Niveaux d'études recommandés**

Les recommandations en matière d'études graduées sont les suivantes :

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
2	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
3	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\beta$
4	$\alpha$	$\alpha$	$\beta$	$\beta$
5	$\alpha$	$\beta$	$\beta$	$\beta$

*Tableau 7-28 - Recommandations pour les études graduées - digues*

$\alpha$  : vérification de la conformité aux règles du génie civil  
 $\beta$  : vérification de la stabilité par méthode pseudo-statique

Figure 109 - vérification de la stabilité de la digue au séisme (Recommandation du MEDDE, 2014 [19])

Il est également recommandé dans ce document pour un système d'endiguement de classe dans une zone de sismicité 4 de vérifier la sécurité structurale vis-à-vis de la liquéfaction :

Zone de sismicité	Classe D	Classe C	Classe B	Classe A
1	non imposé	non imposé	non imposé	non imposé
2	non imposé	non imposé	non imposé	OUI
3	non imposé	non imposé	OUI	OUI
4	non imposé	OUI	OUI	OUI
5	OUI	OUI	OUI	OUI

*Tableau 7-27 - Exigence de vérification de l'absence de risque potentiel de liquéfaction - digues*

Figure 110 - Recommandation de vérification de la sécurité structurale de la digue à la liquéfaction (recommandation du MEDDE, 2014 [19])

A la date de publication des recommandations du MEDDE, la définition des classes de digues était différente. On retrouve dans la Figure 111 la définition des classes de digues avant et après le décret de 2015 :

	Décret 2007	Décret 2015
Notions générales	"Digues de protection contre les inondation et les submersions et digues de rivières"	Système d'endiguement, aménagements hydrauliques, zone protégé et niveau de protection
Classement des ouvrages	A P $\geq$ 50 000 habitants et H $\geq$ 1 m	> 30 000 personnes
	B P $\geq$ 1 000 habitants et H $\geq$ 1 m	> 3 000 personnes
	C P $\geq$ 10 habitants et H $\geq$ 1 m	$\geq$ 30 personnes
	D P < 10 habitants et H < 1 m	Classe supprimée
Dossier d'ouvrage	Tenir à jour (structure, environnement, études diverses, entretien/surveillance...)	Idem 2007 + <u>Registre</u>
Visite Technique Approfondie	A = 1 an B = 1 an C = 2 ans D = 5 ans Après un EISH	Entre deux rapports de surveillance - Après un EISH Plus d'obligation d'adresser le rapport au préfet
Rapport de surveillance	A = 1 an B = 5 ans C = 5 ans D = sans objet	A = 3 ans B = 5 ans C = 6 ans
Etude de Danger	Tous les 10 ans	A la demande d'autorisation du SE puis A = 10 ans B = 15 ans C = 20 ans

\*possibilité de classement même si l'ouvrage est inférieur à 1,5m, si demande du propriétaire

Figure 111 - Tableau de synthèse des évolutions entre le décret 2007 et 2015 (Source: France-Digue)

Les calculs sont menés selon les recommandations du MEDDE.  
 L'accélération de calcul est estimée à partir des facteurs suivants :

- Accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A. Cette accélération est donnée en fonction de la zone de sismicité :

Zones de sismicité	$a_{gr}$
1 (Très faible)	0,4
2 (Faible)	0,7
3 (Modérée)	1,1
4 (Moyenne)	1,6
5 (Forte)	3

Figure 112 - accélération maximale de référence au niveau du sol en fonction de la zone de sismicité (Source: Recommandation du MEDDE, 2014 [19])

- Le coefficient d'importance  $\gamma_I$ . L'accélération horizontale de calcul au niveau d'un sol de type rocheux (classe A au sens de la norme NF EN 1998-1)  $a_g$ , est égale à  $a_{gr}$  multiplié par le coefficient d'importance  $\gamma_I$  soit  $a_g = \gamma_I * a_{gr}$ . En considérant une catégorie d'importance III, on a  $\gamma_I = 1,2$  ;
- Le paramètre de sol S. La nature du sol par l'intermédiaire du paramètre de sol est prise en compte, en considérant les valeurs de S associées :

Classes de sol	S (pour les zones de sismicité 1 à 4)	S (pour la zone de sismicité 5)
A	1	1
B	1,35	1,2
C	1,5	1,15
D	1,6	1,35
E	1,8	1,4

Figure 113 - paramètre de sol en fonction de la classe de sol (Source: Recommandation du MEDDE, 2014 [19])

Le sol étant de classe C, on prendra  $S = 1,5$  ;

- Le coefficient r fonction de la capacité de l'ouvrage à accepter des déplacements irréversibles post-séismes. Une valeur usuelle prise en compte pour ce paramètre pour une digue en remblai est de 2.

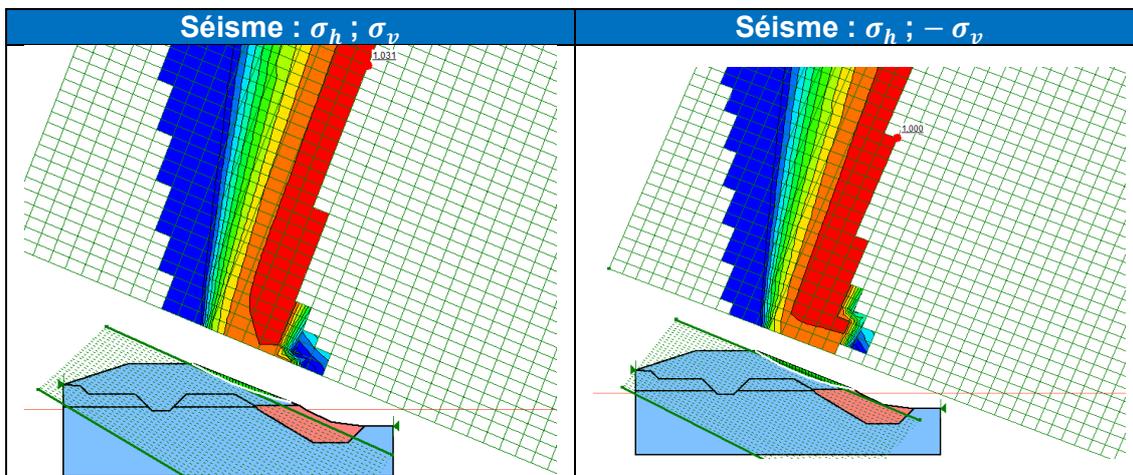
La vérification de la stabilité au glissement est effectuée selon la méthode pseudo-statique en tenant compte des coefficients d'accélération horizontale et verticale estimés selon les formules suivantes :

- $\sigma_h = \frac{1}{r} * \gamma_I * \frac{a_{gr}}{g} * S = 0,5 * 1,2 * \frac{1,6}{9,81} * 1,5 = 0,147$
- $\sigma_v = \pm 0,5 * \sigma_h = \pm 0,073$

Afin de vérifier la stabilité au séisme, ces coefficients sont appliqués dans le modèle de stabilité de la digue.

On obtient ainsi les résultats de stabilité au séisme de dimensionnement que l'on retrouve dans le :

Tableau 47 - analyse de sensibilité de la digue au séisme



On retrouve donc un coefficient de sécurité du modèle au séisme au moins égal 1. On considère donc que le séisme n'entraîne pas de sur risque dans l'analyse des autres modes de rupture.

### 7.3.6.3 Modes de rupture considérés

Le schéma ci-dessous synthétise tous les modes de rupture considérés dans notre étude :

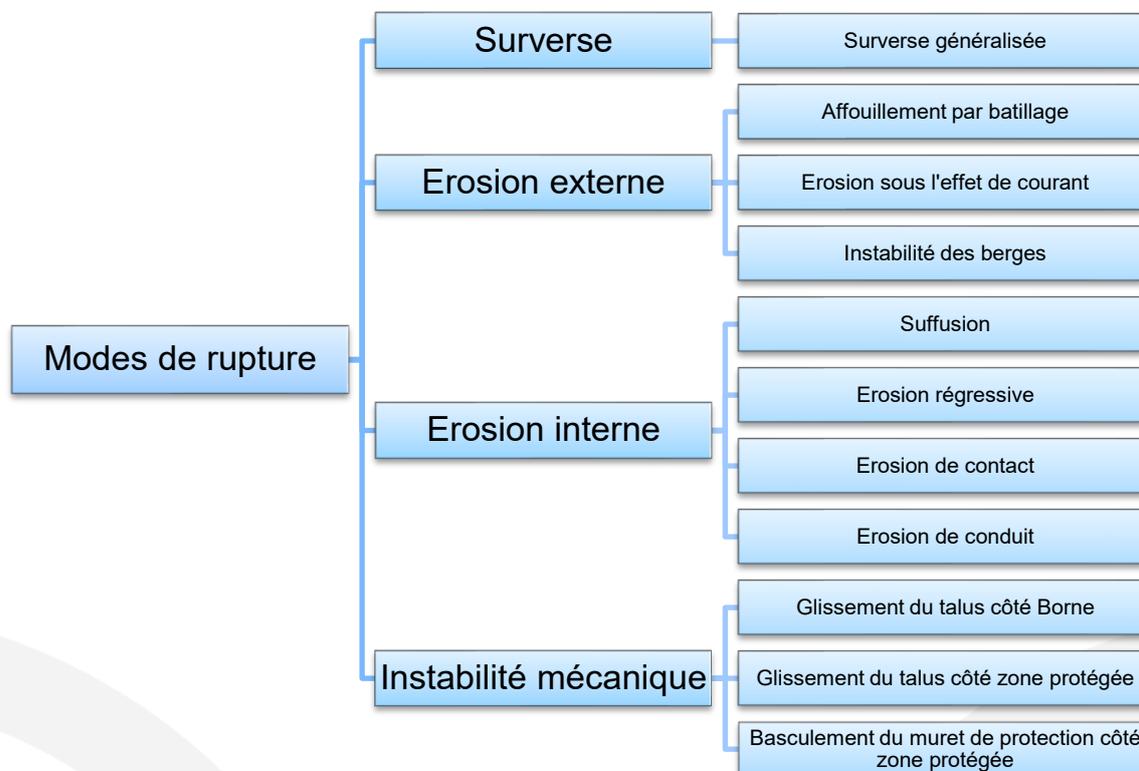


Figure 114 - Modes de rupture considérés

### 7.3.6.4 Rupture par surverse

#### 7.3.6.4.1 Qualification des sollicitations

La rupture par déversement sur la crête de la digue constitue un des mécanismes les plus fréquents de ruine des digues.

Cette rupture se produit si la sollicitation (lame de surverse, durée de surverse et hauteur de chute) est suffisante.

La mise en vitesse de l'écoulement sur le parement aval dépend de la hauteur du parement aval, de sa pente et de son revêtement (rugosité).

La résistance à l'érosion de la digue en pied de parement aval dépend du revêtement du parement et de la nature du revêtement (cohésion, compacité).

Les conditions d'écoulement de surverse pouvant induire une érosion importante en fonction du type de remblai sont cependant mal connues d'un point de vue quantitatif et les références dans la littérature sont peu nombreuses.

On retiendra qu'en règles générales, l'érosion démarre dès le début de la surverse avec de faibles lames d'eau (inférieures à 10 cm) pour les ouvrages dont le pied aval est en remblai dont la qualité de mise en place a été médiocre. En revanche, un ouvrage protégé (présence d'enrobé ou de béton côté zone protégée) peut supporter des lames d'eau plus importantes (typiquement 10 à 30 cm) pendant quelques heures.

On estime que le risque de surverse devient nul dès lors que la revanche est supérieure à 50 cm.

En se basant sur les descriptions des ouvrages et de leur état, on peut par ailleurs analyser les critères suivants de résistance à la rupture :

- Nature du terrain côté zone protégée,
- Géométrie (largeur de la digue, pente des talus, hauteur du muret),

Dans le cas d'un mur de protection, la rupture par surverse est un mécanisme en deux étapes : d'abord l'érosion du pied aval par la surverse puis le basculement du mur de protection. D'autres critères sont donc à prendre en compte comme l'ancrage du mur et son profil.

La situation considérée étant une situation de projet, la cote de crête projetée de la digue correspond à la cote prévue dans l'AVP de la digue de  $Z_{Q100}+1$  m.

#### 7.3.6.4.2 Arbre de défaillance

L'arbre de défaillance suivant est proposé pour la surverse.

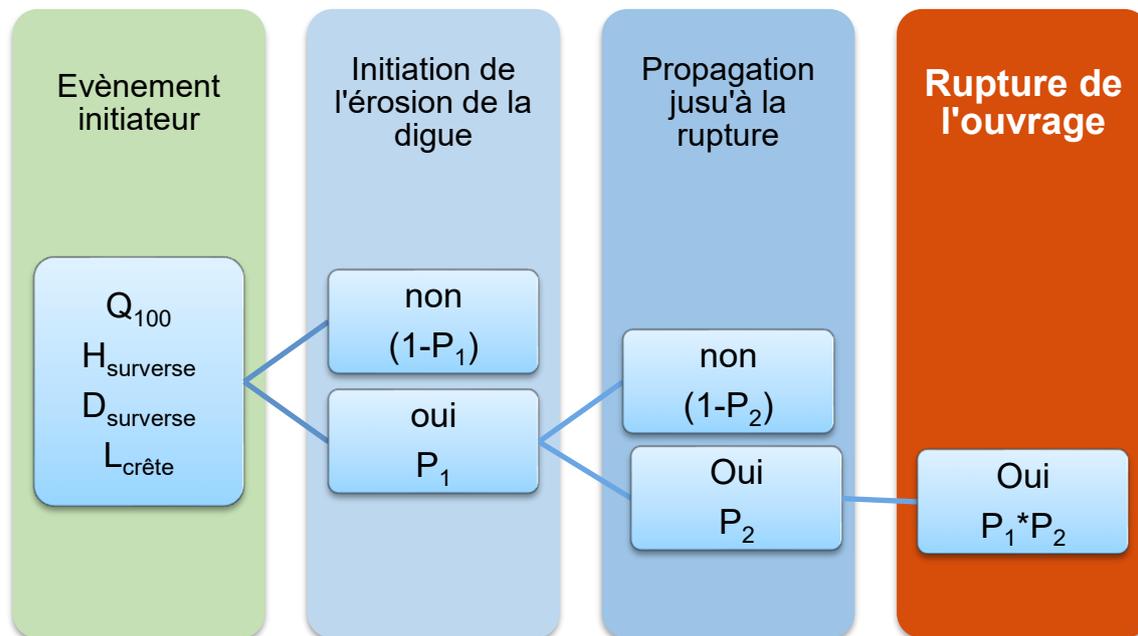


Figure 115 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par surverse

### 7.3.6.4.3 Evaluation des probabilités conditionnelles

#### Initiation de l'érosion de la digue : $P_1$

L'initiation dépend de la sollicitation (vitesse de l'écoulement sur le talus) et de la résistance du talus dicté par son revêtement et par la nature des matériaux.

Il est ici proposé d'appliquer la méthode CIRIA [32] :

- Appréciation du débit spécifique,
- Appréciation de la vitesse d'écoulement selon les recommandations du CIRIA en considérant la pente et la hauteur des talus ; cette vitesse va dépendre du débit spécifique et des caractéristiques du couvert herbacée (le coefficient de rugosité varie selon l'intensité du débit) ;
- Appréciation de l'initiation avec les abaques du CIRIA en considérant la vitesse et la durée des écoulements.

#### Calcul de la sollicitation :

Le débit de surverse est calculé à partir d'une loi hauteur-débit en assimilant la digue à un déversoir. La hauteur de surverse est calculée à partir de la ligne d'eau majorée (cf. §7.3.6.4.1).

L'équation générale est de la forme :

$$q = \mu * \sqrt{2 * g * H_{surverse}^3}$$

Avec :

q le débit d'écoulement par unité de longueur ( $m^2/s$ )

$\mu$  coefficient de débit

$H_{surverse}$  : charge sur la crête (m)

D'après nos connaissances pour ce type de situation et d'après la littérature, la valeur de  $\mu$  pour un déversoir latéral est généralement compris entre 0,15 et 0,30 (valeur à ne pas dépasser pour des digues : seuil épais et parallèle à l'écoulement). On retiendra ici la valeur conservatrice de 0,25.

La vitesse d'écoulement sur le talus aval est ensuite calculée d'après les recommandations du Guide Internationale sur les digues du Cerema [33], ces dernières sont rappelées ci-dessous :

#### Potentiel d'érosion du talus aval/côté terre de la digue

Le pied du talus de digue côté terre est le point de départ le plus fréquent d'une érosion. L'écoulement s'accélère pour atteindre un écoulement torrentiel et continue jusqu'au pied du talus de digue où un ressaut hydraulique se produit. Une érosion se développe à cause des fortes vitesses et de la turbulence au sein du ressaut. L'érosion se propage en amont jusqu'à atteindre la crête de la digue.

Dans des conditions d'écoulement typiques de déversement, le débit devient constant quand un équilibre s'établit entre la quantité de mouvement et les forces de frottement le long du talus. L'équation de Manning de la vitesse  $v_b$  en régime uniforme est définie comme suit :

$$v_b = \left( \frac{\sqrt{\sin \beta}}{n} \right)^{0.6} q_s^{0.4} \quad (8.34)$$

où :

$\beta$  = l'angle de la pente côté terre

$q_s$  = le débit critique en situation permanente ( $m^3/s/m$ )

$n$  = le coefficient de Manning (-)

Hewlett *et al.* (1987) recommandent  $n = 0,03$  pour les pentes de 1:10, diminuant linéairement jusqu'à  $n = 0.02$  pour les pentes de 1:3 ou plus raides. Comme l'équation de Manning a été dérivée pour les pentes douces, cette équation n'est pas strictement valide pour les pentes raides où l'entraînement d'air devient significatif.

**Figure 116 - Vitesse d'écoulement sur le talus d'une digue en surverse - Cerema [21]**

La valeur retenue pour le coefficient de Manning est de 0,02.

#### Définition de la résistance :

La résistance d'un talus à la surverse se caractérise principalement par la nature du revêtement. Les tronçons étudiés ont tous des talus enherbés cependant le revêtement de la crête peut différer (herbe ou chemin stabilisé). Pour la description précise de chaque tronçon, se référer au §5.2.

#### Relation résistance/sollicitation :

Les vitesses limites de dimensionnement de protection anti-érosion en fonction du revêtement du talus et de la durée de surverse sont données ci-dessous. Les digues de Blagnac présentent une couverture herbeuse que l'on pourrait juger « moyenne », cf. courbe en pointillé jaune sur le graphique ci-dessous :

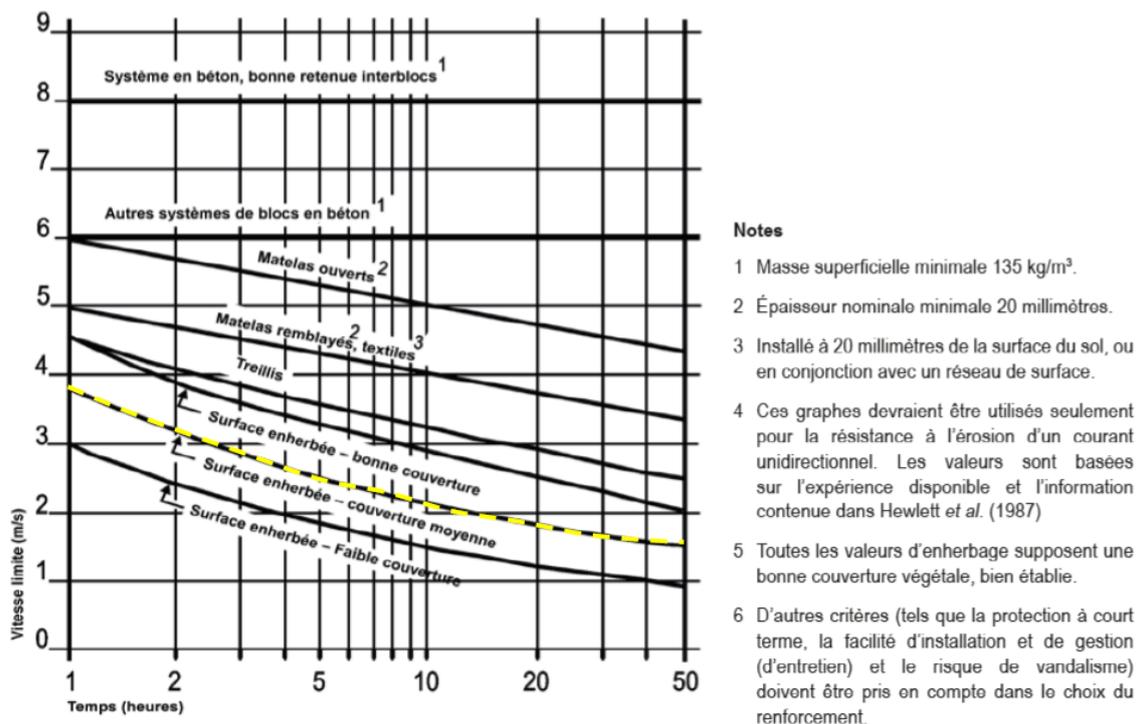


Figure 117 - valeurs limites de dimensionnement de la résistance à l'érosion pour des mesures anti-érosions sélectionnées (source: Hewlett *et al.* – 1987 [22])

Au vu de ces résultats, il est proposé de retenir la grille de probabilité suivante :

Comparaison sollicitation/résistance	Qualification verbale	Probabilité suggérée Vick (2002)
Point situé en dessous de la courbe « faible couverture »	Initiation de l'érosion du talus très improbable	0,01
Point situé entre les courbes « faible couverture » et « couverture moyenne »	Initiation de l'érosion du talus improbable	0,1
Point situé sur la courbe « couverture moyenne »	Initiation de l'érosion du talus incertaine	0,5
Point situé entre les courbes « couverture moyenne » et « bonne couverture »	Initiation de l'érosion du talus probable	0,9
Point situé au-dessus de la courbe « bonne couverture »	Initiation de l'érosion du talus très probable	0,99

#### Progression jusqu'à la rupture : P<sub>2</sub>

L'analyse de la littérature indique deux mécanismes de formation de brèche par surverse :

- Remblai constitué de sols fin cohésifs ; le mécanisme est celui de « Head-Cut », ou formation progressive à partir du pied aval de marches avec alternance d'érosion par jet impactant et détachement de matériau par blocs ;
- Remblai constitué de sols granulaire à granulométrie fine (sableux) ; érosion répartie sur l'ensemble de l'ouvrage (crête et talus aval).

Pour les digues du Borne, le mécanisme principal concerné est donc le mécanisme 1 présenté ci-dessous.

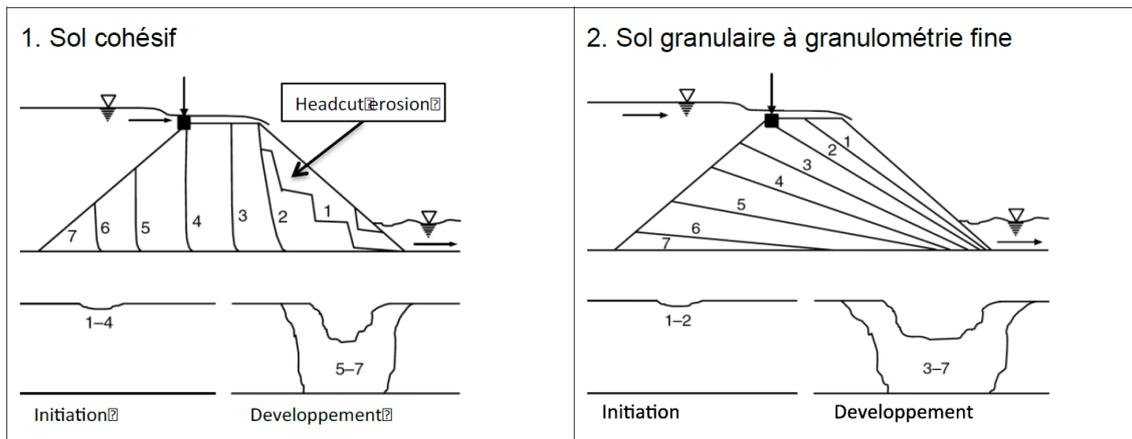


Figure 118 - mécanisme d'érosion par surverse en fonction des matériaux de la digue

Outre la nature des matériaux, la progression de l'érosion par surverse dépend de nombreux paramètres : géométrie de la digue, revêtement de la crête et du talus amont.

Il est ici proposé d'adopter une grille de probabilité simplifiée suivante, indépendante de la hauteur de l'ouvrage mais fonction exclusivement de la largeur en crête de la digue.

Largeur en crête	Qualification verbale	Probabilité associée
20	Propagation jusqu'à la rupture très improbable	0,01
10	Probabilité jusqu'à la rupture improbable	0,1
5	Propagation jusqu'à la rupture incertaine (neutre)	0,5
2	Propagation jusqu'à la rupture probable	0,9
1	Propagation jusqu'à la rupture très probable	0,99

Tableau 48 - grille de probabilités conditionnelles pour la progression de l'érosion par surverse jusqu'à la rupture

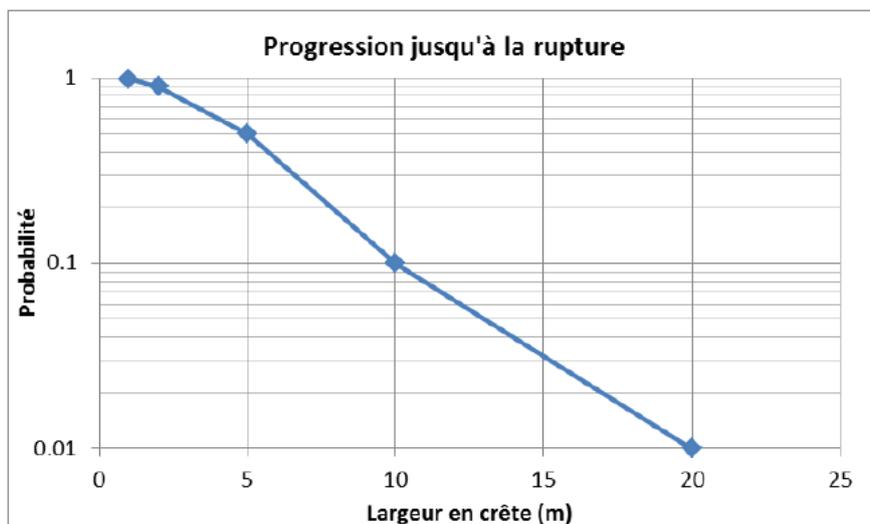


Figure 119 - Largeur en crête et probabilité conditionnelle associée

#### 7.3.6.4.4 Analyse par tronçon

##### Ligne d'eau

La cote de submersion projetée, défini lors de l'AVP, correspond à la cote de  $Z_{Q100}+1$  m. Pour une crue de projet Q100 il apparaît ainsi qu'aucune zone de submersion n'est présente sur le linéaire en rive droite du Borne.

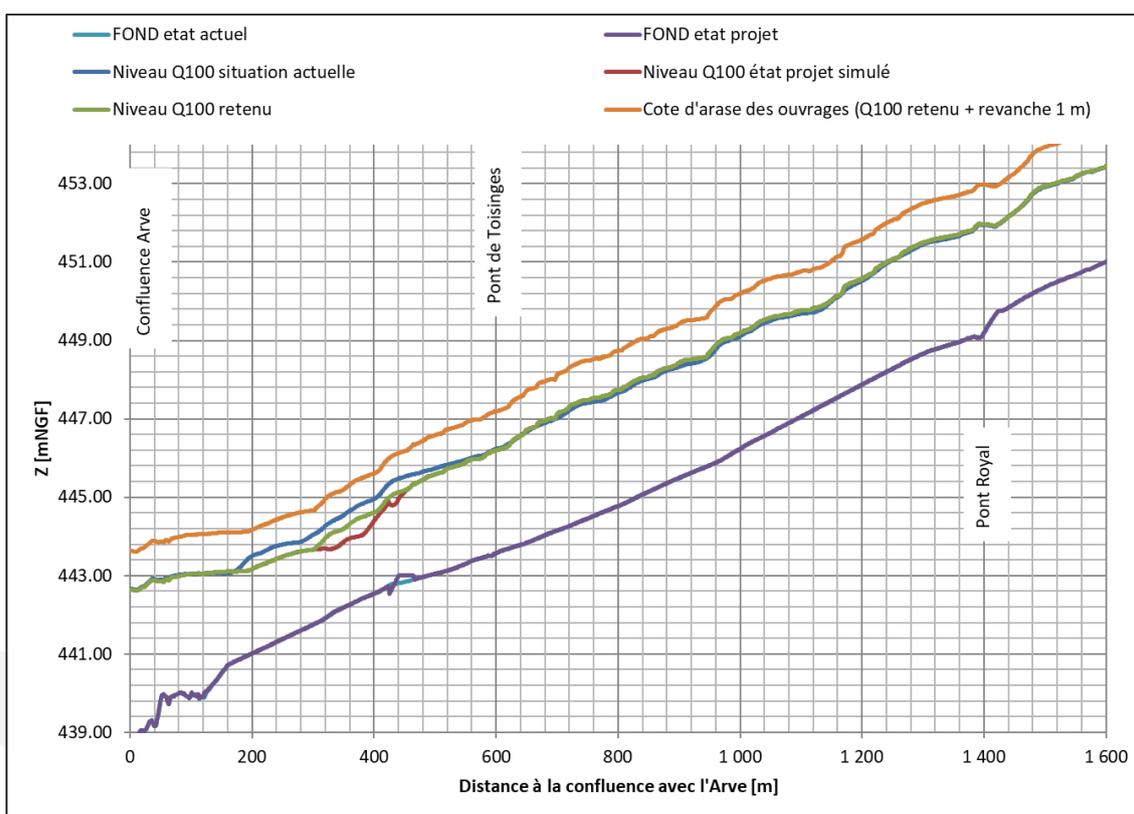


Figure 120 - Profil en long de la digue en RD du Borne à l'état projet et ligne d'eau associée

#### **Tronçon RD Borne - T1**

Sur le tronçon T1, la revanche de la crête de la digue projetée par rapport à la ligne d'eau de la crue centennale est de 1m. Le risque de rupture par surverse sur ce tronçon est donc considéré comme nul (P=0)

#### **Tronçon RD Borne – T2**

Sur le tronçon T2, la revanche de la crête de la digue projetée par rapport à la ligne d'eau de la crue centennale est de 1m. Le risque de rupture par surverse sur ce tronçon est donc considéré comme nul (P=0)

#### **Tronçon RD Borne – T3**

Sur le tronçon T3, la revanche de la crête de la digue projetée par rapport à la ligne d'eau de la crue centennale est de 1m. Le risque de rupture par surverse sur ce tronçon est donc considéré comme nul (P=0)

#### **Tronçon RD Borne – T4**

Sur le tronçon T4, la revanche de la crête de la digue projetée par rapport à la ligne d'eau de la crue centennale est de 1m. Le risque de rupture par surverse sur ce tronçon est donc considéré comme nul (P=0)

#### **Tronçon RD Borne – T5**

Sur le tronçon T5, la revanche de la crête de la digue projetée par rapport à la ligne d'eau de la crue centennale est de 1m. Le risque de rupture par surverse sur ce tronçon est donc considéré comme nul (P=0)

#### **Tronçon RD Borne – T6**

Sur le tronçon T6, la revanche de la crête de la digue projetée par rapport à la ligne d'eau de la crue centennale est de 1m. Le risque de rupture par surverse sur ce tronçon est donc considéré comme nul (P=0)

#### **Tronçon RD Borne – T7**

Sur le tronçon T7, la revanche de la crête de la digue projetée par rapport à la ligne d'eau de la crue centennale est de 1m. Le risque de rupture par surverse sur ce tronçon est donc considéré comme nul (P=0)

**Au regard du risque de surverse, le niveau de protection apparent des digues du Borne considéré est défini par l'AVP de création de la digue, et est pris comme  $Z_{Q100}+1$  m.**

### **7.3.6.5 Rupture par instabilité du talus**

#### **7.3.6.5.1 Arbre de défaillance pour l'instabilité au glissement**

L'arbre de défaillance suivant est proposé pour l'instabilité au glissement d'une digue en remblai. Il s'agit ici d'évaluer si une instabilité au glissement du talus côté zone protégée peut conduire à une ruine complète de la digue.

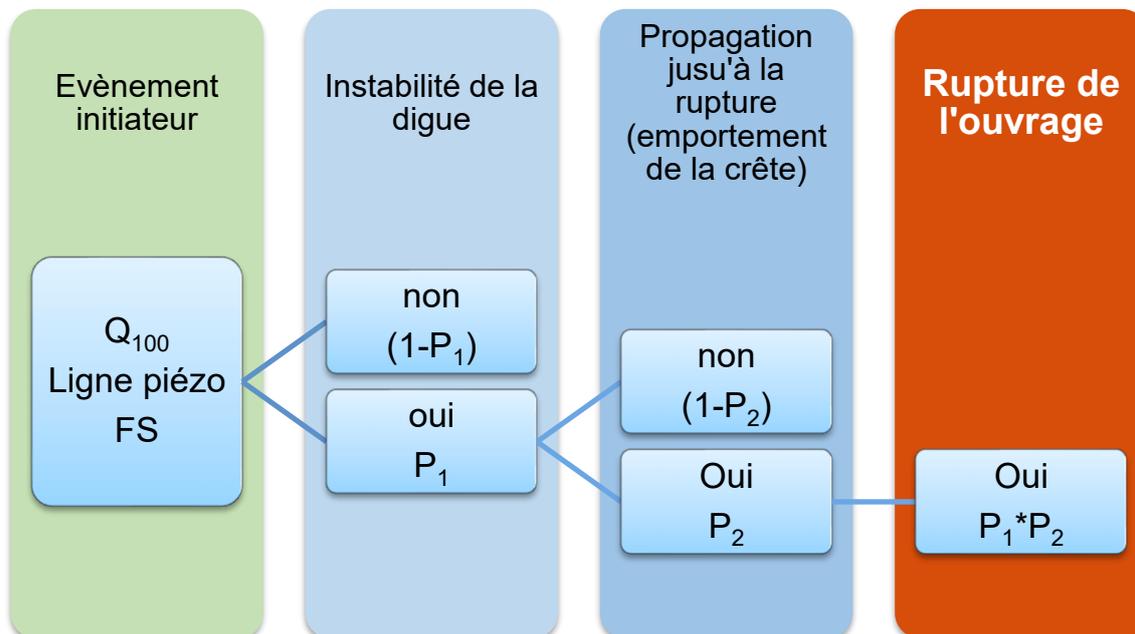


Figure 121 - Arbre de défaillance associé à la rupture par glissement de talus (digue en remblai)

L'arbre de défaillance suivant est proposé pour l'instabilité au glissement d'une digue en remblai disposant d'un muret en pied de digue (Tronçon T1). Il s'agit ici de voir si le glissement du talus peut entraîner la rupture du mur en pied de digue et conduire ainsi à la ruine complète de l'ouvrage. La stabilité de ces éléments est étudiée dans le rapport de G2-PRO en annexe.

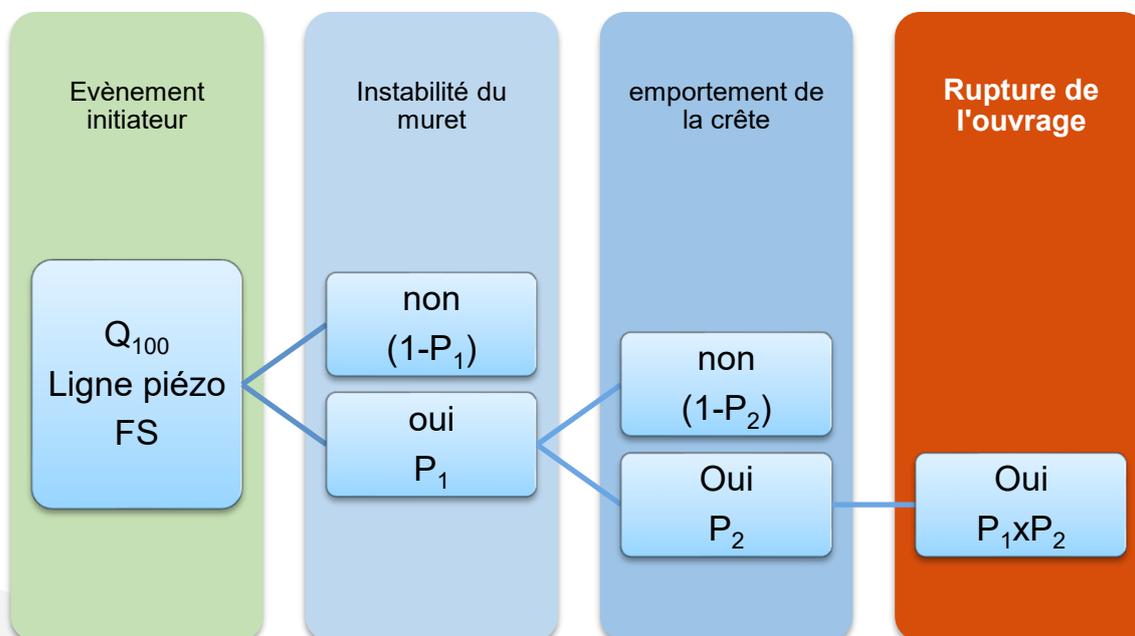


Figure 122 - Arbre de défaillance associé à la rupture par glissement de talus (digue en remblai)

### 7.3.6.5.2 Evaluation des probabilités conditionnelles

#### Talus à considérer

Les instabilités à considérer sur les talus sont :

- Glissement du talus côté zone protégée : le cas le plus critique est atteint lorsque la ligne piézométrique est la plus haute, au voisinage du pic de la crue,
- Glissement du talus côté fleuve : le cas le plus critique est à la décrue lorsque la ligne piézométrique dans le corps de l'ouvrage est la plus haute et alors que :
  - le niveau d'eau amont n'exerce plus une poussée stabilisante,
  - la cohésion des matériaux est réduite par la saturation,
  - le poids des terres est augmenté par la saturation,
  - de l'eau est éventuellement piégée coté zone protégée suite à une surverse en une défaillance des dispositifs de ressuyage.

Le premier type de glissement est celui qui est potentiellement plus grave en cas de formation de brèche, le niveau d'eau côté fleuve étant plus haut. C'est donc celui qu'on considèrera principalement ici. Nous ne considèrerons pas la stabilité du talus côté Borne à la décrue puisque ce scénario ne peut conduire à des venues d'eau dangereuses en zone protégée.

#### Caractéristiques mécaniques des matériaux et modélisation géotechnique

La stabilité est fonction de la géométrie du talus, de la largeur de franc-bord, de la géométrie de la berge, des caractéristiques géotechniques des matériaux de la digue et de la fondation, ainsi que des sollicitations hydrauliques.

L'analyse géotechnique est donnée dans le rapport de G2-AVP qui est fourni en annexe 4 de la présente étude de dangers. Les calculs de stabilités ont été réalisés à l'aide du logiciel Talren, un logiciel de calcul de stabilité des ouvrages géotechniques.

#### Probabilité de glissement : $P_1$

La détermination de la probabilité de glissement consiste à la relier à un facteur de sécurité de stabilité.

Situations	Coefficient partiel $\gamma_m$ sur $c'$ et $\tan \phi'$	Coefficient partiel $\gamma_m$ sur le poids volumique	Coefficient de modèle $\gamma_d$
normale d'exploitation	1,25	1	1,2
rare de crue	1,2	1	1,2
transitoire ou rare	1,1	1	1,2
exceptionnelle de crue (PHE)	1,1	1	1,2
extrêmes de crue, sismique ou autres	1	1	1,1

Figure 123 - Coefficients partiels et de modèle pour le glissement (Source: CFBR, 2015 [23])

Les facteurs de sécurité obtenus par l'analyse sans coefficients partiels peuvent être comparés aux facteurs de sécurité ci-dessous, obtenus par multiplication des coefficients partiels et de modèle préconisé par le CFBR. Une probabilité conditionnelle est ensuite affectée à chaque facteur de sécurité afin d'obtenir une probabilité totale de  $10^{-4}$  pour chaque situation.

Situation	Facteur de sécurité	Probabilité de la situation	Probabilité associée au facteur de sécurité
Normale	$F_s=1,50$ (1,25x1,20)	1	$10^{-4}$
Rare de crue	$F_s=1,44$ (1,20x1,20)	$10^{-1}$	$10^{-3}$
Exceptionnelle de crue	$F_s=1,32$ (1,2x1,10)	$10^{-2}$	$10^{-2}$
Extrême de crue	$F_s=1,10$ (1,1x1,00)	$10^{-3}$	$10^{-1}$

Tableau 49 : Probabilités conditionnelles d'instabilité des talus au glissement d'après le CFBR (pour  $F_s > 1,10$ )

Pour les facteurs de sécurité inférieurs, ces probabilités conditionnelles peuvent être étendues par la grille de Vick :

Bilan de l'analyse du phénomène	Facteur de sécurité	Probabilité suggérée	Probabilité associée au facteur de sécurité
Aucune raison de croire qu'un résultat est plus probable qu'un autre	$F_s=1$	0,50	Neutre
Une certaine confiance dans la probabilité d'occurrence mais la probabilité inverse ne peut être écartée	$F_s=0,9$	0,90	Probable
Les conditions physiques connues et/ou les procédés peuvent être décrits et peuvent qualifier l'occurrence avec une entière confiance	$F_s=0,8$	0,99	Très probable

Tableau 50 : Probabilités conditionnelles d'instabilité des talus au glissement d'après Vicks (Pour  $F_s < 1,10$ )

Vis-à-vis du risque d'instabilité au glissement, il est proposé de retenir la grille de probabilité suivante : en fonction du coefficient de sécurité au glissement calculé :

Facteur de sécurité au glissement	Probabilité de glissement
$F_s=1,5$	$10^{-4}$
$F_s=1,44$	$10^{-3}$
$F_s=1,32$	$10^{-2}$
$F_s=1,1$	$10^{-1}$
$F_s=1$	0,5
$F_s=0,9$	0,9
$F_s<0,9$	0,99

Tableau 51 - probabilités conditionnelles pour l'instabilité des talus au glissement

### Du glissement à la rupture (P2)

Le glissement de talus affecte un volume limité de remblais. La poursuite du phénomène dépend de la largeur  $L_e$  de digue emportée par le glissement par rapport à la largeur totale  $L$  de la crête. Pour conduire à la rupture, l'entaille dans le talus doit être suffisante pour :

- Soit induire immédiatement la ruine de l'ouvrage en englobant une largeur « suffisante » de crête ;
- Soit réduire significativement sa largeur pour accélérer d'autres mécanismes (notamment par augmentation des gradients hydrauliques).

Le guide international sur les digues de 2019 indique qu'en cas de glissement rotationnel profond, à savoir un glissement depuis la crête jusqu'au pied, une brèche peut survenir très rapidement à défaut de réparation.<sup>1</sup>

Il y est également indiqué que « Quand plus de la moitié de la largeur utile en crête de digue est affectée, le problème doit être traité comme une urgence absolue ».<sup>2</sup>

à partir de ces éléments, Il est estimé à dire d'expert de manière sécuritaire qu'au-delà d'un tiers de largeur  $L$  de crête emportée par glissement, la rupture est très probable ( $P=0,99$ ). En effet ce glissement d'une partie majeure de la digue a une plus forte probabilité d'entraîner la rupture du reste de l'ouvrage, soit par glissement, soit par érosion interne. Pour des cercles moins impactant, un nouvel état d'équilibre est atteint et peut perdurer sans rupture.

La grille suivante est proposée.

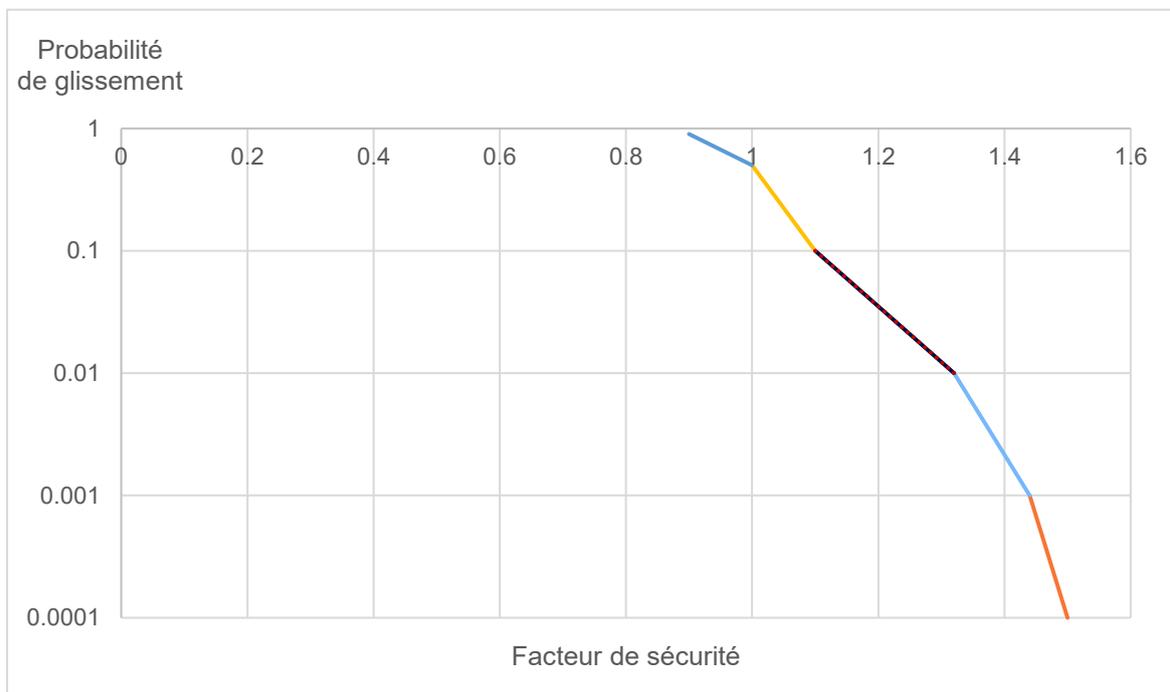
Longueur de crête emportée $L_e$	Probabilité de rupture
$L_e \leq 0,05*L$	$10^{-2}$
$0,05*L < L_e \leq 0,10*L$	$10^{-1}$
$0,10*L < L_e \leq 0,20*L$	0,5
$0,20*L < L_e \leq 0,30*L$	0,9
$L_e > 0,30*L$	0,99

Tableau 52 - Probabilités conditionnelles pour la propagation du glissement jusqu'à la rupture

<sup>1</sup> Page 191 du guide international sur les digues – ILH, 2019

<sup>2</sup> Page 267 du Guide international sur les digues – ILH 2019

Afin de représenter les valeurs de facteurs de sécurité intermédiaire, il est proposé d'effectuer une interpolation linéaire entre ces valeurs. Cela nous donne ainsi les valeurs ci-dessous :



### 7.3.6.5.3 Analyse par tronçon

Les modèles de stabilité réalisés sur le logiciel Talren dans le cadre de la G2-AVP donnent les facteurs de sécurité suivants :

Tronçon	Etiage		Crue de projet		Crue extrême	
	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont
<b>T1</b>						
<b>T2</b>						
<b>T3</b>	0,98 <sup>1</sup> /1,08 <sup>2</sup>	1,0638	1,0993 <sup>1</sup>	1,2081	1,274 <sup>1</sup>	1,0996
<b>T4</b>	0,98 <sup>1</sup> /1,08 <sup>2</sup>	1,0638	1,0993	1,2081	1,274	1,0996
<b>T5</b>	1,0362	1,0112	1,2285	1,1464	1,2933	0,9865
<b>T6</b>	0,99	1,16	1,18	1,12	1,41	0,98
<b>T7</b>						

Figure 124 - Facteurs de sécurité de stabilité pour les différents tronçons

<sup>1</sup>: Talus aval rectifié – pente 2,2H/1V

<sup>2</sup>: Talus aval Rectifié – Pente 2,5H/1V

Afin d'avoir un coefficient de stabilité supérieur à 1, il a été considéré pour les tronçons 3 et 4 une pente aval de 2,5H/1V. Les valeurs des coefficients pour la crue de projet et la crue extrême sont donc sécuritaires.

Le tronçon T7 étant une berge sous le TN, il n'est pas concerné par l'analyse de stabilité au glissement.

Dans le cadre des tronçons 1 et 2, on évalue le basculement potentiel du mur de protection côté aval qui survient lorsque le niveau d'eau coté fleuve est à la cote de  $Z_{Q100}+1m$ . on considère que l'instabilité du mur entraîne un emportement important de la crête, et donc une rupture de l'ouvrage certaine. On considère donc que la probabilité  $P_2$  est égale à 1.

On évalue donc la stabilité au glissement du tronçon 1 et 2 comme la stabilité au glissement du mur.

Pour les tronçons 3 et 4, la pente de talus aval de 2,2H/1V nous donne un coefficient de stabilité inférieur à 1 à l'étiage. On retiendra donc la pente de 2,5H/1V.

La stabilité du mur est principalement fonction de sa géométrie, ainsi que des caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue et des sollicitations hydrauliques. Celles-ci ont été évaluées conformément aux normes d'application nationales de l'eurocode 7 : NF P 94-281 – Murs de soutènement, et NF P 94-261 – Fondations superficielles. Les résultats sont décrits dans le rapport de G2-PRO en annexe de ce document.

### Tronçon T1

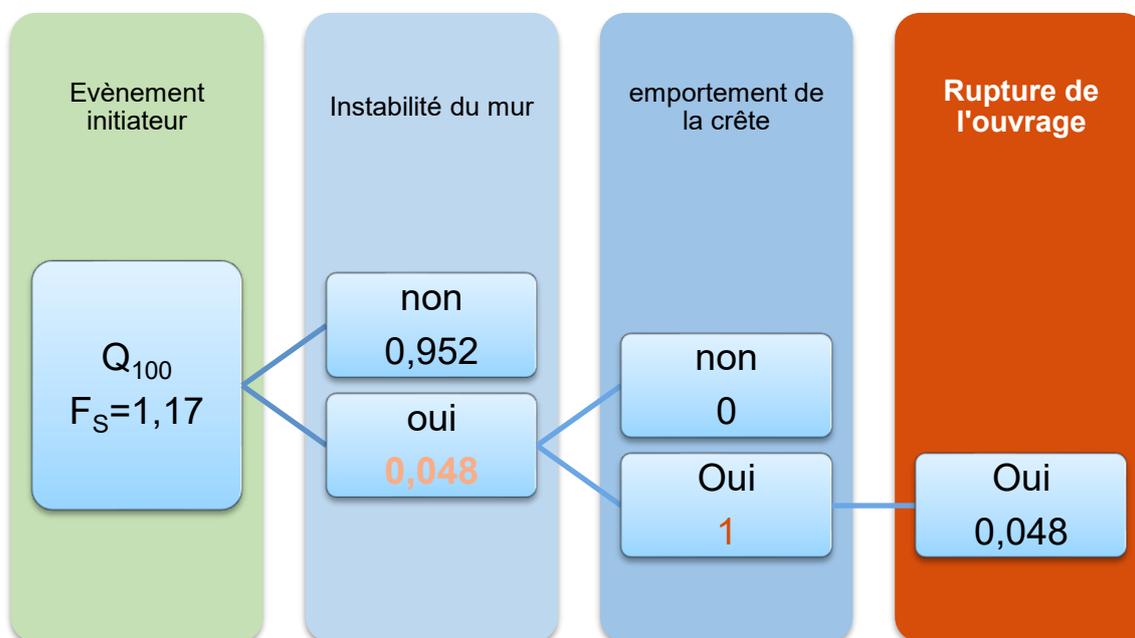


Figure 125 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T1

**Tronçon T2**

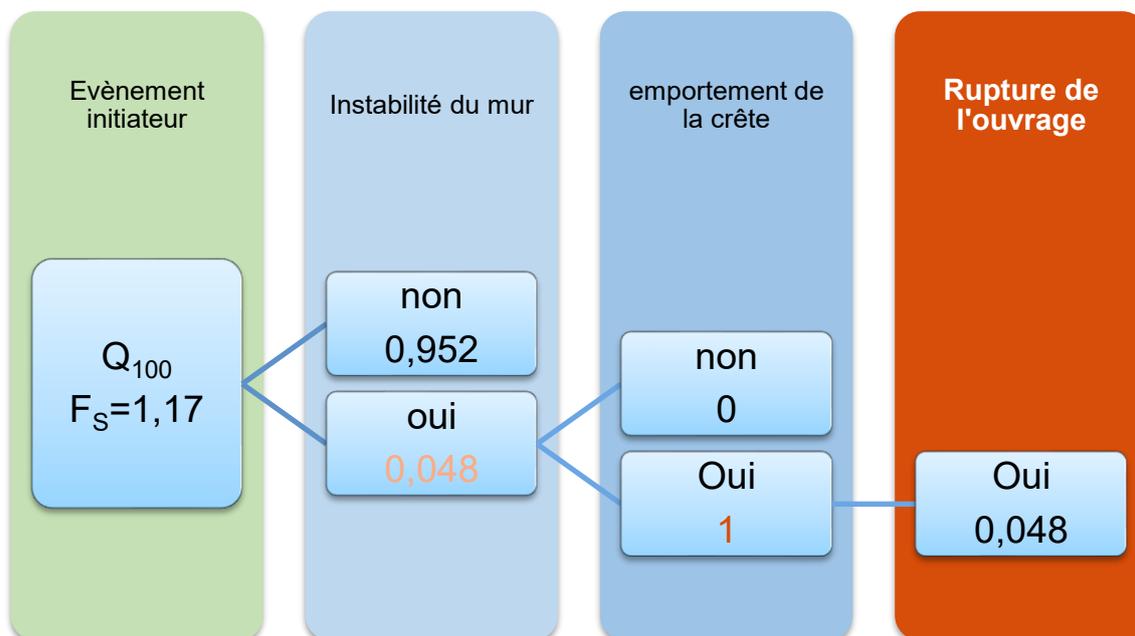


Figure 126 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T2

**Tronçon T3**

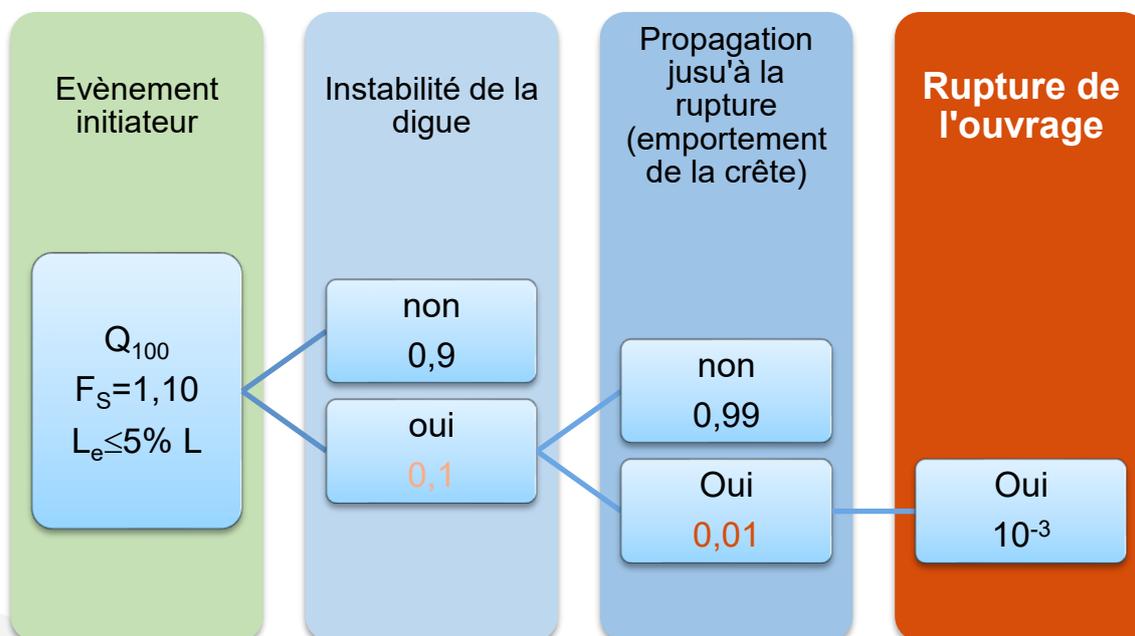


Figure 127 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T3

### Tronçon T4

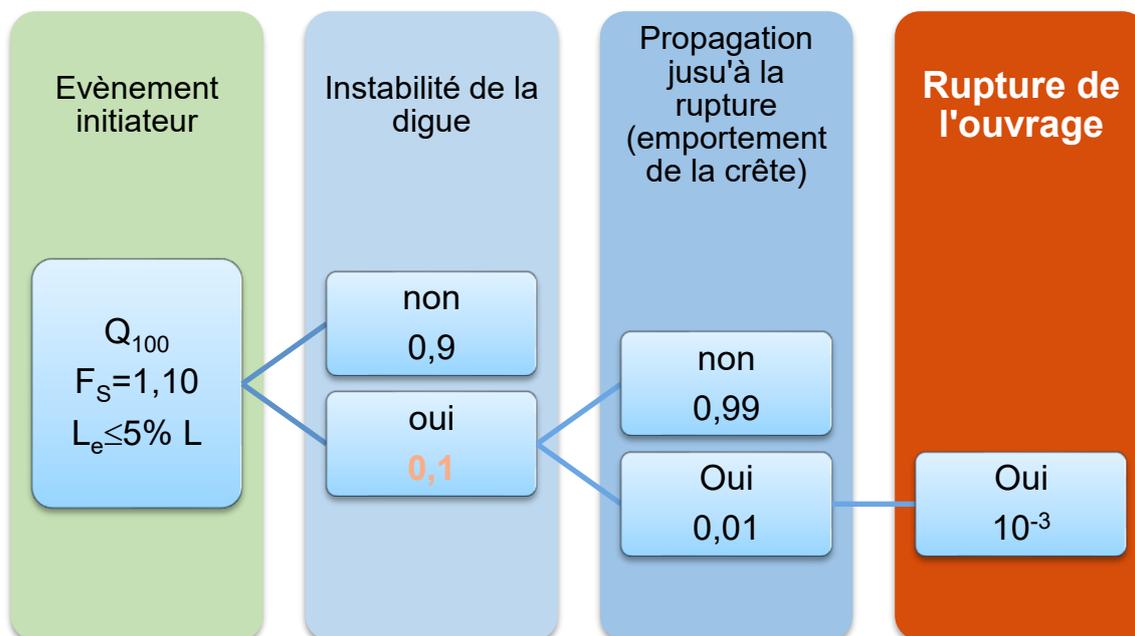


Figure 128 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T4

### Tronçon T5

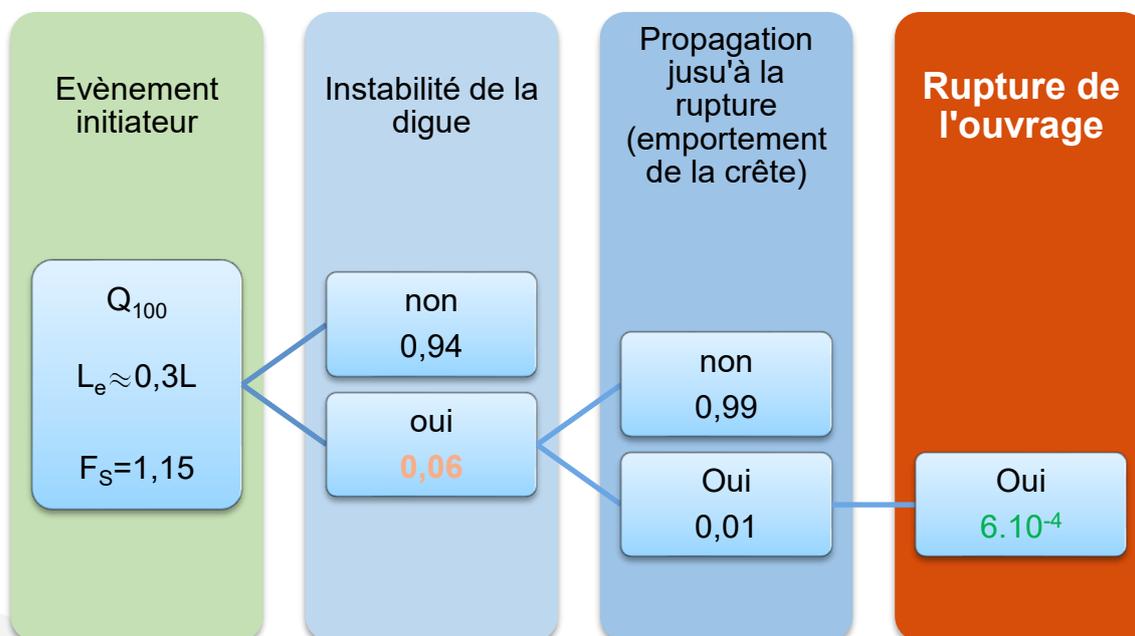


Figure 129 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T5

Le niveau d'eau au droit du tronçon T5 pour la crue de projet  $Q_{100}$  étant sous le TN aval, la probabilité de rupture par glissement déterminée ci-dessus n'entraîne pas une rupture de l'ouvrage dans son ensemble.

Compte tenu des incertitudes de glissement de la digue, on considérera que la digue présente une probabilité de 50% de rupture dès que le niveau d'eau dépasse le niveau du TN aval ( $Z_{Q_{100}}+50\text{cm}$ ).

**Tronçon T6**

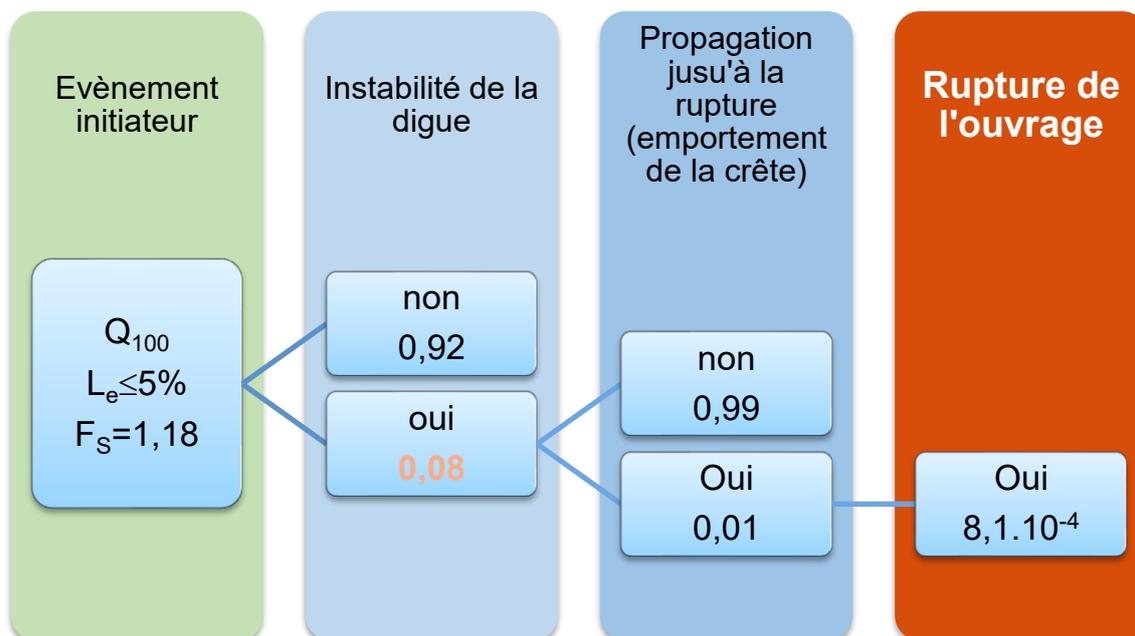


Figure 130 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T6

**Tronçon T7**

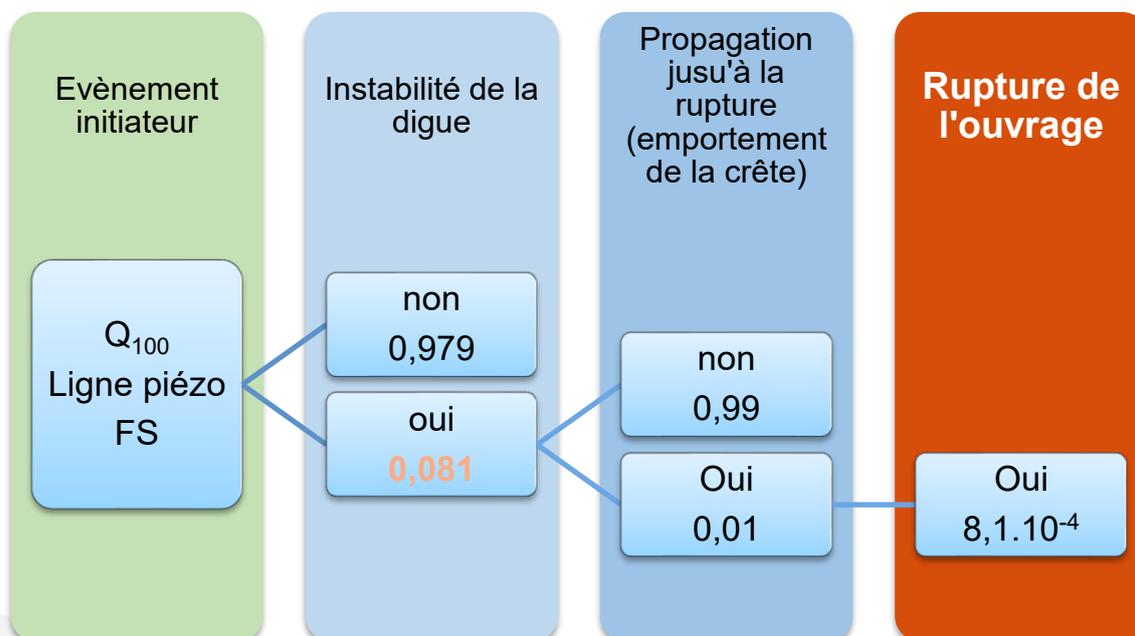


Figure 131 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par glissement du tronçon T7

## Synthèse

Sur la base de l'ensemble de ces critères le tableau ci-après détaille la valeur des probabilités de rupture par instabilité des rehausses (mur en pied aval) pour la crue centennale Q100.

Tronçon	Probabilité (%)
T1	4,7
T2	4,7
T3	0,1
T4	0,1
T5	5,4
T6	0,081
T7	0,081

Le tronçon critique est le tronçon T5 pour lequel la propagation jusqu'à la rupture est probable (90%) à la crue centennale, notamment dû à des critères sécuritaires dans le matériau considéré pour la surélévation de la digue. Cependant la probabilité importante de propagation jusqu'à la rupture n'entraîne pas une valeur de probabilité d'instabilité au glissement nettement supérieure à 5%. De plus il est à noter qu'au droit du tronçon T5 Le niveau d'eau pour la crue de projet Q100 est sous le TN aval, ainsi la probabilité de rupture par glissement déterminée ci-dessus n'entraîne pas une rupture de l'ouvrage dans son ensemble.

### 7.3.6.6 Rupture par érosion interne

L'érosion interne est un ensemble de phénomènes complexes ayant comme dénominateur commun le départ de particules entraînées par l'eau circulant dans le milieu. Elle se décompose en une succession de différentes phases pouvant s'interrompre à n'importe quel moment, ce qui aura pour effet de stopper le processus d'érosion. On distingue :

- L'initiation du mécanisme,
- Sa continuation, s'il existe un exutoire non filtré,
- Sa progression lorsque le phénomène s'auto-entretient ou s'auto-accélère sans trouver de configuration stabilisée,
- La rupture de l'ouvrage par développement d'une brèche.

L'érosion interne est souvent caractérisée par le phénomène se trouvant à l'origine de l'initiation. Il en existe quatre :

- L'écoulement concentré, au niveau d'une fissure ou d'une couche de matériaux plus perméables,
- L'érosion régressive : départ de particules au niveau de l'exutoire d'écoulements et en l'absence de filtres,
- La suffusion : le matériau est mal calibré et les particules fines migrent à travers le squelette formé des particules grossières,
- L'érosion de contact : il s'agit d'un problème aux interfaces où les matériaux fins composant une couche sont entraînés au travers de la couche plus grossière. Elle se développe également en présence d'ouvrages traversants

### 7.3.6.6.1 Suffusion

La suffusion est une instabilité interne d'un sol liée à l'entraînement des particules fines libres à travers les particules grossières d'un sol à granulométrie discontinue et/ou très étalée.

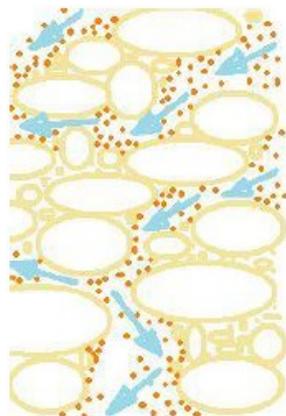


Figure 132 - schéma du phénomène de suffusion

La suffusion n'est pas un mode de rupture : aucune digue n'a rompu par suffusion. Il s'agit d'un mécanisme lent d'instabilité interne d'un sol liée à l'entraînement des particules fines libres à travers les particules grossières d'un sol à granulométrie discontinue. Elle n'apparaît que dans les sols où les fines ne comblent pas les vides des particules granulaires. Toutefois, la suffusion est un phénomène aggravant de l'érosion de contact ou de l'érosion régressive.

D'après le bulletin n°164 du CIGB, sont considérés en pratique comme **non suffusifs** les sols possédants :

- Soit un indice de plasticité supérieur à 7,
- Soit un pourcentage d'argile (passant à 2  $\mu\text{m}$ ) supérieur à 10%,
- Soit un pourcentage de fines (passant à 80  $\mu\text{m}$ ) supérieur à 40%.

Les sols ne remplissant pas ces critères granulométriques sont considérés comme potentiellement suffusifs.

Le risque d'initiation de la suffusion dans un sol peut être appréhendé plus spécifiquement à partir de critères granulométriques et différents critères :

- **Les critères de stabilité du sol** : critère d'auto-filtration de Terzaghi, critères de Kenney & Lau. Ces critères décrètent la stabilité d'un milieu, par conséquent, et compte tenu de leur caractère conservatif, il est assuré que la stabilité d'un sol vérifiant un de ces critères sera effective. En revanche, si ces critères ne sont pas vérifiés, l'instabilité n'est pas acquise.
- **Les critères d'instabilité** : il s'agit des critères de Burenkova et de Wan & Fell (qui donne une probabilité d'instabilité du sol)

A l'état projet, les matériaux prévus ne présentent pas de risques de suffusion.

Les matériaux en place dans les tronçons T1 et T2 ne respectent pas les critères énoncés ci-dessus. Cependant, comme on le verra dans les parties dédiées aux phénomènes d'érosion de contact et d'érosion régressive, ces tronçons ne présentent pas de risques particuliers concernant ces phénomènes.

### 7.3.6.6.2 Erosion de contact

L'érosion de contact est un phénomène induit par le détachement de particules à l'interface entre deux milieux poreux de granulométries très différentes. Ce mécanisme est fortement lié à la discontinuité entre les deux milieux, en termes de granulométrie mais aussi de perméabilité. Elle renvoie ainsi à un problème aux interfaces où les matériaux fins composant une couche sont

entraînés au travers de la couche plus grossière. Elle se développe également en présence d'ouvrages traversants.

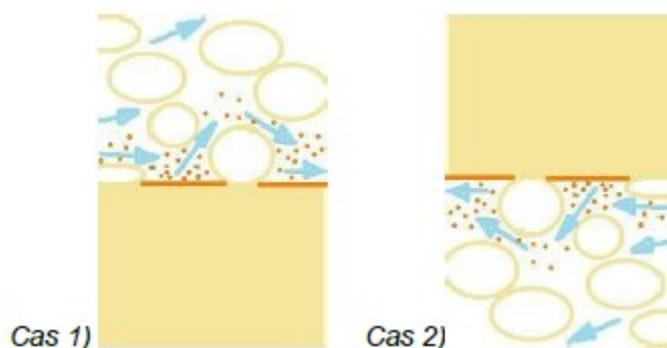


Figure 133 - Schéma du phénomène d'érosion de contact

Cette discontinuité va permettre de remplir les deux conditions nécessaires à l'érosion :

- la condition hydraulique : l'interface possède une perméabilité importante et va être le siège de vitesses d'écoulement élevées, suffisantes pour détacher et entraîner les particules,
- la condition géométrique : les tailles des pores et des constriction du matériau grossier sont assez grandes par rapport à la taille des particules du sol fin transportées pour permettre leur passage sans piégeage.

L'érosion de contact, observée sous les digues alluviales, peut durer des années ou des dizaines d'années sans que des désordres majeurs n'apparaissent.

Cela provient pour partie de la faible vitesse moyenne de migration des particules fines à travers les pores plus grossiers. Cela provient également des effets d'auto-cicatrisation par tassement et effondrement des cavités et colmatage amont par les crues.

**L'érosion de contact, tout comme la suffusion, constitue principalement un phénomène d'initiation de l'érosion interne pouvant conduire à une érosion régressive et/ou une érosion de conduit. Ce risque sera considéré comme facteur aggravant dans l'analyse de ces deux phénomènes.**

### 7.3.6.6.3 Erosion de conduit

#### Phénomène

L'érosion de conduit correspond au détachement de particules de sol à partir d'un chemin préexistant dans le remblai ou la fondation (ouvrages traversant, fissures...) :

Deux conditions sont nécessaires à une rupture par érosion de conduit :

- L'érosion par écoulement concentré ne peut initier son propre conduit, un défaut préexistant au sein de l'ouvrage est un préambule de base à ce phénomène. Il n'est pas forcément débouchant sur les talus amont et aval mais la mise en charge de l'ouvrage peut conduire à une rupture du bouchon ou un débouillage mettant en eau le conduit. L'initiation requiert ainsi la présence d'un conduit qui peut être :
  - Une interface entre deux couches de matériaux moins bien compactés,
  - Une fissure liée à un tassement différentiel, à la dessiccation, ...
  - Une racine d'arbre,
  - Un terrier d'animal fouisseur.
- Le trou doit « tenir », c'est-à-dire que l'érosion par écoulements concentrés se développe au sein de matériaux cohésifs ou fins (cohésion par capillarité).

L'arbre de défaillance suivant se dessine alors :

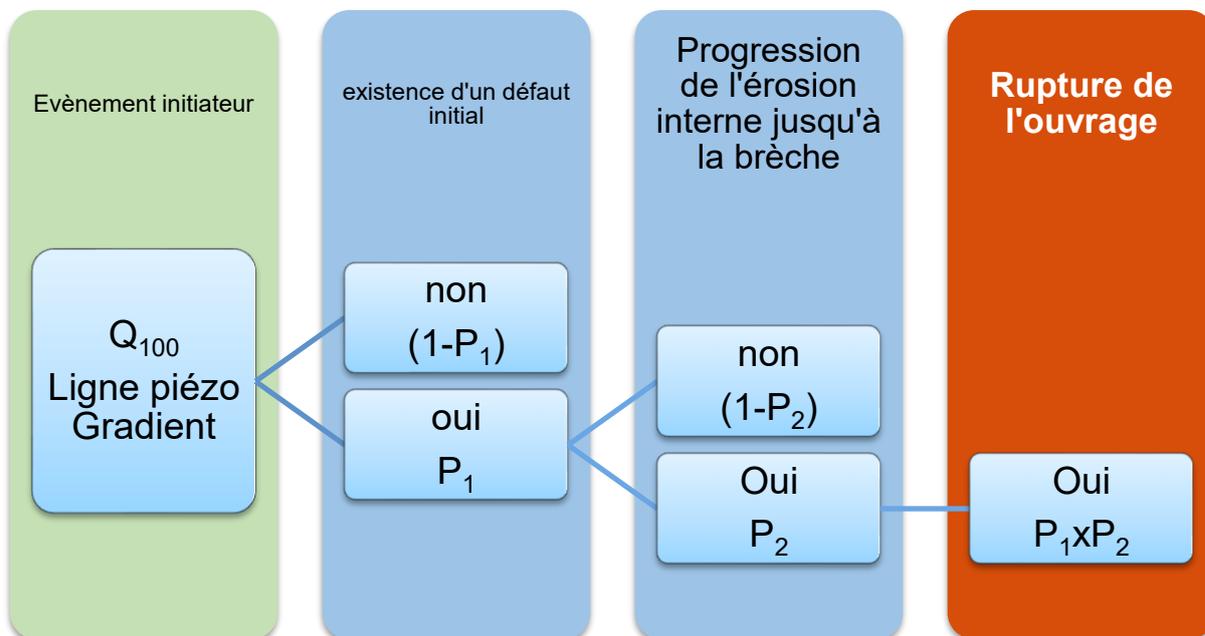


Figure 134 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit

#### Existence d'un défaut initial (P1)

Au regard du rapport de G2 AVP présenté en annexe de ce rapport, et des observations réalisées lors des visites de terrains, il convient d'affecter à chaque tronçon homogène une probabilité de rencontrer à la fois des matériaux cohésifs dans le corps de digue et des défauts préexistants.

Cette probabilité pourra être estimée à dire d'experts en se basant sur les conventions verbales de Vick [29].

Les observations de terrain serviront également à fixer un ordre de grandeur du diamètre des défauts préexistants. Il est proposé d'adopter les dimensions suivantes en tant qu'ordres de grandeur :

- Diamètre d'un terrier de fousseur : 8 cm,
- Fissure le long d'un ouvrage traversant : 3 cm,
- Diamètre d'une cavité créée par une racine : 5 cm.

La localisation et la profondeur du défaut au sein de la digue est également un paramètre essentiel. Le défaut initial ne traverse pas forcément l'ouvrage de l'amont vers l'aval mais peut devenir traversant à la faveur d'un claquage hydraulique du bouchon aval. La charge hydraulique amont intervient alors.

Pour les tronçons 1 et 2, la présence de végétation ligneuse peut favoriser le risque d'érosion de conduit par le développement de système racinaires.

	Types de matériaux du corps de digue	Présence d'une coupure étanche	Présence d'arbres	Présence de fousseurs	Présence d'une interface entre couches	Présence d'un ouvrage traversant le remblai	Probabilité de présence d'un conduit (Vick, 2002)
T1	B5	Non	Oui	Etat projet : non	Interface entre le remblai et le mur de soutènement	Non	Neutre 0,5
T2	B5	Non	Oui	Etat projet : non	Interface entre le remblai et le mur de soutènement	Non	Neutre 0,5
T3		Non	Non	Etat projet : non Grillage anti-fousseurs	Matériaux relativement homogènes	Non	Très improbable 0,01
T4		Non	Non	Etat projet : non Grillage anti-fousseurs	Matériaux relativement homogènes	Non	Très improbable 0,01
T5		Non	Non	Etat projet : non Grillage anti-fousseurs	Matériaux relativement homogènes	Non	Très improbable 0,01
T6		Non	Non	Etat projet : non Grillage anti-fousseurs	Matériaux relativement homogènes	Non	Très improbable 0,01
T7		Non	Non	Etat projet : non Grillage anti-fousseurs	Matériaux relativement homogènes	Non	Très improbable 0,01

Figure 135 - Synthèse des facteurs aggravants vis à vis de l'érosion de contact

### Progression de l'érosion jusqu'à la brèche (P2)

Sur les tronçons T1 et T2, la mise en place d'un muret étanche sur le parement côté terre permet d'empêcher la formation de débouché de conduit aval, et ainsi limiter la formation de conduits entre le parement amont et le parement aval. La progression de l'érosion jusqu'à la brèche est donc considérée comme **très improbable (P=0,01)** sur ces tronçons.

Pour les tronçons T3, T4 et T5 le risque de progression de l'érosion jusqu'à la brèche est plus important car le développement de conduits est possible entre l'amont et l'aval. La progression est donc jugée comme **probable (P=0,9)**.

Pour les tronçons T6 et T7, la berge amène directement au TN aval, le risque de brèche est donc considéré comme **nul (P=0)**.

Les probabilités totales de rupture par érosion de conduit sont données ci-après pour chacun des tronçons :

#### Tronçon T1

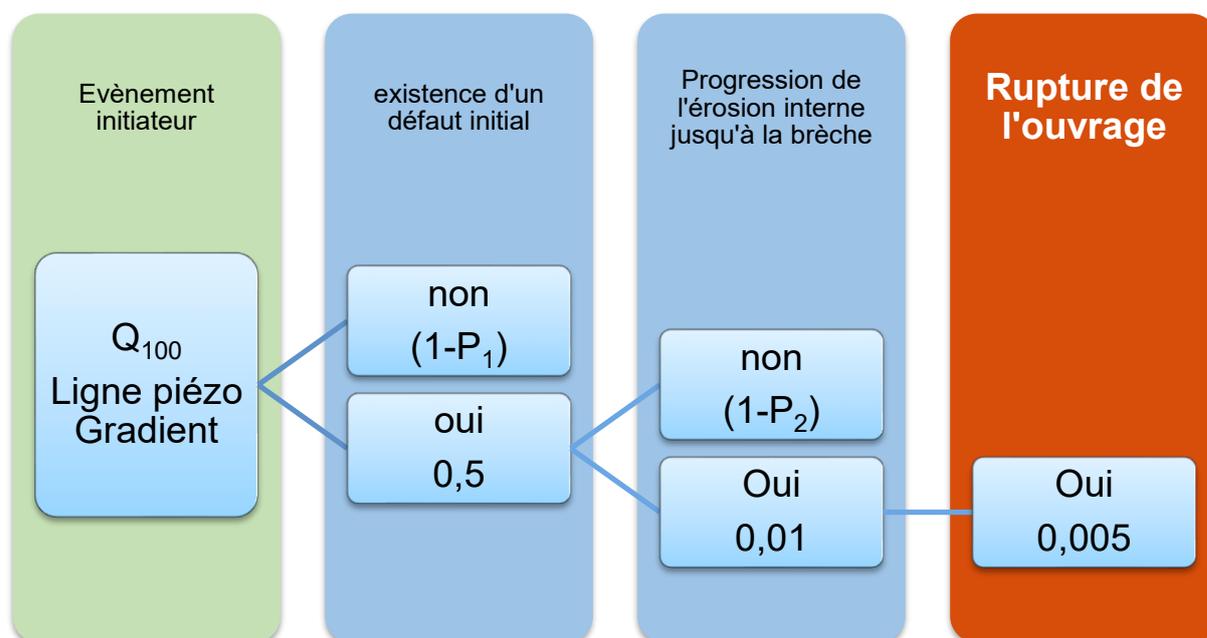


Figure 136 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T1

Tronçon T2

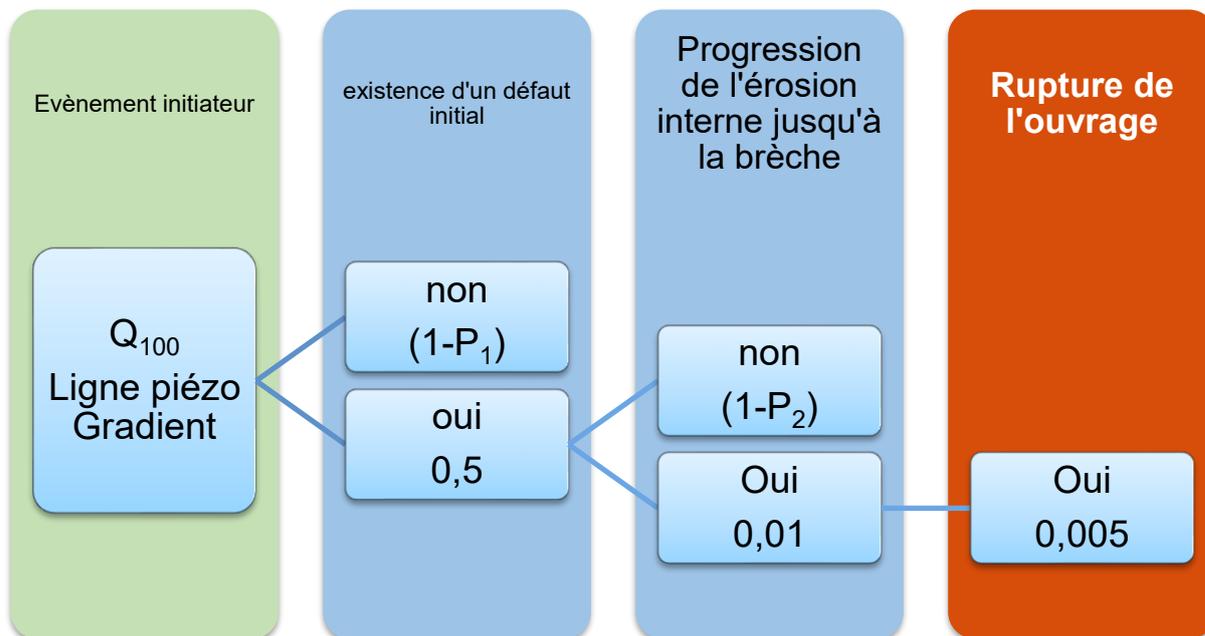


Figure 137 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T2

Tronçon T3

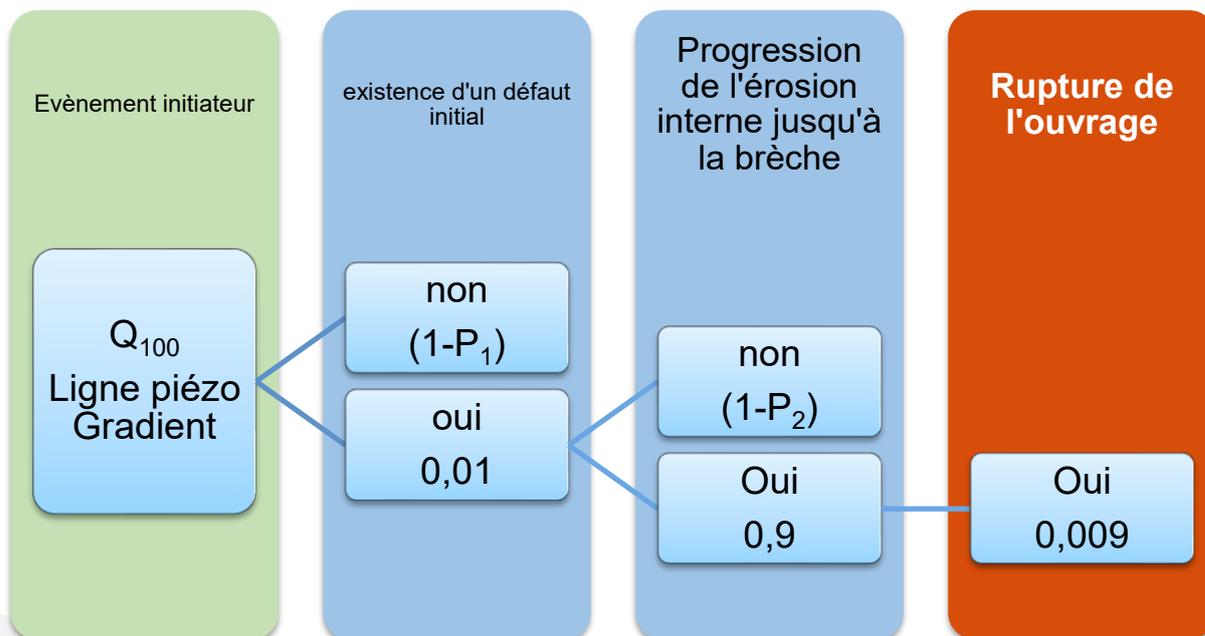


Figure 138 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T3

**Tronçon T4**

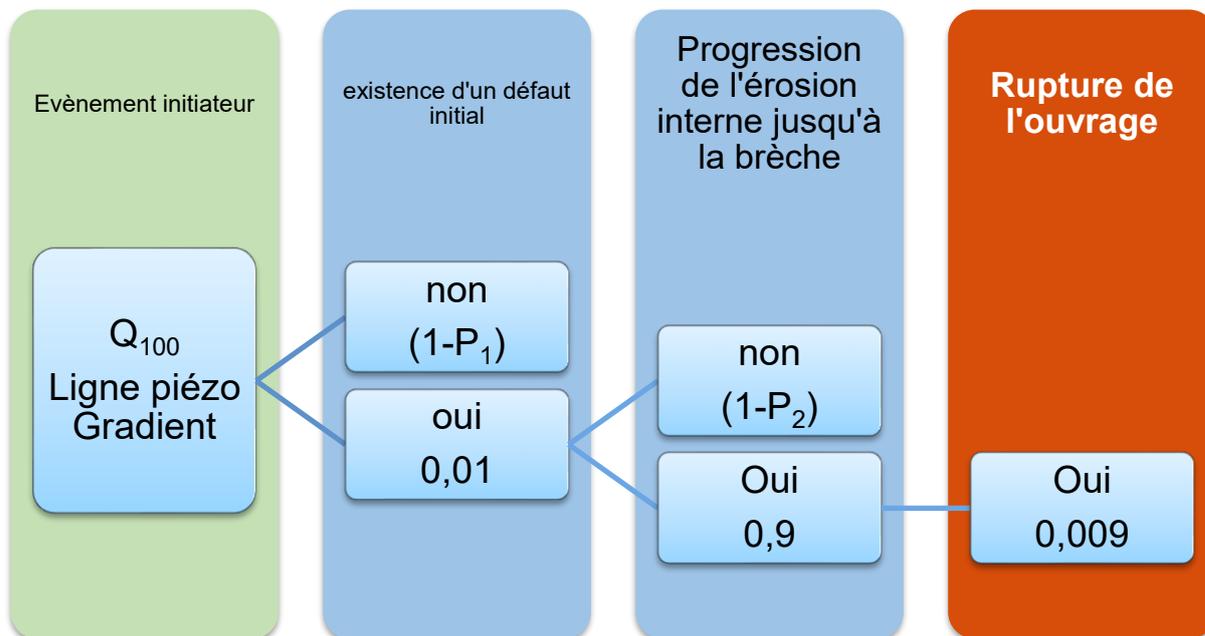


Figure 139 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T4

**Tronçon T5**

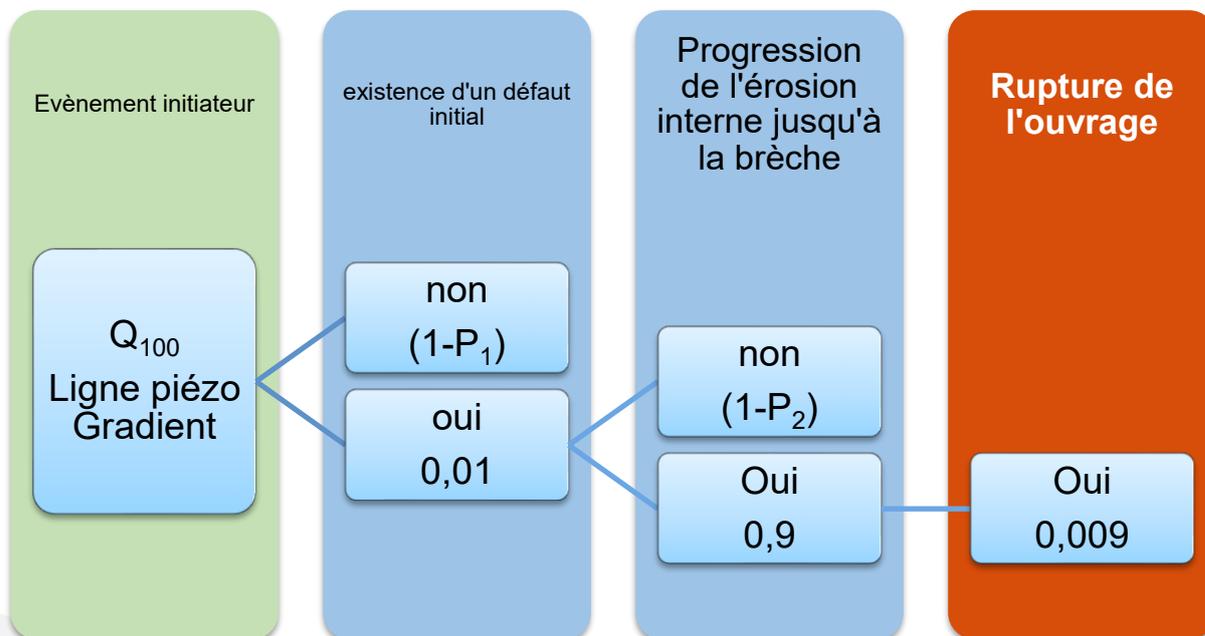


Figure 140 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion de conduit - Tronçon T5

**Tronçon T6**

Pas concerné par le phénomène d'érosion de conduit.

**Tronçon T7**

Pas concerné par le phénomène d'érosion de conduit.

## Synthèse

Sur la base de l'ensemble de ces critères, le tableau ci-après détaille la valeur des probabilités de rupture par érosion de conduit pour la crue de projet  $Q_{100}$

Tronçon	Probabilité (%)
<b>T1</b>	0,5 %
<b>T2</b>	0,5 %
<b>T3</b>	0,9 %
<b>T4</b>	0,9 %
<b>T5</b>	0,9 %
<b>T6</b>	-
<b>T7</b>	-

Figure 141 - Probabilités de défaillance par érosion de conduit des tronçons

### 7.3.6.6.4 Erosion régressive

#### Arbre de défaillance

L'érosion interne régressive est un mécanisme d'entraînement des particules du sol vers un débouché aval, formant un conduit qui progresse vers l'amont (départ de particules sous l'effet d'un gradient hydraulique).

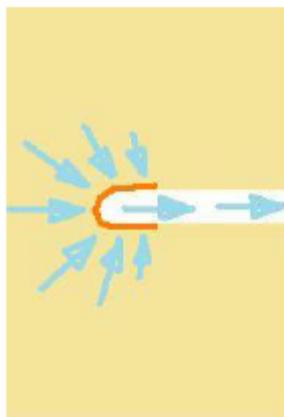


Figure 142 - Schéma du phénomène d'érosion régressive

L'érosion régressive ne peut pas affecter les sols cohésifs. Dans les sols non cohésifs, et si les écoulements débouchent en surface, le phénomène d'initiation s'amorce. Cependant, même dans les sols non-cohésifs, même si l'initiation est certaine, la progression ne l'est pas : le sol mis en bouillie n'est pas nécessairement évacué, le conduit peut se stabiliser, ou le gradient ne se maintient pas sur toute la longueur du conduit.

Ce mécanisme concerne donc principalement les sols pulvérulents à l'interface avec des parois cohérentes (couche sous-jacente cohérente ou bien ouvrage traversant).

Les matériaux en présence, limons sablo-argileux dans le corps de digue et limons sableux en fondation, ne sont que très peu sensibles à l'érosion régressive. Seuls les matériaux B5 (sables fins limoneux) retrouvés dans les tronçons T1 et T2 pourraient l'être plus spécifiquement bien qu'ils présentent une portion importante de fines (> 25%). Cependant, la présence du mur de soutènement en aval de la digue empêche la formation d'érosion régressive sur les tronçons T1 et T2.

Les tronçons T3, T4 et T5 présentent dans la version projet un géotextile sur le parement aval qui empêche l'initiation du phénomène d'érosion régressive.

Les tronçons T6 et T7 ne sont pas soumis au phénomène d'érosion régressive.

On peut donc considérer que l'initiation de l'érosion régressive sur l'ensemble des tronçons est nulle ( $P=0$ ).

### 7.3.6.7 Rupture par érosion externe

#### 7.3.6.7.1 Mécanisme d'érosion externe

Les différents mécanismes d'érosion externe sont présentés ci-dessous

##### Affouillement par batillage

L'analyse des vents à la commune de Bonneville montre que les vents sont relativement forts (entre 7 et 8m/s au maximum). Cependant les effets des vents principaux observés restent limités au vu de la configuration du Borne au droit de la digue étudiée. L'orientation principalement Sud-Ouest/Nord-Est et Sud-Est/Nord-Est du Borne ne permet pas un Fetch suffisant vis-à-vis des vents importants, provenant principalement du Sud, et du Sud-Est (avec une génération de vagues vers la rive opposée)

⇒ Mode de rupture ne concernant pas la digue en RD du borne.

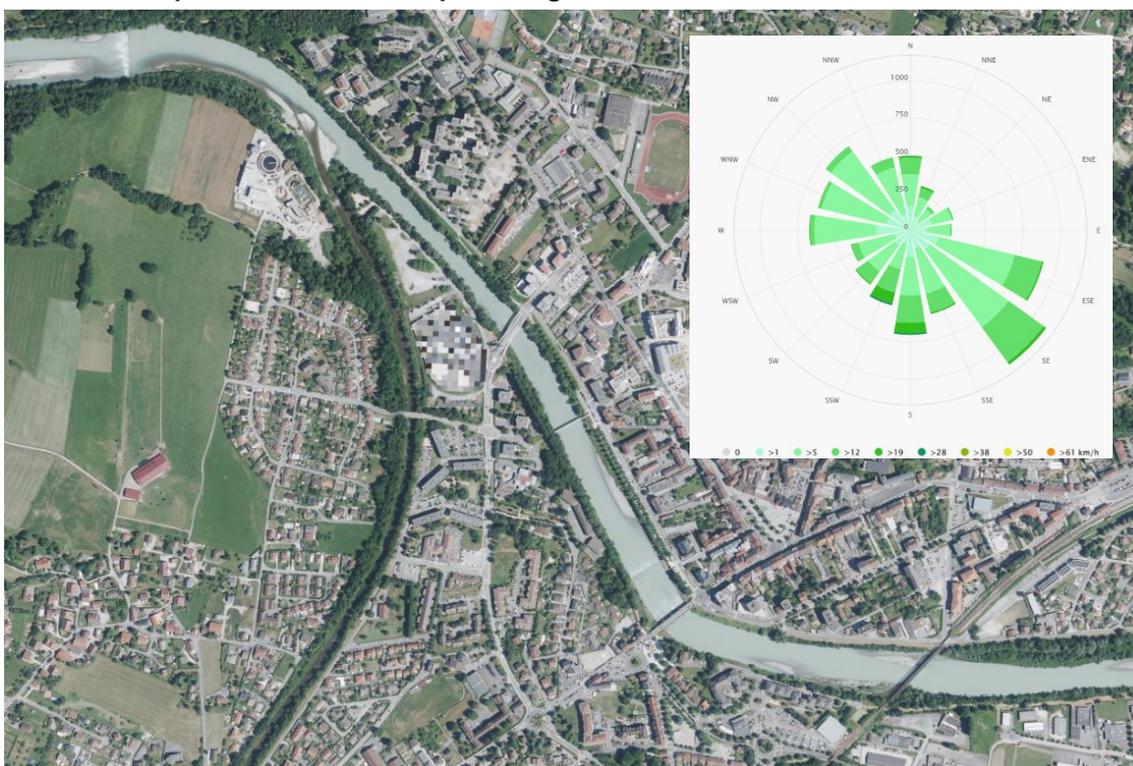


Figure 143 - Rose des vents à Bonneville (Source: Meteoblue)

##### Erosion sous l'effet du courant

L'érosion sous l'effet du courant concerne l'érosion du talus côté Borne de la digue, ou le sapement de la digue par érosion de la risberme sur les tronçons concernés.

Le graphique ci-dessous donne les vitesses d'écoulement maximales du Borne modélisées devant la digue (ce graphique est issu de la note de calcul hydraulique rédigée par CNR en 2021).

On constate que pour chacun des tronçons les vitesses évoluent entre 2 et 4 m/s.



Figure 144 - Profil en long du fond (B) et des vitesses (M) avec et sans épis pour la rive droite du Borne à Q100

Ce mode de défaillance concerne donc les digues en rive droite du Borne. L'analyse est détaillée dans les paragraphes suivants.

### Instabilité des berges

Le dernier mécanisme d'érosion externe concernerait une instabilité au glissement de la berge qui engendrerait un sapement du pied du talus côté Borne des digues et conduirait à une brèche. Au pic de la crue, le poids de l'eau exerce un rôle stabilisateur sur les talus côté amont. L'instabilité des berges est donc la plus critique à la décrue lorsque le talus est encore saturé et la ligne d'eau du Borne redescend. Cette situation est cependant favorable d'un point de vue mode de défaillance puisqu'elle ne peut pas conduire à des venues d'eau dangereuses en zone protégée.

Le scénario envisageable serait l'occurrence de deux crues de projet successives : la première crue engendrerait une instabilité de la berge et une déstabilisation du talus côté Borne. Ce scénario est considéré comme pratiquement impossible, et ne sera donc pas considéré.

#### 7.3.6.7.2 Arbres de défaillance

L'arbre de défaillance suivant est proposé pour le mode de défaillance « érosion externe par écoulement tangentiel ». On rappelle qu'on entend ici par érosion externe, indifféremment l'érosion du talus côté Borne de la digue ou bien le sapement de la digue par érosion de la risberme.

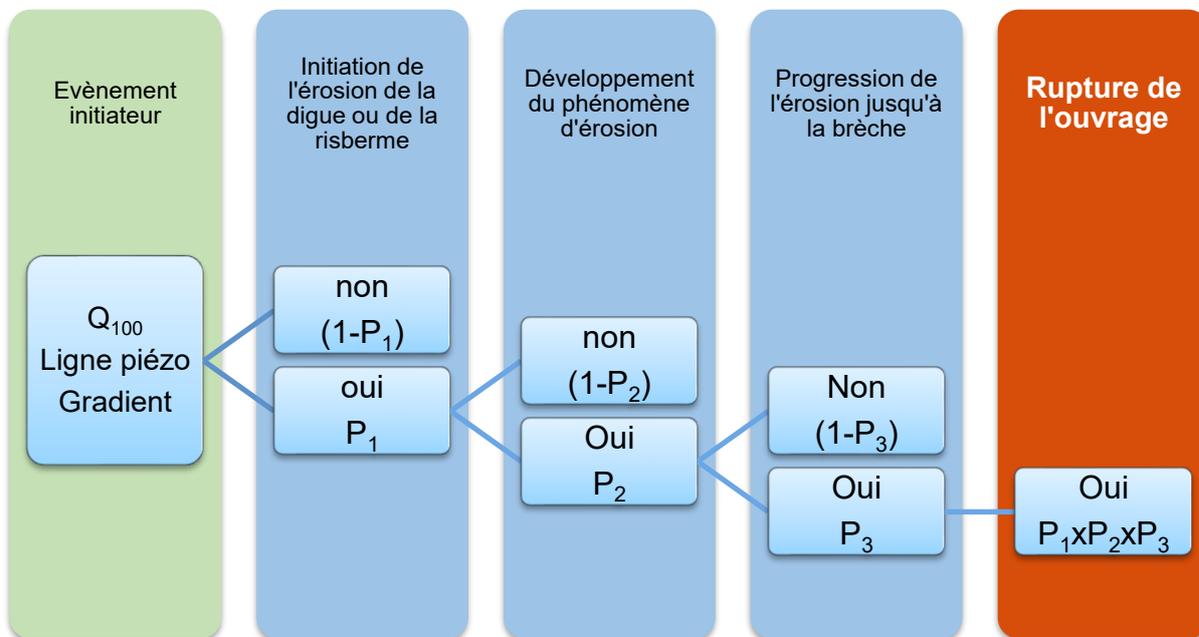


Figure 145 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe

### 7.3.6.7.3 Evaluation des probabilités conditionnelles

#### Initiation de l'érosion externe (P1)

L'appréciation de la probabilité d'initiation relève d'une comparaison entre :

- La sollicitation : Vitesse d'écoulement, force tractrice ;
- La résistance : Protection de talus et de la berge, présence de végétation, etc.

L'initiation de l'érosion externe (P1) correspond aux premiers départs de matériaux sous la force de l'écoulement.

Les matériaux des digues projetées, sur les tronçons où des épis en enrochements ont été prévus, ont été dimensionnées dans le rapport de G2 AVP, sur la base des vitesses maximale en crue de projet sur chaque tronçon homogène, afin de se prémunir du phénomène d'érosion externe.

Pour les tronçons disposant d'enrochements en pied de berge en RD du Borne, les dimensions des enrochements des épis ont été dimensionnés par la formule d'Isbach, pour la vitesse maximale sur l'ensemble des tronçons. Ainsi les tronçons présentant des vitesses maximales inférieure auront des enrochements dimensionnés de manière sécuritaire.

La vitesse maximale modélisée en pied de berge est de 4,15 m/s, ce qui permet de définir par la formule d'Isbach une nécessité d'emploi d'enrochements de diamètre  $D_{50}$  de 59cm, équivalent à une masse  $W_{50}$  de 400kg. Il a ainsi été déterminé que les enrochements mis en place seront de la classe 300/1000 kg.

On retrouve pour les différents tronçons les données de vitesses maximales en pied de berge et de blocométrie suivantes :

Tronçons	V <sub>max,Q100</sub> (m/s)	Type d'enrochements (kg)
T1	4,12	300/1000
T2	3,93	300/1000
T3	3,68	300/1000
T4	3,68	300/1000
T5	3,68	300/1000
T6	-	-
T7	-	-

Les tronçons T6 et T7 ne sont pas concernés, étant donné que les berges sont situés sous le TN aval.

Les enrochements ayant été dimensionnés pour des vitesses égales ou supérieures aux vitesses maximales sur les tronçons, **on considère que l'initiation de l'érosion externe est improbable. On prendra donc une probabilité de 0,1.**

A noter que la présence de végétation est ici considérée comme un facteur influant sur la propagation de l'érosion et non un facteur d'initiation.

#### Développement du phénomène d'érosion (P2)

L'analyse du développement du phénomène de l'érosion externe sera effectuée en étudiant à la fois les facteurs favorables (qui contribuent à la diminution du risque) et défavorables (qui contribuent à l'augmentation du risque) mais aussi aux retours d'expériences connus.

- **Géométrie de la digue** : La géométrie de la digue est un critère important quant à la progression de l'érosion externe. Une digue suffisamment volumineuse (largeur de crête importante et talus peu raides) n'aura que peu de chance de propager l'érosion externe ;
- **Protection anti-érosion** : La présence d'une protection anti-érosive (type gabions, enrochements ou fascines végétales) réduit le risque d'érosion externe ;
- **Franc-bord de berge** : Le franc-bord peut contribuer à protéger le pied de la digue de l'affouillement, sous réserve qu'il ne soit pas remobilisé lors de la crue. On observe que les forces tractrices en présence sont susceptibles de remobiliser des sédiments fins enherbés, voire des sédiments moyens à grossiers. La question est alors de savoir la largeur d'érosion éventuelle lors d'une crue. La présence d'un franc bord est donc considérée comme un facteur plutôt favorable, sans être une protection en tant que telle.
- **Ouvrages singuliers** : Des ouvrages singuliers, sur le talus de digue ou en berge, peuvent créer des perturbations augmentant localement le champ de vitesse. C'est un facteur défavorable.
- **Végétation côté Borne** : La présence de végétation en pied de parement amont ou sur la berge peut accélérer le processus d'érosion externe localement, notamment la présence de tronc/arbre isolé de diamètre important. On distingue cependant :
  - Les aspects favorables : augmentation de la résistance liée à l'enracinement, réduction des vitesses par effet de peigne ...
  - Les aspects défavorables : source de perturbations locales, encoches d'érosion en cas d'arrachement du fait de la pression dynamique, du vent...

La présence ou non d'arbres penchés en direction de la rivière est à considérer en notant que d'après nos observations de terrain, il n'y a généralement pas de gros arbres penchés sur le talus de la digue côté Borne mais de tels individus sont observables sur

la risberme et la berge. La description des tronçons est donnée au chapitre 5.2 présent rapport.

- **Durée de la crue** : Une crue longue sollicitera d'avantage les talus des digues par rapport à une crue courte, favorisant la propagation de l'érosion externe.

L'analyse des tronçons est présentée dans le tableau ci-après.

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
 Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE



Tronçon	Géométrie de la digue	Protection anti-érosion	Franc-bord de berge	Ouvrages singuliers	Végétation côté amont	Durée moyenne de mise en charge du talus	Probabilité de développement de l'érosion externe (Vick)
T1	Largeur crête : entre 1,5 et 2 m Largeur assise : 20 m Pente talus amont : 2H/1V Présence d'enrochement en épis <i>Neutre</i>	Oui : enrochements en épis <i>Favorable</i>	Oui : environ 10 m <i>Très favorable</i>	Non <i>favorable</i>	Oui présence d'arbre sur le Franc bord et en crête <i>Défavorable</i>	<1 jour Favorable	<b>Très improbable</b> <b>0,01</b>
T2	Largeur crête : entre 1,5 et 2 m Largeur assise : 12-15m Pente talus amont : 2H/1V Présence d'enrochement en épis <i>Neutre</i>	Oui : enrochements en épis <i>Favorable</i>	Non <i>Défavorable</i>	Non <i>Favorable</i>	Oui présence d'arbre sur le Franc bord et en crête <i>Défavorable</i>	<1 jour Favorable	<b>Très improbable</b> <b>0,01</b>
T3	Largeur crête : 4 m Largeur assise : 12-15m Pente talus amont : 2,5H/1V Présence d'enrochement en épis <i>Favorable</i>	Oui : enrochements en épis <i>Favorable</i>	Non <i>Défavorable</i>	Non <i>Favorable</i>	Non <i>Favorable</i>	<1 jour Favorable	<b>Très improbable</b> <b>0,01</b>
T4	Largeur crête : 4 m Largeur assise : 12-15m Pente talus amont : 2,5H/1V Présence d'enrochement en épis <i>Favorable</i>	Oui : enrochements en épis <i>Favorable</i>	Non <i>Défavorable</i>	Non <i>Favorable</i>	Non <i>Favorable</i>	<1 jour Favorable	<b>Très improbable</b> <b>0,01</b>
T5	Largeur crête : entre 1,5 et 2 m Largeur assise : 12-15m Pente talus amont : 2,5H/1V Présence d'enrochement en épis <i>Favorable</i>	Oui : enrochements en épis <i>Favorable</i>	Non <i>Défavorable</i>	Non <i>favorable</i>	Non <i>Favorable</i>	<1 jour Favorable	<b>Très improbable</b> <b>0,01</b>

T6	Largeur crête : - Largeur assise : - Pente berge : 3H/1V <i>Pas concerné</i>	-	-	-	-	<1 jour Favorable	-
T7	Largeur crête : - Largeur assise : - Pente berge : 3H/1V <i>Pas concerné</i>	-	-	-	-	<1 jour Favorable	-

Figure 146 - Synthèse des facteurs aggravant vis-à-vis de l'érosion externe

**Progression jusqu'à la brèche (P3)**

Une rupture par érosion externe/affouillement ne conduit pas forcément à une venue d'eau dangereuse.

Le confortement par l'aval par la mise en place du muret béton des tronçons T1 et T2, ainsi que l'arasement de la berge et l'adoucissement des pentes de berges (2,5H/1V) sur les tronçons T3, T4, et T5 permettent de considérer la probabilité de progression de l'érosion externe jusqu'à la brèche comme **improbable (P=0,1)**.

**7.3.6.7.4 Analyse par tronçon**

**Tronçon T1**

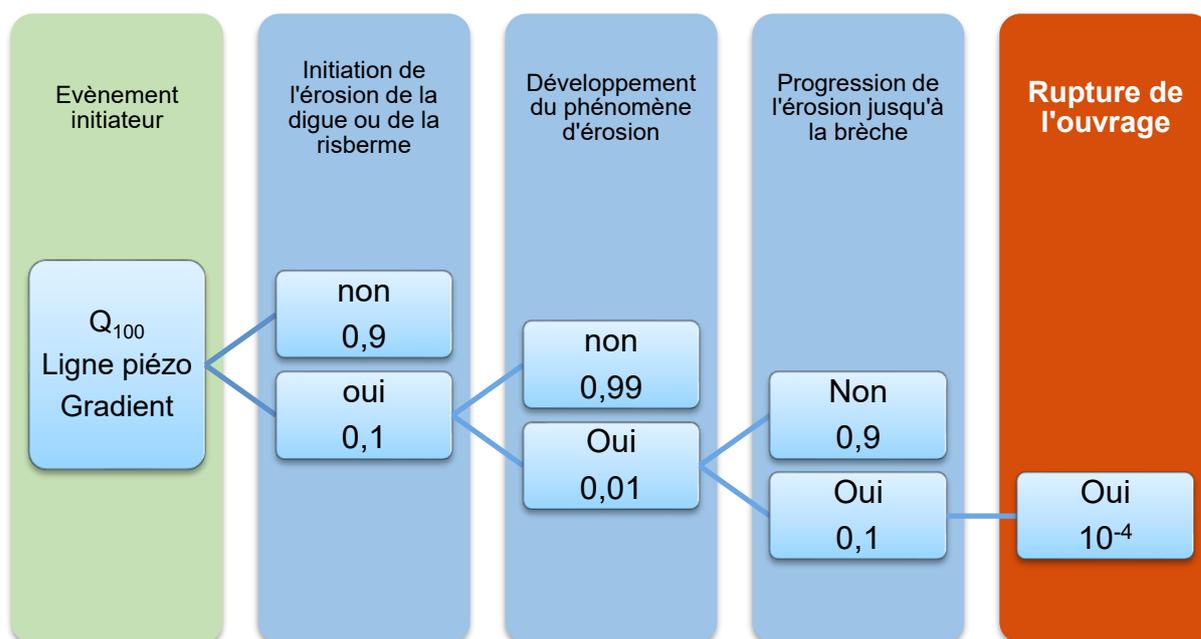


Figure 147 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T1

**Tronçon T2**

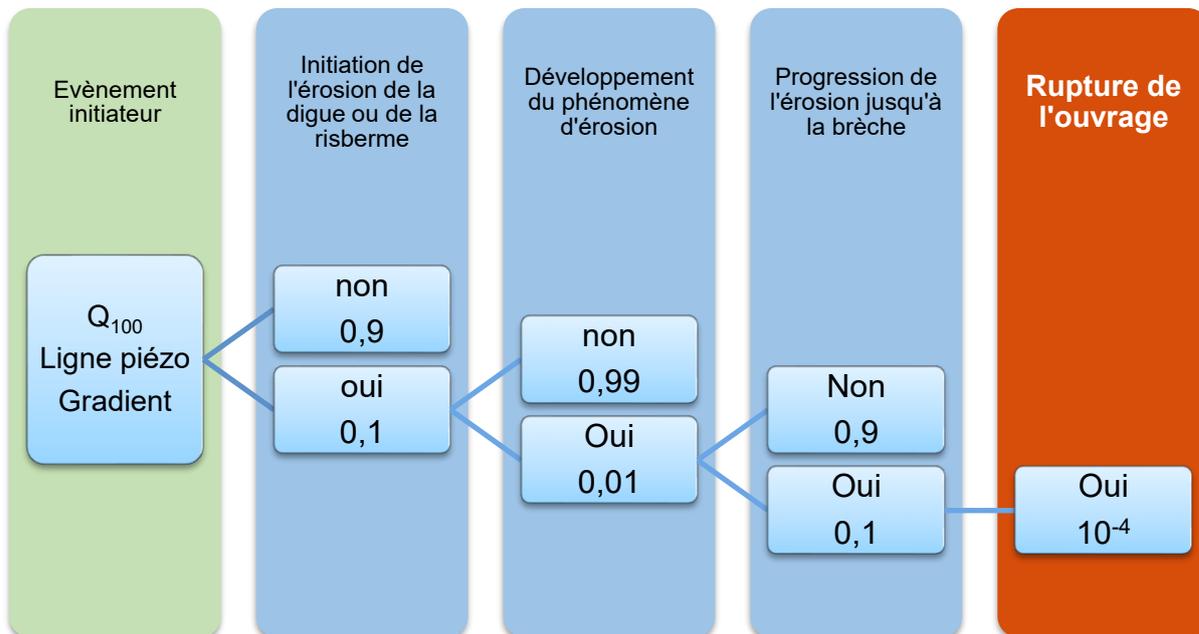


Figure 148 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T2

**Tronçon T3**

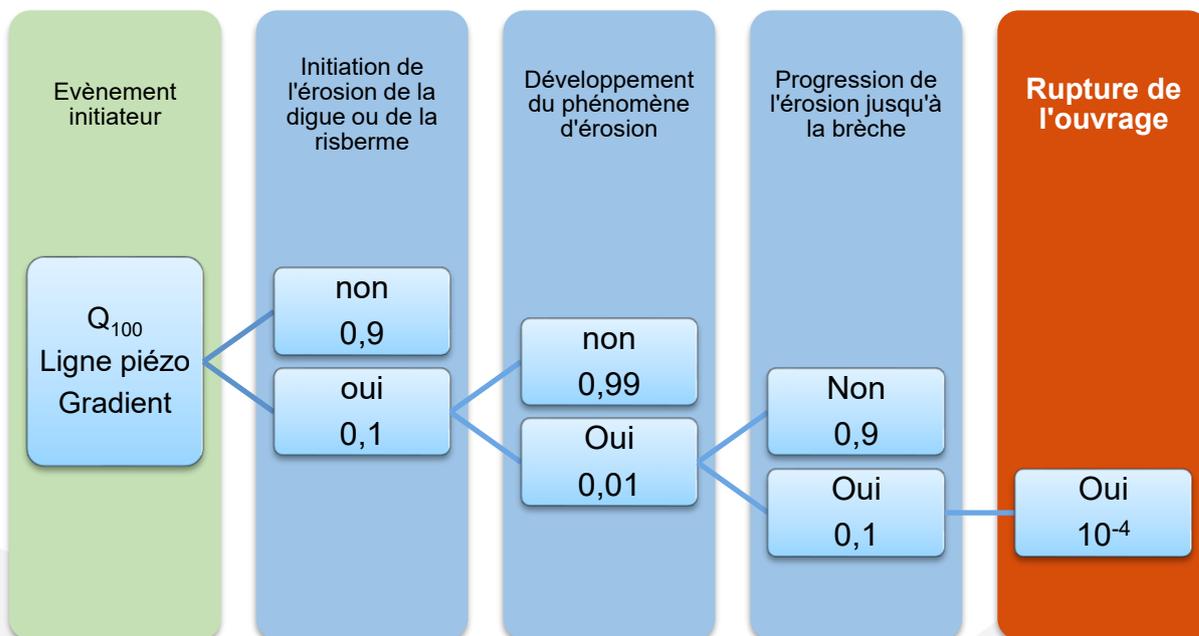


Figure 149 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T3

**Tronçon T4**

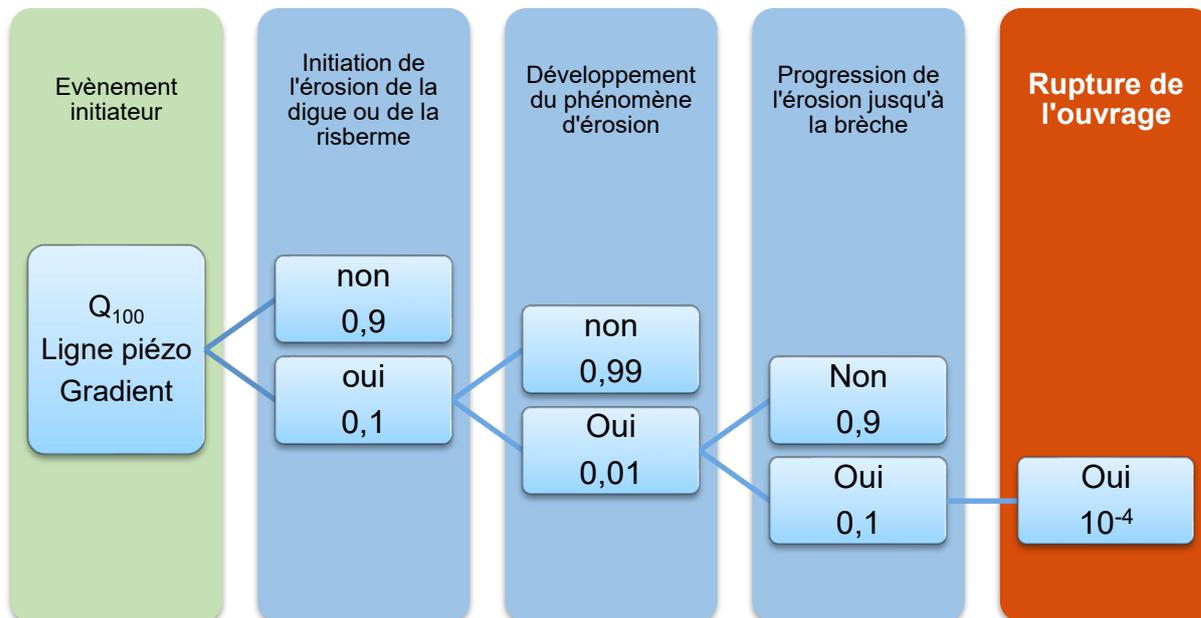


Figure 150 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T4

**Tronçon T5**

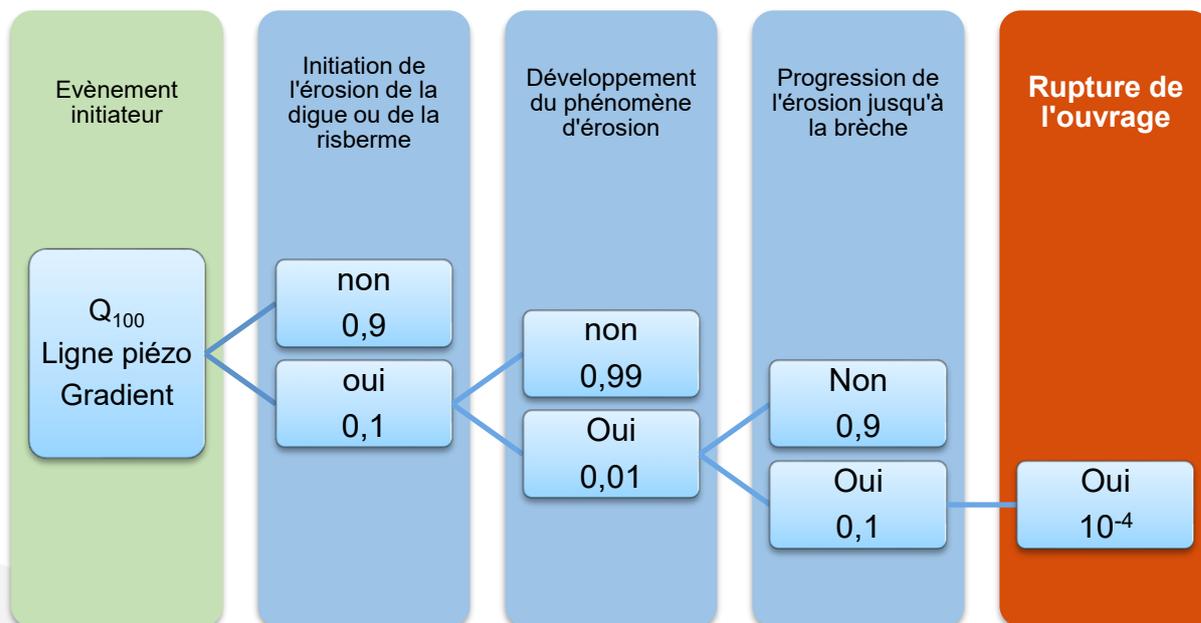


Figure 151 - Arbre de défaillance associé au mécanisme de rupture par érosion externe - Tronçon T5

**Tronçon T6**

Pas concerné par le phénomène d'érosion externe.

**Tronçon T7**

Pas concerné par le phénomène d'érosion externe.

### 7.3.6.8 Synthèse des probabilités de rupture et définition du niveau de protection – Digues du Borne rive droite

Rappel : T6 et T7 ne sont pas des digues.

#### 7.3.6.8.1 Crue centennale

Les probabilités de rupture des ouvrages pour la crue centennale  $Q_{100}$  sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tronçon	Rupture par surverse	Rupture par glissement de talus	Rupture par instabilité du muret	Rupture par érosion de conduit	Rupture par érosion régressive	Rupture par érosion externe
T1	0	-	4,7 %	0,5 %	-	0,01 %
T2	0	-	4,7 %	0,5 %	-	0,01 %
T3	0	0,1 %	-	0,9 %	-	0,01 %
T4	0	0,1 %	-	0,9 %	-	0,01 %
T5	0	0.06 %	-	0,9 %	-	0,01 %

Tableau 53 - Synthèse des probabilités de rupture des ouvrages pour la crue centennale  $Q_{100}$

A l'état projet, en considérant un matériau pour le tronçon T5 présentant un angle de frottement de  $35^\circ$  et une cohésion non-nulle, la digue en rive droite du Borne présente les garanties structurelles suffisantes permettant d'assurer un niveau de protection égal à la crue centennale.

#### 7.3.6.8.2 Niveau de sureté

Le tableau ci-dessous synthétise pour chacun des tronçons, en l'état actuel des connaissances, et pour chacun des modes de rupture, la ligne d'eau correspondant à la cote maximale d'une crue, permettant de respecter une probabilité de rupture inférieure à 5%.

Tronçon	Rupture par surverse	Rupture par glissement de talus	Rupture par instabilité du muret	Rupture par érosion de conduit	Rupture par érosion régressive	Rupture par érosion externe
T1	$Z_{Q_{100}}+1m$	-	$>Z_{Q_{100}}$	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$
T2	$Z_{Q_{100}}+1m$	-	$>Z_{Q_{100}}$	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$
T3	$Z_{Q_{100}}+1m$	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$
T4	$Z_{Q_{100}}+1m$	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$
T5	$Z_{Q_{100}}+1m$	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$	-	$>Z_{Q_{100}}$

**Le niveau de sureté assuré par les digues du Borne rive droite, à l'état projet, est justifié pour une crue de temps de retour 100 ans.**

**Le niveau de protection, réglementaire, retenu par le MOA est la crue de temps de retour 100 ans (Q100).**

### 7.3.6.8.3 Niveau de danger

Le niveau de danger est le niveau à partir duquel la probabilité de rupture d'un ouvrage est importante. Cette notion se rapproche du « risque de rupture d'au moins un ouvrage supérieur à 50% » qui est introduit dans l'arrêté du 7 avril 2017.

Compte tenu des caractéristiques de dimensionnement de la digue à l'état projet, on considère que les sollicitations de la digue ne présentent pas de changement notable sous la revanche de 1 m. On est donc assuré que nous avons moins de 50 % de chance de rupture pour une ligne d'eau allant **jusqu'à la cote  $Z_{Q100}+50\text{cm}$** , cote qui nous assure 50 cm de revanche à la surverse. Vis-à-vis du risque de glissement, les calculs ont démontré que pour une  $Z_{Q300} = Z_{Q100} + 30\text{ cm}$  environ, on garde un risque de rupture inférieur à 50%.

Pour les autres phénomènes l'évolution des gradients hydrauliques entre  $Z_{Q100}$  et  $Z_{Q100}+30\text{cm}$  ( $Z_{Q300}$ ) est faible, un risque de rupture de 50% correspond aussi à un évènement hydraulique supérieur à Q300.

On en déduit le tableau ci-dessous :

Tronçon	Rupture par surverse	Rupture par glissement de talus	Rupture par instabilité du muret	Rupture par érosion de conduit	Rupture par érosion régressive	Rupture par érosion externe
<b>T1</b>	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$
<b>T2</b>	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$
<b>T3</b>	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$
<b>T4</b>	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$
<b>T5</b>	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$	-	$Z_{Q100+50\text{cm}} > Z_{Q300}$

**Tableau 54 - Estimation du niveau de danger de chacun des tronçons**

**En concertation avec le gestionnaire du système d'endiguement, il est considéré un niveau de danger (niveau de gestion) correspondant à une crue tri centennale (Q300) sur les digues du Borne rive droite. Ce niveau est sécuritaire pour la protection des biens et des personnes présents dans la zone protégée.**

## 7.4 Conclusions

### 7.4.1 Profils types et dispositions constructives

L'ensemble des profils types présentés et dimensionnés dans les paragraphes précédents sont réalisables et valables moyennant :

- L'emploi de matériaux adaptés (voir ci-après) ;
- Une mise en œuvre soignée et dans les règles de l'art.

Du fait du peu d'espace disponible, la transition par couches filtres entre sols de nature granulométrique fortement différente ne pourra être réalisée. Ainsi, il est proposé de mettre en

œuvre un géotextile anti contaminant et filtrant à ces interfaces, notamment les interfaces enrochements/remblai et enrochements/TN.

## 7.4.2 Matériaux

### Remblai :

Le matériau utilisé pour les remblais (nouvelles digues et merlon) devra présenter après compactage les caractéristiques physiques minimales suivantes :

- Type sables limoneux ;
- Granulométrie étendue respectant les critères de filtres (interne et aux contacts) et de non tenue des conduits vis-à-vis des problématiques d'érosion interne ;
  - $c' = 0$  kPa ;
  - $f = 35^\circ$  ;
  - $\gamma = 20$  kN/m<sup>3</sup> ;
  - $k = 10^{-4}$  m/s.

### Enrochements :

Les enrochements devront présenter les caractéristiques physiques minimales suivantes :

- Blocométrie 300/1000 kg
- $c' = 0$  kPa ;
- $f = 45^\circ$  ;
- $\gamma = 26$  kN/m<sup>3</sup> ;
- non gélif, non friable, non cassant, inaltérable à l'air ni à l'eau,
- Résistance à la compression sur cubes d'arêtes 5 cm supérieure à 50 MPa.

### Géogrilles :

A déterminer lors de la phase PRO et des études d'exécution des ouvrages.

A noter toutefois qu'une entreprise spécialisée a été consultée afin d'obtenir un ordre de grandeur du prix de fourniture et pose et celle-ci n'a pas émis de réserves quant à la faisabilité des confortements proposés avec les éléments techniques transmis (hauteur, pente, etc.).

### Géotextile :

Les géotextiles employés devront permettre de remplacer les couches filtres entre des sols de granulométrie très différente. Ils auront un objectif de séparation des couches et de filtration.

### Béton :

Les bétons seront de plusieurs types en fonction des ouvrages à réaliser. Ceci sera défini au stade PRO et dans les clauses contractuelles du futur marché.

## 7.5 Moyens mis en œuvre pour assurer l'entretien, la surveillance et les réparations courantes des ouvrages

Les ouvrages doivent faire l'objet d'un entretien et d'une surveillance courante. Les points importants à entretenir sont :

- Entretien de la végétation par fauchage et neutralisation des espèces ligneuses envahissant les talus et les crêtes d'ouvrages. Le planning d'entretien doit intégrer les contraintes écologiques de site ;
- Les visites techniques approfondies.

L'ensemble des mesures mises en œuvre pour l'entretien des digues est présenté dans le chapitre 9.

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

*NB : Ce chapitre est centré sur les digues du Borne rive droite. Les éléments relatifs aux digues de l'Arve rive gauche seront apportés dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve », conformément à la réunion du 21/06/2023 (cf. § 0.3.2).*

### 8.1 Modélisation hydraulique

Les éléments techniques relatifs à la modélisation hydraulique sont détaillés dans la partie 4.3.

*Rappel : la description du modèle hydraulique qui a servi à l'étude des venues d'eau est disponible en annexes de cette présente étude.*

### 8.2 Famille de scénarios

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 et précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions, l'objectif du chapitre 8 d'une étude de dangers est d'estimer et d'évaluer le risque lié à l'inondation.

Pour se faire, quatre scénarios sont définis (paragraphes extraits de l'arrêté du 30 septembre 2019) :

- **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. Conformément à l'article 11 du présent arrêté, on admettra 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 au sens de l'annexe 3.
- **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 %.

### 8.3 Scénarios de défaillance structurelle retenus

L'analyse des modes de défaillances permet d'identifier les scénarios de défaillance structurelle émergents, et retenus pour l'analyse des conséquences (modélisation hydraulique).

Cette analyse fait ressortir 2 accidents potentiels :

- Rupture par surverse pour des crues supérieures au débit de débordement de l'ouvrage.

Cet accident étant lié au phénomène suivant :

- Engravement du lit et digues non conçues admettre la surverse.

- Rupture par brèche pour des crues supérieures au débit de sureté de l'ouvrage.

Cet accident étant lié aux phénomènes suivants :

- Érosion externe ;
- Affouillement ;
- Erosion interne.

Le choix de la localisation des ruptures modélisées tient compte en outre des enjeux situés derrière les tronçons de digue considérés, de l'étude historique sur les incidents et accidents survenus sur la digue.

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019, le scénario de défaillance structurelle devra refléter 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 supérieure à 50 %.

L'occurrence de la crue modélisée pour le scénario de défaillance structurelle est une Q300. Cette occurrence peut générer un risque de rupture supérieure à 50 % (en fonction du niveau du fond de lit - engrèvement).

Un scénario de défaillance structurelle est représenté par une ouverture de brèche(s) dans le corps de la digue entre le côté eau et le côté zone protégée.

La modélisation d'une rupture est donc définie par plusieurs paramètres :

- Une probabilité de rupture ;
- Un nombre de brèches ;
- Une largeur de brèches ;
- Un instant de rupture ;
- Une cote finale de la brèche ;
- Une durée de formation de la brèche.

Le nombre de brèches est difficile à estimer. Cependant, les informations sur le contexte physique et l'historique peuvent nous renseigner sur les scénarios raisonnables.

Sur le Borne rive droite, un scénario de défaillance structurelle de la digue avec deux brèches nous paraît raisonnable. La carte ci-dessous permet de localiser les 2 sous-scénarios S3 de brèches affectant le système d'endiguement dans son ensemble :

- S3-1 : brèche au PMB 1.2 – 1.1 sur la digue de Bois Jolivet B
- S3-2 : brèche au PMB 0.5 – 0.4 sur la digue de la Queue du Borne

**La brèche du S3.1 est située sur le T1, en amont du système d'endiguement, permettant de « maximiser » l'enveloppe inondation dans la zone protégée. La brèche S3.2, sur le T4-T5, permet de compléter l'analyse hydraulique sur la digue de la Queue du Borne.**

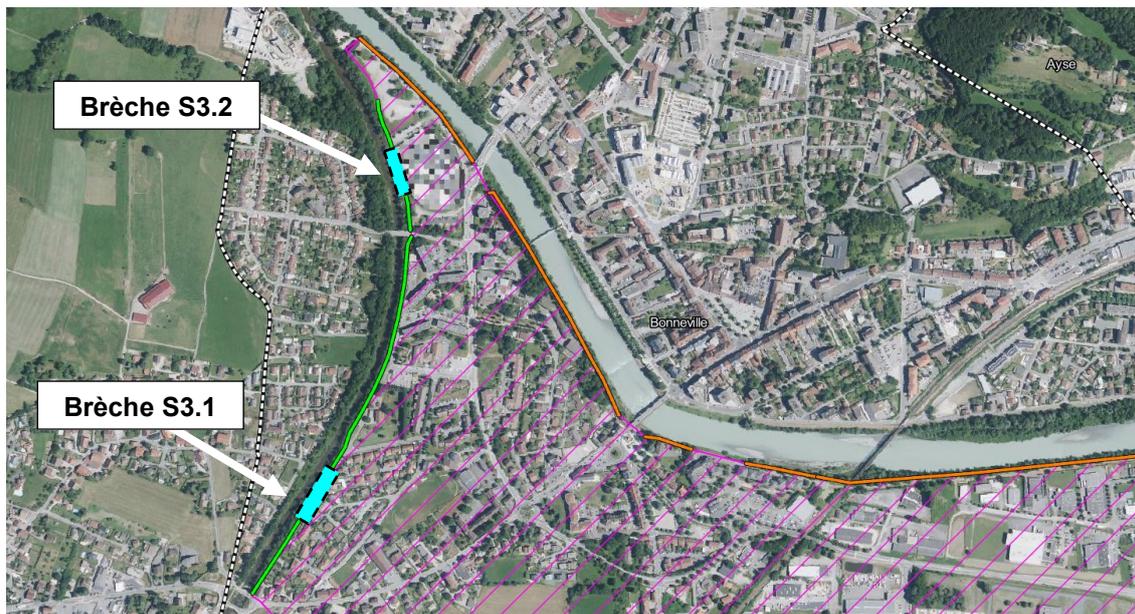


Figure 152 : Localisation des brèches modélisées pour le scénario de défaillance structurelle (en situation projet – digues du Borne rive droite)

Les phénomènes de rupture des endiguements sont différents suivant qu'il s'agit d'une érosion interne ou externe, d'un glissement ou d'une surverse. Par mesure d'homogénéité, la modélisation des brèches étudiée dans le retour d'expérience sera reprise (cf. Rubrique 6). La modélisation est basée sur les hypothèses suivantes :

- Amorçe de la brèche :
  - lorsque le débit de pointe atteint le point considéré pour les ruptures par brèches,
  - lorsque le début de la submersion apparaît pour les ruptures par surverse ;
- Abaissement de la crête jusqu'à l'atteinte du terrain naturel aval ;
- Largeur de la brèche : de 100 m ;
- Temps d'effacement complet : 1h. Ces hypothèses rentrent dans l'ordre de grandeur des brèches communément modélisées pour d'autres EDD, à savoir entre 100 et 200 mm/min.

Ces hypothèses permettent de représenter une certaine dynamique de rupture, sachant que d'autres dynamiques de ruptures peuvent être susceptibles de se produire.

La localisation des brèches répond à l'objectif de maximiser les conséquences en jouant sur les deux critères suivants :

- Hauteur maximale de la digue au-dessus du terrain naturel (TN). Cette configuration est susceptible de maximiser le débit déversé ;
- Zone habitée en aval.

## 8.4 Choix des scénarios à modéliser et cartographie

### 8.4.1 Scénarios étudiés et retenus

Les scénarios étudiés dans le cadre de cette étude de dangers sont les suivants :

➤ **Scénario 1 : fonctionnement nominal**

Ce scénario correspond au fonctionnement nominal du système d'endiguement quand le niveau des écoulements correspond au niveau de protection (Q100). On admet que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de 5 % au plus.

➤ **Scénario 2 : défaillance fonctionnelle**

Le scénario 2 prévu dans l'arrêté du 30 septembre 2019 correspond à une défaillance fonctionnelle du système d'endiguement quand le niveau des écoulements correspond au niveau de protection. Cette défaillance fonctionnelle est liée à une défaillance d'un dispositif de régulation des écoulements hydrauliques, sans être accompagné par une défaillance structurelle des ouvrages. Dans le cas des digues du Borne rive droite, aucun dispositif de régulation des écoulements hydrauliques n'étant présent (ni de réseau traversant les ouvrages de protection), ce scénario n'a pas lieu d'être. Il n'est par conséquent pas modélisé de scénario 2 dans cette étude.

➤ **Scénario 3 : défaillance structurelle**

Ce scénario correspond à une défaillance structurelle du système d'endiguement. Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019, le niveau de l'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture supérieure à 50 %. Dans notre cas, la défaillance structurelle est représentée par l'ouverture de deux brèches dans le corps des digues du système, sur une occurrence de crue tricentenaire (Q300). Comme susmentionné, ce scénario est décomposé en deux sous-scénarios : S3.1 et S3.2.

A noter que le scénario 4 est représentatif du comportement du système d'endiguement quand se produit l'aléa de référence du plan de prévention des risques naturels inondation ou littoraux quand un tel plan existe. Une fois les travaux réalisés, le niveau de protection du système d'endiguement est une crue centennale, qui correspond à l'aléa de référence PPRi (Bonneville). Ce scénario 4, facultatif, peut être équivalent au scénario 1 et n'est pas étudié dans cette présente étude de dangers.

## 8.4.2 Cartographie

Une cartographie des zones mises en eau a été réalisée pour les deux scénarios modélisés et listés ci-dessus. La dangerosité des venues d'eau, autour et dans la zone protégée, est appréciée au regard des critères de vitesses d'écoulement et de hauteurs d'inondation. L'arrêté du 30 septembre 2019 précise que « sont réputées dangereuses les venues d'eau telles que la hauteur d'eau atteint au moins 1 m ou le courant au moins 0.5 m/s ». On distingue donc :

- Les zones de venues d'eau non dangereuses ou peu dangereuses : pour lesquelles  $V < 0.5$  m/s et  $H < 1$  m
- Les zones de venues d'eau dangereuses :  $V \geq 0.5$  m/s ou  $H \geq 1$  m
- Les zones de venues d'eau très dangereuses, correspondant à des points bas (effet cuvette  $H > 2$  m) ou des zones de dissipation d'énergie importante sont également répertoriées.

	Peu dangereuses ( $h < 1$ m et $v < 0.5$ m/s)
	Dangereuses ( $1 < h < 2$ m ou $v > 0.5$ m/s)
	Très dangereuses (cuvettes - $h > 2$ m)

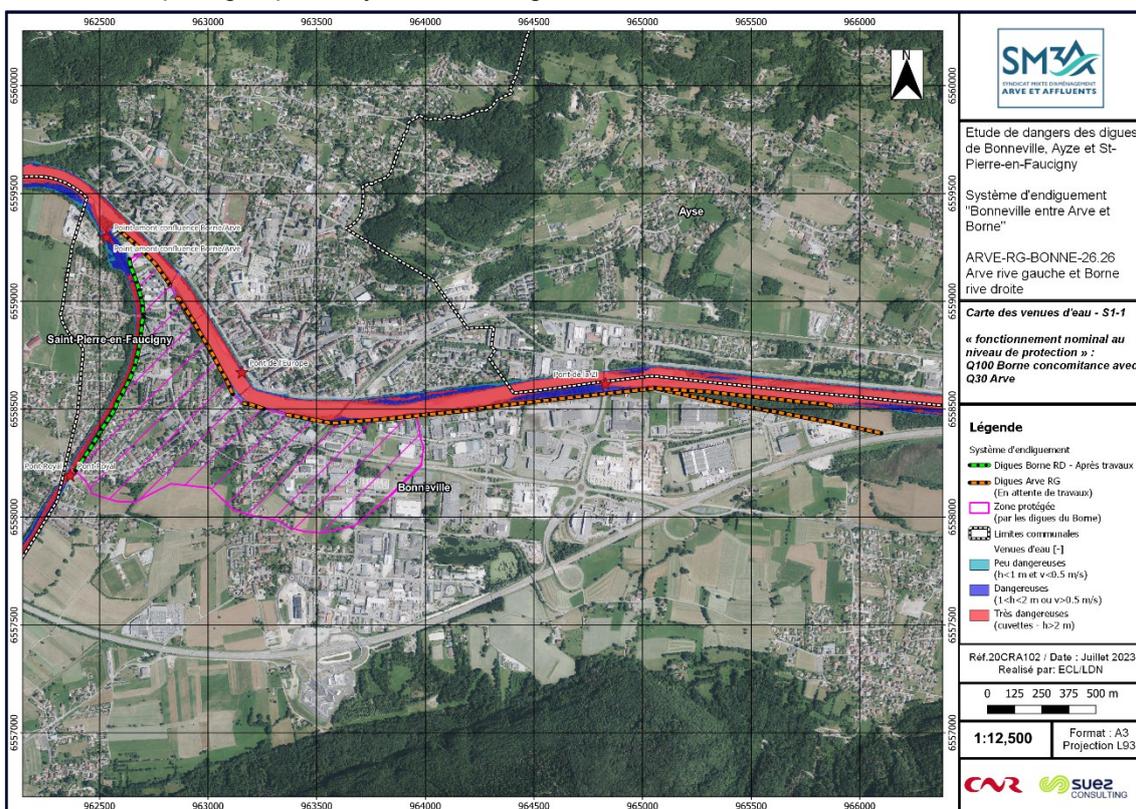
**NB : remarques importantes pour la lecture des cartes :**

Les cartes représentent les enveloppes d'extension maximale de la zone inondée pour chaque scénario simulé (cas le plus défavorable).

### 8.5 Scénario 1 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (digues du Born rive droite)

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'étude de dangers, le scénario 1 représente le fonctionnement nominal du système d'endiguement dans le cas du passage d'une crue correspondant au niveau de protection du système (Q100). On admettra que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de 5 % au plus.

Sur la carte des venues d'eau ci-dessous, on constate que la crue centennale ne déborde pas dans la zone protégée par le système d'endiguement en situation de travaux achevés.



### 8.6 Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'étude de dangers, 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 de l'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture supérieur à 50 %.

Dans le cas des digues présentes en rive droite du Borne, la défaillance structurelle est représentée par l'ouverture de deux brèches dans le corps des digues, sur une occurrence de crue tricentenaire (Q300).

Deux sous-scénarios sont modélisés (S3.1 et S3.2). Les caractéristiques des brèches sont données dans le chapitre 8.

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

Sur les deux sous-scénarios, les cartographies des venues d'eau montrent qu'une partie de la zone protégée est inondée.

A la suite des cartographies (valeurs maximales des inondations), la propagation de l'onde de submersion en fonction du temps est donnée sous forme de figures successives des animations de la modélisation (à partir du moment du début de l'ouverture des brèches).

## 8.6.1 Scénario 3.1 : ouverture d'une brèche dans la digue de Bois Jolivet

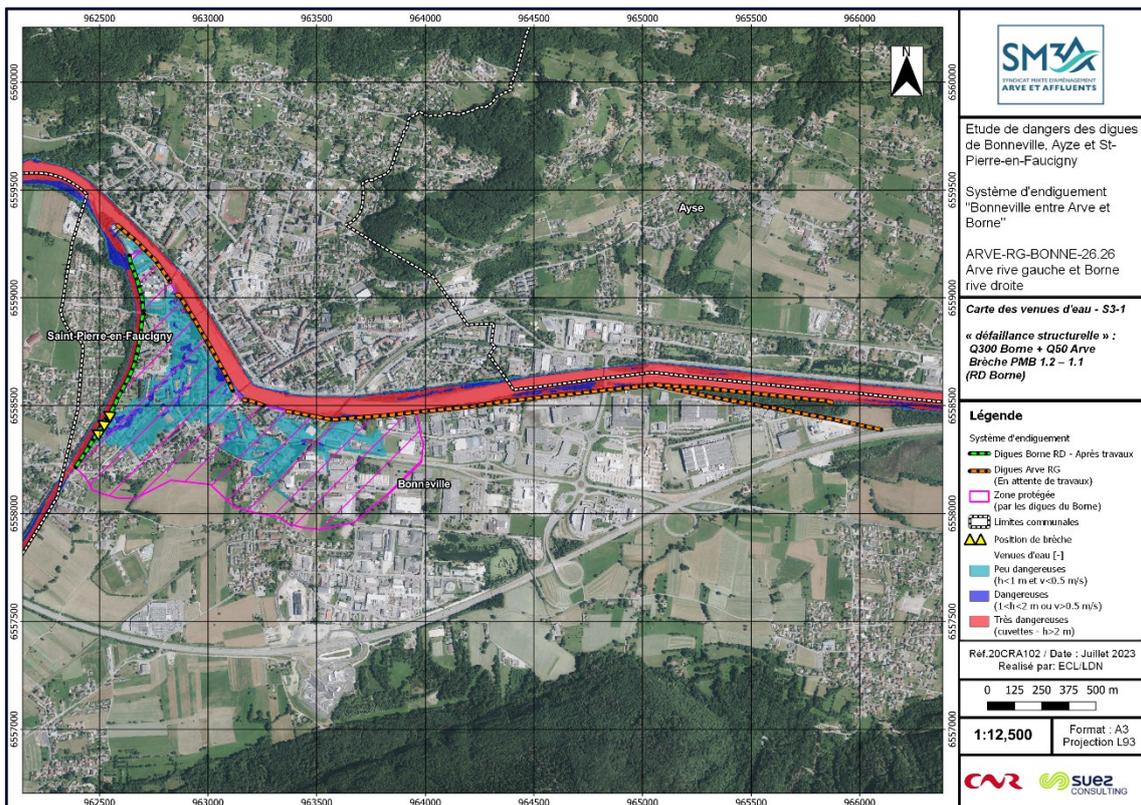


Figure 154 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

Ci-dessous une description et une série de cartographies de la propagation de l'onde de submersion en fonction du temps (l'onde de submersion est représentée sous forme de hauteurs d'eau) :

- ✓ Environ 1 heures après l'ouverture de la brèche dans la digue de Bois Jolivet, une partie du quartier de Bois Jolivet est inondée. Le hauteurs d'eau sont inférieur à 50 cm.
- ✓ Environ 2 heures après l'ouverture de la brèche, l'inondation se propage vers le nord-est de la ZP. Plusieurs habitations sont inondées. A noter que les hauteurs d'eau sont accentuées par l'effet « cuvette » en présence des digues de l'Arve.
- ✓ Environ 3 heures après l'ouverture de la brèche, l'enveloppe inondée est sensiblement la même que à deux heures de l'ouverture. Néanmoins, les hauteurs d'eau augmentent.

Etude de dangers des digues de Bonneville, Aize et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" - ARVE-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

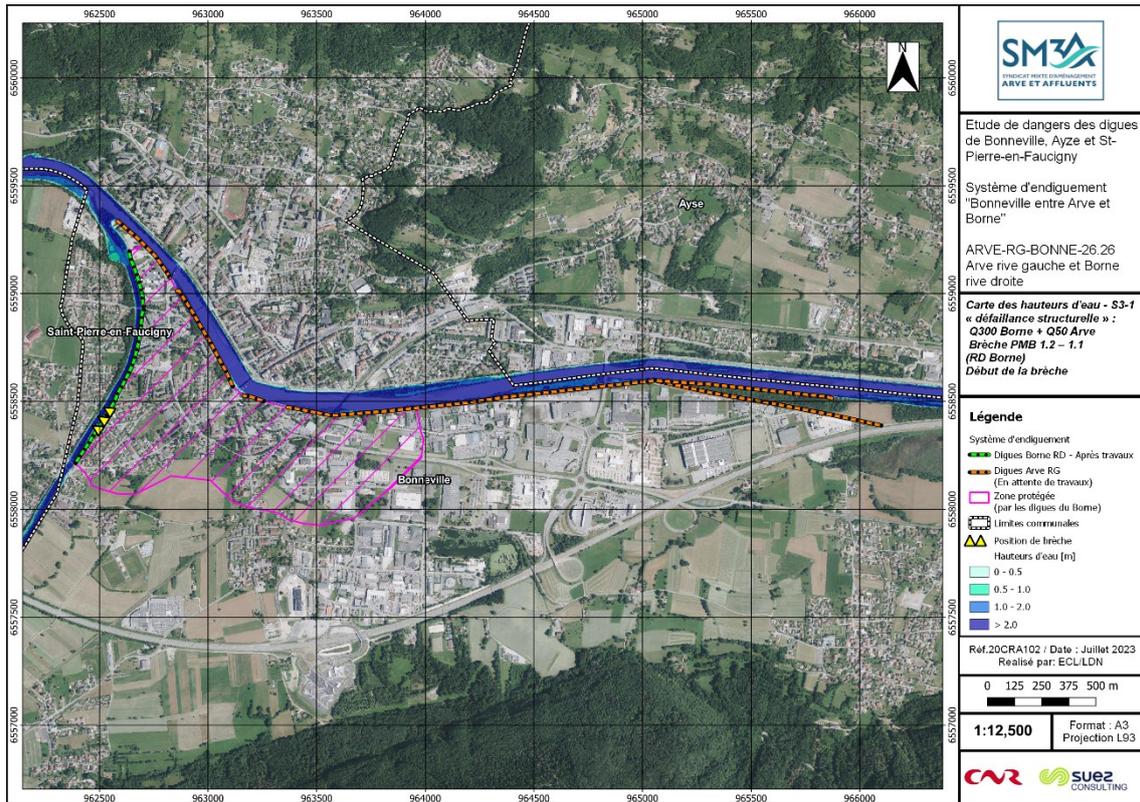


Figure 155 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche

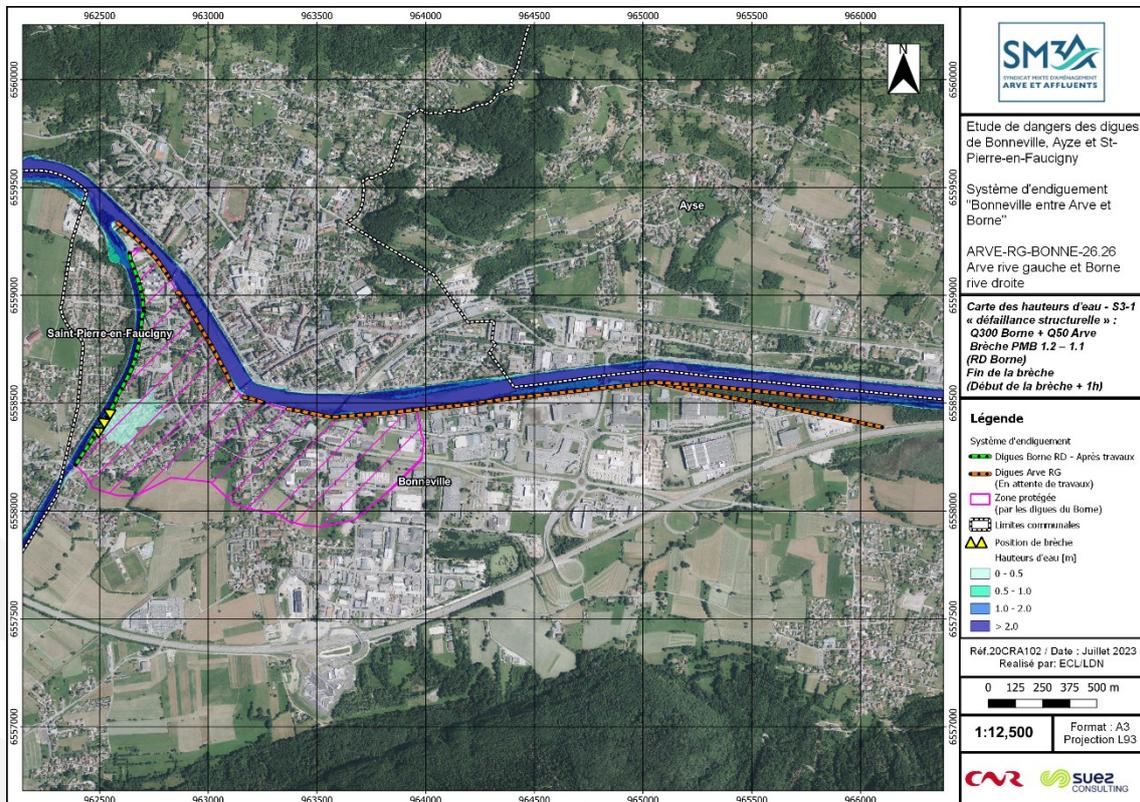


Figure 156 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 1h00

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" - ARVE-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

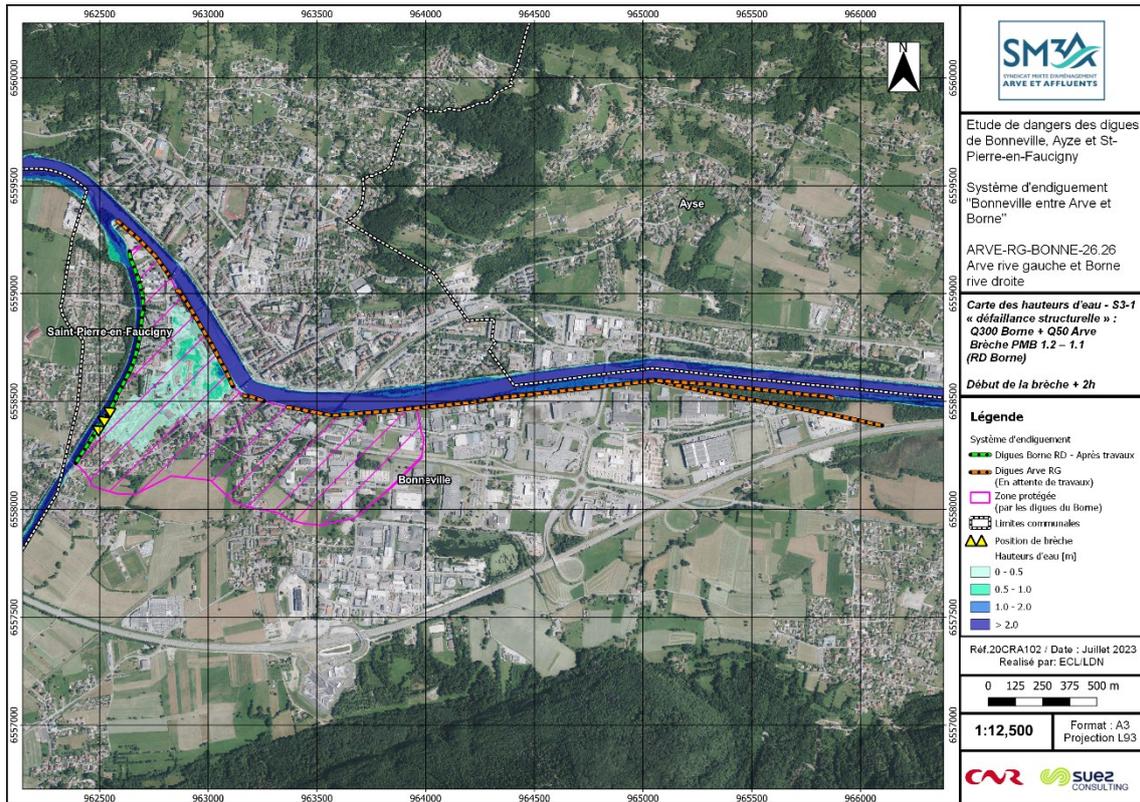


Figure 157 : Défaillance structurale 3-1 – début de la brèche + 2h00

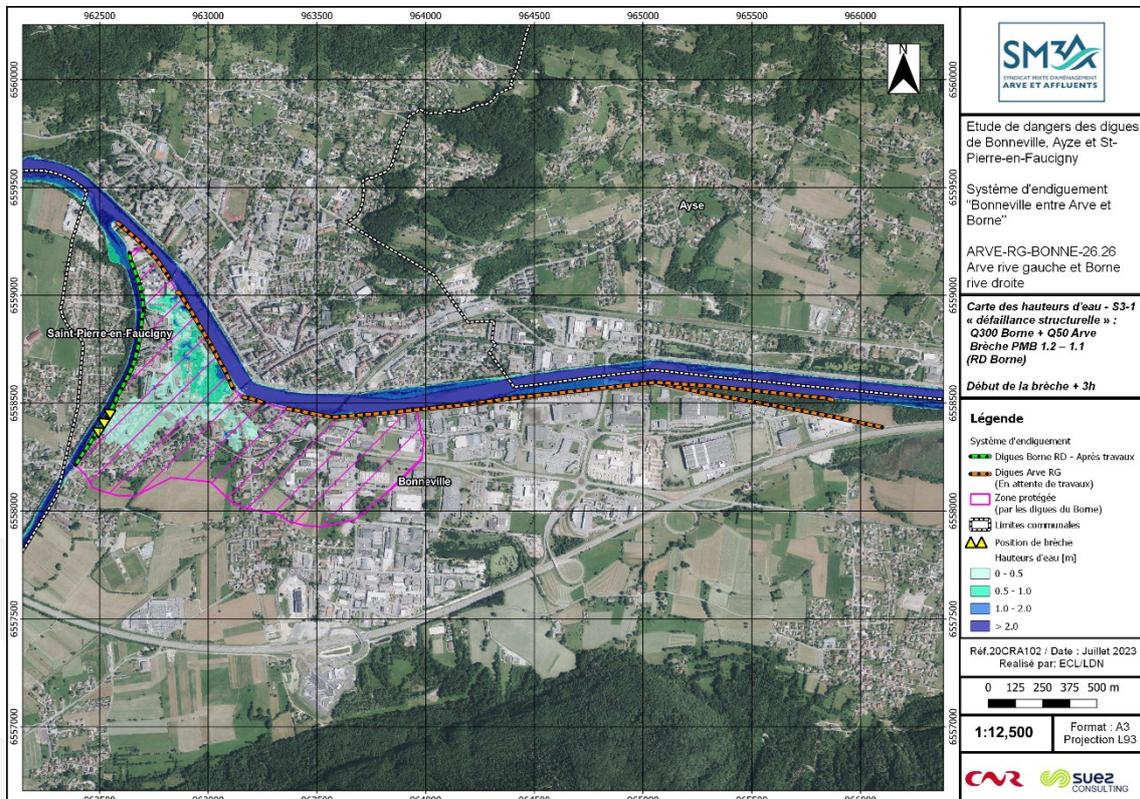


Figure 158 : Défaillance structurale 3-1 – début de la brèche + 3h00

### 8.6.2 Scénario 3.2 : ouverture d'une brèche dans la digue de la Queue du Borne

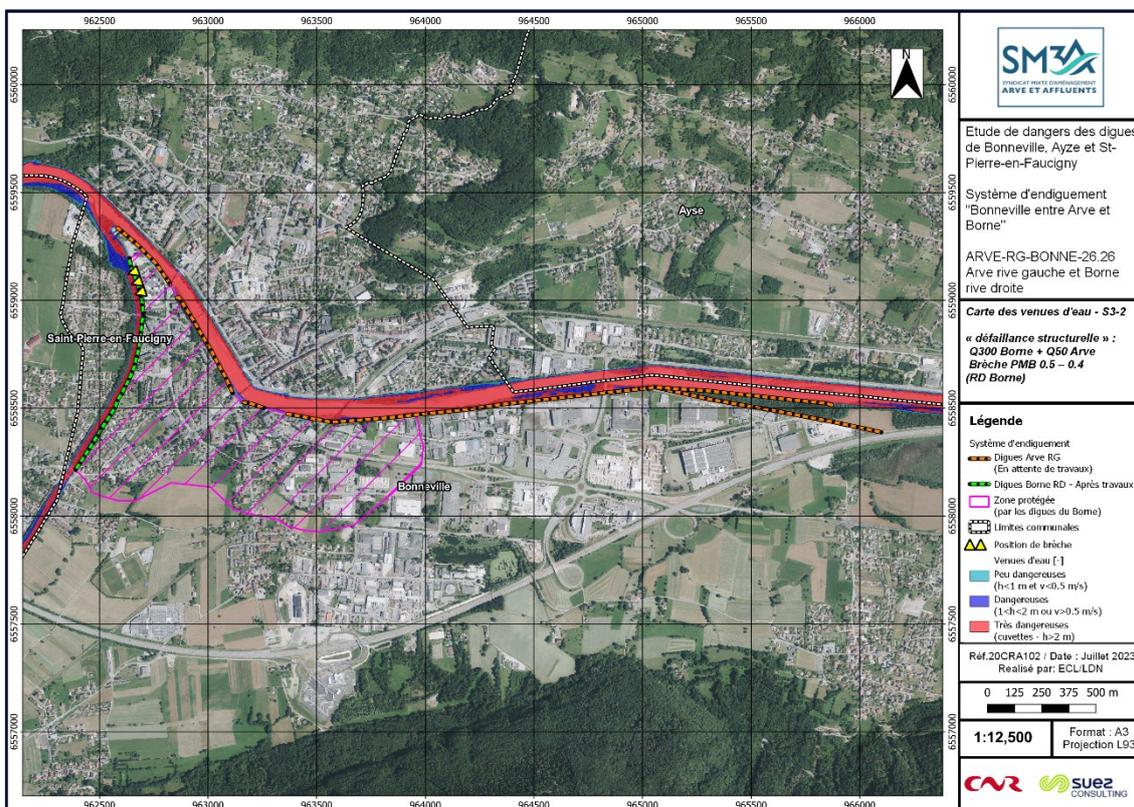


Figure 159 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

La cartographie montre que la zone protégée par les digues du Borne n'est pas inondée suite au passage d'une crue tri-centennale du Borne et l'ouverture d'une brèche dans la digue de la Queue du Borne. Ce constat est valable lorsque le débit dans l'Arve est inférieur à la crue décennale (en attendant les travaux – cf. dossier réglementaire « Arve »).

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

Le SM3A est organisé de manière structurée pour répondre en cas de crise, notamment en cas de crue, pour surveiller voire intervenir en cas de désordres. Etant donné l'étendue du périmètre, le SM3A se focalise sur une centaine de points sur l'ensemble de son Bassin versant et priorise les systèmes d'endiguement en fonction des événements rencontrés.

Les niveaux de veille, alerte et post-crue sont bien décrits dans les consignes de surveillances générales. Les PCS des communes intègrent aussi l'aspect gestion de crue. Des réunions entre PCS et Communes sont nécessaires pour uniformiser les actions en crue.

Pour ce qui est de l'endiguement en lui-même, 4 échelles limnimétriques sont identifiées pour la gestion des montées de crues.

Le SM3A, gestionnaire du système d'endiguement, a édité à l'échelle du bassin versant de l'Arve un document intitulé : « Consignes générales de surveillance et d'exploitation - Ouvrages classés ou à classer constitutifs de systèmes d'endiguement », novembre 2017.

Ce document, qui a été transmis au Préfet, précise l'organisation du gestionnaire pour assurer l'exploitation, l'entretien et la surveillance des ouvrages, conformément à l'Article R.214.122 I-2 du Code de l'Environnement. Cette organisation est définie à l'échelle du bassin versant de l'Arve, de façon globale, et non individuelle à l'échelle d'un ouvrage ou d'un système d'endiguement.

Des consignes spécifiques au Système d'Endiguement de la présente étude sont mises en place en complément.

Les éléments repris ci-après présentent donc l'organisation mise en place par le gestionnaire sur l'ensemble de son parc d'ouvrages, à l'échelle du bassin versant, et donc a fortiori sur le système d'endiguement de Bonneville entre Borne RD et Arve RG.

### 9.1 Organisation du gestionnaire

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

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

##### 9.1.1.1 Personnels

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, 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 5 techniciens 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 systèmes 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.

### 9.1.1.2 Moyens matériels

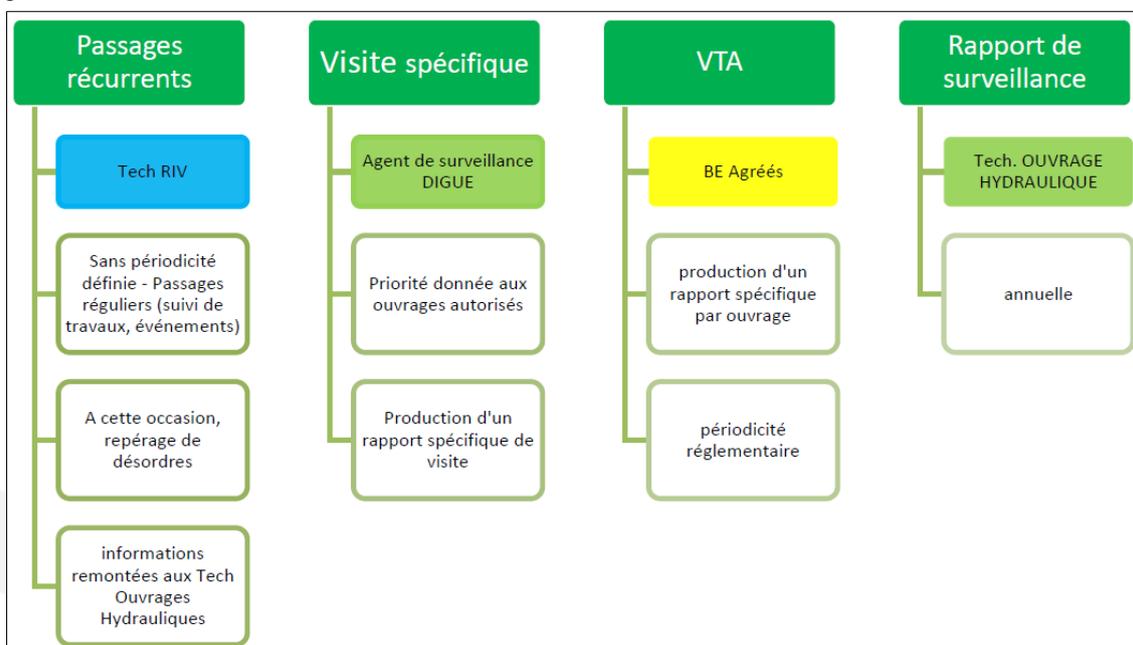
Un certain nombre de véhicules sont disponibles pour réaliser les visites et autres interventions sur le terrain. Le détail de ces véhicules et du matériel nécessaire pour le suivi sur le terrain sont précisés dans la consigne générale de surveillance (réf. [DA12]).

Ces moyens comprennent notamment :

- Les Equipements individuels de formation ;
- Les véhicules dédiés aux interventions sur les systèmes d'endiguements ;
- Les kits inondations (phares, cartes, chasuble fluo, casque de chantier, etc.) ;
- Un logiciel permettant notamment de saisie des désordres (SIRS digue) et une tablette.

### 9.1.2 Organisation des missions de surveillance générale

Une organisation spécifique entre les deux pôles a été mise en place pour assurer la surveillance générale :



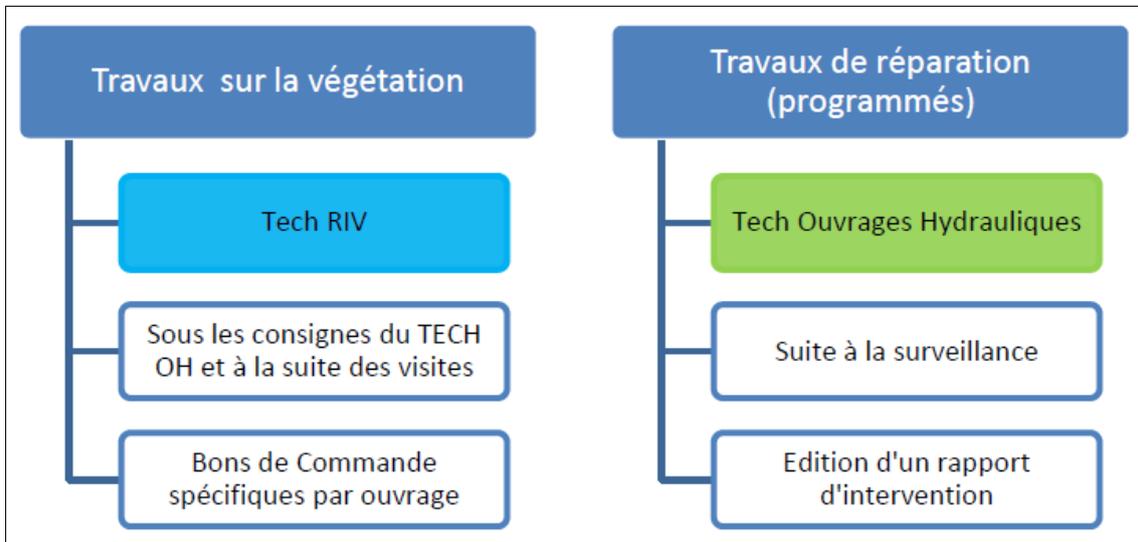
Pour faciliter les échanges entre Pôle « prévention des inondations » et « entretien et surveillance des cours d'eau », une réunion annuelle est organisée en février ou mars. A cette occasion, sont données les consignes d'entretien de la végétation sur les ouvrages classés. De même, des réunions bimensuelles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

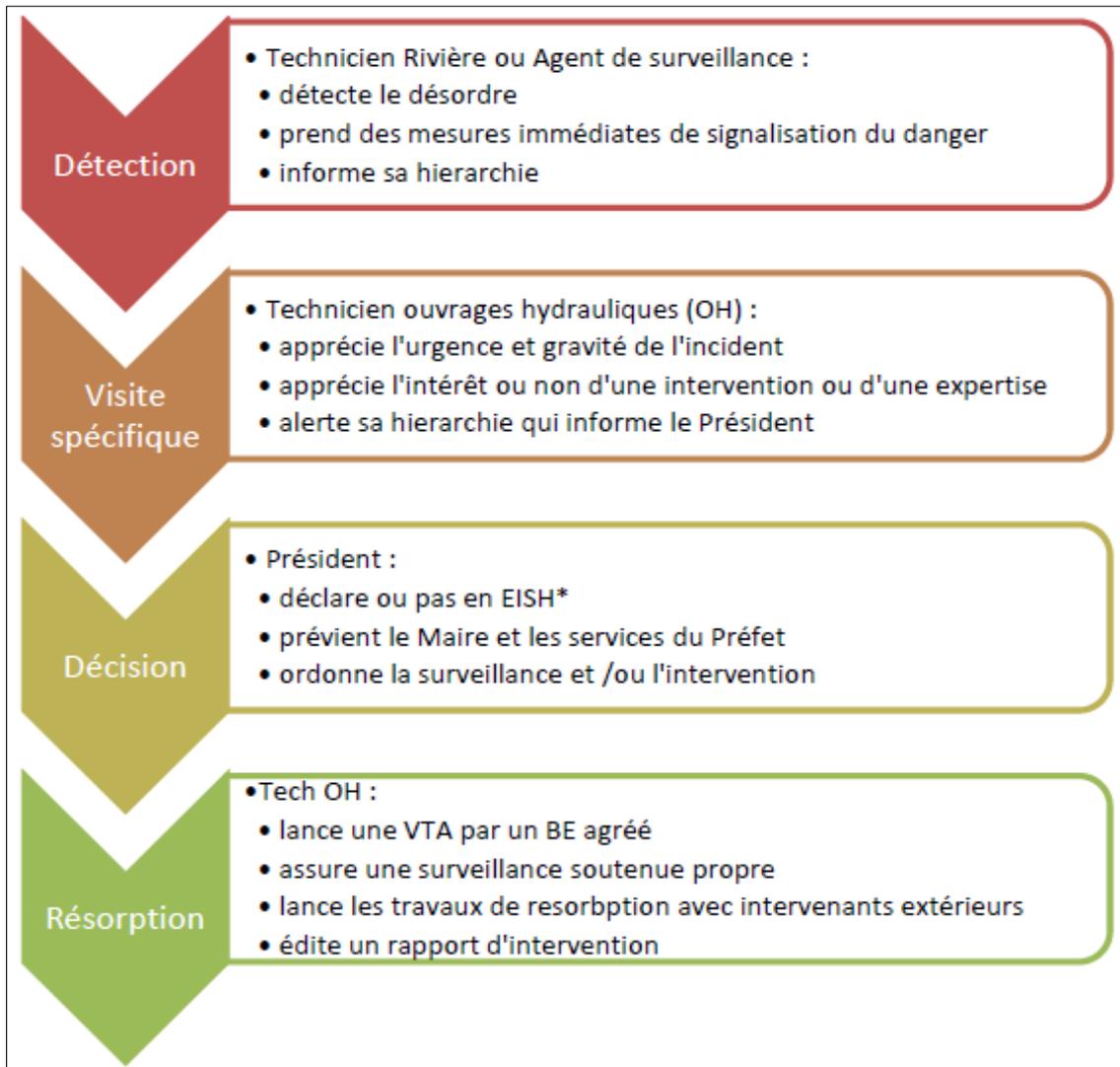
### 9.1.3 Organisation des interventions programmées

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.



### 9.1.4 Organisation lors d'un désordre détecté sur ouvrage



\* EISH : événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH)

### 9.1.5 Entreprises et prestataires sous contrat

Le SM3A dispose de plusieurs marchés sous forme d'accords-cadres lui permettant de faire intervenir des prestataires sur les cours d'eau et les ouvrages classés Système d'Endiguement.

Liste des prestations externalisées :

- Relevés topographiques, bathymétrie, et LIDAR (cette dernière prestation est généralement engagée après des événements marquants) ;
- Visites techniques approfondies réalisées par des bureaux d'études spécialisés disposant de l'agrément « Digués et petits barrages ». Ces prestataires sont également mandatés lors d'expertise exceptionnelle sur des incidents pouvant compromettre la sécurité d'un ouvrage ;
- Pose et fourniture d'échelles limnigraphiques et bornes de repérage spécifiques aux ouvrages classés ;
- Travaux d'entretien des boisements en bord de cours d'eau ou sur les ouvrages ;

- Travaux de curage des cours d'eau. Marché alloti géographiquement et confié à plusieurs entreprises de travaux publics. Ce marché est utilisable pour des interventions d'urgence ;

**Les moyens humains et matériels et l'organisation générale du SM3A est en adéquation avec l'objectif de protection.**

## 9.2 Consignes de surveillance et d'exploitation des ouvrages hors période de crise

### 9.2.1 Consignes générales de surveillance

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.

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

#### 9.2.1.1 Passages récurrents

Il s'agit de passages réguliers réalisés par les techniciens à l'occasion de leurs différentes tournées sur le terrain. Le technicien 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 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.

### 9.2.1.2 Visite spécifique de surveillance (visite programmée)

L'ensemble des ouvrages classés en système d'endiguement fait l'objet d'une visite annuelle. Cette visite annuelle pourra être complétée de visites supplémentaires sur les ouvrages de catégorie A mais également sur des tronçons sensibles : soumis à une mise en charge fréquente du fait de configuration particulière (cours d'eau à lit perché), et/ou protégeant des enjeux significatifs.

Cette visite est réalisée à pied par un à deux techniciens, à un rythme moyen estimé à environ 6 à 7 km de digue par jour.

Les parements amont et aval ainsi que la crête sont observés. Sont principalement recherchés sur l'ouvrage :

- L'accessibilité de la digue et la libre circulation,
- Les désordres sur le corps de digue et les perrés ;
- Les travaux réalisés par des tiers.

D'un point de vue matériel, le technicien dispose d'un appareil photo et d'un GPS et les désordres significatifs sont repérés à la bombe.

Un rapport est rédigé et des extraits permettent d'alimenter le registre de l'ouvrage. Une fiche désordre peut être renseignée en fonction des conclusions de la visite et le technicien peut préconiser un suivi du désordre, un diagnostic détaillé voire une intervention de travaux.

### 9.2.1.3 Visites Techniques Approfondies (VTA)

Les visites techniques approfondies VTA sont réalisées par un bureau d'études agréé « Digues et petits barrages » et dans les mêmes conditions d'exigences du SM3A s'agissant de la sécurité des agents.

Ces visites sont réalisées par deux personnes à vitesse lente (en moyenne 3 km de digue par jour). La crête et les parements amont et aval sont inspectés préférentiellement en période de basses eaux et hors période de végétation.

Les observations (structures, réseaux, végétation, désordres, etc.) sont saisies sous le logiciel SIRS digue et un compte rendu détaillé est produit présentant les différents secteurs observés avec photographies et commentaires. Dans les conclusions du rapport, des préconisations sont apportées sur les éventuelles actions à mener par suite des observations de désordres.

## 9.2.2 Consignes d'exploitation des ouvrages

Les travaux d'entretien et d'exploitation des ouvrages classés en système d'endiguement prennent en compte les différents plans de gestion déjà établis et notamment :

- Plans de gestion des matériaux solides ;
- Plans de gestion des boisements de berges et du bois mort.

### 9.2.2.1 Plans de gestion des matériaux solides

Le SM3A dispose de plans de gestion et de DIG correspondantes sur l'Arve et une partie de ses affluents, travaille à l'élaboration des plans sur les affluents qui en sont actuellement dépourvus, et à leur renouvellement le cas échéant.

La gestion des matériaux solides a pour objectif de répondre à des problèmes ponctuels tout en tenant compte du fonctionnement global du transport solide sur l'ensemble des cours d'eau du bassin versant de l'Arve.

Les plans de gestion des matériaux solides du bassin versant de l'Arve ont pour objet le respect d'un profil qui permet à la fois de répondre aux problèmes d'inondation et de maintenir un équilibre global pour la rivière ainsi que la mise en œuvre d'opérations permettant de répondre spécifiquement aux enjeux du territoire.

Ces plans de gestion doivent permettre au SM3A d'appliquer toutes les modalités techniques de gestion du transport solide nécessitées par le respect d'un « profil référence » du cours d'eau, tout en respectant les contraintes d'ordre réglementaire et juridique.

L'objectif est d'élargir le champ de réflexion des interventions de gestion du lit à des tronçons homogènes plus larges et d'avoir une vue globale des interventions sur l'ensemble du bassin.

Ces plans de gestion s'appuient sur des diagnostics de la situation actuelle et prévisionnelle pour l'ensemble des cours d'eau du bassin versant de l'Arve. Des modalités de suivi du lit sont également définies sur l'ensemble du cours afin de connaître les écarts par rapport au « profil de référence » et de motiver des interventions d'entretien ou de stabilisation adaptées à l'évolution morpho dynamique du lit.

Pour rappel, la revanche importante entre la ligne d'eau Q100 et la crête de digue aménagée permet d'intégrer des potentiels oscillation de fond de lit liées à des apports ou reprises de matériaux par charriage.

Un suivi topographique (bisannuel) du fond de lit est nécessaire (profils en long, lidar...). Également, les échelles limnimétriques permettront de suivre les niveaux du fond de lit lors des reconnaissances terrain par les techniciens.

Il est important de coupler le plan de gestion des matériaux solides au plan de gestion de la végétation (voir ci-dessous). Cela concerne par exemple les bancs alluviaux qu'il faut maintenir en situation mobile (limiter la végétation, scarifier...).

### **9.2.2.2 Plans de gestion des boisements de berge**

Le plan de gestion des boisements de berge et du bois mort concourt à restaurer le bon état des berges par des travaux simples sur les boisements, afin de réguler les risques hydrauliques (inondations, érosions) tout en améliorant les fonctions paysagères et écologiques du milieu.

Plusieurs types d'intervention sont possibles selon les situations : abattage d'arbres instables, élagage des branches gênantes, débroussaillage, dégagement d'embâcles dangereux, recépage, bouturage, etc.

La méthode utilisée pour définir les plans de gestion des boisements de berge et du bois mort s'appuie sur les principes suivants :

- Adapter le niveau d'entretien aux enjeux concernés, que ces derniers soient situés sur le tronçon lui-même (ex : fonctionnement hydro morphologique, incisions) sur un secteur situé en aval (ex : risque d'obstruction d'un ouvrage par des corps flottants) ou plus globalement (amélioration du fonctionnement biologique par une gestion de boisement adaptée, préservation de milieux remarquables) ;
- Prendre en compte de manière équilibrée tous les éléments qui concourent à l'élaboration d'un plan de gestion à l'échelle de la rivière :
  - Risque hydraulique lié à l'état de la végétation et à l'encombrement du lit ou des ponts par du bois mort ;
  - Impact des incisions sur les infrastructures et habitations proches ;
  - Prise en compte du patrimoine faunistique et floristique par la préservation ou la mise en valeur du milieu naturel et des sites remarquables.

### **9.2.2.3 Travaux de gestion de la végétation sur le système d'endiguement**

La gestion de végétation se fait par travaux d'entretien, mécaniques ou manuels, et par abattage d'arbres.

En présence de végétation boisée à différents stades de développement, une gestion planifiée peut être envisagée. En effet, une gestion au coup « par coup » peut s'avérer couteuse et peu efficace. Un plan de gestion de la végétation sera mis en place. Il permettra une gestion raisonnée et simplifiée en termes de temps, d'objectifs et de dépenses. Cet outil est appuyé sur des prescriptions sylvicoles en adéquation avec la sécurisation des digues.

Le plan de gestion de la végétation définit les objectifs et le programme de travaux pour une durée de 10 à 15 ans. Il assure des fonctions de communication, de négociation, un appui

technique, écologique et financier en lien avec les différents acteurs concernés de près ou de loin par les ouvrages de protection contre les inondations.

Le plan de gestion a pour base la sectorisation et la priorisation des actions, il a pour but de :

- Diagnostiquer et cartographier la végétation, les enjeux de biodiversité et sociétaux ;
- Fixer des objectifs atteignables par la gestion /modalité de gestion mise en place
- Définir des consignes, des actions et les prioriser ;
- Définir, décrire et assurer une cohérence des actions ;
- Répartir les coûts ;
- Avoir une traçabilité des travaux effectués et à effectuer.

En sachant que la digue est colonisée par la végétation, ce qui présente un risque considérable sur la stabilité de l'ouvrage (érosion interne et glissement), il est possible de proposer les modalités et les consignes suivantes afin de diminuer la densité du boisement et rajeunir ce dernier :

- Sur la digue : coupe d'éclaircies ;
- Sur le franc-bord : diminuer la densité, le diamètre et la hauteur des arbres ;
- Sur la berge : les grands arbres sont à proscrire ; seule une végétation souple et basse est autorisée.

La végétation a été répartie selon trois types correspondant à diverses méthodes entretiens comme le présente les parties ci-après :

- **Arbres avec un diamètre de 25 cm** : l'entretien de ces individus correspond à des opérations forestières consistant à élaguer, démonter, abattre et dessoucher. L'abattage des arbres doit avoir lieu avant qu'ils n'atteignent un diamètre de 25 cm à la souche. L'abattage est suivi du dessouchage et d'une remise en état de la portion de digue concernée (cf. tableau ci-dessous).

**Tableau 55 : Technique de confortement de digue après dessouchage**

Méthode	Position	Description
Remblaiement ponctuel	Val	Mise en place d'un remblai correctement compacté après abatage ou dessouchage.
Recharge étanche	Rivière	Mise en place d'une recharge en matériaux très peu perméables directement après l'abatage ou le dessouchage.
Coupure étanche	Parements	Mise en place de palplanches ou d'une paroi au coulis après le pourrissement des racines (maximum 10 ans après l'abattage).

- **Végétation arbustive** : La végétation arbustive pourra être conservée, mais toujours entretenue de façon à ne pas gêner l'inspection visuelle de l'ouvrage ou causer des désordres. Les opérations sont du fauchage mécanique, du débroussaillage mécanique ou manuel et de l'élagage.
- **La végétation herbacée** : Les interventions d'entretien sur ce type de végétation peuvent se réaliser par des fauchages mécanique (épareuse) lorsque le site est accessible et la surface grande. Sinon il peut être utilisé des techniques manuelles (débroussailleuse portée) lorsque la pente est importante ou qu'il y a de nombreux obstacles. Les opérations de fauche se pratiquent de façon

annuelle pour les herbacées hautes et plus fréquemment en présence d'herbacée à développement rapide ou pour des besoins de surveillance (post crue, VTA, etc.).

L'entretien et le suivi de la végétation sont primordiaux les trois premières années qui suivent la plantation afin de s'assurer de la bonne reprise des plants. L'entreprise qui effectue les plantations doit délivrer une garantie de recouvrement et de reprise sur 2 à 3 ans (deux cycles phénologiques). Les arbustes défectueux seront remplacés. Les tailles nécessaires seront réalisées. Un contrôle des espèces végétales invasives (Renouée du Japon, Buddléia de David, etc.) sera effectué. Ensuite, il est important de réaliser un entretien régulier de la végétation (tous les 2 à 4 ans). Le premier entretien aura donc lieu environ 6 ans après les plantations. Il s'effectuera pendant la période de repos de la végétation. Cet entretien consiste en :

- Élagage des branches basses pour les plantations en haut de berge ;
- Coupe d'éclaircie pour favoriser la diversité et la croissance des arbres préalablement sélectionnés ;
- Dédoublage des cépées, les branches et troncs de largeur importante étant à éviter en berge de rivière ;
- Recépage des arbres morts et de la végétation vieillissante ;
- Dégagement des jeunes semis ou plants ;
- Débroussaillage des ronciers.

Il est à noter que dans le cadre des systèmes d'endiguement de Bonneville, une expertise sur la végétation a été réalisée par Arbeausolution en 2017, conduisant à l'élaboration d'un diagnostic et de mesures de gestion de la végétation spécifiques.

Le SM3A n'a pas de plan de gestion de la végétation établi par tronçon homogène, mais applique des mesures générales, qui sont adaptées par les agents en charge de la surveillance et de l'entretien des ouvrages. Ces principes de gestion sont dans ce chapitre 9.

Par ailleurs, après travaux, un suivi et un entretien de la végétation est prévu dans les trois premières années qui suivent la plantation afin de s'assurer de la bonne reprise des plants. L'entreprise qui effectue les plantations doit délivrer une garantie de recouvrement et de reprise sur 2 à 3 ans.

#### 9.2.2.4 Travaux de réparation

Pour les travaux d'entretien et de confortement des digues du bassin versant de l'Arve, le SM3A dispose de marchés sous forme d'accords-cadres par lots géographiques. Les modalités de réalisation des différents types de travaux sont annexées aux consignes générales d'exploitation et de surveillance des ouvrages.

### 9.3 Procédure d'information et de communication

#### 9.3.1 Chaîne 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.

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.

### 9.3.2 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).

### 9.3.3 Organisation en cas de crise

En cas de crise, la direction des opérations (DGS et DGST), sous l'autorité du Président du SM3A, assure la direction des opérations (DO). Les relations entre la DO et les différents acteurs est détaillée au § 9.5.2.3.

## 9.4 Moyens d'information sur les crues ou les épisodes météorologiques à risque

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.

## 9.4.1 Les limites techniques

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

Le bassin versant de l'Arve se caractérise par :

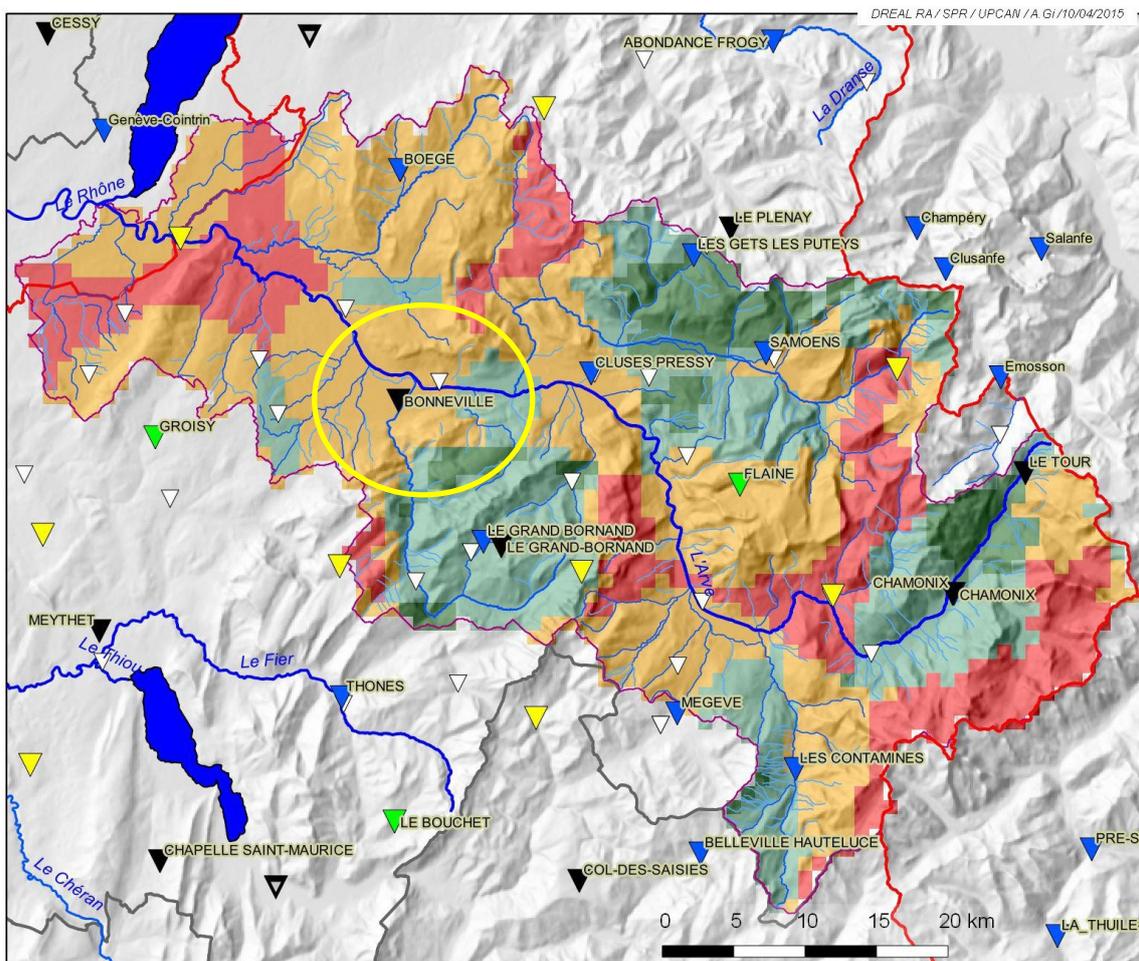
- Un régime d'écoulement des cours d'eau fortement influencé par l'accumulation des précipitations sous forme de neige durant l'hiver, période de basses eaux, et par la fonte de cette neige au printemps, voire même de la glace en été, période de hautes eaux.
- Une possibilité de fortes précipitations 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.

### 9.4.1.2 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.

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE



**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

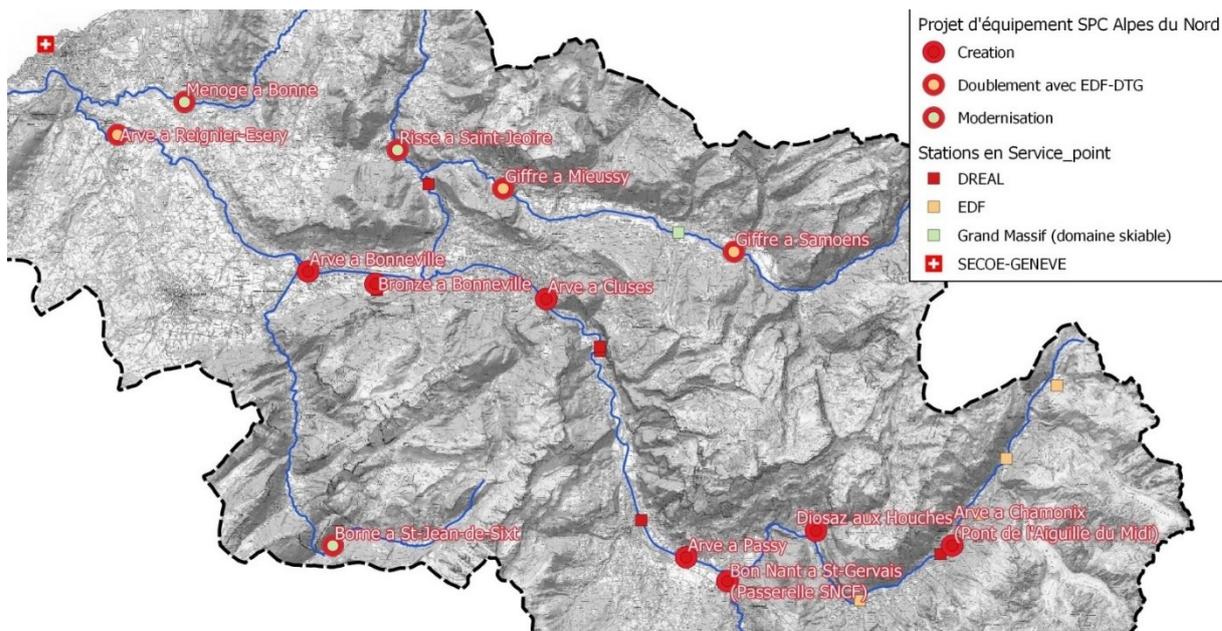
Carte extraite du rapport du Service de prévention des crues (SPC) Alpes du Nord

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

## Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

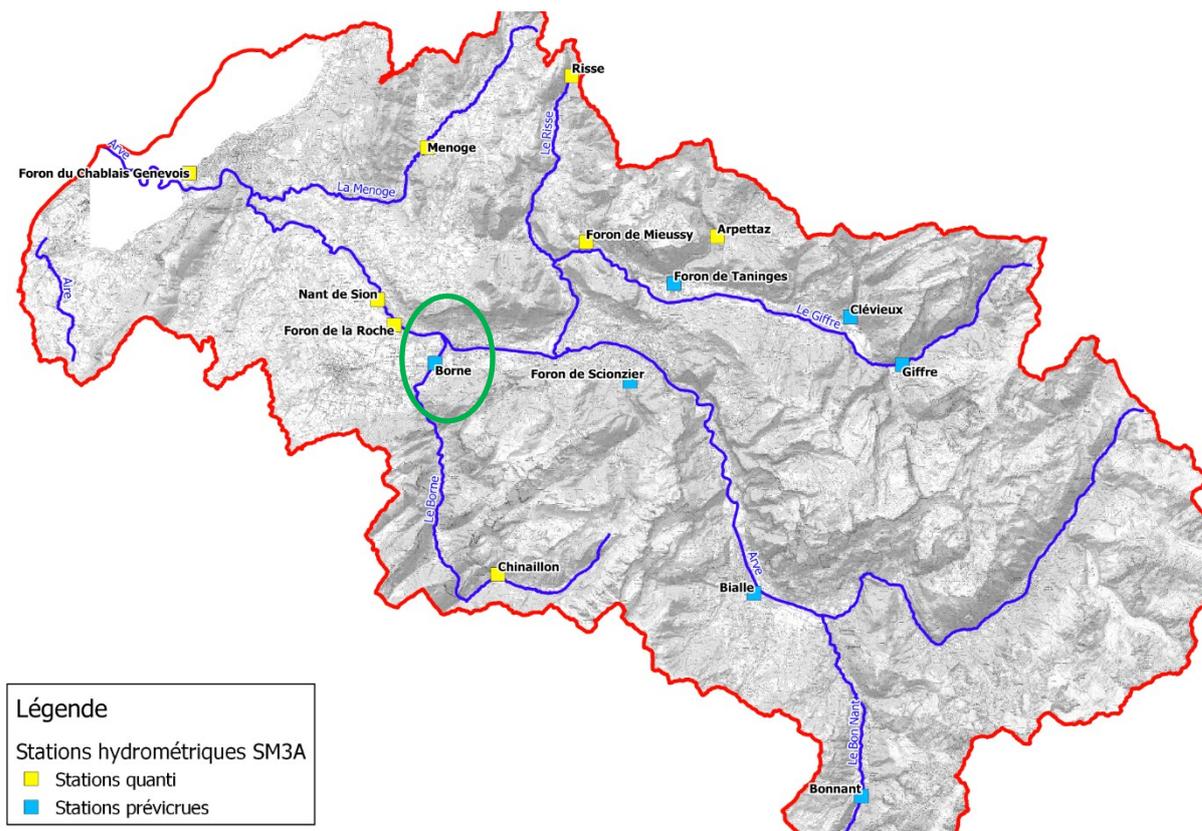
- 11 stations DREAL (pas de temps de 10-12 min)
- 2 stations EDF (pas de temps de 1 heure)
- 2 stations Canton de Genève (pas de temps de 25 min)
- 15 stations SM3A, dont 7 à vocation d'alerte en crue et 8 pour la quantification de la ressource en eau (mesure de hauteur avec courbes de tarages provisoires, 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.



*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 dont 7 stations ont un objectif de prévision des crues et d'alerte.



*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 »)*

#### 9.4.1.3 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 (cf. § [Vigicrues](#)) 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.

### 9.4.2 Dispositifs de veille opérés par les services de l'Etat

#### 9.4.2.1 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 des 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 :

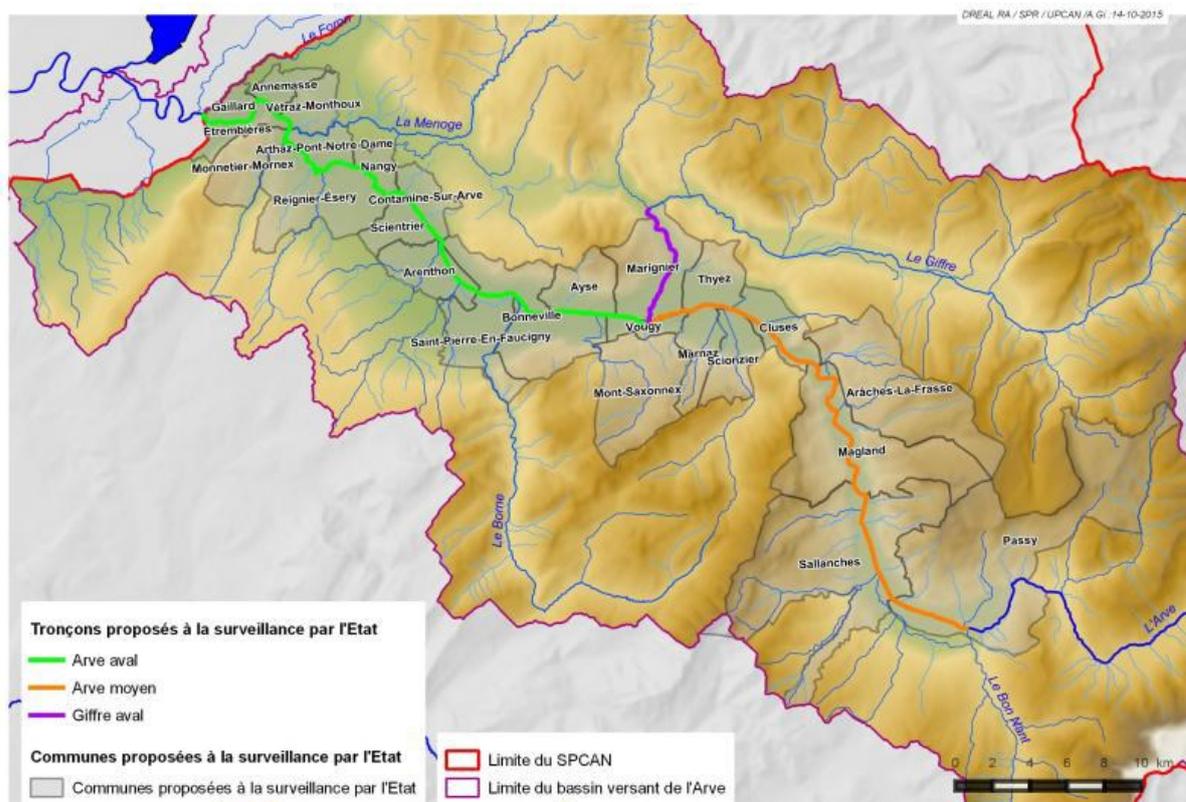
- l'envoi d'un SMS : 1 série de 4 numéros de téléphone. Appel en cascade : le premier ne validant pas la réception du SMS, le second numéro est contacté jusqu'à l'obtention d'une réponse par retour de code.
- l'envoi de Mails sur plusieurs adresses (3 adresses spécifiques + mail général SM3A)

#### 9.4.2.2 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.

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

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	2m80	280 m³/s	2m70 à 2m90	230 à 250 m³/s
	1 <sup>er</sup> 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)

### 9.4.2.3 Outils de prévision du SM3A

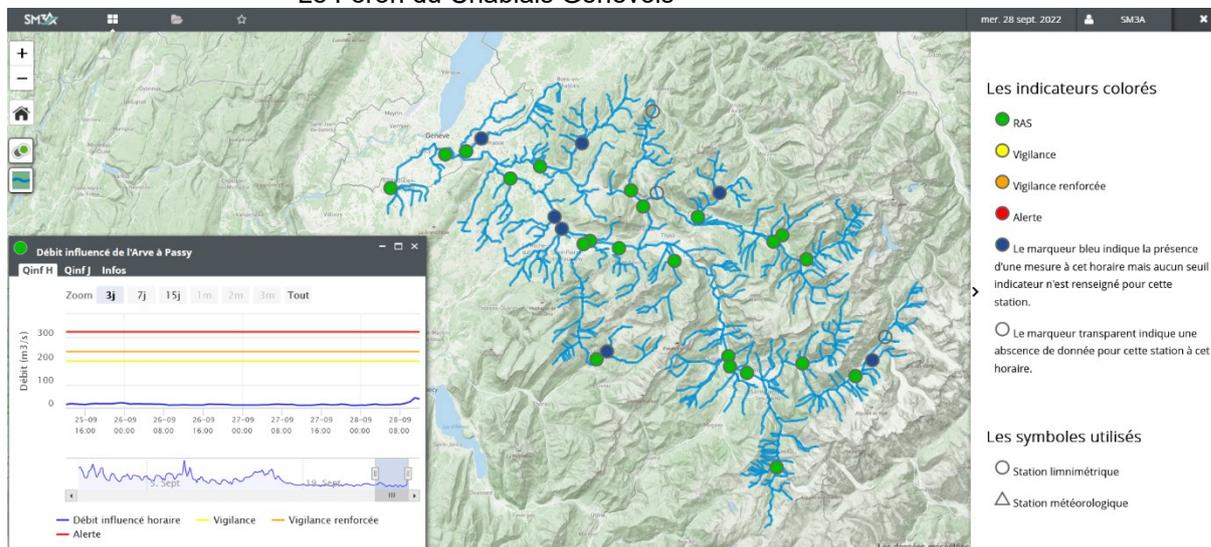
Pour répondre à son besoin de suivi des débits des cours d'eau et d'alerte en crue, le SM3A a engagé en 2020 un marché avec EDF pour le développement d'un outil de prévision des crues et de supervision des stations hydrométriques du bassin versant.

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)).

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

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



*Superviseur sur interface web produit par EDF pour le compte du SM3A*

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.

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

Bulletin émis le  
mercredi 28 septembre 2022 à 12:17  
Prochain bulletin le  
jeudi 29 septembre 2022



Bulletin quotidien  
SM3A

## SITUATION ET ÉVOLUTION MÉTÉOROLOGIQUE

La vaste système dépressionnaire centré dorénavant sur le Bénélux est au cœur de son action sur les Alpes aujourd'hui. Une vague pluvieuse plutôt conséquente va donc concerner nos secteurs. Le système étant orographique, les cumuls pouvant être conséquents par endroit avec une LPN oscillant autour de 2000 m. La dépression va ensuite s'étirer et se disperser progressivement jeudi et le flux va basculer en ouest vendredi et nos secteurs resteront en bordure d'une dépression venue d'Angleterre dont les principaux effets seront cantonnés au nord de nos secteurs samedi (à confirmer vu la versatilité des modèles météo pour cette échéance). Le suite s'accorde sur le retour d'une poussée anticyclonique donc sec et plus lumineuse.

### AUJOURD'HUI: ...frès maussade...

Les précipitations seront soutenues mais modérées quasiment toute la journée dans une ambiance un peu radoucie avec LPN autour de 2000-2200 m. On attend jusqu'à 50-70 mm sur la plupart des bassins des Alpes du Nord (belle orographie) et Ain/Jura ainsi que 30-40 millimètres sur la Rhin. Le cumul seront plus sobres sur les bassins les plus au sud (Drac ainsi que le Vercors) avec entre 20 et 30 mm. La haute Maurienne sera un peu oubliée. Hydraulité en forte hausse dès cet après-midi.

### DEMAIN: ...retour progressif du sec...

Jeudi: Les précipitations de la nuit se dispersent progressivement dans la matinée et concernent les secteurs les plus au Nord et les Alpes Suisses. De belles pointes de crues sont attendues au petit matin. La couche neigeuse devient conséquente en haute-montagne (au dessus de 2500m environ) au terme de ces derniers jours de septembre bien humides.

### TENDANCE ULTÉRIEURE: ...Embellie brièvement interrompue par un petit passage pluvieux samedi...

Vendredi: belle embellie sous un ciel partagé. Hydraulité en baisse. Températures fraîches pour la saison.  
La suite: Samedi Une nouvelle dépression devrait s'échouer sur le nord de nos secteurs (Arve / Fier / Ain-Jura) et occasionner à nouveau de belles averses. Le sud restera en marge (incertain à confirmer dans les prochains bulletins). Par contre, la suite s'accorde sur un retour durable de conditions sèches.

### Mentions spécifiques:

Probabilité de dépassement des seuils:

Faible Risque	Risque	FORT RISQUE
0%	10%	100%

## PRÉVISION DES PLUIES ET DES DÉBITS

Précipitations probables (mm)

Régions	J 8h à J+1 8h	J+1 8h à J+2 8h
Arve	40-70	5-15
Fier	30-50	5-15
Tarentaise-Vanoisè	20-40	2-5

Prévision des débits moyens journaliers (m<sup>3</sup>/s)

Bassins	J-1 Q obs	J Q prévu	J+1 Q prévu
Arve à Arthaz (1050 km <sup>2</sup> )	32	42	70
Fier à Vallières (1300 km <sup>2</sup> )	20	40	32
Arve à Chamoniix (190 km <sup>2</sup> )	5.1	11	12
Giffre à Samoëns (Pont du Giffre) (195 km <sup>2</sup> )	8.4	13	22
Arve à Passy (514 km <sup>2</sup> )	13	25	40
Borne à Saint-Jean de Sixt (85 km <sup>2</sup> )	0.6	3.5	4.5
Foron du Chablais à Gaillard (38 km <sup>2</sup> )	0.0	1.2	1.0

☂: localement plus, \*: estimé, \*\*: station défaillante, italiques: suivi particulier

## ALTITUDE DE L'ISOTHERME 0°C (m)

ALPES DU NORD (Chamoniix)			
Aujourd'hui		Demain	
12h	24h	12h	24h
2400	2100	2100	2000

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).

### 9.4.2.4 Dispositif transitoire Arve médian – Arve aval – Giffre aval

Suite aux événements de mai 2015, la Préfecture de Haute-Savoie a souhaité mettre en place un dispositif transitoire d'annonce des crues, qui s'appuie sur les stations de surveillance de la DREAL, supports de dispositif Vigicrues :

Tronçon	Limite amont	Limite aval	Stations de référence
Arve Médian	Passy confluence Arve - Bon Nant	Marignier : confluence Giffre-Risse	Sallanches (DREAL)
Giffre aval	Marignier : confluence Giffre-Risse	Marignier : confluence Giffre- Arve	Marignier (DREAL)
Arve aval	Marignier : confluence Giffre- Arve	Gaillard : Arve à la frontière Suisse	Arthaz-Pont-Notre-Dame (EDF)

Figure 160 : Station de référence par tronçon de l'Arve

Deux niveaux d'alertes sont définis sur ces trois stations :

- **La surveillance renforcée** est assurée par le SPC Alpes du Nord qui s'appuie sur les prévisions quantitatives (cumul de précipitations en 24 h) pour les trois jours à venir (J à J+2) sur des zones hydrométéorologiques homogènes.  
Lorsque le cumul de pluie prévisionnel dépasse 40 mm sur 24h, le prévisionniste complète son analyse, notamment avec la limite pluie-neige, ainsi qu'avec les niveaux d'eau mesurés.  
Il peut décider de passer en surveillance renforcée, et envoie par mail à la Préfecture des éléments d'informations, avec copie à la DDT et au SM3A.
- **L'alerte** est assurée par le SPC Alpes du Nord et s'appuie sur les éléments suivants, correspondant à une crue quinquennale :
  - Arve à Sallanches : Alerte à 200 m<sup>3</sup>/s (h = 2.5 m) ;
  - Giffre à Marignier : Alerte à 200 m<sup>3</sup>/s (h = 2.60m) ;
  - Arve à Arthaz : Alerte à 530 m<sup>3</sup>/s.

Si un des niveaux est atteint, le SPC alerte le cadre d'astreinte du SIDPC. Le Préfet, sous-Préfet ou SIDPC décide de déclencher l'alerte « crue de l'Arve » et diffuse un message pré-formaté vers la DDT, le SM3A et les communes concernées.

En complément, le SM3A a missionné EDF en 2021 en tant que prestataire extérieur pour une mission de prévision des débits de crue sur les têtes de bassin et principaux affluents (Arve amont, Giffre amont, Borne et Foron du Chablais Genevois). Il l'assiste également dans la prévision des évolutions de la situation hydrométéorologique (production d'un bulletin dédié 3 fois par semaine).

### 9.4.3 Stations hydrométriques

L'Arve possède cinq stations hydrométriques de mesures, le Borne en possède trois dont deux avec des résultats exploitables. Elles sont référencées dans le tableau suivant :

**Tableau 56 : Stations hydrométriques sur le bassin versant de l'Arve – Banque HYDRO**

Nom de la station	Code	Gestionnaire	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Altitude	Hauteur - données disponibles	Débits - données disponibles
L'Arve à Chamonix-Mont Blanc	V0144010	DREAL	205	1020	1981-2018	1936-2018
L'Arve à Sallanches	V0154010	DREAL	514	535	1979-2018	1965-2018
L'Arve [le Nant d'Orlier] à Magland [Chez Party]	V0056410	DREAL	-	496	2011-2018	2011-2018
L'Arve [le Nant du Crêt] à Magland [Chez Gaudy]	V0056510	DREAL	-	495	2014-2018	2014-2018
L'Arve à Arthaz-Pont-Notre-Dame	V0222010	EDF	1664	410	-	1961-2015
Le Borne à Saint-Jean-de-Sixt	V0205420	DREAL	65	882	1980-2018	1964-2018
Le Borne à Saint-Laurent-les-Bains	V5045810	EDF	63	617	-	1969-2015
Le Borne à Saint Pierre en Faucigny (nommé par erreur Saint Pierre en Rumily)	-	-	142		-	1948-1968

Les stations de référence sur la zone d'étude seront :

- Pour l'Arve, la station de Sallanches située à une trentaine de kilomètres en amont de Bonneville ;
- Pour le Borne, la station de Saint-Jean-de-Sixt située à une vingtaine de kilomètres en amont de Bonneville.

#### 9.4.4 Astreinte

Depuis octobre 2018, le SM3A a mis en place des astreintes de sécurité ou de direction, mobilisables en cas de dangers sur les personnes et les biens liés aux intempéries et à leurs incidences sur les cours d'eau du territoire. Elles peuvent être déclenchées durant toute l'année, hors temps de travail et concernent les agents techniques du SM3A.

Les agents concernés sont en premier lieu les techniciens et adjoints techniques et en second lieu les ingénieurs en fonction des nécessités. Les agents en astreinte ont à leur disposition un véhicule professionnel du SM3A, doté d'une caisse de crise et d'un téléphone professionnel.

Concernant les astreintes de direction (personnel d'encadrement pouvant être joint directement par l'autorité territoriale en dehors des heures d'activité normale du service afin de prendre les mesures et les dispositions nécessaires), les agents pouvant être concernés sont : le responsable des opérations de crises et les membres de l'équipe de direction ou responsables de pôle.

Les agents concernés sont susceptibles d'intervenir sur l'ensemble du territoire, sur tous types de cours d'eau et d'ouvrages en fonction des nécessités, et ne sont donc pas exclusivement dédiés à la surveillance de systèmes d'endiguement.

### 9.5 Consignes de surveillance des ouvrages en période de crise

#### 9.5.1 Chaîne de responsabilité et rôle des acteurs en gestion de crise

##### 9.5.1.1 Chaîne 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 :

- Assurer une surveillance adéquate des ouvrages en déployant les moyens humains suffisants ;
- Etablir une véritable chaîne d'information pour alerter les décideurs compétents en matière de sécurité publique ;

- Etre 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 ;
- Assurer la sécurité de ses équipes sur le terrain ;
- 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.

### 9.5.1.2 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 Détails et processus de décision du dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise

Le dispositif existant s'appuie sur des procédures en cascade :

- Une veille quotidienne ;
- Une surveillance soutenue ;
- Une direction des opérations ;
- Une surveillance terrain ;
- Un dispositif d'intervention en gestion de crise ;
- Un dispositif d'intervention post-crise ;
- Un dispositif de sortie de crise (dresser un bilan).

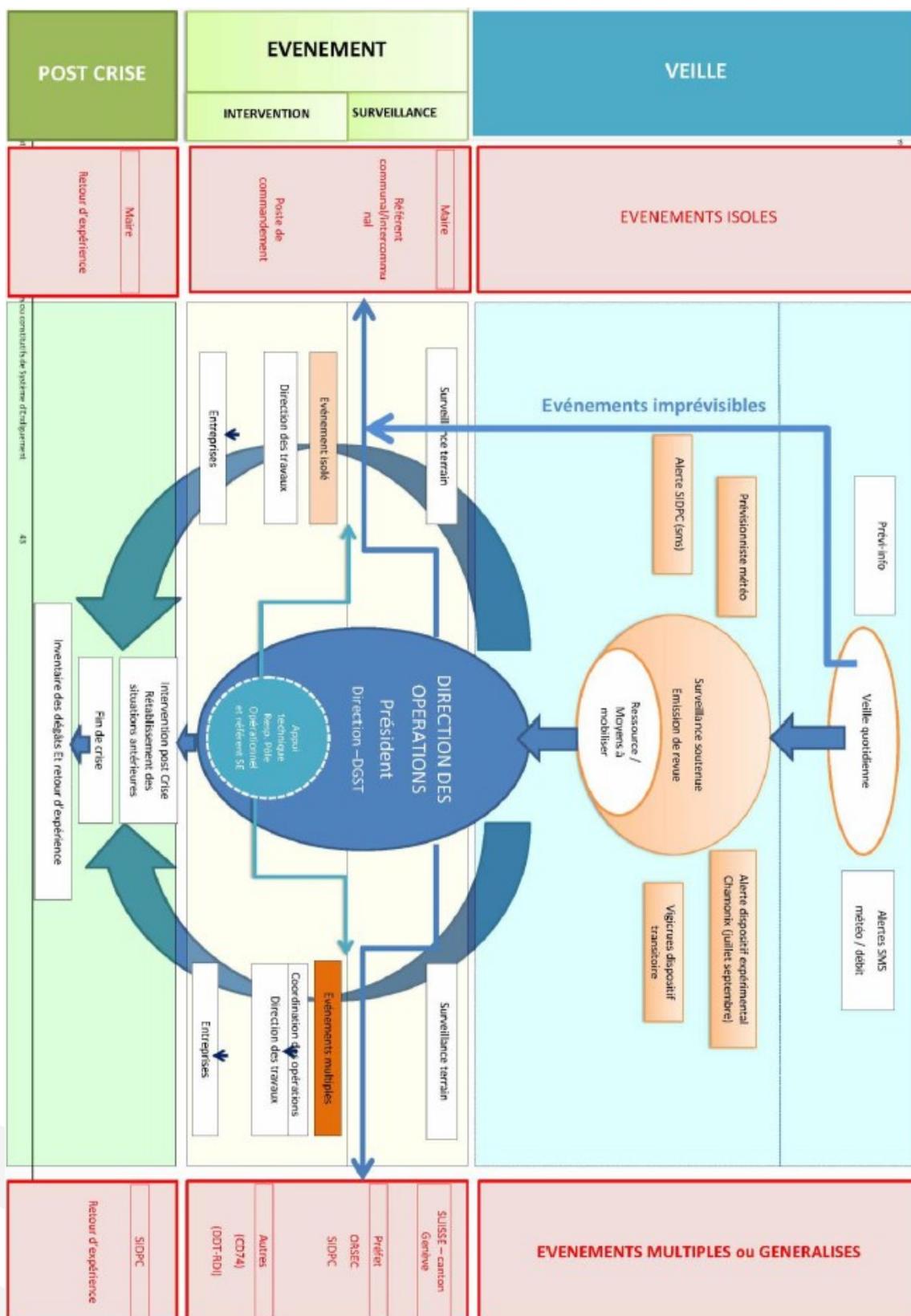


Figure 161 : Dispositif de surveillance et d'intervention du SM3A pendant la crise

### 9.5.2.1 Une veille quotidienne

Une veille est assurée quotidiennement par l'ensemble des agents techniques du SM3A au travers des éléments décrits au § 9.3 :

- Vigicrues par le SPC alpes du nord ;
- Service de prévision météorologique et hydraulique en temps réel (abonnement « Hydrique »).

Outre ces dispositifs, la veille quotidienne s'appuie également sur les réseaux de mesure pluviométrique et hydrométrique et sur différents sites internet notamment Suisse.

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 ou combinaison de paramètres (prévision de pluviométrie, prévision d'évolution de l'isotherme °C, hauteurs d'eau mesurées...).

### 9.5.2.2 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.

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.

### 9.5.2.3 Direction des opérations et communication entre les intervenants

En fonction de l'évolution défavorable des conditions météorologiques, la direction (DGS et DGST), sous l'autorité du Président du SM3A, assure la direction des opérations (DO).

En fonction des délais impartis pour mettre en œuvre les moyens du SM3A, la DO est soit restreinte, soit élargie. La DO élargie est composée :

- Du Président du SM3A, responsable de la DO. Il est en relation avec les élus et le préfet. En fonction de la liste des agents disponibles établis précédemment par la Direction, le Président peut suspendre les congés du personnel concerné, il met en situation « gestion de crise » l'ensemble des agents concernés : plage horaire travaillée allongée ;
- De la direction DGS, qui coordonne les moyens et le déploiement des équipes sur le terrain. Elle est également en relation avec le SDIS, SPC, le canton de Genève et tous autres services de secours. Elle assure la remontée d'information auprès du SIDPC (points de situation réguliers) et est le seul interlocuteur direct. La direction assure le suivi de l'évolution météorologique et hydrologique et tient la main courante des événements ;
- Du DGST, responsable du pôle « prévention des inondations », assurant le rôle de cadre technique des agents de terrain. Il réceptionnera leurs appels et apporte l'expertise technique des interventions à distance et arbitre avec la Direction et le Président si besoin les choix retenus d'intervention. Il met en astreinte et coordonne également les entreprises pour les interventions. Il veille à la sécurité des agents sur le terrain. Le responsable du pôle peut occasionnellement assurer un renfort sur le terrain sur des événements de grande ampleur ;
- De la direction DGA pour suppléer au DGS ou DGST en cas d'absence ;
- En fonction de l'ampleur, un appui technique peut être assuré soit par le responsable du pôle opérationnel ou par le référent du service « système d'endiguement » qui assureront un soutien logistique au cadre technique (surveillance de l'évolution des conditions climatiques et hydrologiques, tenue d'une main courante...) et pourront renforcer les équipes sur le terrain.

Il est à noter qu'actuellement, les postes de DGS et de DGST sont confondus car ils sont assurés par la même personne. Cette dernière est responsable du pôle « prévention des inondations ».

La DO est située physiquement dans les locaux du SM3A à Saint Pierre en Faucigny disposant de l'ensemble des éléments papiers et informatiques pour appliquer les consignes du présent document. Les dossiers d'ouvrage y sont stockés.

#### **9.5.2.4 Surveillance terrain**

Une fois la DO en place, elle active la surveillance sur le terrain en déployant les moyens humains. Les agents de terrain surveillent les points de vigilance spécifiques de leur territoire et retransmettent l'évolution sur le terrain au cadre technique en cas de DO élargie ou à la Direction en cas de DO restreinte.

En cas de désordres observés, l'agent évalue :

- l'importance du désordre ;
- son évolution ;
- la nécessité de suivre à un pas de temps donné ce désordre

Les agents de terrain peuvent participer à des Postes de commandements sous la responsabilité des Maires ou du Préfet. Dans ce cas de figure, toute décision d'intervention du SM3A sera au préalable validée par la DO.

Les agents de terrain mis en situation de « gestion de crise » n'assureront que très ponctuellement une surveillance nocturne. Pour des situations d'envergure (interventions nocturne, forte pluviométrie...) et sur décision de la DO, les agents techniques peuvent être accompagnés en binôme dans les véhicules par des collaborateurs du SM3A, afin de réduire les risques inhérents aux travailleurs isolés et faciliter les transmissions de données.

#### **9.5.2.5 Ressuyage de la zone protégée**

La commune de St-Pierre-en-Faucigny dispose de réseaux d'eaux pluviales et unitaires denses et bien réparties sur la zone protégée. Ces derniers se déversent dans l'Arve.

Par ailleurs, ces réseaux d'eaux pluviales existants serviront pour le ressuyage de la zone protégée.

#### **9.5.2.6 Travaux d'urgence**

Le SM3A fera état de l'article R214-44 du code de l'environnement pour engager des travaux d'urgence. Il peut s'agir d'empêcher la formation d'une brèche dans les ouvrages classés Système d'Endiguement.

Le préfet de la Haute Savoie, ainsi que la SIDPC seront avertis par la direction des opérations DO au préalable.

Le SM3A dispose en interne de moyens d'ingénierie qui permettront de suivre les opérations d'urgence.

#### **9.5.2.7 Modalité de mise en œuvre des fins d'alerte**

Sur la base des informations délivrées par le SPC, le SIDPC ou le constat du SM3A sur le terrain, la direction des opérations organise la fin des interventions ou de la surveillance.

Elle peut :

- Soit passer en fin d'alerte par secteur concerné dans la mesure où la durée de la décrue s'annonce sur certains cours d'eau ;
- Soit lever l'alerte généralisée dans la mesure où elle estime définitif le retour à la normale, sans risque d'une reprise du phénomène.

La fin de l'alerte conduit à :

- Notifier la levée de l'alerte aux entreprises ;

- Engager la mise en œuvre des consignes post-crue ;
- Avertir le service de la préfecture.

Attention, une fin d'alerte peut se caractériser par une surveillance maintenue pendant quelques jours afin de confirmer l'absence de désordre à la décrue.

### 9.5.2.8 Rapport de crue

Une note de synthèse sur le déroulement de la crue sera réalisée en interne par le SM3A et transmis conformément à la réglementation en vigueur dans les meilleurs délais au service de contrôle pour toute crue supérieure à la décennale, dès le tronçon concerné.

## 9.5.3 Visites post-crue

### 9.5.3.1 Objet

La préparation, l'organisation et la conduite de l'inspection visuelle post-crue de la digue relèvent du service gestionnaire des ouvrages. Cette visite doit se faire dans les meilleurs délais après la crue.

En cas de crue majeure couvrant un nombre important de digue, le SM3A pourra faire appel à un bureau d'études pour réaliser ces visites.

Avant l'inspection post-crue, tous les documents topographiques, les comptes rendus des précédentes visites et les clichés doivent être réunis.

Les constats effectués lors de ces inspections visuelles se font sur une fiche semblable à celle utilisée lors des visites annuelles (en annexe XV). Un dossier photographique des désordres est nécessaire avec sa légende et sa localisation ainsi que des photos d'ensemble.

On notera que d'autres phénomènes peuvent nécessiter le déclenchement des visites post-crue :

- Les accidents nautiques (choc d'embarcation sur les perrés, échouage, etc.) ;
- Les engravements important du lit mineur ;
- **Les séismes de magnitude supérieure à 5 sur l'échelle de Richter dans un rayon de moins de 100km.**

Ces visites post-crue permettent également de faire l'inventaire de l'ensemble des dégâts sur le territoire et de prioriser les interventions post-crue.

### 9.5.3.2 Déroulement

#### Relevé de la laisse de crue :

Pour chaque tronçon de rivière concerné par la crue, il sera procédé à un relevé des laisses de crue par un géomètre dans les 24h à 48h suivants la crue. Ces levés nécessitent un niveau de précision optimum.

Le niveau sera au minimum relevé au droit de tout ouvrage singulier (ponts, échelles,...). Il sera important de faire le distinguo entre le niveau de charge et le niveau d'écoulement.

Le niveau sera – à minima – relevé systématiquement aux échelles en place, de façon à permettre une comparaison avec les relevés des années précédentes. Dans le cas où le secteur concerné ne comporte pas d'échelle, le niveau sera relevé sur des points de repères fixes (ponts, singularité hydraulique, ...).

#### Visite des digues :

Une fois l'alerte levée, certaines personnes seront affectées à la surveillance des digues sensibles à la décrue en particulier celles qui sont identifiées comme sensibles à la décompression des matériaux.

Les désordres apparents seront relevés à l'aide d'une fiche de relevé de type VTA dans la mesure du possible : brèche, embâcle, érosion du talus ou pied de digues, indice de fuite, glissement du talus, ...

Chaque désordre observé sera à minima localisé et pris en photo. En cas de désordre mettant en péril l'intégrité de la digue, le personnel de terrain ou le prestataire désigné contactera immédiatement le Poste de Commandement de la surveillance des Ouvrages du SM3A.

Cette surveillance pourra se faire sur plusieurs jours. La localisation des désordres sera faite en utilisant le système de repérage mis en place par le SM3A (bornes ou marquage au sol tous les 100 ou 200 mètres) et à l'aide d'un GPS ou à défaut d'une roulette ou d'un profil.

### **9.5.3.3 Compte-rendu des visites**

La visite post-crue donnera lieu à un compte-rendu de la part du géomètre et des surveillants de digues.

Ce rapport reprendra la totalité des éléments significatifs de la visite de surveillance :

- Dates de la visite post-crue ;
- Composition des équipes de surveillance ;
- Zone de surverse sur les digues ;
- Localisation des désordres (indices de fuite, embâcles, arbres basculés, glissement...) ;
- Inspection des organes secondaires,
- Photos,
- Relevé des laisses de crue.

Le compte rendu de l'inspection visuelle post-crue servira de support pour les événements à venir et permettra de justifier des levés topographiques dans les secteurs où les désordres sont importants ou encore des reconnaissances complémentaires à la pelle mécanique.

Les désordres (tels que embâcle, érosion du talus ou pied de digue, indice de fuite, glissement du talus,...) relevés sur le terrain par le personnel du SM3A sont renseignés sous SIRS Digues avec leur photo.

Les relevés de laisse de crue sont également saisis sous SIRS Digues.

### **9.5.3.4 Signalement des incidences et EISH**

En fonction du constat des désordres, le SM3A reprend la procédure de déclaration des événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH) décrite précédemment.

### **9.5.4 Interventions post-crue**

L'intervention post-crue s'échelonnent sur plusieurs mois et seront priorisées en fonction du degré de l'EISH, des risques supportés par la zone protégée, du risque de réplique de l'événement, de la complexité des travaux, des accès et des moyens matériels et humains disponibles.

Les interventions consisteront pour l'essentiel à remettre en état de fonctionnement les ouvrages.

## **9.6 Analyse des PCS**

Sur le PCS de la commune de Bonneville, différents niveaux d'intervention sont définis. Les notions d'Alerte, inondation et après alerte, sont à mettre en relation avec les stades définis par le gestionnaire des endiguements. Des points d'attention sont décrits (débordements, inondations potentielles, etc.). Dans la plupart des cas, ils sont cohérents avec l'analyse de risque. Cependant un croisement point par point semble nécessaire pour uniformiser les actions en cas de crue.

Le PCS de Saint Pierre en Faucigny décrit de manière didactique les risques potentiels sur la commune. Le déclenchement du PCS intervient soit du propre chef du maire ou suite à une demande de la préfecture. Ces stades de déclenchements sont aussi à mettre en cohérence avec les stades définis dans la consigne de surveillance du SM3A. Les points de vigilances à surveiller sont aussi à discuter avec le SM3A.

## Que doit faire la population ?

**DÈS** l'alerte :

- Se tenir informé de l'évolution de la situation (radio, mairie).

**PREVOIR LES GESTES ESSENTIELS**

- Fermer les portes et fenêtres,
- Couper le gaz et l'électricité,
- Commencer à déplacer les objets de valeur et les produits polluants.

**PENDANT** l'inondation :

- Se tenir informé de la montée des eaux, (radio, mairie,...),
- Déplacer les objets de valeurs et les produits polluants,
- Éviter de rester bloqué (quitter les lieux dès que l'ordre est donné).
- Ne pas tenter de franchir un cours d'eau à pied comme avec un véhicule.

**APRÈS** :

- Aérer et désinfecter les pièces,
- Chauffer dès que possible,
- Ne rétablir l'électricité que sur installation sèche,
- S'assurer que l'eau est potable (mairie),
- Faire l'inventaire des dommages.

## LES REFLEXES QUI SAUVENT



*Fermez les portes, les aérations*



*Coupez l'électricité et le gaz*



*Montez à pied dans les étages*



*Ecoutez la radio pour connaître les consignes à suivre*



*N'allez pas chercher vos enfants à l'école : l'école s'occupe d'eux*



*Ne téléphonez pas : libérez les lignes pour les secours*

• Ne pas tenter de franchir un cours d'eau à pied comme avec un véhicule.

### EN CAS D'INONDATION BRUTALE



*Fuyez immédiatement*



*Gagnez un point en hauteur*



*N'allez pas chercher vos enfants à l'école : l'école s'occupe d'eux*

Figure 162 : Consignes de sécurité en cas de débordements

## 9.7 Adéquation des moyens mis en place pour la surveillance et l'entretien courant avec l'objectif de protection garanti

### 9.7.1 Entretien, surveillance et exploitation

Actuellement, le SM3A s'acquitte de l'ensemble des visites de surveillance régulières liées à la gestion de son parc de digues (VTA, visites de surveillances...). Cependant, les ouvrages actuels présentent des dégradations diverses, voire évolutives.

Le programme de travaux lancé par le SM3A vise à conforter dans l'intégralité le système d'endiguement en rive gauche du Borne. Une fois les travaux achevés, les digues seront donc conformes vis-à-vis des préconisations d'entretien (et notamment de la végétation). Le plan de gestion de la végétation mis en place par le SM3A sur son territoire devra intégrer les digues du Borne, pour pérenniser son niveau de protection.

En cas d'alerte, les ouvrages du système d'endiguement ne nécessitent pas de manœuvres spécifiques.

296 / 314

SUEZ CONSULTING

General

### 9.7.2 Veille et information

Le SM3A a souscrit un abonnement à un service de prévisions météorologiques et hydrologiques qui lui permet d'anticiper jusqu'à 15 jours en amont les événements climatiques pouvant être à l'origine de crues sur son territoire. Des seuils de veille et d'alerte ont été définis en plusieurs points du territoire. La veille climatique est donc effective, fiable (dans les limites des modèles hydrométéorologiques mis en œuvre).

En revanche, la couverture du bassin en stations de mesures (hauteur / débit) fiables et en temps réel reste faible. Cependant, le SM3A s'est engagé dans une démarche de densification et de fiabilisation de son réseau. Une fois ces stations mises en place, et raccordées en temps réel au service de prévision précité, le système global sera opérationnel.

### 9.7.3 Alerte et mise en sécurité

En période de crise, le SM3A est en lien avec l'ensemble des autorités et des services concernés (cf. 9.3). Les modalités d'alerte sont bien définies.

## 9.8 Barrières de sécurités

Le chapitre suivant rappelle les mesures de réduction des risques nécessaires pour respecter la criticité des événements, les adaptations à envisager par le maître d'ouvrage pour pérenniser la sécurité de ses ouvrages et les mises en garde vis-à-vis du risque d'inondation.

### 9.8.1 Définition des barrières de sécurité

Le SM3A fera état de l'article R214-44 du code de l'environnement pour engager des travaux d'urgence.

Il peut s'agir d'empêcher la formation d'une brèche dans les ouvrages classés Système d'Endiguement.

Le SIDPC sera averti par la direction des opérations DO au préalable.

Lorsqu'une intervention d'urgence a été commandée, la Direction des opérations du SM3A fait le point avec l'entreprise sur l'avancement des travaux.

Après concertation avec l'entreprise mobilisée, s'il est constaté sur le lieu du désordre l'impossibilité de procéder à une intervention ou la nécessité de la différer, la DO en informe le Service Interministériel De Protection Civile (SIDPC) de la préfecture.

Les travaux d'urgence sont des mesures provisoires de confortement ou de déblaiement (mise en œuvre en dehors des contraintes usuelles des règles de l'art et des garanties après réalisation). Il peut s'agir de :

- Confortements de digues en urgence par enrochements ou par mise en œuvre de remblais contre le talus de digue ;
- Mise en œuvre de remblais aux abords des digues (cordon de matériaux, diguettes,) ;
- Renforcement et/ou création de pistes d'accès aux zones d'intervention ;
- Réalisation de rampes d'accès et de plateformes de chantier ;
- Travaux préparatoires sur les zones d'intervention (déboisement, dessouchage, décapage,) ;
- Mise en place de busage provisoire de chantier ;
- Curage et dégagement d'ouvrages.

Le SM3A dispose en interne de moyens d'ingénierie qui permettront de suivre les opérations d'urgence.

La liste des entreprises de travaux publics affectées aux interventions d'urgence en période de crue est disponible dans le répertoire opérationnel tenu à jour dans les locaux du SM3A.

En cas de nécessité d'intervention, l'équipe de surveillance se met en rapport avec la DO qui décide de solliciter (ou non) les entreprises. Selon la situation, le SM3A pourra dépêcher sur place un technicien compétent pour assurer la coordination des moyens mis en œuvre. Le

directeur des opérations peut aussi se rendre sur place pour prendre la décision (ou non) d'envoyer l'entreprise.

Dans tous les cas, les entreprises mobilisées peuvent également apprécier les risques encourus et faire valoir leur droit de retrait.

**Les interventions seront enclenchées si et seulement si :**

- Elles n'engendrent pas de sur-risque pour la zone protégée (pas de surélévation de niveau de protection...);
- Elles n'engagent pas la sécurité des équipes de travaux (pas d'intervention dans le lit en crue...).

### 9.8.2 Respect des barrières de sécurités identifiées

Les scénarios de dysfonctionnement des digues ont tous été jugés de criticité acceptable en état projet du fait de l'existence et de la mise en œuvre par le SM3A de barrières de sécurité, barrières qui permettent de décaler la probabilité d'occurrence des événements redoutés que sont les ruptures de digues.

Il s'agit en particulier, des barrières de sécurité suivantes :

- La surveillance en crue associée à l'intervention des entreprises ;
- La surveillance et le contrôle des ouvrages principaux hors crue ;
- La maintenance des ouvrages principaux et des ouvrages annexes hors crue et notamment :
  - L'entretien de la végétation,
  - L'entretien du fond du lit.
- La surveillance et la maintenance spécifiques des ouvrages traversants ;
- Le maintien des dispositions constructives ;
- La surveillance et l'entretien des bassins versants amont selon les modalités des plans de gestion.

Il n'y a pas lieu de proposer d'autres mesures de réduction des risques sur ces tronçons dans la mesure où ces barrières sont bien appliquées par le S.M.3.A.

## 9.9 Recommandation de l'organisme agréé qui réalise l'étude de dangers (9 bis)

### 9.9.1 Alerte, surveillance et prévision des niveaux d'eau

Actuellement, il existe une échelle limnimétrique au droit du pont Royal. Celle-ci, très bien placée (début du système d'endiguement – Borne rive droite), sera utilisée comme un lieu de référence.

Une nouvelle échelle limnimétrique est à créer lors des travaux de confortement et de reconstruction des digues du Borne en aval du système d'endiguement. Celle-ci prendra en compte la concomitance des crues du Borne et de l'Arve.

Les échelles devront être entretenues, visibles pour les équipes du SM3A et accessibles aisément par voies de circulation.

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

La localisation des échelles limnimétriques liées au système d'endiguement « Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne » est donné dans la carte suivante :

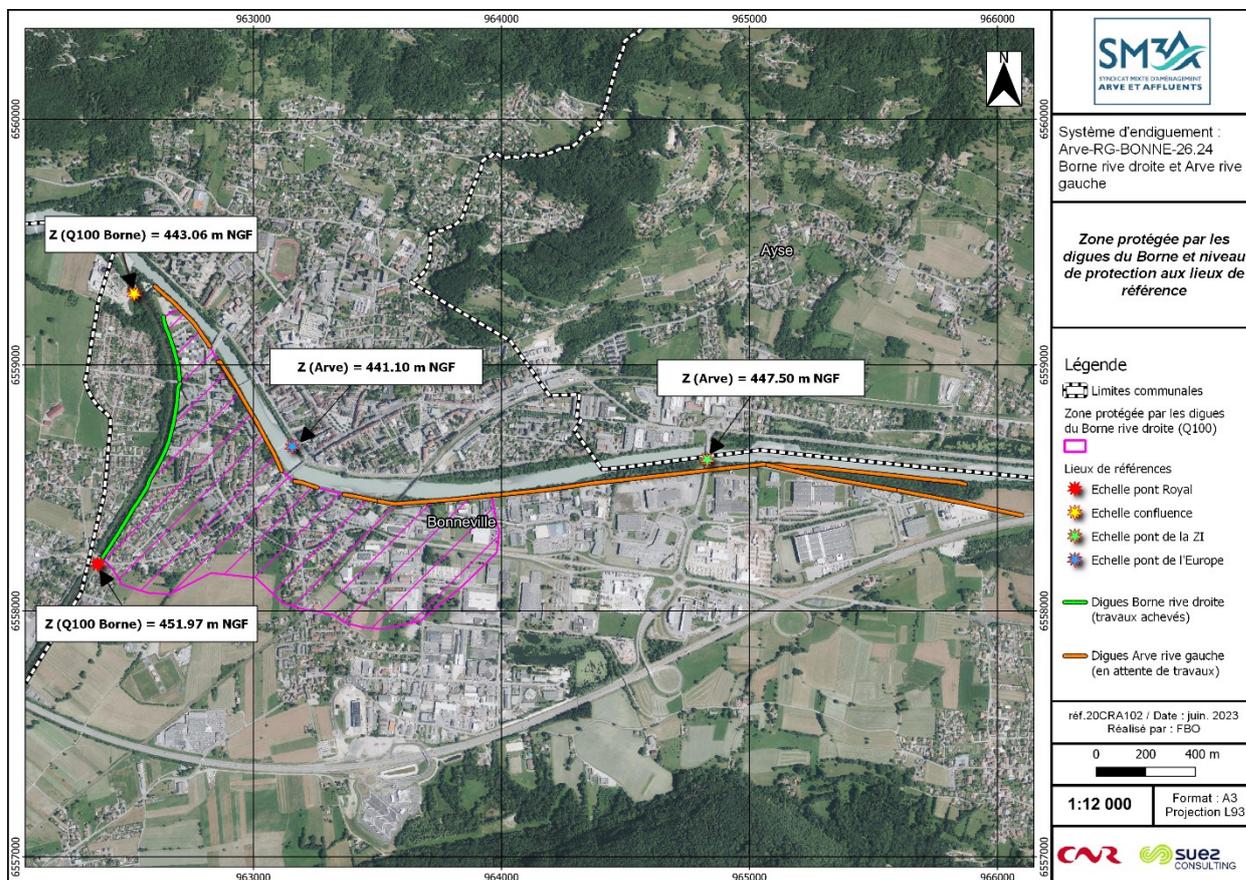


Figure 163 : Localisation des points de référence du système d'endiguement et cotes correspondant aux niveaux de protection

**Les cotes de l'Arve correspondent à une occurrence de crue décennale (niveau de sureté des digues de l'Arve défini pas CNR dans les études de dangers de 2019). Cette disposition est temporaire car les digues de l'Arve seront confortées à partir de fin 2024 (les consignes spécifiques de gestion des digues de l'Arve rive gauche, en attente de travaux, seront précisées dans l'étude de dangers qui sera déposée dans le cadre du dossier réglementaire « Arve »).**

Sur le Borne, le temps écoulé entre le niveau pré-alerte (vert) et l'évacuation de la surveillance (rouge) est près de 7 h (en cas de crue centennale) :

- ✓ **Le stade Q10** correspond à une crue à partir desquels les ouvrages rentrent en charge → alerte verte
- ✓ **Le stade Q30** correspond à une mise en charge significative des ouvrages → alerte orange
- ✓ **Le stade Q100** correspond au niveau de protection du SE → alerte rouge

Pour rappel, la modélisation du niveau de protection centennial sur le Borne a été simulée en considérant une crue trentennale sur l'Arve (ce qui est sécuritaire).

Le tableau ci-après présente les cotes des niveaux d'alerte proposés :

Tableau 57 : Seuils de vigilance et d'alerte proposés

Station	Stade	Débit Borne [m <sup>3</sup> /s]	Cote échelle [m NGF]	Couleur
Echelle n°1 (Pont Royal)	Q10	113.5	451.47	Vert
	Q30	141.9	451.75	Orange
	Q100	178.4	451.97	Rouge
Echelle n°2 (Confluence)	Q10	113.5	442.64	Vert
	Q30	141.9	442.88	Orange
	Q100	178.4	443.06	Rouge

La description des différents états est donnée ci-dessous :

**a) Niveau 1 d'intervention : alerte vert**

A l'atteinte de cet état, les actions suivantes sont entreprises :

- Mise en place d'une veille Internet ;
- Mise en place des astreintes téléphoniques ;
- Préparations matériels et organisationnelles des équipes potentiel et mise en alerte.

Les entreprises urgence crue sont placées en alerte vert.

**b) Niveau 2 d'intervention : alerte orange**

Les astreintes internet et téléphoniques sont en place.

A l'atteinte de cet état, les actions suivantes sont entreprises :

- **Activation de la cellule de veille ;**
- Définition des modalités d'information du SIDPC et de coordination.

Au niveau de l'inspection des digues, la composition des équipes à mettre en place sur chaque secteur en alerte orange est définie.

Les entreprises de TP urgence crue sont mises en alerte VIGILANCE et doivent donc se tenir prêtes à intervenir sur leur secteur dans les plus brefs délais. Elles commencer à amener le matériel de travaux publics au voisinage de leur secteur et s'assurer de pouvoir rapidement mobiliser des matériaux. Ces contraintes font partie du marché.

**c) Niveau 3 d'intervention : alerte rouge**

Les astreintes internet et téléphoniques sont en place.

A l'atteinte de cet état, les actions suivantes sont entreprises :

- **Activation de la cellule de crise ;**
- Définition des modalités d'information du SIDPC et de coordination.

Au niveau de l'inspection des digues, les digues dont la revanche par rapport à la crête est inférieure à 0,50 m ne devront plus être circulées, pour des raisons de sécurité.

Les entreprises de TP urgence crue sont mises en alerte ROUGE et doivent donc se tenir prêtes à intervenir sur leur secteur dans les plus brefs délais.

Le SM3A s'engage à compléter les consignes générales de surveillance et d'exploitation décrites dans ce chapitre 9 avec une fiche « spécifique au SE ». Cette fiche s'appuiera sur les niveaux d'alerte préconisés dans le §9.9 pour une gestion de crise optimisée sur le système d'endiguement Arve-RG-STPIE-24.17.

Nous recommandons au SM3A de détailler dans cette note l'organisation à mettre en place en cas de crue dépassant le niveau de protection.

Il est à noter que le SM3A a réalisé ce type de fiche sur d'autres systèmes d'endiguement classés.

### 9.9.2 Surveillance vis-à-vis du séisme

Comme susmentionné, Bonneville est sur une zone de sismicité 4. D'après les recommandations du MEDDE, après la survenance d'un séisme ayant dépassé un certain seuil (cf. § 9.1 du MEDDE), on doit d'abord effectuer une visite d'inspection puis, si nécessaire, une visite technique approfondie. Cela concerne toutes les digues situées en zones de sismicité 3, 4 et 5, quelle que soit leur classe.

Afin de s'assurer de la sécurité des digues et faciliter l'intervention d'urgence en cas de survenue d'un séisme, nous recommandons au gestionnaire de s'abonner à un service d'alerte sismique (ex : CEA). Dans le cas, peu probable, où un séisme important survient, le gestionnaire devra faire réaliser une Visite technique approfondie.

Cet élément est à intégrer au document des consignes générales de surveillance et d'exploitation.

### 9.9.3 Gestion des ouvrages

À la suite des travaux, le futur système d'endiguement offrira un niveau de protection satisfaisant face aux inondations.

Les actions à entreprendre par la suite ont donc pour but de conserver ce niveau de protection au cours du temps. La surveillance et l'entretien des ouvrages du système d'endiguement permettent ainsi de conserver un niveau de sûreté constant dans le temps.

L'entretien du système d'endiguement repose sur les axes suivants :

- La pratique régulière de la surveillance visuelle, programmée et postérieure aux crues ;
- L'entretien des désordres structuraux (affouillements, dégradations locales, etc...) ;
- L'entretien des parties d'ouvrage en maçonnerie (muret d'endiguement) ;
- Le contrôle de la végétation sur la digue (respect du plan de gestion de la végétation) ;
- S'assurer de l'entretien et de la lisibilité des échelles limnimétriques ;
- Impliquer des acteurs extérieurs lors des exercices de crise (mise à jour des PCS) ;
- La lutte contre les dégâts des animaux fouisseurs.

### 9.9.4 Arrêté ministériel du 8 août 2022

Dans l'ensemble, le document des consignes générales de surveillance et d'exploitation du SM3A répond aux obligations réglementaires fixées par l'arrêté ministériel du 8 août 2022. Néanmoins, il est recommandé au SM3A de mettre à jour ce document suivant la même hiérarchisation fixée par cet arrêté ministériel.

A noter que les recommandations du présent chapitre 9.10 vont dans ce sens.

### 9.9.5 Conclusion

Depuis sa création en 1994 et sa montée en compétence depuis 2012 à l'échelle du bassin versant de l'Arve (aussi bien en matière d'ouvrages hydrauliques qu'en prévention d'inondation fluviale et torrentielle), le SM3A a pris de multiples dispositions en matière de retour d'expérience des événements passés (gestion de crues en particulier). Ces dispositions lui permettent d'évoluer et d'améliorer continuellement sa politique de gestion de crise, son organisation interne et les outils mis en place dans le cadre de l'exercice de la compétence GEMAPI. Par conséquent,

**Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE**



son fonctionnement répond aujourd'hui à l'item 6 de l'arrête du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'Etude de Dangers.

Les outils mis en place dans le cadre de l'exercice de la compétence GEMAPI lui permettent d'intervenir sur l'ensemble du bassin versant de l'Arve. Chaque intervention et/ou outil déployé représente autant d'éléments constituant des barrières de sécurité dans la survenu de l'accident (crue). L'expérience du SM3A montre que les barrières de sécurité citées précédemment fonctionnent et permettent entre autres de réduire drastiquement les risques de rupture (rendu possible par la surveillance et les interventions quotidiennes, la gestion en crise et la remise en état post crise). Par ailleurs, les propositions existantes vis-à-vis de l'item 7 de l'arrête du 30 septembre 2019 fonctionnent pleinement.

## 10. CARTOGRAPHIE ET DESCRIPTION DES RESULTATS

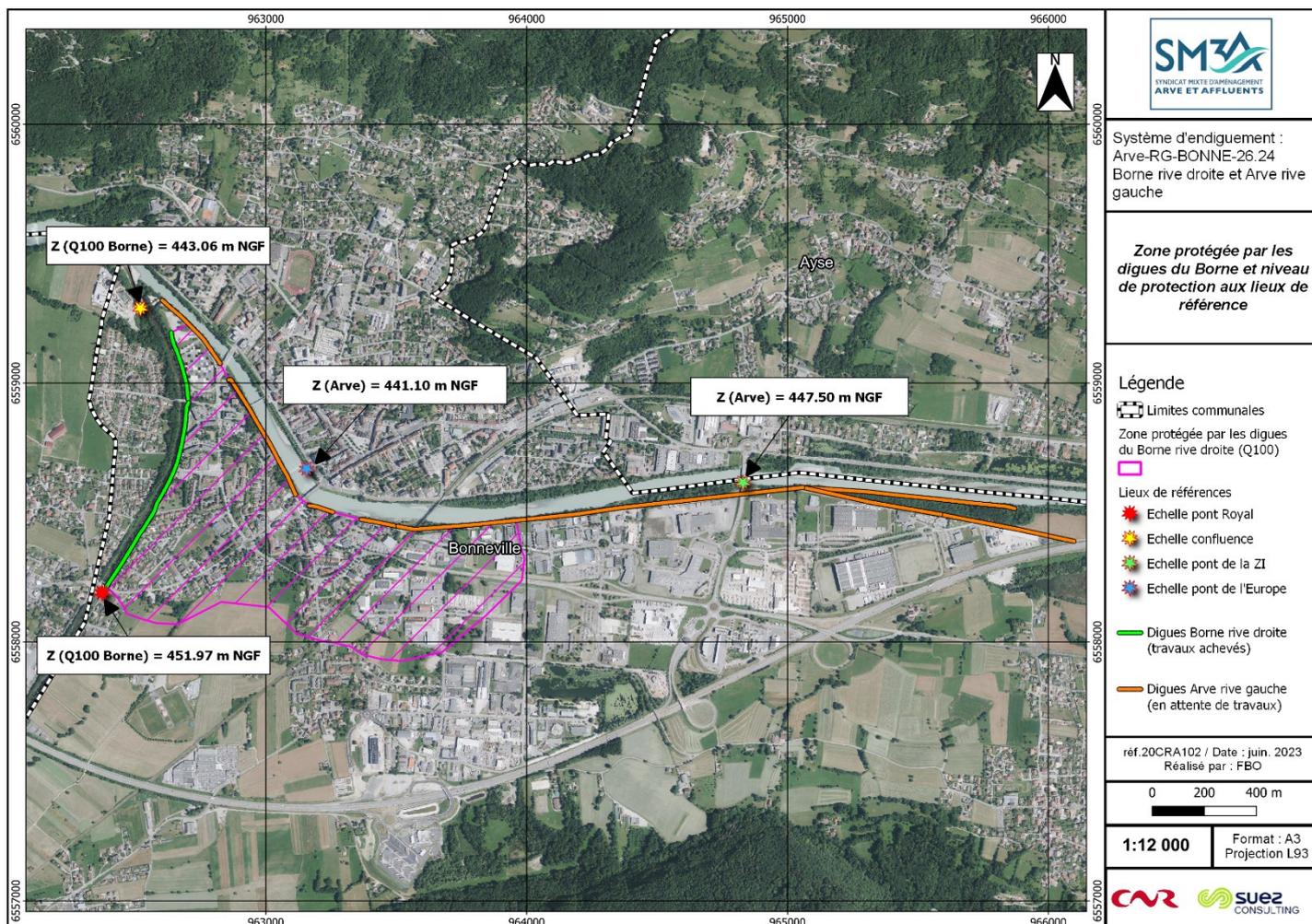
### 10.1 Cartes administratives

Les deux cartes ci-dessous illustrent :

- Les limites administratives du territoire relevant du SM3A ;
- La localisation de la zone protégée qui est inscrite dans ce territoire.



Figure 164 : Limites administratives du territoire relevant du SM3A



## 10.2 Cartes des venues d'eau

Une cartographie des zones mises en eau a été réalisée pour les deux scénarios modélisés et listés ci-dessus. La dangerosité des venues d'eau, autour et dans la zone protégée, est appréciée au regard des critères de vitesses d'écoulement et de hauteurs d'inondation. L'arrêté du 30 septembre 2019 précise que « sont réputées dangereuses les venues d'eau telles que la hauteur d'eau atteint au moins 1 m ou le courant au moins 0.5 m/s ». On distingue donc :

- Les zones de venues d'eau non dangereuses ou peu dangereuses : pour lesquelles  $V < 0.5$  m/s et  $H < 1$  m
- Les zones de venues d'eau dangereuses :  $V \geq 0.5$  m/s ou  $H \geq 1$  m
- Les zones de venues d'eau très dangereuses, correspondant à des points bas (effet cuvette  $H > 2$  m) ou des zones de dissipation d'énergie importante sont également répertoriées.

	Peu dangereuses ( $h < 1$ m et $v < 0.5$ m/s)
	Dangereuses ( $1 < h < 2$ m ou $v > 0.5$ m/s)
	Très dangereuses (cuvettes - $h > 2$ m)

**NB : remarques importantes pour la lecture des cartes :**

Les cartes représentent les enveloppes d'extension maximale de la zone inondée pour chaque scénario simulé (cas le plus défavorable).

### 10.2.1 Scénario 1 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'étude de dangers, le scénario 1 représente le fonctionnement nominal du système d'endiguement dans le cas du passage d'une crue correspondant au niveau de protection du système (Q100). On admettra que cette montée maximale du niveau de l'eau peut générer un risque résiduel de rupture d'ouvrage de 5 % au plus.

Sur la carte des venues d'eau ci-dessous, on constate que la crue centennale ne déborde pas dans la zone protégée par le système d'endiguement en situation de travaux achevés.

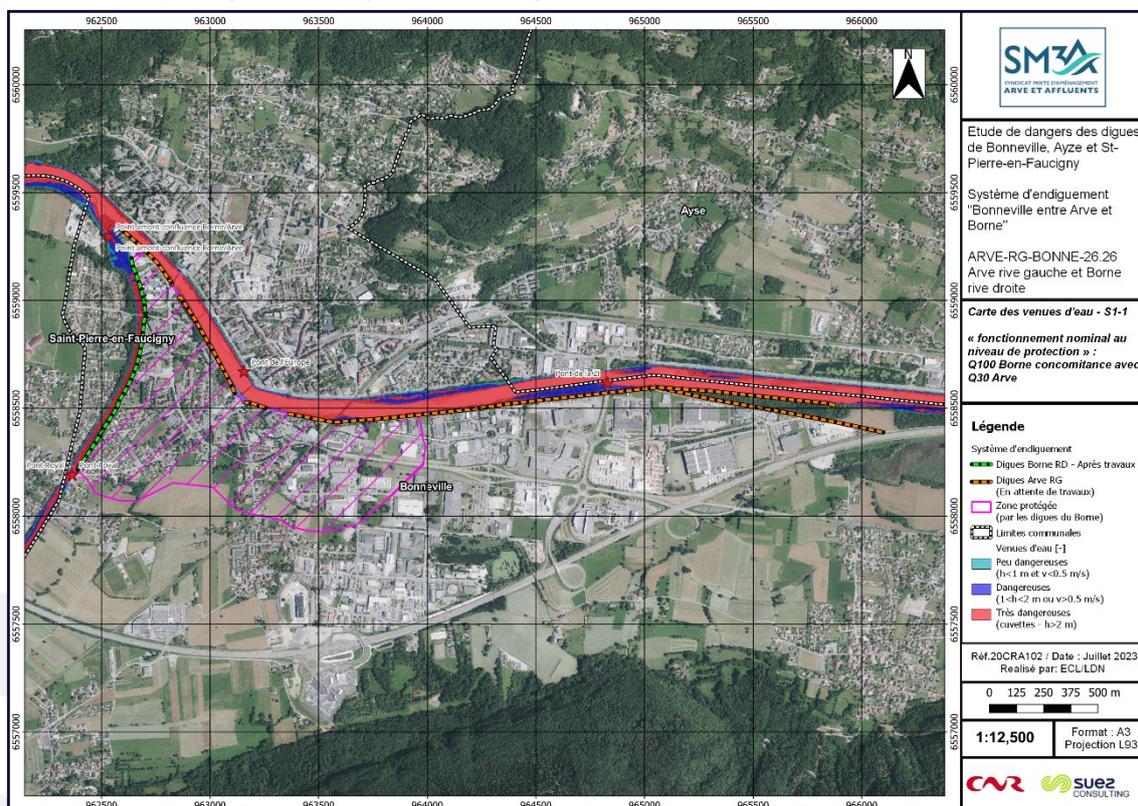


Figure 166 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

Ci-après les cartes des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement du S1 :

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" - Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

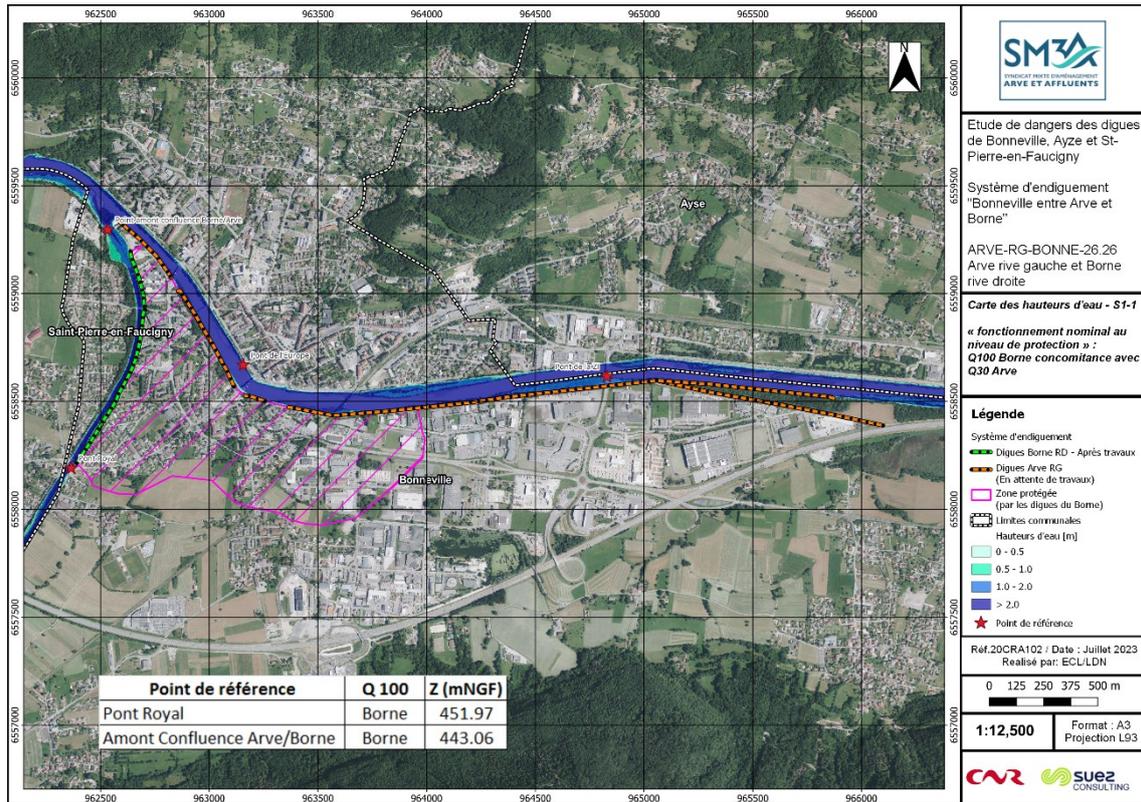


Figure 167 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des hauteurs d'eau)

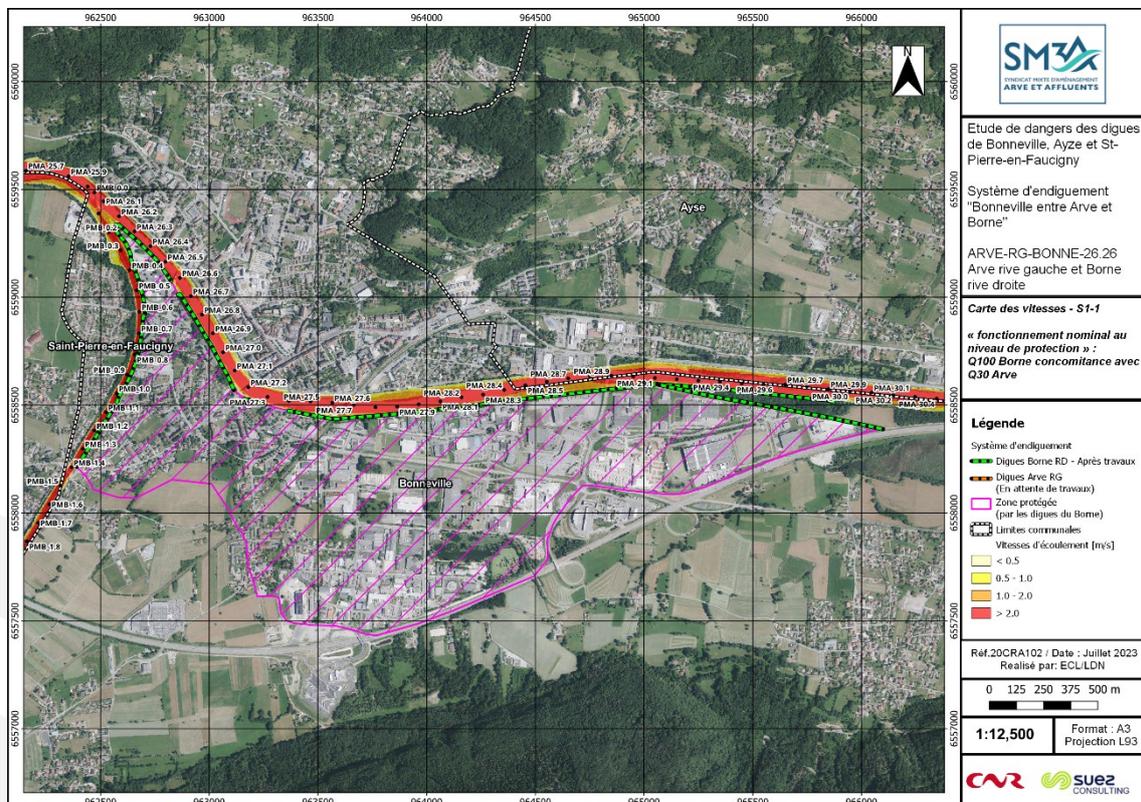


Figure 168 : Fonctionnement nominal du système d'endiguement (carte des vitesses d'écoulement)

### 10.2.2 Scénario 3 : Défaillance structurelle du système d'endiguement

Conformément à l'arrêté du 30 septembre 2019 précisant le plan de l'étude de dangers, 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 de l'aléa retenu doit être tel qu'il génère un risque de rupture supérieur à 50 %.

Dans le cas des digues présentes en rive droite du Borne, la défaillance structurelle est représentée par l'ouverture de deux brèches dans le corps des digues, sur une occurrence de crue tricentenaire (Q300).

Deux sous-scénarios sont modélisés (S3.1 et S3.2). Les caractéristiques des brèches sont données dans le chapitre 8.

Sur les deux sous-scénarios, les cartographies des venues d'eau montrent qu'une partie de la zone protégée est inondée.

A la suite des cartographies (valeurs maximales des inondations), la propagation de l'onde de submersion en fonction du temps est donnée sous forme de figures successives des animations de la modélisation (à partir du moment du début de l'ouverture des brèches).

#### 10.2.2.1 Scénario 3.1 : ouverture d'une brèche dans la digue de Bois Jolivet B

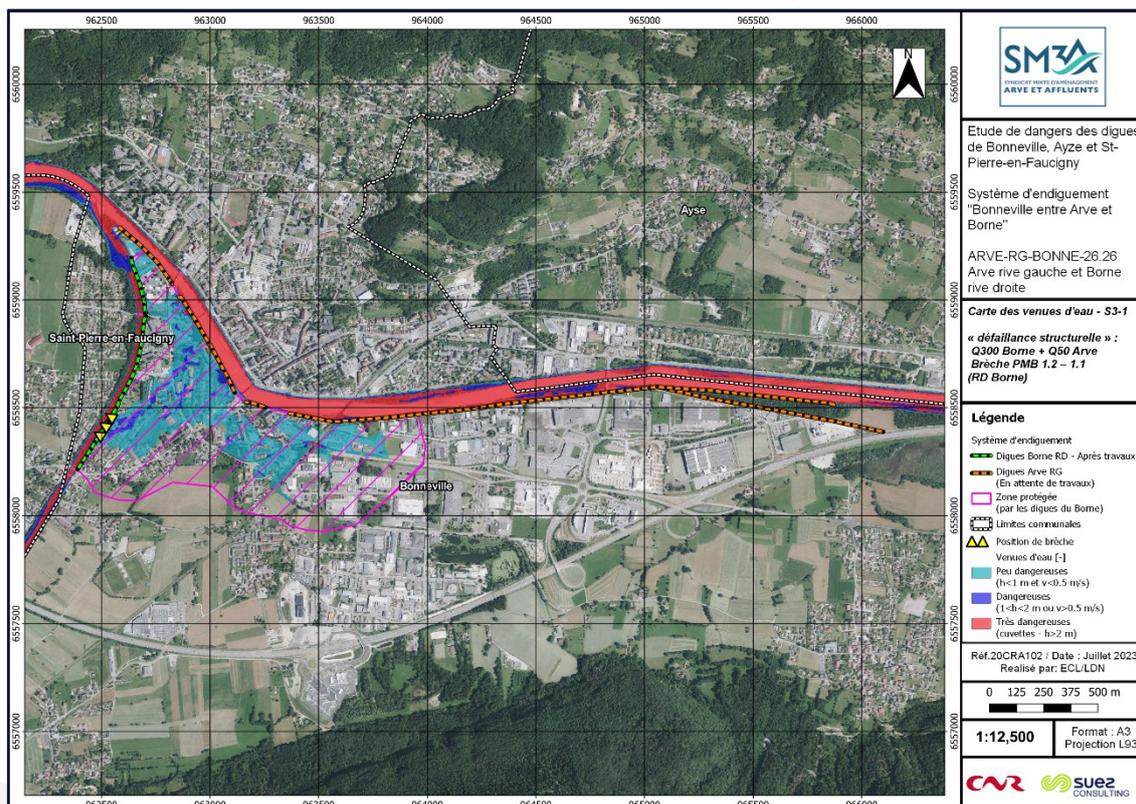


Figure 169 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

Ci-après les cartes des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement du S3.1 :

# Etude de dangers des digues de Bonneville, AYZE et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"

## ARVE-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

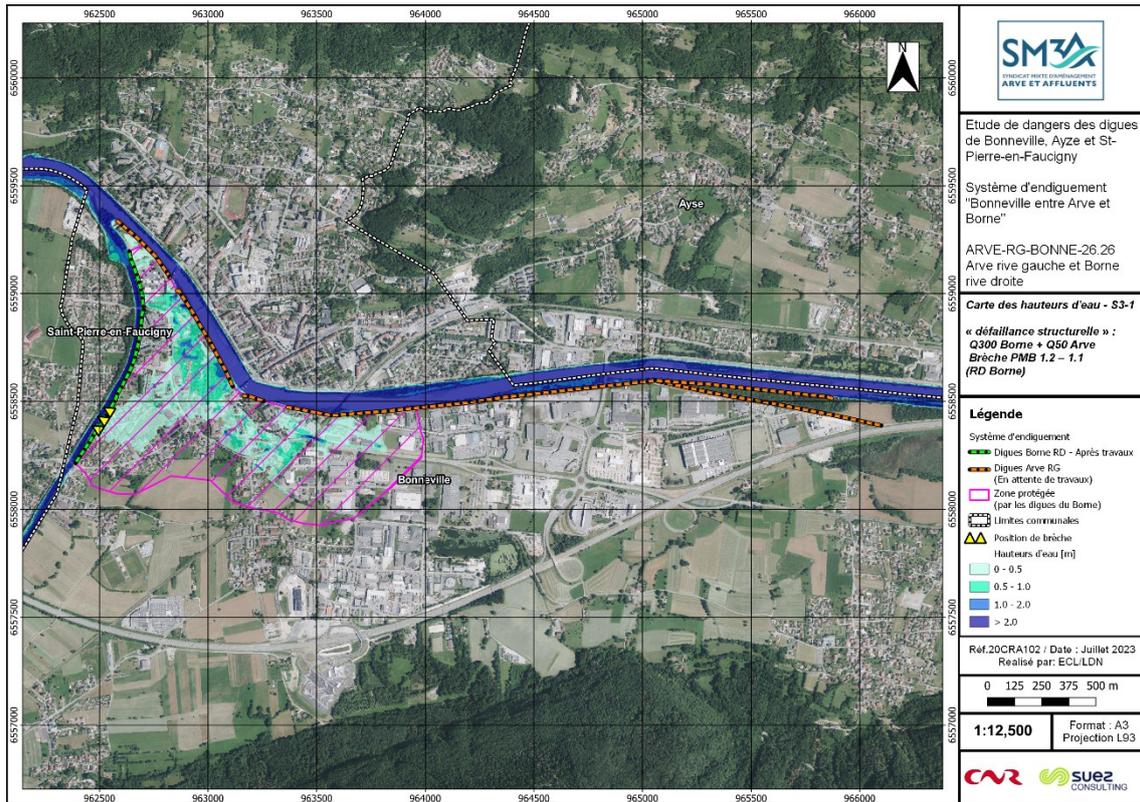


Figure 170 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des hauteurs d'eau)

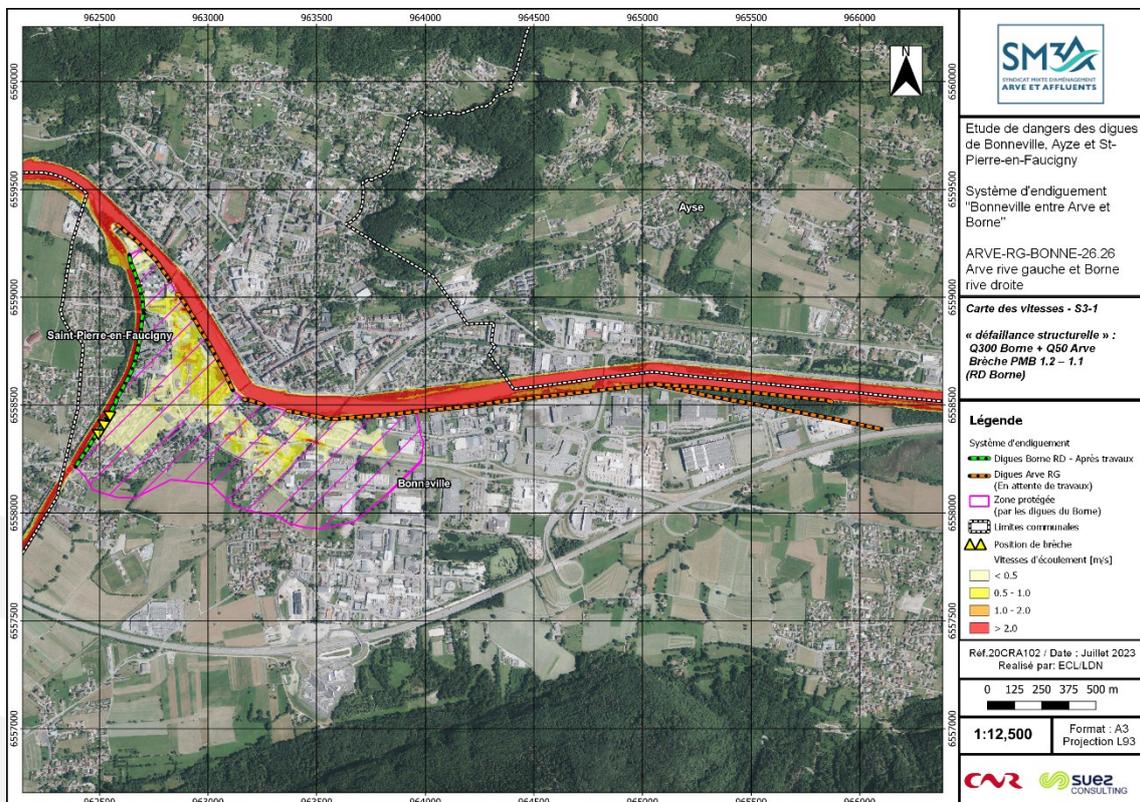


Figure 171 : Défaillance structurelle 3-1 du système d'endiguement (carte des vitesses d'écoulement)

# Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

Ci-dessous une description et une série de cartographies de la propagation de l'onde de submersion en fonction du temps (l'onde de submersion est représentée sous forme de hauteurs d'eau) :

- ✓ Environ 1 heures après l'ouverture de la brèche dans la digue de Bois Jolivet, une partie du quartier de Bois Jolivet est inondée. Le hauteurs d'eau sont inférieur à 50 cm.
- ✓ Environ 2 heures après l'ouverture de la brèche, l'inondation se propage vers le nord-est de la ZP. Plusieurs habitations sont inondées. A noter que les hauteurs d'eau sont accentuées par l'effet « cuvette » en présence des digues de l'Arve.
- ✓ Environ 3 heures après l'ouverture de la brèche, l'enveloppe inondée est sensiblement la même que à deux heures de l'ouverture. Néanmoins, les hauteurs d'eau augmentent.

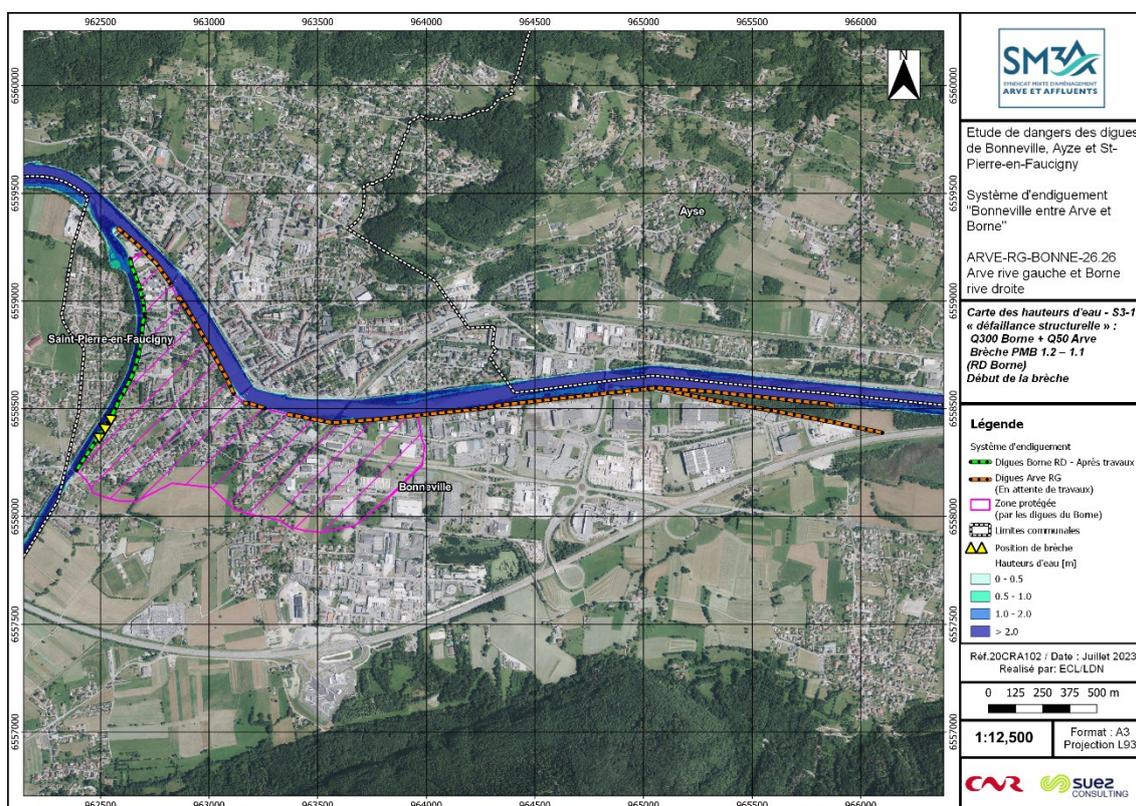


Figure 172 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne" - ARVE-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

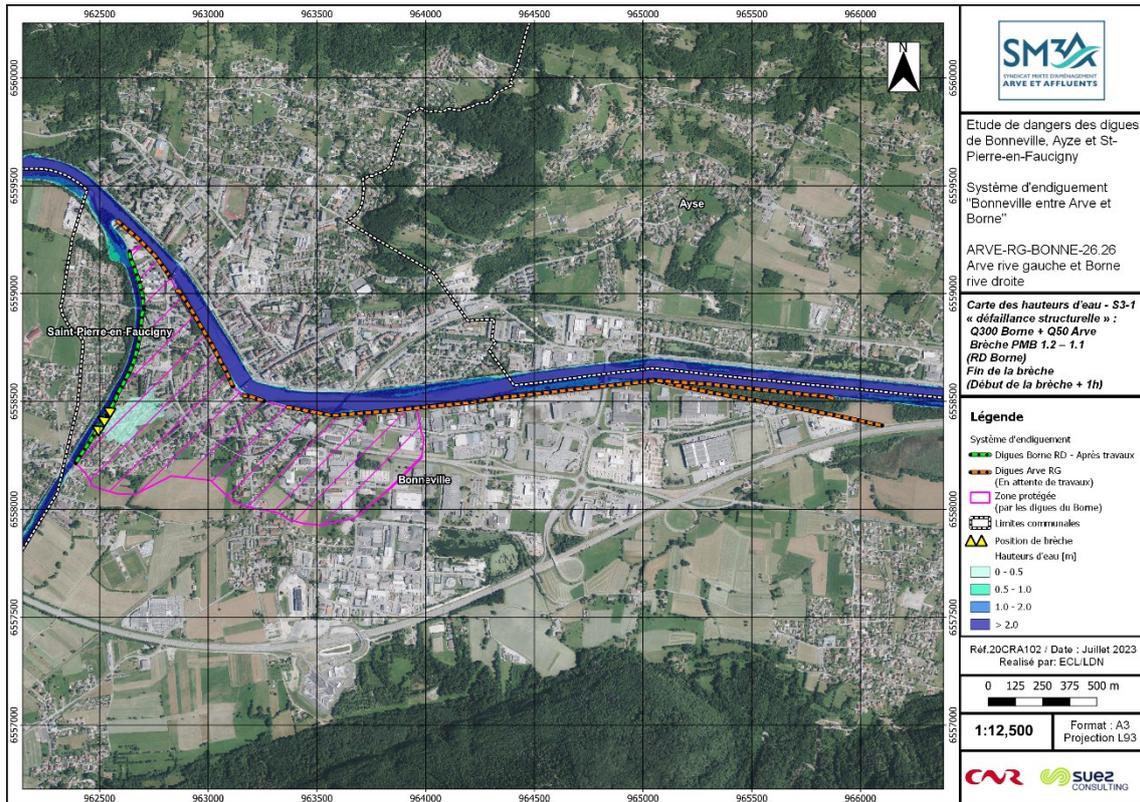


Figure 173 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 1h00

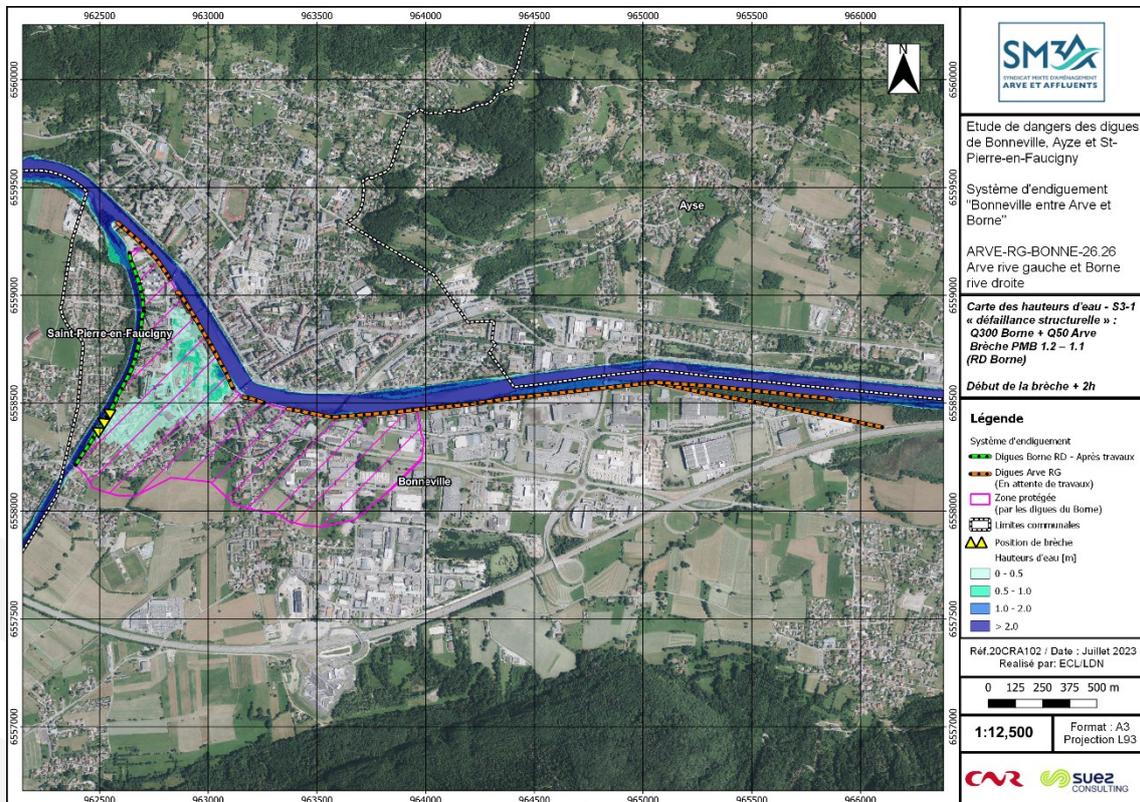


Figure 174 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 2h00

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
 Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

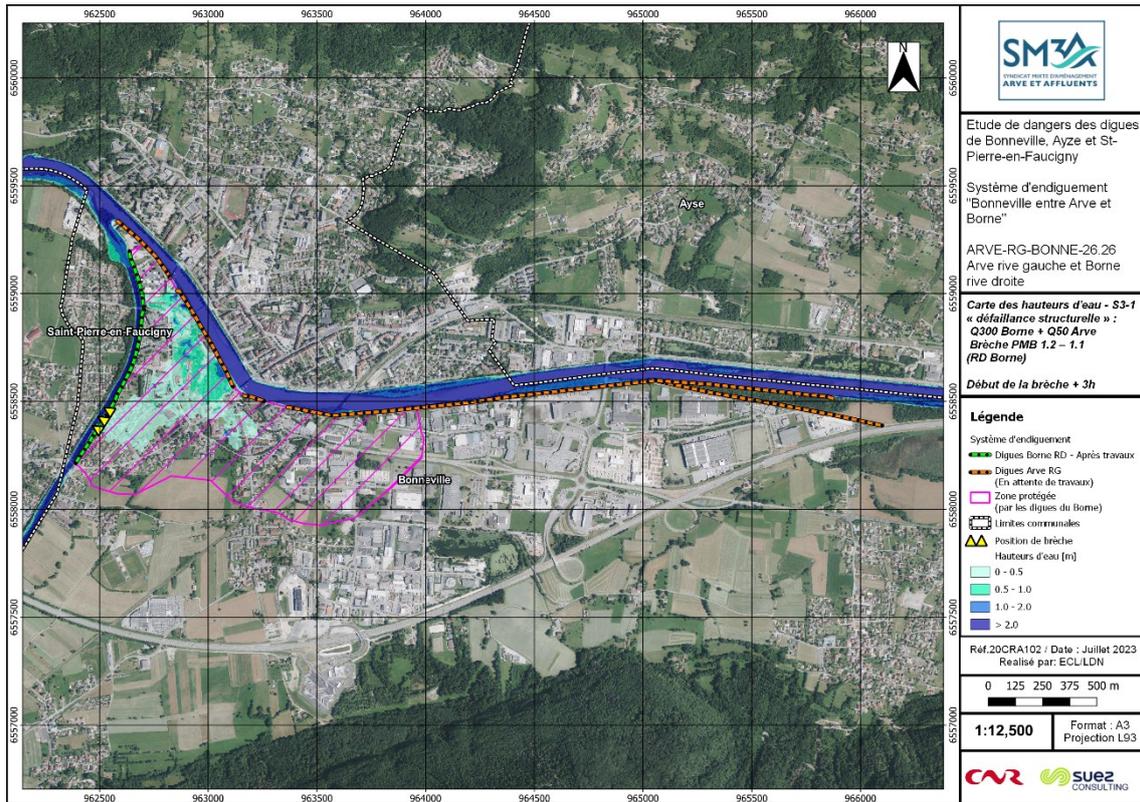


Figure 175 : Défaillance structurelle 3-1 – début de la brèche + 3h00

10.2.2.2 Scénario 3.2 : ouverture d'une brèche dans la digue de la Queue du Borne

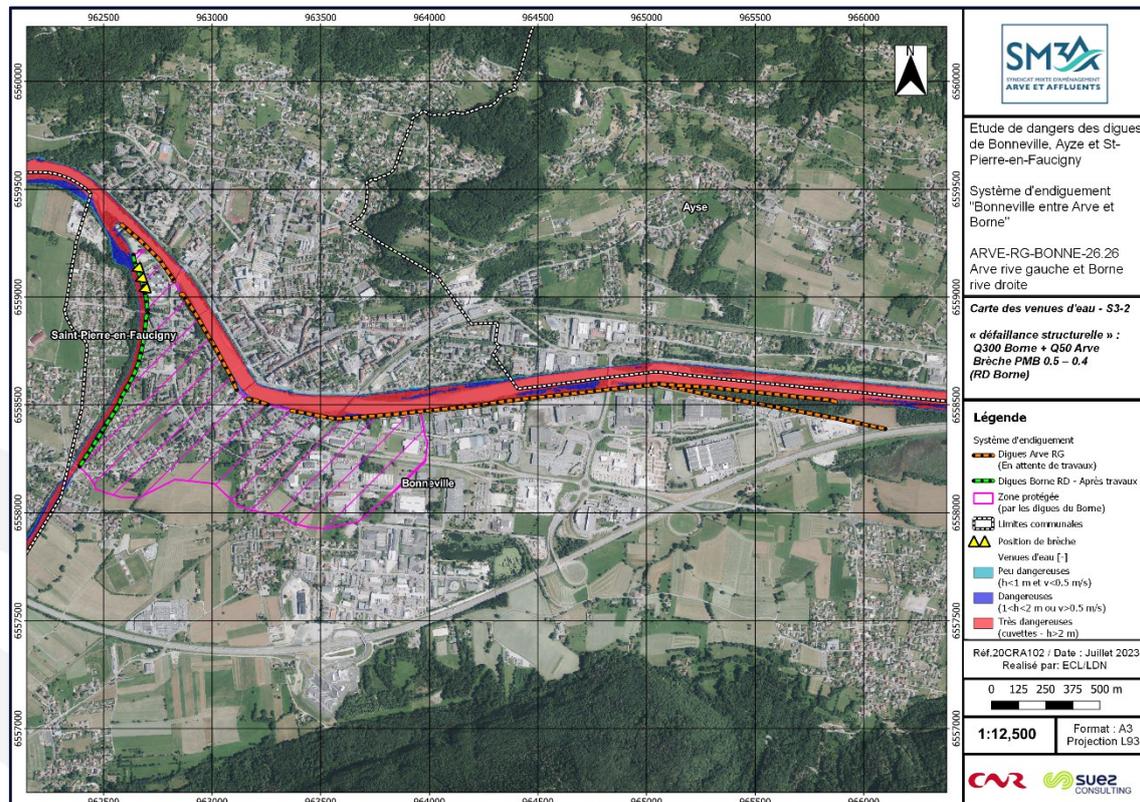


Figure 176 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des venues d'eau)

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
 Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE



Ci-après les cartes des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement du S3.2 :

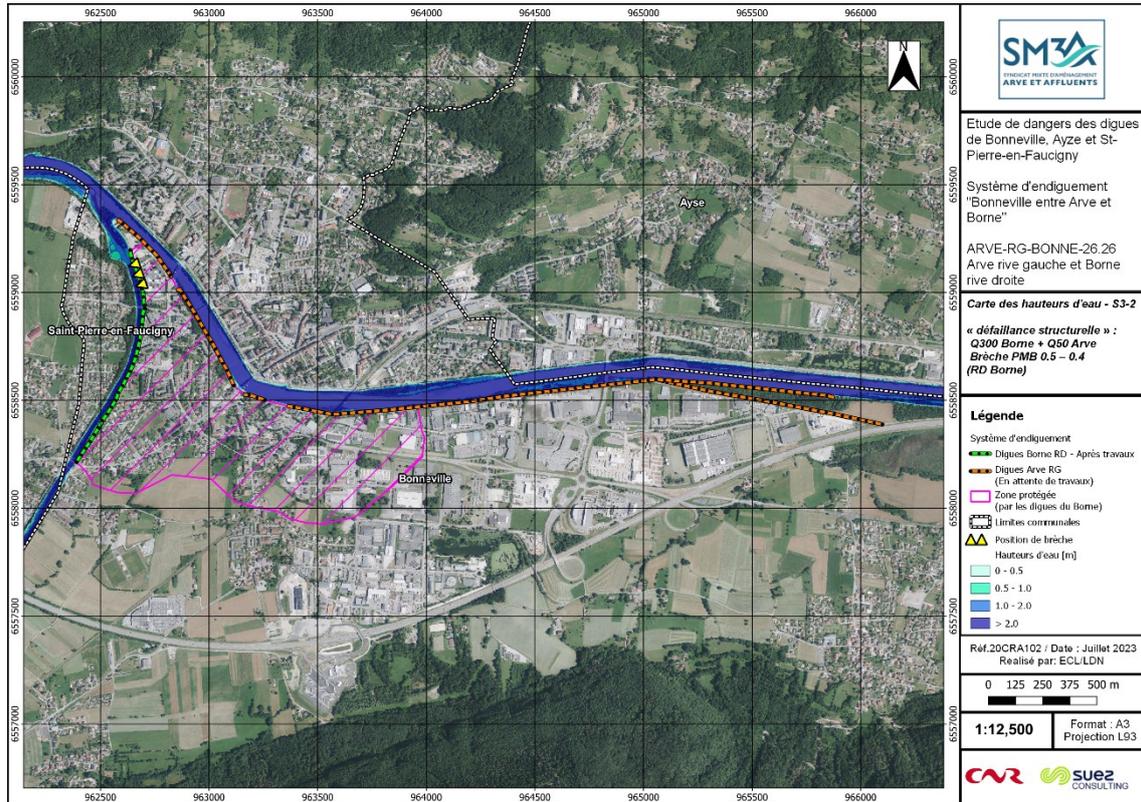


Figure 177 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des hauteurs d'eau)

Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St-Pierre-en-Faucigny - Système d'endiguement "Bonneville entre Arve et Borne"  
 Arve-RG-BONNE-26.24-ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE

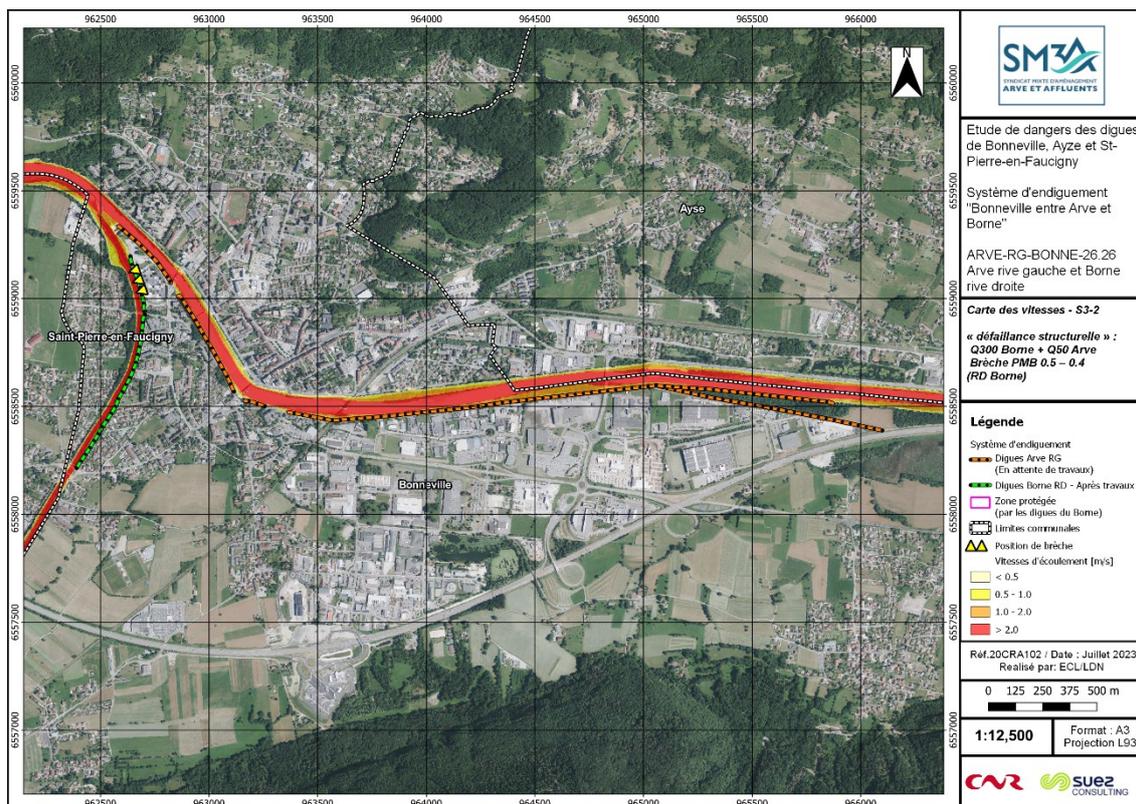


Figure 178 : Défaillance structurelle 3-2 du système d'endiguement (carte des vitesses d'écoulement)

La cartographie montre que la zone protégée par les digues du Borne n'est pas inondée suite au passage d'une crue tri-centennale du Borne et l'ouverture d'une brèche dans la digue de la Queue du Borne. Ce constat est valable lorsque le débit dans l'Arve est inférieur à la crue décennale (en attendant les travaux – cf. dossier réglementaire « Arve »).

## 11. TABLE DES ANNEXES

- **ANNEXE 1** : Etude de danger « Bonneville entre Arve et Borne » Note de vulnérabilité : enjeux et populations exposés. SEPIA CONSEIL. Juin 2022.
- **ANNEXE 2** : Atlas cartographique associé au chapitre 10 et données vectorielles
- **ANNEXE 3** : Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville – Etude d'Avant-Projet - Groupement Suez Consulting/CNR/Biotec, Juillet 2021.
- **ANNEXE 4** : Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville. Tronçon Pont Royal RD1203 – Confluence Arve/Borne (PM0 à 1380 sur le Borne). Mission d'ingénierie géotechnique G2 – stade AVP). CNR. Juin 2021.
- **ANNEXE 5** : VTA Notice générale référencée DIGP 2020-633-00 et fiches synthèses d'Octobre 2020, CNR/Safege // VTA 2017, CNR. Mai 2017.
- **ANNEXE 6** : Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville - Construction du modèle hydraulique – Notice I.001094.001 – DIGP 2021-834-01, CNR. Février 2023.
- **ANNEXE 7** : Confortement et reconstruction des digues du Borne à Bonneville. Dimensionnement géotechnique des ouvrages – G2PRO SUEZ Consulting. Mars 2023.

# CONSULTING

**SAFEGE SAS - Savoie Technolac  
Agence Savoies - Dauphiné  
48 avenue du Lac du Bourget  
BP 30318  
73377 LE BOURGET DU LAC  
Tel. : + 33 (0)4 79 26 46 00**

