



Syndicat Mixte d'Aménagement
de l'Arve et de ses Affluents

Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents

Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville

Etude d'Avant-Projet

Notice
I.001094.001 – DIGP 2021-766-02








Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville

Etude d'Avant-Projet

Notice

I.001094.001 – DIGP 2021-766-02

MAÎTRE D'ŒUVRE	Groupement SUEZ Consulting / CNR / BIOTEC
-----------------------	--

CONTRÔLE QUALITÉ	NOM	DATE	SIGNATURE
RÉALISÉ PAR	Yoann LAFFONT, Flora GUILLOUX, Philippe ADAM, Farid BOUSSA		  flora Guilloux
VÉRIFIÉ PAR	Valentin DEVERNOIS, Sophie TROSSAT		 
APPROUVÉ PAR	Sophie TROSSAT, Florent PEZET, Cécile DAURIAT		

INDICE DU DOCUMENT	DATE	DÉSIGNATION DE LA RÉVISION
-01	25/05/2021	Première version
-02	09/07/2021	Révision suite commentaires SM3A du 24/06/2021

Sommaire

1	Introduction	7
1.1	Périmètre de l'étude	7
1.2	Objectifs et enjeux du projet	8
1.3	Hors périmètre de la mission	8
1.4	Documents d'entrée	9
2	Analyse des données existantes et diagnostic	10
2.1	Approche transversale	10
2.1.1	Points de vue, depuis et sur l'espace alluvial	10
2.1.2	Mobilité, un maillage existant discontinu	11
2.1.3	Trames vertes, un patrimoine naturel remarquables présent sur les digues	12
2.2	Enjeux et Diagnostic Ecologiques	12
2.3	Historique des aménagements du secteur d'étude	14
2.3.1	Historique des systèmes d'endiguements concerné	14
2.3.2	Evolution morphologique du Borne	14
2.3.3	Ouvrage de franchissement du Borne et seuils	15
2.4	Données topographiques et bathymétriques	16
2.5	Données hydrologiques	16
2.5.1	Bas débits	16
2.5.2	Débits de crue	17
2.6	Situation hydraulique actuelle	17
2.6.1	Fonctionnement hydraulique général de la confluence Arve - Borne	17
2.6.2	Niveaux et vitesses en situation actuelle	18
2.7	Rappel du diagnostic des digues	18
2.8	Données environnementales	19
2.9	Synthèse du diagnostic paysager	20
2.9.1	Séquences paysagères	20
2.9.2	Enjeux paysagers : connecter, révéler, préserver	22
2.10	Diagnostic des usages et démarche de concertation	24
2.10.1	Démarche et étapes de la concertation	24
2.10.2	Les perceptions et attentes des usagers et riverains	25
2.10.3	Les apports des acteurs environnementaux	27
2.11	Contraintes, usages et servitudes	27
2.11.1	Réseaux	27
2.11.2	Statut foncier	28
2.11.3	Projets connexes	29
3	Niveaux de protection actuels et projetés	33
3.1	Définition des niveaux réglementaires	33
3.2	Niveau de protection actuel	33
3.3	Objectif de protection	34
4	Description du projet d'aménagement	35
4.1	Rappels de l'AVP structurel ([DA1])	35
4.2	Avant-Projet optimisé	36
4.2.1	Description générale du projet	36
4.2.2	Description par secteur	39
5	Simulation hydraulique de l'état projeté	57
6	Vérification et la justification de la stabilité des ouvrages	58
6.1	Surverse	58
6.2	Erosion interne	58
6.2.1	Reprise intégrale de la digue	58
6.2.2	Confortement interne	58
6.2.3	Confortement par l'aval	58
6.2.4	Arasement de la berge	59
6.3	Erosion externe	59
6.3.1	Reprise intégrale de la digue	60
6.3.2	Confortement interne	60
6.3.3	Confortement par l'aval	60
6.3.4	Arasement de la berge	61
6.4	Stabilité au glissement	61
6.4.1	Reprise intégrale de la digue	61
6.4.2	Confortement interne	61

6.4.3 Confortement par l'aval.....	61
6.5 Stabilité du génie biologique	62
7 Prescriptions techniques pour les aménagements.....	65
7.1 Travaux préparatoires	65
7.1.1 Déboisement et nettoyage des emprises	65
7.1.2 Décapage de la terre végétale.....	65
7.1.3 Dévoisement des réseaux	65
7.2 Réfection et renforcement des digues.....	66
7.2.1 Reprise intégrale des digues et épaulements	66
7.2.2 Palplanches	67
7.2.3 Murs béton	67
7.3 Protection des talus	67
7.3.1 Géométrie des enrochements	67
7.3.2 Qualité des enrochements	67
7.3.3 Géogrilles.....	67
7.3.4 Grillage anti-fouisseurs	67
7.3.5 Géotextiles	67
7.3.6 Génie biologique	68
7.4 Restauration hydro-écologique	70
7.5 Gestion de la végétation post-travaux.....	72
7.5.1 Gestion/entretien à court terme	72
7.5.2 Gestion/entretien à plus long terme.....	73
7.6 Gestion des ouvrages traversants.....	73
8 Organisation des travaux.....	74
8.1 Mouvements de terre et réemploi des matériaux.....	74
8.1.1 Analyse préliminaire du mouvement des terres	74
8.1.2 Gisement de matériaux et destination des excédents.....	74
8.2 Zones d'installations de chantier et accès à la zone de travaux.....	75
8.3 Sécurité de chantier.....	76
8.4 Protection de l'environnement.....	76
8.5 Remise en état du site.....	77
9 Estimation financière.....	78
9.1 Méthode d'estimation et prix de référence	78
9.2 Estimation stade AVP.....	78
9.2.1 Estimation avant-projet Borne (MOA SM3A).....	78
9.2.2 Estimation passage de la véloroute sous le Pont Royal (MOA Conseil Départemental)	80
9.2.3 Estimation aménagements paysagers connexes (MOA commune de Bonneville).....	81
9.2.4 Estimation réseaux secs.....	81
9.3 Incertitudes, enjeux et aléas.....	82
9.3.1 Géotechnique mouvement des terres	82
9.3.2 Génie civil et géotechniques.....	82
9.3.3 Variabilité des prix.....	82
9.3.4 Aléa climatique et hydrologique.....	82
9.3.5 Interfaces avec d'autres ouvrages	82
9.3.6 Interface avec des projets connexes	82
9.3.7 Conjoncture Covid-19.....	83
10 Programme prévisionnel/Planning.....	84
11 Points d'attention/ajustements en phase PRO	86
12 Procédures réglementaires.....	86
13 Conclusion.....	86
Annexes	88
Annexe 1 : Définition des profils types de confortement	89
Annexe 2 : Notice hydraulique.....	90
Annexe 3 : Localisation des parcelles – Emprises foncières.....	91
Annexe 4 : Dossier de plans	93
Annexe 5 : Détail de l'estimation financière.....	94

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude.	7
Figure 2 : Points de vue sur et depuis l'espace alluvial	11
Figure 3 : Cartographie synthétisant les grands corridors écologiques sur le secteur d'étude.	12
Figure 4 : Le Borne dans le tronçon aval (zone de projet).....	13
Figure 5 : Ponts de la RD1203 (nouveau pont au premier plan et ancien pont au second plan).	15
Figure 6 & 7: Restes de l'ancienne prise d'eau au PM1050.	15
Figure 8 : Pont de Toisinges.	16
Figure 9 &10: Rampe en enrochement en amont de la confluence avec l'Arve.	16
Figure 11 : Carte des unités paysagères	20
Figure 12 : Analyse des séquences paysagères, fiche extraite du rapport Diagnostic paysager	21
Figure 13 : Vue sur la confluence depuis la rive droite, en aval de la STEP	22
Figure 14 : Carte des enjeux paysagers	23
Figure 15 : Fiches actions, extraites du rapport Diagnostic paysager	23
Figure 16 : Diagnostic des perceptions et usages liés aux ouvrages de l'Arve et du Borne – Eléments relatifs aux mobilités.	25
Figure 17 : Diagnostic des perceptions et usages liés aux ouvrages de l'Arve et du Borne – Principaux points d'intérêt et points à améliorer.....	26
Figure 18 : Vue aérienne de la Step en chantier (juillet 2020, source : IGN).	28
Figure 19 : Vue aérienne de la Step en chantier (juillet 2020, source : IGN).	29
Figure 20 : Carte synthèse des projets connexes.....	30
Figure 21 : Vue en plan du futur parking relais en aval du centre d'arrêt.....	31
Figure 22 : Extraits plans de situation des travaux prévus dans le lit du Borne (source Setec-Hydratec/Aralep 2018), avec à gauche la partie amont de notre secteur d'étude et à droite la partie aval.	32
Figure 23 : Schéma de définition des niveaux réglementaires sur les endiguements – Source France digue	33
Figure 24 : Profil type de l'AVP structurel de 2018.	35
Figure 25 : Vue en plan de la sectorisation des digues en tronçons homogènes.	37
Figure 26 : Profil type RD T01 / T02 (PM1076) – géotechnique et aménagements hydro-écologiques	40
Figure 27 : Profil type RD-T1 et vue en plan des escaliers d'accès	40
Figure 28 : Profil type RD-T2 et principe d'accès à l'eau.....	41
Figure 29 : Profil type RD T03 / T04 (PM507) – vue géotechnique et hydro-écologiques	42
Figure 30 : Profil type RD-T3 et RD-T4 au droit du centre d'arrêt	43
Figure 31 : Profil type au droit rampe de stabilisation du lit du Borne / PM373.....	44
Figure 32 : Profil type RD-T5 au droit du nouveau parking relais et du projet de jardins familiaux.....	44
Figure 33 : Profil type RG-T2 et RG-T3 – PM1232 – vue géotechnique et hydro-écologiques.....	45
Figure 34 : Profil type RG-T2 et RG-T3 en aval du pont Royal	46
Figure 35 : Profil type RG-T4 et RG-T5 – PM775– vue géotechnique et hydro-écologiques.....	46
Figure 36 : Profil 722 RG-T4 en amont du pont de Tucinge (Avenue Ravel)	48
Figure 37 : Profil 870 RG-T4 en amont du pont de Tucinge (Avenue Ravel)	48
Figure 38 : Profil 465 RG-T5 en aval du pont de Tucinge (Avenue Ravel)	49
Figure 39 : Profil type RG-T6	50
Figure 40 : Profil type RG-T6	51

Figure 41 : Profil 343 RG-T7	51
Figure 42 : Etanchéité au droit des pistes d'exploitation.....	54
Figure 43 : carte de synthèse des cheminements piétons et cycles aux abords du Borne.....	54
Figure 44 : Passage de la véloroute sous le pont de la RD1203.....	56
Figure 45 : Niveau de la crue de projet issu des simulation et niveau retenu.	57
Figure 46 : Schéma de principe de gestion de la végétation ligneuse sur les tronçons confortés par épaulement.	59
Figure 47 Illustrations des débits moyens mensuels du Borne à St-Jean de Sixt de 1964 à 2021(source : banque hydro).	62
Figure 48 Illustrations schématiques de la différence d'amplitude entre un débit hivernal (basses eaux) et printanier (hautes eaux de fonte des neiges) sur un cours d'eau au bassin versant alpin, dans son état naturel en haut puis endigué en bas (figure Biotec).	63
Figure 49 : Vue en plan du dévoiement du réseau EU (tracé en rouge)	66
Figure 50 : Localisation des zones d'installations potentielles.	75

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ouvrages concernés par l'étude.	8
Tableau 2 : Hydrologie du Borne – faibles débits.	17
Tableau 3 : Hydrologie du Borne – crues.	17
Tableau 4 : Synthèse des conclusions du diagnostic de 2018.	18
Tableau 5 : Décompte des arbres sur les digues du secteur d'étude de mars 2017 (cf. [DA11]).	19
Tableau 6 : Synthèse des attentes exprimées par les usagers et riverains.	26
Tableau 7 : Quantité estimative AVP structurel de 2018.	35
Tableau 8 : Sectorisation des digues en tronçons homogènes et type d'intervention retenu au droit de chaque secteur.....	38
Tableau 9 : calcul de forces tractrices.....	64
Tableau 10 : Synthèse du mouvement des terres.	74
Tableau 11 : Estimation financière stade AVP du projet du Borne – ventilation par rive/lit mineur.....	79
Tableau 12 : Estimation financière stade AVP du projet du Borne – distinction entre secteur d'élargissement du lit du Borne et reste du projet.	80
Tableau 13 : Estimation financière stade AVP du passage de la véloroute sous le pont royal.....	81
Tableau 14 : Estimation financière aménagement paysagers connexes.	81
Tableau 15 : Planning / Programme d'intervention.....	85

1 Introduction

Dans le cadre du Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) du territoire du SAGE de l'Arve, et dans la continuité des études de dangers engagées en 2017 sur les endiguements de ce même territoire, 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. Trois systèmes d'endiguements sont concernés :

- SE – ARVE-RG-BONNE-26.24 – BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE,
- SE – ARVE-RG-STPIE-24.17 – SAINT-PIERRE ENTRE ARVE ET BORNE,
- SE – ARVE RD-BONNE-25.79 – BONNEVILLE AYZE.

La mission de maîtrise d'œuvre complète sur les digues du Borne, ainsi que la mission de maîtrise d'œuvre conception au stade avant-projet (AVP) a été confiée au groupement SUEZ Consulting / CNR / Biotec.

Le présent rapport concerne l'étude d'Avant-Projet (AVP) de confortement et reconstruction des digues du Borne, du pont de la RD1203 jusqu'à la confluence avec l'Arve.

1.1 Périmètre de l'étude

Le secteur d'étude porte sur un linéaire d'environ 1380 m entre le pont de la RD1203 (pont Royal) et la confluence avec l'Arve. Il intéresse les deux systèmes d'endiguement qui jouxtent le Borne sur ce linéaire :

- En rive droite, le système ARVE-RG-BONNE-26.24 – BONNEVILLE ENTRE ARVE ET BORNE,
- En rive gauche, le système ARVE-RG-STPIE-24.17 – SAINT-PIERRE ENTRE ARVE ET BORNE.

Le tableau 1 et la figure 1 ci-dessous localisent le secteur d'étude et les digues concernées, ainsi que l'ensemble des systèmes d'endiguement du secteur. Cette localisation fait référence à des points métriques qui suivent l'axe du Borne et dont l'origine est la confluence, au croisement des axes du Borne et de l'Arve (PM croissants de l'aval vers l'amont).

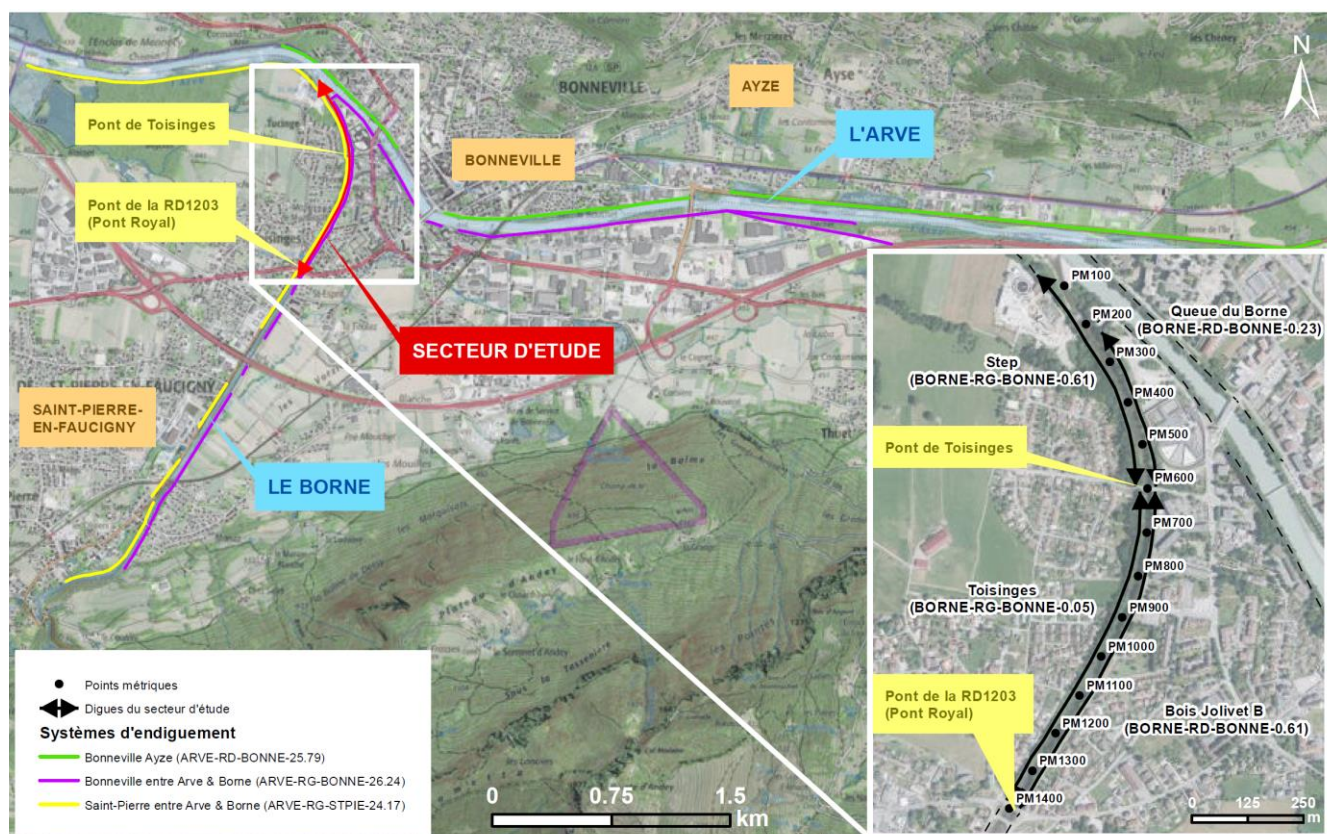


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude.

Tableau 1 : Ouvrages concernés par l'étude.

Rive Borne	Systèmes d'endiguement	Digue	Limite amont		Limite aval (PM)	
RD	ARVE-RG-BONNE-26.24 : Bonneville Entre Arve et Borne	Bois Jolivet B	PM1380	Pont RD1203	PM600	Pont de Toisinges
		Queue du Borne	PM600	Pont de Toisinges	PM210	Confluence
RG	ARVE-RG-STPIE-24.17 : Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne	Toisinges	PM1380	Pont RD1203	PM600	Pont de Toisinges
		STEP	PM600	Pont de Toisinges	PM50	Confluence

1.2 Objectifs et enjeux du projet

Dans le cadre des études antérieures pour la restauration des digues du Borne et de l'Arve, un premier avant-projet dit « structurel », répondant à l'objectif de sûreté des systèmes d'endiguement a été produit ([DA1], cf. § 1.4). Ce projet est actualisé en intégrant les objectifs multiples suivants :

- **Hydraulique et sûreté** : garantir l'objectif de sûreté des systèmes d'endiguement et de protection hydraulique des zones protégées à la crue de projet, trouver des optimisations par rapport au premier AVP structurel,
- **Environnement** : intégration des enjeux environnementaux liés à l'état actuel du lit et des ouvrages, forte intégration environnementale des ouvrages proposés, restauration du lit mineur et diversification des habitats piscicoles,
- **Paysage et usage** : réflexion vis-à-vis des futurs usages (mode doux notamment), intégration des perceptions actuelles en lien avec la concertation.

Le projet de restauration des systèmes d'endiguement du Borne doit non seulement assurer la stabilité des ouvrages et la sécurité vis-à-vis du risque inondation mais également prendre en compte les objectifs écologiques suivants :

- Maintenir la continuité d'un corridor boisé,
- Augmenter la fonctionnalité des milieux alluviaux,
- Limiter le développement d'espèces végétales non indigènes à tendance invasive,
- Diversifier les conditions d'écoulements et améliorer l'attractivité du lit,
- Limiter les impacts sur les zones à fort enjeu écologique.

1.3 Hors périmètre de la mission

Le projet de confortement de la rive gauche du seuil Métral, depuis la vanne de déviation du canal jusqu'à l'aval de la protection en enrochement, fait l'objet d'une étude distincte.

1.4 Documents d'entrée

L'étude d'avant-projet s'appuie sur l'ensemble des diagnostics et études effectués précédemment sur le secteur. Ces documents d'entrée sont listés ci-après.

Etudes antérieures :

- [DA1] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de la confluence Arve Borne, Avant-Projet de confortement – Tronçon Borne Seuil Métral – confluence Arve/Borne (PK 4.2 à PK0 sur le Borne) – CNR – DIGP 2018-625 Décembre 2018.
- [DA2] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny, Etude de Dangers, Système d'endiguement « Bonneville entre Arve et Borne » - ARVE-RG-BONNE-26.24 – ARVE RIVE GAUCHE ET BORNE RIVE DROITE – CNR – DIGP 2018-318-04, Juillet 2019.
- [DA3] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de Bonneville, Ayze et St Pierre en Faucigny, Etude de Dangers, Système d'endiguement « Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne » - ARVE-RG-STPIE-24.1 – BORNE ET ARVE RIVE GAUCHE – CNR – DIGP 2018-1017-03, Juillet 2019.
- [DA4] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de la confluence Arve Borne, Visite technique approfondie – Notice générale et fiches de synthèse – CNR – DIGP 2017-087-01, Mai 2017.
- [DA5] CNR pour SM3A, Acquisition des connaissances nécessaires à la gestion des systèmes d'endiguement et réalisation des études de dangers – Secteur de Bonneville – Système ARVE-RG-STPIE-24.17, Diagnostic de stabilité – CNR – DI-ECS 2017-533-01 Mai 2018.
- [DA6] CNR pour SM3A, Acquisition des connaissances nécessaires à la gestion des systèmes d'endiguement et réalisation des études de dangers – Secteur de Bonneville – Système ARVE-RG-BONNE-26.24, Diagnostic de stabilité – CNR – DI-ECS 2017-531-01 Mai 2018.
- [DA7] CNR pour SM3A, Etude de dangers des digues de la confluence Arve Borne, VTA de mars 2017, Notice générale et Annexes, Réf. : DIGP 2017-087, Juillet 2017.
- [DA8] 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 Bouchets T02, RD 19, RD12, Toisinges, STEP, Corbières, Réf. : Dossier IMG n° 17/E/018.
- [DA9] HYDROGEOTECHNIQUE pour SM3A, RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE, Mission G1 (ES), Réf. : C.17.52067, Septembre 2017.
- [DA10] 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. : V2, Décembre 2017.
- [DA11] Arbeausolutions pour SM3A, SYNTHÈSE DU DIAGNOSTIC DE LA VÉGÉTATION IMPLANTÉE SUR 3 DES SYSTÈMES D'ENDIGUEMENTS DU SM3A, Version 1 du 13/07/2017
- [DA12] ETRM/TÉREO pour SM3A, Etude Hydrogéomorphologique du bassin versant du Borne - Phase 1 – Synthèse des données existantes – Diagnostic du territoire, Janvier 2020.
- [DA13] ETRM/TÉREO pour SM3A, Etude Hydrogéomorphologique du bassin versant du Borne - Phase 2 – Plan de gestion sédimentaire, Juin 2020.
- [DA14] Setec Hydratec / ARALEPB pour SM3A, Etude de conception et de dimensionnement de dispositifs de diversification des habitats piscicoles en secteur endigué sur le Borne aval, 01642402, Septembre 2018,
- [DA15] EDF pour SM3A, Etude des crues extrêmes du Borne à Saint-Pierre-en-Faucigny (149 km²) par la méthode SCHADEX, H-44200966-2020-000007 A, Janvier 2020.
- [DA16] *Etude de conception et de dimensionnement de dispositifs de diversification des habitats piscicoles en secteur endigué sur le Borne aval*, Setec/Hydratec et Aralep, pour le compte du SM3A, 2018,

Etude réalisées dans la cadre de la présente mission de maîtrise d'œuvre :

[DA17] CNR /SUEZ, Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville, Visite technique approfondie – Notice générale, CNR – DIGP 2020-633-00 Octobre 2020.

[DA18] CNR, 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 Avant-Projet, DIGP 2021-772-00 Mai 2021.

[DA19] Atelier Polis / Flora Guilloux, Confortement et reconstruction des digues du Borne et avant-projet sur les digues de l'Arve, à Bonneville – Volet Paysage Diagnostic et Avant-Projet, Version de travail – 05/10/2020.

[DA20] ARALEPB / Mosaïque Environnement, Aménagement des digues de l'Arve et du Borne aval dans l'agglomération de Bonneville, Diagnostic Environnemental, Rapport final, Octobre 2020.

2 Analyse des données existantes et diagnostic

2.1 Approche transversale

L'approche paysagère et écologique a débuté par l'élaboration d'un diagnostic détaillé. Pour la partie paysagère, un document a été produit datant de novembre 2020. Il avait pour ambition de restituer l'identité des lieux et des marqueurs qui participent à la formation d'une culture paysagère commune.

Le périmètre du diagnostic étant plus large que celui des abords du Borne, nous avons souhaité apporter une vision transversale à l'échelle de la commune et des deux cours d'eau qui la traversent, le Borne et l'Arve.

Nous avons considéré que les rivières se définissent selon plusieurs dimensions : longitudinales, transversales, verticales et temporelles afin d'élargir notre perception et de comprendre leur influence sur les centres urbains qu'elles traversent. Elles nous offrent de nombreux services et sont aujourd'hui reconnues comme éléments naturels majeurs des centres urbains. En effet, de nombreux parcs linéaires se dessinent le long des berges, les habitants expriment de manière de plus en plus importante leurs attentes en matière d'espace naturel à proximité de chez eux. Les objectifs de restauration et de protection se confrontent alors à ces projets d'amélioration du cadre de vie paysager.

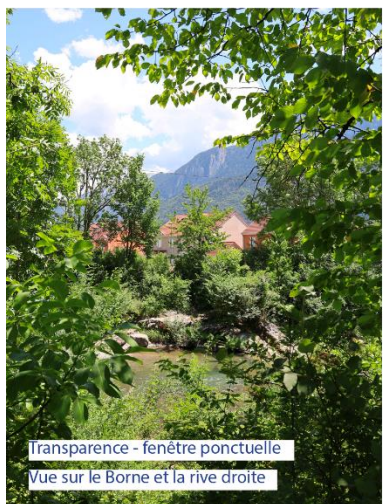
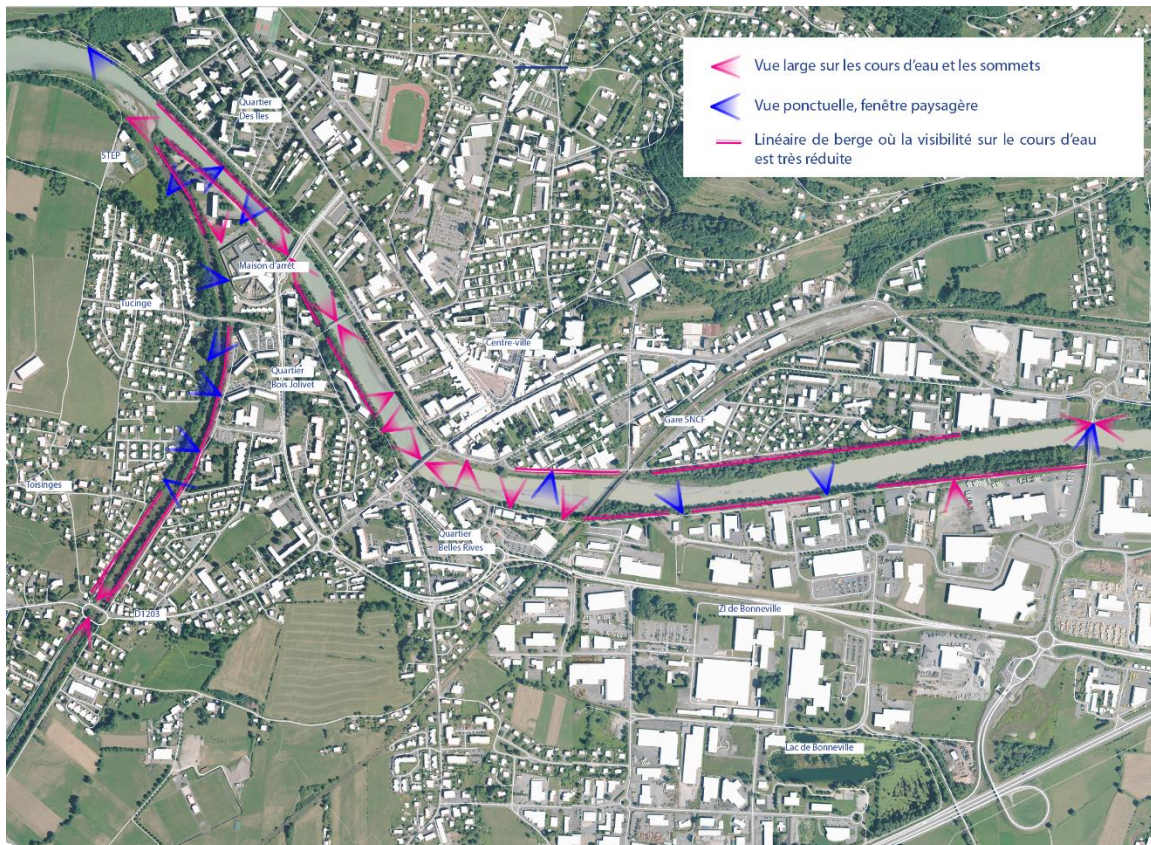
L'objectif étant de construire des projets cohérents pour les usagers, mais aussi pour la rivière afin qu'elle puisse s'étaler sans pour autant inonder les quartiers alentour. Nous ne souhaitons pas restaurer une naturalité absolue, mais au contraire trouver de nouveaux équilibres, durables, entre dynamiques naturelles et anthropiques.

L'unique moyen de faire évoluer nos sociétés, pour une plus grande résilience, sera d'accepter un changement de perception, pour enfin agir « avec » et non « contre » la nature. Il sera important de ne pas occulter la « face sombre » de la rivière, mais se servir de l'émotion comme d'un vecteur d'actions et d'opportunités. Les projets de restauration et de protection ne sont pas uniquement le fruit d'ingénieries fines, mais également le moyen de retisser les liens entre l'homme et les rivières.

2.1.1 Points de vue, depuis et sur l'espace alluvial

Une des premières étapes du diagnostic a été d'arpenter le site, le Borne, puis l'Arve. Cet arpentage minutieux a eu pour objectif de faire connaissance avec le territoire, repérer les motifs et unifier les grands ensembles.

Mais en premier lieu, il s'agit toujours d'observer, de contempler le cours d'eau, les sommets emblématiques depuis la crête des digues. La carte suivante identifie les points de vue larges, les fenêtres paysagères ponctuelles et les berges depuis lesquelles la visibilité est très réduite sur le cours d'eau.



Transparence - fenêtre ponctuelle
Vue sur le Borne et la rive droite



Ouverture visuelle sur l'aval de la confluence depuis le chemin en rive gauche du Borne, juin 2020

Figure 2 : Points de vue sur et depuis l'espace alluvial

2.1.2 Mobilité, un maillage existant discontinu

Le maillage de circulations douces, qu'elles soient, piétonnes ou cyclables, est discontinu, en particulier l'axe nord-sud. D'est en ouest, l'Arve constitue une colonne vertébrale, support d'une mobilité plus ou moins affirmée. Plus globalement, le lien entre la trame urbaine et les cours d'eau est souvent complexe et peu lisible. À l'exception des abords du pont de l'Europe, l'accès aux berges reste confidentiel. Les digues constituent un obstacle à la fois physique et visuel dissuasif. Le Borne est d'ailleurs bordé par des ouvrages haut sur une grande partie de son linéaire.

Le schéma directeur cyclable, dessiné par la communauté de communes, montre une volonté politique en matière de développement du vélo. La stratégie cyclable doit intégrer le Borne, et plus globalement, les rives de chaque cours d'eau, comme des opportunités pour développer le maillage de circulations douces.

2.1.3 Trames vertes, un patrimoine naturel remarquables présent sur les digues

La végétation alluviale en place joue un rôle écologique majeur. Ce sont des milieux présentant une forte biodiversité qui forment un corridor biologique primordial à la circulation des espèces. D'un point de vue paysager, ces boisements sont empreints de calme et d'intimité. Ils permettent au promeneur d'entretenir une relation privilégiée avec le cours d'eau en formant un écran vis-à-vis des quartiers à proximité. Dans d'autres cas, ils forment un obstacle à la fois physique et visuel avec le cours. Dans cette situation, la découverte et l'accès au cours d'eau devient difficile. Le projet devrait permettre d'ouvrir des points de vue (relevage des houppiers, coupe sélective) tout en conservant les ambiances boisées du site.

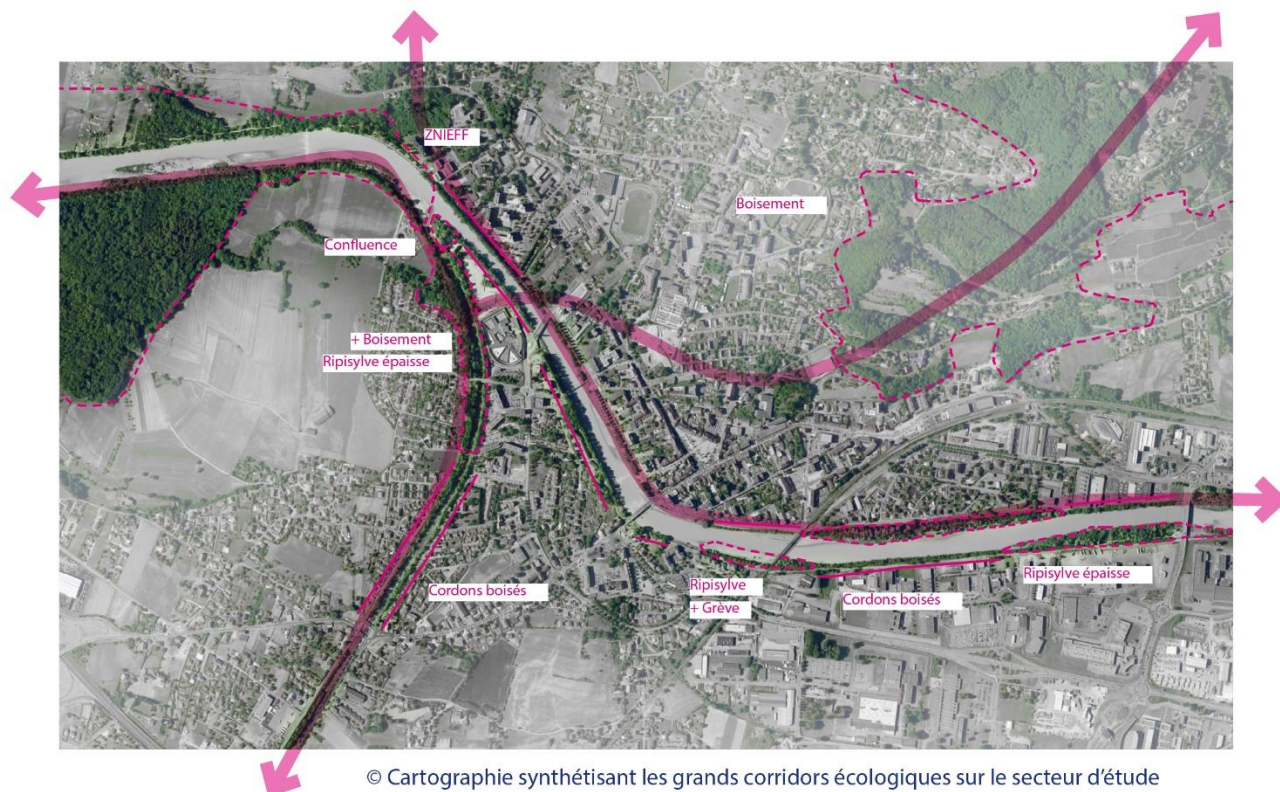


Figure 3 : Cartographie synthétisant les grands corridors écologiques sur le secteur d'étude.

Les cartes présentées précédemment sont extraites du rapport diagnostic paysager du 16 novembre 2020.

2.2 Enjeux et Diagnostic Ecologiques

Pour mémoire, le tronçon aval du Borne étudié dans le cadre de la mission est implanté au cœur d'un vaste cône de déjection rejoignant la plaine alluviale de l'Arve qui occupe tout le fond de vallée et sur lesquels sont implantés le bourg de St Pierre en Faucigny et la partie Sud des faubourgs de Bonneville.

Aménagé de longue date (cf. ci-dessous, vraisemblablement dès la fin du XVIII -ème siècle) pour permettre l'agriculture puis l'implantation de quartiers d'habitation, le cours d'eau a donc été fortement rectifié et endigué. Historiquement soumis à l'expansion régulière des crues et au dépôt d'alluvions, le talweg du Borne est très peu marqué sur ce secteur. La configuration du site a donc nécessité la construction de digues particulièrement hautes (3 à 4m) qui subissent une mise en charge rapide.

Directement impacté par les évolutions de l'Arve puis par les effets de l'endiguement, le lit du Borne a subi une incision du fond de son lit. Ce phénomène, par ailleurs plus prononcé en partie amont, contribue à solliciter le pied des ouvrages (perrés maçonnés) qui ont été renforcés au cours du temps par des enrochements. La partie aval a vu quant à elle l'implantation d'un seuil/rampe bloquant l'incision par rapport à la cote du fond du lit de l'Arve; seuil implanté comme il a été vu ci-dessus originellement pour protéger une canalisation d'eaux usées vers la STEP.

Les dépôts successifs d'alluvions fins au sein des enrochements, couplés à l'enfoncement progressif du cours d'eau et l'absence d'entretien des perrés ont favorisé l'implantation d'un cordon boisé sur l'ensemble du linéaire.

Si ce cordon peut représenter aujourd'hui une menace pour la stabilité des digues (basculement des grands arbres, érosion interne due au système racinaire), il constitue néanmoins un corridor écologique en berge indispensable pour la continuité écologique (lieu de déplacement, de reproduction, de refuge et source de nourriture pour la faune). Il assure également l'ombrage du cours d'eau en maintenant une température fraîche des eaux et représente une entité paysagère très importante au sein du contexte urbain.

Bien que relictuel et peu fonctionnel, ce compartiment écologique constitue donc un enjeu extrêmement fort sur ce secteur.

Les effets de l'endiguement ont également contribué à modifier les conditions d'écoulement et du transport solide. Il en résulte une homogénéisation générale des faciès d'écoulement (plat courant) avec un pavage du fond du lit rendant le cours d'eau très peu attractif pour la faune aquatique (hauteur d'eau trop faible à l'étiage, vitesses trop importantes en crue, absence de zones refuges ou de repos). Situé en amont immédiat de la confluence avec l'Arve, ce long tronçon représente donc un frein important dans la continuité piscicole notamment vis-à-vis des espèces cibles (truite fario et chabot).

Dans une moindre mesure, le tronçon aval du Borne étudié en 2018 – 2019 quoiqu'assez contraint, permet l'expression entre les digues de milieux alluviaux caractéristiques des cours d'eau submontagnards (bancs de graviers, mégaphorbiaie à pétasite hybride, fourrés de saules voir ripisylve au niveau des basses terrasses) dont certains témoignent d'un certain dynamisme. La zone d'étude actuelle (tronçon aval du Borne) est toutefois très chenalisée et est quasi-dépourvue de ces milieux qui sont donc à restaurer.

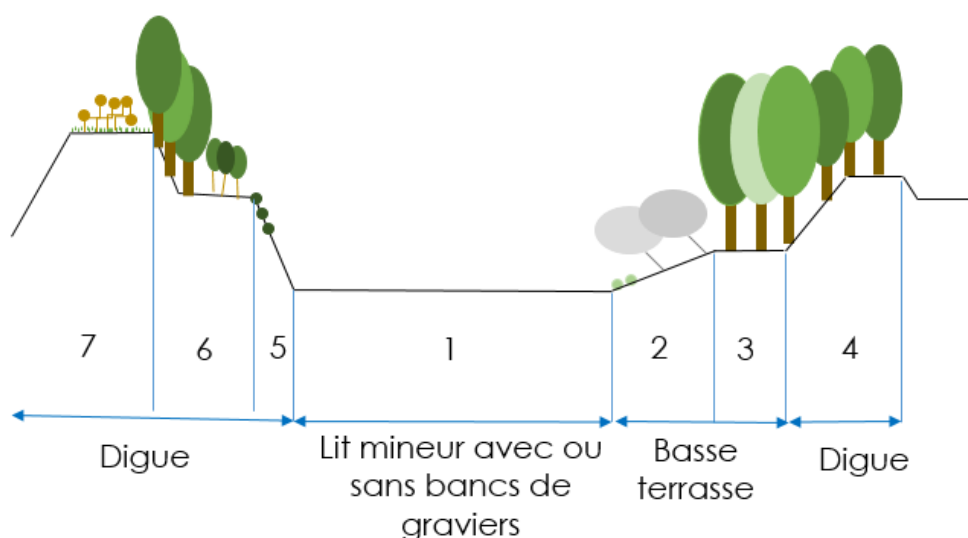


Figure 4 : Le Borne dans le tronçon aval (zone de projet)

- 1 : Zones en eau toute l'année ;
- 2 : Fourrés à *Salix eleagnos* et *S. purpurea* et parfois Mégaphorbiaie à *Phalaris arundinacea* et *Petasites hybridus* en ourlet ;
- 3 : Forêt à *Fraxinus excelsior* et *Acer pseudoplatanus* ;
- 4 : Boisements (selon les secteurs mésoxérophile, mésophile ou hygrophiles, variabilité liée au substrat où à la position dans la pente) artificialisés sur digues ;
- 5 : Friche en ourlet au-dessus du Borne (rarement cartographiée car très fine) ;
- 6 : Fourré à *Rhamnus cathartica* et *Cornus sanguinea* ou fourré à *Ligustrum vulgare* et *Prunus spinosa* en mosaïque avec des boisements (selon les secteurs mésoxérophiles ou mésophiles), variabilité liée au substrat où à la position dans la pente) artificialisés sur digues ;
- 7 : Ourlet mésophile ; et fourré à *Ligustrum vulgare* et *Prunus spinosa*.

Les principales espèces exotiques de nature envahissante présentes sur les berges du Borne sont représentées par les robiniers faux acacia (*Robinia pseudo acacia*) et le buddleia (*Buddleja davidii*) pour les espèces ligneuses puis les renouées asiatiques (*Reynoutria japonica*) pour les herbacées. Si les robiniers sont omniprésents sur les digues, les renouées asiatiques sont quant à elles essentiellement présentes en rive droite en partie amont du secteur d'étude et les buddleias très présents dans le secteur de confluence avec l'Arve.

2.3 Historique des aménagements du secteur d'étude

2.3.1 Historique des systèmes d'endiguements concerné

Le détail de l'historique des digues du secteur a été établi dans le cadre de l'étude historique ACTHYS Diffusion de 2017 (cf. [DA10]). Les principales étapes sont rappelées ci-après.

Durant la première moitié du XVIII^{ème} siècle, le lit du Borne, au droit de son cône de déjection, n'est pas endigué. La confluence avec l'Arve a lieu environ 1 kilomètre en amont de la confluence actuelle, aux alentours du PK27 de l'Arve. L'endiguement du Borne débute au cours de la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle à l'amont du secteur d'étude.

Au droit du secteur d'étude :

- Les premiers endiguements sont réalisés entre la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle (digue de Toisinges) et la première moitié du XIX^{ème} siècle, en suivant un tracé proche du tracé actuel jusqu'à la confluence,
- La digue de la Queue du Borne (rive droite) est intégralement détruite lors de la crue de 1859,
- D'important travaux de réhausse ont lieu entre 1870 et 1880 sur l'ensemble des endiguements du secteur, à l'exception des 150 derniers mètres de la Queue du Borne qui ne sont pas reconstruits,
- En 1938, suite au constat d'enfoncement du lit, des blocs sont disposés en pied de talus amont,
- En 1943, l'endiguement de la Queue du Borne (rive droite) est prolongé de 150 m. Ce linéaire est partiellement repris suite à la crue de 1968, ayant occasionné une rupture.

Ainsi, à l'exception de la partie terminale de la queue du Borne (1943-1968), l'essentiel des endiguements du secteur datent des années 1870-1880, les travaux ultérieurs se limitant à des confortements du pied de talus amont.

2.3.2 Evolution morphologique du Borne

Historiquement, la dynamique sédimentaire du Borne a été perturbée dès la fin du XVIII^{ème} siècle / début du XIX^{ème} siècle 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 situé en aval du pont RD1203 (objet de cette étude). C'est cette tendance à l'aggradation qui conduit aux travaux d'exhaussement des digues des années 1870-1880, le fond du lit du Borne au droit du secteur étant alors situé 1 à 2 m plus haut que le niveau de la plaine (cf. [DA10]).

Cette tendance a évolué à partir de la première moitié du XX^{ème} siècle. On commence à assister à un phénomène d'enfoncement progressif du lit de l'Arve, qui s'est propagée au Borne, en lien avec une rupture du transit sédimentaire. Plusieurs facteurs semblent expliquer le phénomène :

- Pour partie faible, la fin du Petit Âge Glaciaire au milieu du XIX^{ème} siècle, 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 facteurs lié à l'activité anthropique :
 - ♦ L'endiguement lui-même, qui, restreignant l'espace de divagation des deux rivières, conduit 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 cours de l'Arve, qui servait principalement à la construction et les infrastructures routières. Environ 15 millions de m³ 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 que le lit de l'Arve s'est enfoncé largement de plusieurs mètres, et par conséquent certains affluents, dont le Borne, réglant au passage pour partie les problématiques d'inondation. En contrepartie, ce phénomène d'incision a généré des problèmes d'instabilités des abords des rivières et même l'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 en termes de profil en long, le phénomène d'incision est relativement stabilisé.

2.3.3 Ouvrage de franchissement du Borne et seuils

2.3.3.1 Ponts de la RD1203 (Pont Royal) – PM1380

Le pont de de la RD1203, ou Pont Royal, marque l'extrémité amont du secteur d'étude. Il date du début du XIX^{ème} siècle et présente deux piles dans le lit du Borne. Depuis 2013-2014, il a été doublé par un second ouvrage, environ 25 mètres en amont, ne présentant pas d'appui dans le lit du Borne. Chacun des deux ponts est désormais à sens unique, formant un carrefour giratoire à l'intersection de la RD1203 et de la RD12.

Altimétrie de la face inférieure du tablier :

- Pont ancien (aval) : (453.82),
- Nouveau pont (amont) : (454.17).



Figure 5 : Ponts de la RD1203 (nouveau pont au premier plan et ancien pont au second plan).

2.3.3.2 Ancien seuil – PM1050

Les restes d'une ancienne prise d'eau sont présents en rive droite du Borne au droit du PM1050. Les photographies aériennes historiques montrent qu'un ancien seuil était présent au droit de cette prise d'eau, aujourd'hui totalement disparu. Aucune dénivellation n'est aujourd'hui visible sur le profil en long à cet endroit ; un rétrécissement local du lit reste toutefois perceptible.

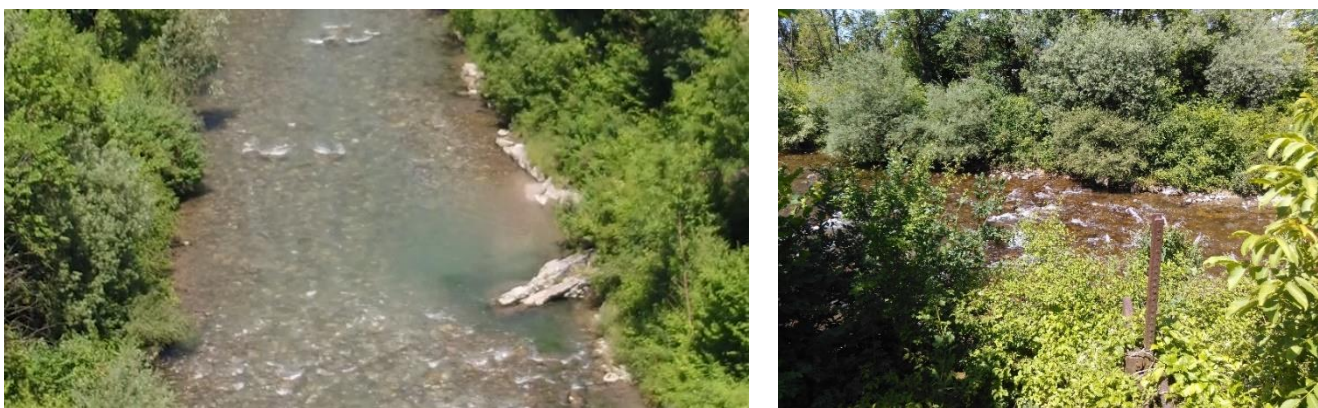


Figure 6 & 7: Restes de l'ancienne prise d'eau au PM1050.

2.3.3.3 Pont de Toisinges – PM600

Le Pont de Toisinges a été construit à la fin des années 1970 pour desservir le lotissement de Tucinges en rive gauche. Il ne présente pas de pile dans le lit du Borne.

Altimétrie de la face inférieure du tablier : (447.63).



Figure 8 : Pont de Toisinges.

2.3.3.4 Seuil amont confluence – PM175

Ce seuil, composé d'une rampe en enrochement longue de 10 à 15 m, a vraisemblablement été mis en place conjointement à la création de la station d'épuration de Bonneville à la fin des années 1970 / début des années 1980, pour protéger le collecteur d'eau usée qui passe sous le lit du Borne à cet endroit (cf. § 2.11.1). La chute est d'environ 0.85 m. Il est à noter que ce seuil permet également de bloquer l'érosion régressive du lit du Borne induite par l'incision du lit de l'Arve.

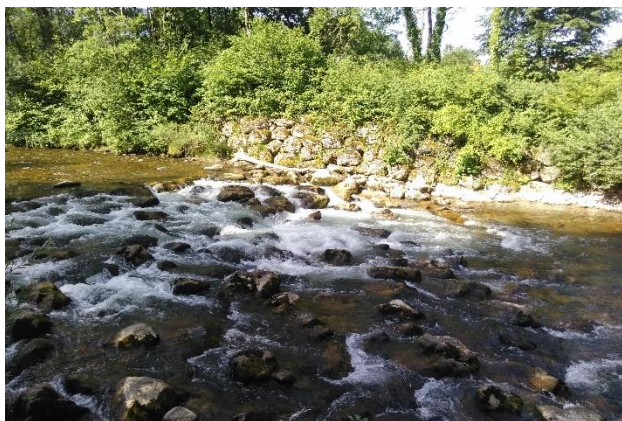


Figure 9 &10: Rampe en enrochement en amont de la confluence avec l'Arve.

2.4 Données topographiques et bathymétriques

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).

2.5 Données hydrologiques

2.5.1 Bas débits

Les bas débits à la confluence du Borne et de l'Arve, retenus pour cette étude, sont obtenus à partir des données à la station de Saint-Jean-de-Sixt (banque Hydro), transposés à la confluence au prorata de la surface du bassin versant. Les débits concomitants de l'Arve ont été calculés par la même méthode, à partir des données de la station de Sallanches.

Le tableau ci-après liste l'hydrologie retenue pour les bas débits.

Tableau 2 : Hydrologie du Borne – faibles débits.

	Saint-Jean de Sixt (Données banque Hydro)	Confluence Borne-Arve
Surface du bassin versant	65.1 km ²	149 km ²
Etiage (QMNA5)	0.4 m ³ /s	0.92 m ³ /s
Module	2.88 m ³ /s	6.59 m ³ /s
Débit Moy Mens Mai	5.9 m ³ /s	13.5 m ³ /s

2.5.2 Débits de crue

Concernant les débits de crues, trois sources de données différentes sont disponibles :

- Etude de dangers des digues de la confluence Arve Borne (CNR, 2017) – [DA2] & [DA3],
- Etude hydrogéomorphologique du bassin versant du Borne (ETRM, 2020) – [DA12],
- Etude des crues extrêmes du Borne à Saint-Pierre-en-Faucigny par la méthode SCHADEX (EDF, 2020) – [DA15].

Les débits et hydrogrammes de crues retenus sont ceux de l'étude EDF produite en 2020 (méthode SCHADEX à la station de Saint-Jean de Sixt, transposée à la confluence par la méthode de Myer). Les débits concomitants de l'Arve sont issus des scénarios établis dans le cadre de l'EDD des digues de la confluence Arve-Borne. Les débits de pointes du Borne et les débits concomitants de l'Arve sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Hydrologie du Borne – crues.

Période de retour Borne (ans)	Débit du Borne (m ³ /s)	Débit de l'Arve (m ³ /s)	Période de retour Arve (ans)
2	66.2	380.4	2
5	93.5	475.5	5
10	113.5	525.0	10
30	141.9	691.0	30
50	156.6	691.0	30
80	171.4	691.0	30
100	178.4	691.0	30
200	201.4	767.0	50
1000	254.7	767.0	50

2.6 Situation hydraulique actuelle

2.6.1 Fonctionnement hydraulique général de la confluence Arve - Borne

L'Arve et le Borne présentent des régimes d'écoulements fluviaux à forte pente, proche d'un régime torrentiel. La particularité de ces rivières est la vitesse des écoulements en crue et le transport de sédiments.

Le transport solide moyen est très conséquent, surtout sur l'Arve qui reçoit juste en amont de la zone d'étude, les écoulements et la charge solide du Giffre.

Le Borne semble présenter une charge solide plus modérée. Les zones de dépôt préférentielles sont localisées au sortir des gorges du Borne (au niveau du seuil de Métral) et à la confluence avec l'Arve. Le barrage de Beffay, géré par EDF, joue un rôle important dans l'évolution modérée de l'apport solide du Borne.

2.6.2 Niveaux et vitesses en situation actuelle

Le modèle hydraulique utilisé pour la conception en phase AVP est issu des Etudes de Dangers (EDD) des digues de Bonneville, Ayze et Saint-Pierre en Faucigny ([DA2] & [DA3]). Ce modèle TELEMAC-2D inclut la plaine d'inondation au droit des zones protégées par les trois systèmes d'endiguement concernés. Il repose sur les données topographiques et bathymétriques listées au paragraphe 2.4. Le détail des caractéristiques, de la construction et du calage du modèle est renseigné dans la notice hydraulique en annexe 2.

L'hydrologie utilisée pour les simulations est précisée au paragraphe 2.5 (débits de pointe) ainsi que dans l'annexe 2 (hydrogrammes).

Ces simulations ont notamment permis la mise à jour du diagnostic du digue avec l'actualisation des hauteurs de mise en charge des digues à la crue de projet (cf. § suivant).

Le profil en long de l'annexe 2 met en vis-à-vis la ligne d'eau de Q_{100} état actuel (résultat brut de calculs, sans revanche supplémentaire) avec l'altimétrie des crêtes des digues du Borne et le niveau du TN pour chaque rive.

Ce profil en long montre :

- L'absence de surverse à Q_{100} sur l'ensemble des digues du secteur,
- Les hauteurs de mise en charge à Q_{100} variables selon les secteurs (cf. § suivant),
- Des vitesses d'écoulement en Q_{100} de l'ordre de 3 à 4.5 m/s à l'axe du Borne.

2.7 Rappel du diagnostic des digues

Un diagnostic de stabilité complet a été réalisé en 2018 sur les digues du linéaire d'étude ([DA5] et [DA6]), à partir :

- d'investigations géophysiques et géotechniques,
- d'un recensement des désordres (Visites Techniques Approfondies et diagnostic de végétation),
- d'une évaluation des risques de surverse, d'érosion externe, d'érosion interne et de glissement.

Ce diagnostic a été mis à jour dans le cadre de la présente mission avec :

- une actualisation du modèle hydraulique (cf. annexe 1),
- une actualisation du recensement des désordres (cf. [DA17]),
- la prise en compte d'une cote de protection correspondant à la ligne d'eau maximale atteinte lors d'une crue centennale (Q_{100}) avec ajout d'une revanche de 1 m (hors cas particuliers, cf. § 3.3 et 5).

Le tableau ci-après reprend les conclusions apportées par le diagnostic de 2018, à la maille des tronçons globaux, en considérant les nouvelles hypothèses hydrauliques. Les réflexions complètes (hypothèses, application des principes, etc.) restent semblables à celles du diagnostic et sont disponibles dans les rapports de diagnostic. Le détail du diagnostic actualisé est présenté dans l'annexe 2 et dans le rapport de G2-AVP [DA18].

Tableau 4 : Synthèse des conclusions du diagnostic de 2018.

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.

NB : Une campagne de reconnaissances géotechniques complémentaires a été réalisées sur le secteur à l'hiver 2020 en vue de la phase projet (résultats non disponibles et non analysés à ce stade). Les reconnaissances complémentaires réalisées sont listées dans le rapport de G2-AVP (§ 8, [DA18]), l'exploitation des résultats sera effectuée dans le cadre de la mission G2-PRO.

2.8 Données environnementales

Dans le cadre des études antérieures pour la gestion des systèmes d'endiguement du secteur de Bonneville, un décompte des arbres présents sur les ouvrages a été effectué en 2017 (cf. [DA11]). Le tableau ci-dessous présente ce décompte au droit des digues du secteur d'étude.

Tableau 5 : Décompte des arbres sur les digues du secteur d'étude de mars 2017 (cf. [DA11]).

Rive	Tronçon	Talus amont	Crête	Talus aval	Total
Droite	Bois Jolivet B	399	0	13	412
	Queue du Borne	77	11	16	104
	Toisinges	207	4	367	578
Gauche	La Step	171	19	136	326
TOTAL					1420

Une notice environnementale a aussi été produite dans le cadre de cette mission globale pour le compte du SM3A avec une série d'inventaire sur la période 2020/2021 pour identifier les espèces et les compartiments à enjeux sur le secteur. Ce document sera utilisé pour la partie réglementaire et guide aussi les choix d'aménagements retenus.

L'historique de réalisation de l'inventaire faune flore habitats est comme suit :

- Avril 2018 - Mars 2019 : inventaire faune, flore, habitats naturels quatre saisons (cycle biologique complet) sur une zone d'étude élargie ;
- Octobre 2020 : Reprise du diagnostic à l'échelle de la zone des projets Arve et Borne ;
- Mai-juin 2021 : réalisation d'une annexe au cas par cas sur la base de l'AVP optimisé du BORNE. Ce document présente une estimation des incidences brutes puis résiduelles après mise en œuvre de mesures d'évitement et de réduction.

Ci-dessous une rapide synthèse sur le diagnostic environnemental et les impacts du projet :

La zone d'étude est située dans un contexte urbain contraint et le Borne est fortement chenalisé dans le secteur, ce qui limite l'intérêt des habitats naturels en présence. Quelques bancs de graviers avec leur végétation typique associée sont présents à la confluence Arve / Borne et constituent le principal enjeu en termes d'habitats naturels.

Les habitats de la zone d'étude, constitués essentiellement par des boisements artificialisés sur digues, constituent des habitats « humides à fonctionnalité limitée » car non caractéristiques et se développant sur sol caillouteux au niveau de la digue. Ils accueillent une faune protégée assez commune avec certaines espèces à enjeux modérés (oiseaux des parcs et jardins en régression à l'échelle nationale / Chiroptères en chasse / Lucane cerf-volant / reptiles protégées etc.). Du point de vue des milieux aquatiques, la diversification des habitats (épis, blocs, ...), associé à l'amélioration de la continuité avec l'Arve sont de nature à favoriser le cycle de développement (e.g. reproduction) et augmenter les densités des populations en place (truite fario et ombre commun notamment).

Le projet veille à préserver une bande boisée rivulaire limitant grandement les incidences sur les continuités écologiques et sur les habitats d'espèces protégées (zone de reports à la nidification). L'élargissement du lit du Borne dans sa partie aval, même s'il entraîne une destruction d'habitats en place (boisements sur digues notamment), permettra de retrouver une dynamique latérale dans ce secteur et recréera des habitats humides typiques de type bancs de graviers favorables à une faune et une flore particulière et probablement de grand intérêt écologique (Végétations d'alluvions fluviales à *Equisetum variegatum* et *Typha minima*).

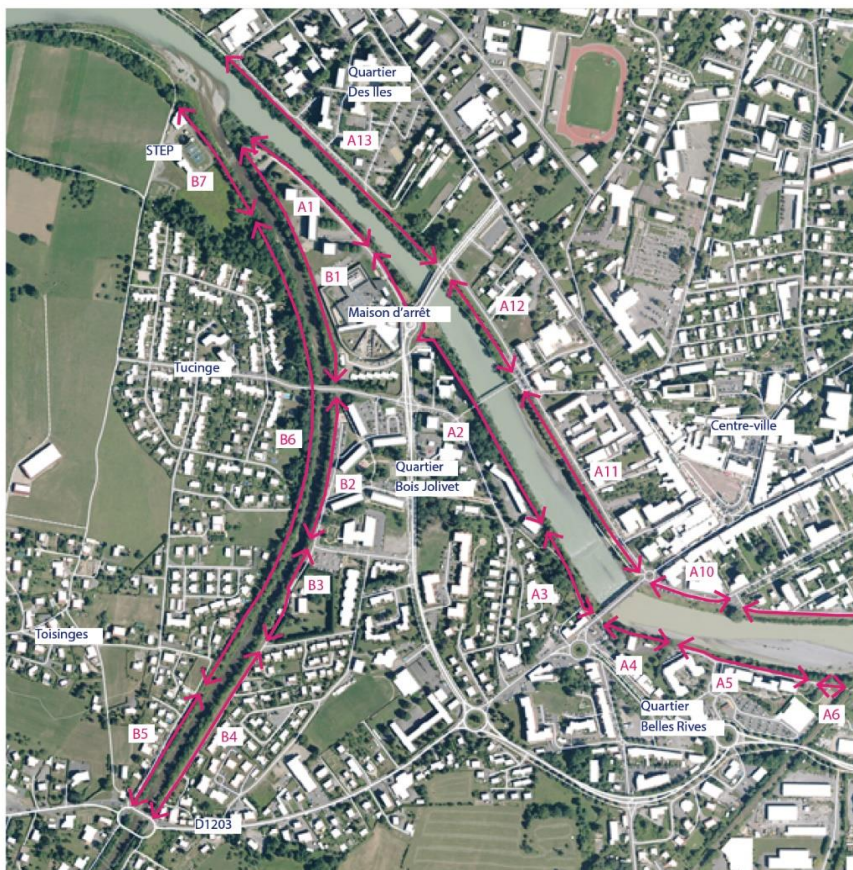
Les travaux d'aménagement entraîneront une incidence et une altération de ces habitats et des espèces qu'elles abritent de façon plus ou moins importante. L'incidence principale concernera les espèces liées aux milieux boisés (coupe d'arbre, déboisement en préservant toujours une frange boisée) mais des milieux de reports seront préservés.

Au-delà des mesures mises en place dès la conception du projet qui permettent de répondre aux objectifs principaux de préservation de la faune, la flore et les habitats naturels, et qui ont été établies en fonction des contraintes techniques et financières du projet, des mesures d'évitement, de réduction, d'accompagnement voire de compensation seront à mettre en place dans le respect de la séquence ERC. Ces dernières sont présentées en détails dans la note annexée au dossier de demande d'examen au cas par cas.

2.9 Synthèse du diagnostic paysager

2.9.1 Séquences paysagères

La définition d'ensembles paysagers le long des deux cours d'eau, aussi appelés « séquences », permet de proposer des scénarios d'aménagement par tronçon. Les forces et les faiblesses de chaque séquence ont été détaillées et illustrées sous forme de fiches (cf. rapport diagnostic paysage 16/10/2020). La caractérisation des motifs paysagers par séquence a orienté les préconisations d'aménagement présenté dans ce rapport.



© Carte des unités paysagères, base de données IGN

Figure 11 : Carte des unités paysagères

Le Borne présente 7 séquences caractérisées par leur ambiance, accès et qualité paysagère. Chacune d'elle est détaillée par des fiches, comme celle présentée ci-dessous, permettant d'identifier les points forts et faibles ainsi que les pistes de projets potentiels.

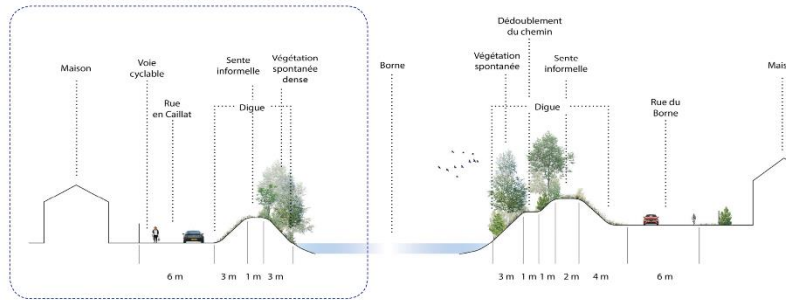
Séquence B5



© Rue en Caillat et digue rive gauche, juin 2020



© Sente en crête de digue rive gauche, juin 2020



ANALYSE DU SECTEUR

Forces :

- Présence d'un chemin informel en crête de digue.
- Une petite terrasse prend place en partie aval, côté rivière, en face du champ.

Faiblesses :

- Pente très forte côté val et digue haute rendant l'accès difficile. L'ouvrage fait office d'obstacle à la découverte du Borne.
- Pas d'ouverture visuelle sur le Borne. Le sommet de digue est très fin et rend la circulation difficile.

Pistes de projet :

- **Aménager** un chemin piéton en crête de digue (cf. Modification du profil de l'ouvrage).
- **Donner** plus de place aux circulations douces en pied de digue, côté val, par la création d'une circulation alternée et la mise en place de chicanes.

Figure 12 : Analyse des séquences paysagères, fiche extraite du rapport Diagnostic paysager

De manière générale, des chemins informels, peu larges, existent sur les digues du Borne en rive droite et en rive gauche. Quelques senties permettent de descendre au bord de l'eau, mais les pentes très raides rendent l'accès difficile. Sur les digues, la végétation est très dense et qualitative. Par endroit, la strate boisée forme des voûtes apportant une ombre protectrice pour les usagers. La densité de végétation peut aussi être néfaste, elle peut créer un rideau dense entre le chemin et le cours d'eau, le Borne est rarement visible.

La confluence avec l'Arve (en rive gauche), à deux pas du centre-ville, est très intéressante sur le plan paysager et garantit un espace naturel ouvert avec de larges perspectives visuelles sur les sommets environnants. La pointe de la confluence offre un potentiel inestimable pour la ville de Bonneville qui pourrait créer un parc naturel, offrant de nombreux services à la population urbaine. Ces espaces libres au cœur des centres urbains sont de plus en plus rares et souvent exposés à des pressions importantes. Le contexte actuel nous prouve aujourd'hui qu'il est essentiel de conserver des espaces naturels en fond de vallées. Les cours d'eau offrent bien souvent un potentiel de projet important.



© Vue sur la pointe en aval de la confluence du Borne et de l'Arve, juin 2020

Figure 13 : Vue sur la confluence depuis la rive droite, en aval de la STEP

2.9.2 Enjeux paysagers : connecter, révéler, préserver

Les grands enjeux paysagers concernent l'Arve et le Borne et visent à orienter les interventions. Dès les premières phases du projet, ces enjeux ont été partagés avec la maîtrise d'ouvrage, afin de dessiner un projet cohérent pour les acteurs du territoire.

- **Relier** la ville et les cours d'eau. Mettre en scène les rivières dans l'espace urbain.
- **Conjuguer** conservation, amélioration des corridors boisés et préservation de points de vue sur le cours d'eau.
- **Faciliter** l'accès aux berges et la continuité des itinéraires dédiés aux modes doux.
- **Proposer** des sentiers diversifiés aux abords des cours d'eau.
- **Améliorer** la lisibilité des parcours piétons et cycles.

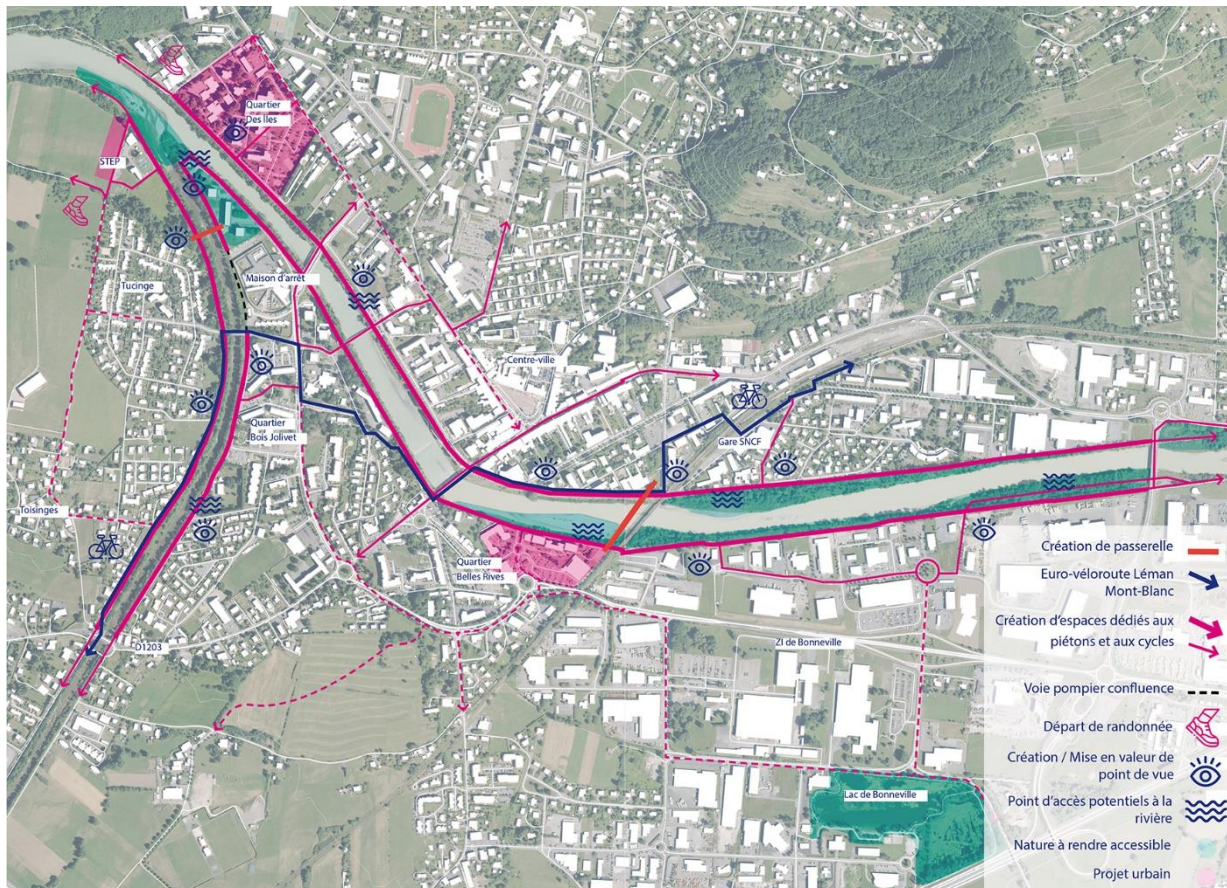


Figure 14 : Carte des enjeux paysagers

Suite à l'établissement des enjeux, les premières propositions d'aménagements ont eu pour objectif d'illustrer les pistes de projet par l'intermédiaire d'images de références et de photomontages. Seize fiches actions permettent de rêver au projet.

N°3 | Aménager des points de vue sur la ripisylve et les cours d'eau

Valleée de l'Yon
Chemin dans la canopée, forêt morte
L'N Sweden - Thordbjørn Andersson

Contexte
L'un des enjeux du projet concerne la préservation de la continuité écologique, que constitue la ripisylve. L'une des solutions proposées pour donner à voir le paysage dans toute sa splendeur, tout en préservant sa richesse, consiste à créer des points de vue au sein même de la canopée.

Objectifs

- **Aménager** des belvédères depuis les sentiers en crête de digue pour donner à voir le cours d'eau à travers la ripisylve.
- **Privilégier** des lieux stratégiques de convergence des flux de déplacement « modes doux », liés au contexte urbain traversé.

Temporalité
...

Budget
...

Séquences concernées
A1 / A2 / A6 / A8 / A9 / A12
B1a / B1b / B2 / B3a / B3b / B4 / B6

N°5 | Fixer les usages & Créer des assises

Rive de Saône - IN SITU
Le 9e Train - Gilles Brusset
Rive de Saône - IN SITU

Contexte
Le réseau de circulations douces ne permet pas la fixation de usages par l'intermédiaire d'ouvertures. Cela s'explique par l'absence d'épaisseur le long du tracé ou bien l'absence d'ouverture (clairières, pelouses). De même, il existe peu d'espaces dédiés à la contemplation ou au repos.

Objectifs

- **Installer** des éléments de mobilier invitant au repos, à la contemplation aux abords de l'eau.
- **Aménager** la crête de digue en cohérence avec les enjeux d'entretien et de surveillance des ouvrages.
- **Privilégier** des matériaux naturels (bois, pierre, etc.) adaptés au cadre naturel et au contexte traversé.

Temporalité
...

Budget
...

Séquences concernées
A3 / A10

Exemple de fiches actions - extrait du rapport diagnostic paysage

Figure 15 : Fiches actions, extraites du rapport Diagnostic paysager

2.10 Diagnostic des usages et démarche de concertation

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.

2.10.1 Démarche et étapes de la concertation

Outre leur vocation première de protection du territoire contre les crues, les ouvrages concernés par ce projet constituent aujourd'hui des éléments structurants du territoire, à la fois en termes de perceptions (ex. rideaux d'arbres, points de vue sur la rivière, etc.) et d'usages (promenades, zones ombragées, etc.). Sachant que la conception de l'avant-projet ne peut pas faire l'économie d'apprécier ces perceptions et usages et d'appréhender les attentes potentielles associées, la concertation s'appuie sur un dispositif de concertation ad hoc, reposant sur l'association d'un panel d'acteurs locaux à la définition de l'avant-projet. De manière à conserver une vision globale du système hydraulique du secteur, cette démarche est menée conjointement sur l'Arve et le Borne.

Concernant les riverains, usagers et habitants de la commune, le repérage a été effectué en lien étroit avec le SM3A et la commune de Bonneville. A ce titre, il associe des responsables et membres d'associations locales et principalement pour les riverains de personnes jugées intéressées par le projet. Au total, c'est un groupe de près d'une trentaine de personnes invité à se retrouver pour 3 temps d'ateliers successifs avec :

- **Un premier temps destiné à la fois à présenter l'ambition du projet et de la démarche de concertation et à recueillir auprès des participants les perceptions et usages existants**, consistant à ce titre en un état initial. Cet atelier s'est tenu à Bonneville le 12 octobre 2020 dans des conditions satisfaisantes permettant à chaque participant de faire part de ses points de vue. Il a également offert l'opportunité d'une écoute mutuelle permettant à chacun de prendre connaissance des représentations et pratiques de l'ensemble des personnes présentes ;
- **Un second temps visant à analyser avec les parts les atouts et contraintes de différents scénarios du point de vue des perceptions et usages**. Du fait du contexte covid, cet atelier, qui devait notamment mettre l'accent sur la dimension paysagère et cadre de vie (ex. accessibilité des ouvrages, type de mobilité envisagée, place accordée à la végétation, ...) n'a pu être organisé au printemps 2021 comme prévu initialement, sachant qu'il n'était pas possible d'envisager une organisation à distance. Il est proposé de le reporter à octobre 2021 ;
- **Un troisième temps consacré à un examen de l'avant-projet et aux conditions et modalités de sa mise en œuvre**. Cet atelier devrait se tenir en fin de mission, soit début 2022.

Même si l'approche est centrée sur les ouvrages, la concertation s'ouvre à une approche plus large du territoire afin d'envisager d'éventuels reports d'usages. Les contraintes techniques des différents scénarios sont présentées et explicitées et les adaptations sont centrées principalement sur les thématiques paysagères. Les projets sur le Borne et l'Arve sont menés conjointement.

En parallèle, du fait des enjeux écologiques majeurs sur le site, une concertation spécifique est engagée avec les acteurs de l'environnement. L'expertise spécifique dont dispose ces acteurs justifie cette organisation spécifique, pour éviter un trop grand décalage entre les participants. Pour les mêmes motifs, il a été possible de l'organiser à distance en raison des contraintes sanitaires. Elle reprend néanmoins les mêmes principes que la concertation menée auprès des riverains et usagers, à savoir :

- **Un premier temps destiné à la fois à présenter l'ambition du projet et les diagnostics environnementaux**, et destiné à cet égard à recueillir auprès des participants leur avis sur les données et perspectives du projet. Cet atelier s'est tenu en visio-conférence le 17 décembre 2020 ;
- **Un second temps a permis de présenter et débattre des différents scénarios, des contraintes et des avantages associés en terme environnemental**. La présence du bureau d'études en charge de la renaturation des cours d'eau a permis d'approfondir cet aspect intéressant prioritairement les acteurs environnementaux. Cet atelier s'est tenu en visio-conférence le 3 mai 2021 ;
- **Un troisième temps consacré à un examen de l'avant-projet et aux conditions de sa mise en œuvre**. La mise en œuvre de cet atelier est prévu en fin de mission soit début 2022.

Il est à noter que les acteurs environnementaux ayant pris part à ces deux ateliers ont exprimé à l'issue de ces ateliers une appréciation très positive de cette démarche de concertation, cohérent de leur point de vue à l'ambition du projet.

2.10.2 Les perceptions et attentes des usagers et riverains

Le premier atelier consacré à ces acteurs, a notamment permis de mettre en évidence les différents types de mobilités au sein du territoire :

- Des secteurs très fréquentés en relation avec le centre-ville (déplacement du quotidien) et des pratiques sportives ou de loisirs,
- Des **secteurs moyennement fréquentés** contribuant au désenclavement de secteurs périphériques ou présentant un cheminement moins aisé ou alternatives mobilité douce possibles,
- Des **secteurs assez peu fréquentés** parce qu'excentrés ou coupés des zones d'habitations ;
- Des secteurs très peu ou non fréquentés car peu accessibles ou aménagés.

Mobilité :

Les ouvrages du Borne sont globalement fortement fréquentés (en crête ou en pied côté territoire) suivant la configuration des lieux, même si la relative étroitesse des ouvrages et des cheminements et la pente pour accéder à ces ouvrages amènent généralement à privilégier le passage en pied de digues. La rive gauche en amont du pont de Toisinges est fréquentée par des personnes rejoignant le centre-ville, notamment par des publics scolaires. Toujours en rive gauche à l'aval de ce pont, un sentier arboré sur la crête de l'ouvrage permet de rejoindre les berges de l'Arve sous la STEP (un des rares sites avec la queue du Borne où la berge des cours d'eau est facilement accessible). Ce tronçon est moins emprunté que le précédent.

En rive droite amont jusqu'au pont de Toisinges, l'accès à l'ouvrage est d'abord relativement malaisé en raison de la hauteur de l'ouvrage et de la présence d'un mur de protection, avant de rejoindre les parkings de résidences. Ces tronçons moins fréquentés car il existe des façons plus directes de rejoindre le centre-ville de Bonneville. Toujours en rive droite, l'aval du pont de Toisinges n'est pas fréquenté sachant que les ouvrages ne sont pas faciles d'accès et que le vis-à-vis direct avec la prison de Bonneville n'encourage pas la fréquentation. Ce n'est finalement qu'à l'extrême aval du Borne à proximité de sa confluence avec l'Arve que des berges finalement accessibles attirent une fréquentation de personnes sans doute amatrices du caractère naturel du site. On distingue enfin une zone intermédiaire peu attrayante et fréquentée à hauteur du parking de la prison et d'un terrain vague où les ouvrages cohabitent avec des remblais d'anciens bâtiments.

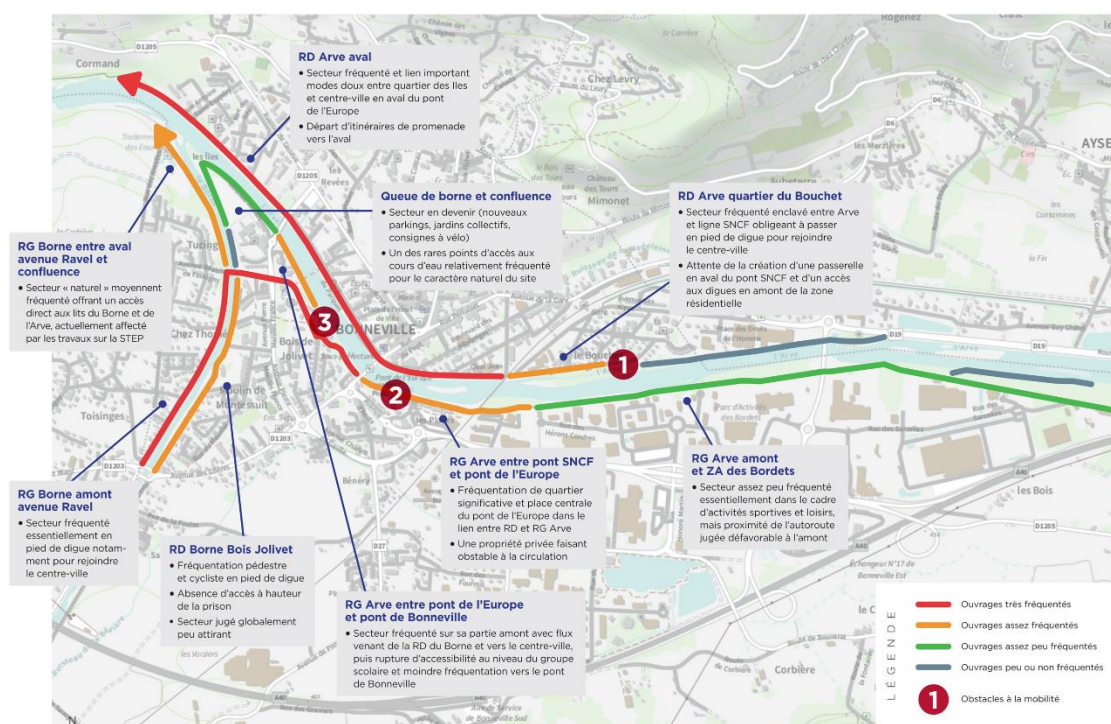


Figure 16 : Diagnostic des perceptions et usages liés aux ouvrages de l'Arve et du Borne – Eléments relatifs aux mobilités.

Point d'intérêt :

L'enfoncement du Borne, sa relative étroitesse, la hauteur des ouvrages et la présence d'une végétation arbustive touffue lui donne un caractère de frontière physique et d'écran visuel sur le territoire.

Ce sont d'ailleurs les premières qualités que les acteurs consultés attribuent à ce cours d'eau tel qu'il est aménagé aujourd'hui. La présence de végétation y est notamment perçue comme un réel point fort du point de vue du cadre de vie, à la fois comme un réducteur de nuisances pour les riverains ; celles associées à la prison étant mises en avant. En outre, cet écran visuel qui pourrait réduire la perception de l'espace semble, en réduisant les vis-à-vis directs, un effet contraire, sans doute liée à son caractère « naturel » ou perçu comme tel.

En revanche pour l'essentiel, les rives du Borne ne constituent pas un espace propice à la contemplation, hormis à son extrême aval et à sa confluence avec l'Arve, où il offre quasiment les deux seuls sites, dans le cadre desquels les berges des deux cours d'eau concernés sont aisément accessibles. La Queue du Borne constitue d'ailleurs pour la commune de Bonneville un site à propos duquel elle souhaite envisager la valorisation auprès de sa population. A ce titre, les modalités d'accès et de mise en valeur de ces sites, notamment au regard d'un critère de naturalité, constituent un enjeu en soi.

Ces attentes sont liées à des principaux points d'intérêt et les points à améliorer qui sont présentés dans la cartographie suivante :

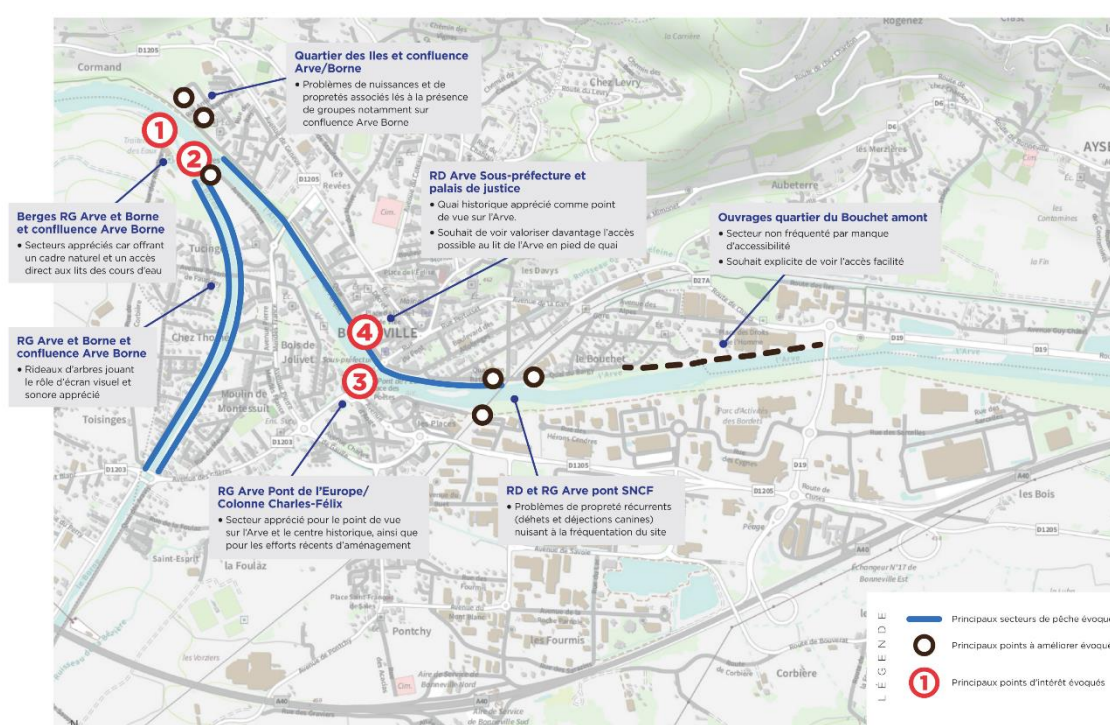


Figure 17 : Diagnostic des perceptions et usages liés aux ouvrages de l'Arve et du Borne – Principaux points d'intérêt et points à améliorer.

La synthèse des attentes exprimées par les usagers et les riverains est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Synthèse des attentes exprimées par les usagers et riverains.

Attentes exprimées	
Mobilité	<p>Un attachement général à ce que soit maintenu l'accès aux ouvrages pour faciliter déplacements quotidiens et de loisirs à l'échelle de la commune.</p> <p>Des attentes de passerelles en différents points pour traverser l'Arve.</p> <p>En complément, une demande de voir multiplier les bancs le long des itinéraires.</p>
	<p>Des usagers défendent le principe d'une accessibilité facilitée notamment aux vélos au maximum d'ouvrages</p> <p>D'autres usagers attendent au contraire le maintien d'une diversité de types de cheminements sur ces ouvrages</p>
Points de vue sur les cours d'eau	<p>Un intérêt marqué pour disposer de points de vue sur l'Arve.</p>

Attentes exprimées	
Accessibilité aux cours d'eau	Une attente généralisée maintenir, voire de développer, des points d'accès aux berges de l'Arve et à sa confluence avec le Borne, tout en maintenant le caractère naturel de ces berges.
Végétation associée aux ouvrages	Un attachement à la végétation arborée aux ouvrages et notamment à ses fonctions (1) d'écran visuel et sonore (notamment sur le Borne), (2) de fraîcheur en été et (3) de « refuge » pour la biodiversité animale.
	Certains usagers souhaitent voire maintenu le caractère naturel de cette végétation. D'autres usagers et notamment des riverains attendent un entretien plus régulier de la végétation arborée.
Propreté et incivilités	Une attente de voir assurée la propreté de certains sites affectés par des déjections canines et des déchets, témoignant de l'incivilité de certains usagers.

2.10.3 Les apports des acteurs environnementaux

Comme attendu, les acteurs environnementaux se sont fondés sur leurs expertises pour faire part d'enjeux ou de questions concernant le projet parmi lesquels :

- **Importance de la possibilité de maintenir de la végétation arbustive** (et non arborée) sur les parties de digue destinées à se trouver en charge.
- **Précautions à prendre par rapport au souhait des riverains et des usagers de pouvoir accéder aux bancs de graviers en bordure d'Arve** en raison de possibles **conflits avec les besoins de certaines espèces nicheuses** (ex. petit Gravelot).
- **Importance de faire figurer la « Vipère grise »** dans l'inventaire écologique et interrogations sur la présence de **blaireaux**.
- Enjeux associés à **présence de la Truite méditerranéenne sur le Borne** et point de vue favorable aux projets de diversification du lit mineur en raison du déficit d'habitats pour les truites adultes. Le second atelier a permis d'aller plus loin sur ce point avec échanges sur les modalités d'adaptation du seuil à l'aval et l'intérêt d'y mettre en place un système d'observation et de suivi du passage des poissons à hauteur des nouveaux seuils.
- Le niveau d'accessibilité de la confluence du Borne et de l'Arve est un sujet de préoccupation pour certains acteurs, qui souhaitent la voir préservée d'une trop grande affluence.
- Bien que sur l'Arve, la définition soit moins avancée, les échanges aboutissent à noter un réel intérêt des participants à voir conserver des bancs de graviers dans le cours d'eau, notamment dans une optique de création de chenaux et de diversification des habitats.
- La **carte de synthèse des enjeux et recommandations** est appréciée ainsi que le mode collaboratif mis en place par le SM3A sur ce projet comme sur d'autres.

Des comptes-rendus des ateliers ont été produits

2.11 Contraintes, usages et servitudes

2.11.1 Réseaux

Une DT a été effectuée en avril 2020 sur l'ensemble de l'emprise du projet.

Le SM3A a ensuite lancé une campagne de détection et de géoréférencement des réseaux (marquage, piquetage). Cette campagne de détection a été réalisée par l'entreprise ELLIVA.

Il est à noter que cette prestation n'a pas permis de détecter tous les réseaux avec une précision de classe A (présence de végétations gênantes, absence de signal GPS, ...).

Plusieurs réseaux seront à dévier pour permettre la réalisation des travaux de confortement et de reconstruction des digues du Borne.

En plus des réseaux secs, un réseau d'Eaux Usées, de diamètre 500 mm, traverse le Borne. Ce réseau gravitaire se déverse dans la STEP de Bonneville.

Son franchissement sous le Borne est donné par la figure ci-dessous :



Figure 18 : Vue aérienne de la Step en chantier (juillet 2020, source : IGN).

Ce réseau est également à dévoyer pour permettre les travaux de restauration du Borne.

Les plans des réseaux existants sont donnés dans le dossier de plans en annexe du présent rapport.

2.11.2 Statut foncier

A ce stade d'étude, les parcelles concernées par le projet (défrichement/travaux) sont listées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Liste des parcelles concernées par le projet

Parcelles concernées par le projet			
Commune (74)	Rive	N° de parcelle	Appartenance
Bonneville	RG	425	
	RG	206	
	RG	223	
	RG	299	
	RG	272	
	RG	253	
	RG	302	
	RG	195	
	RG	194	
	RG	247	
	RG	183	
	RG	248	
	RG	157	
	RG	245	
	RG	1	

Parcelles concernées par le projet			
Commune (74)	Rive	N° de parcelle	Appartenance
	RG	227	
	RD	105	
	RD	197	
	RD	2	
	RD	3	
	RD	172	
	RD	173	

La localisation des parcelles listées ci-dessus est donnée par les cartographies présentés en annexe 3.

2.11.3 Projets connexes

2.11.3.1 Réhabilitation de la station d'épuration de Bonneville

La station d'épuration (Step) de Bonneville, située en rive gauche du Borne à l'aval du PM180, fait l'objet de travaux de réhabilitation, avec notamment l'augmentation de la capacité à environ 50 000 EH et la mise en place d'un méthaniseur.

Le maître d'ouvrage de travaux est la Régie intercommunale des Eaux de Bonneville.

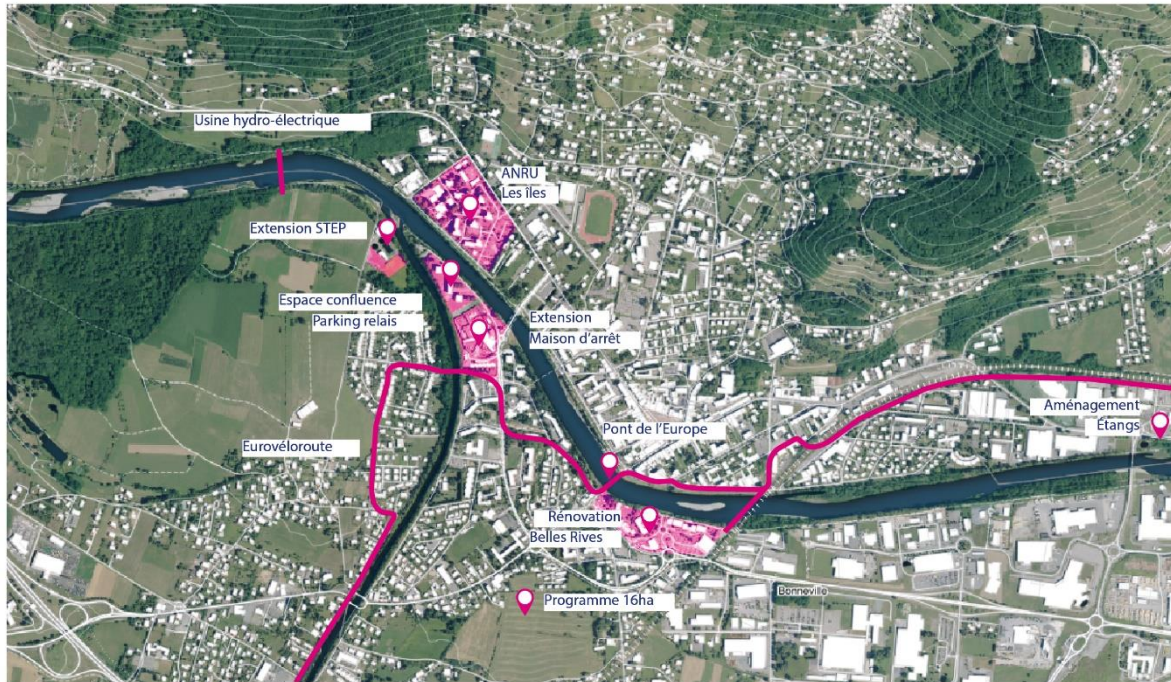
La destruction des anciennes installations permet la libération d'une bande de terrain, utilisable pour le projet, de 10 à 13 m de large en pied de la digue actuelle au droit des tronçons RG-T8 et RG-T9.



Figure 19 : Vue aérienne de la Step en chantier (juillet 2020, source : IGN).

2.11.3.2 Véloroute

Le projet de véloroute est extrait du schéma mode doux, porté par la mairie de Bonneville et le département. La véloroute telle qu'elle a été projetée, s'écarte du Borne pour traverser Tucinge. Elle rejoint ensuite la voie en pied de digue, sans pour autant permettre la découverte du cours d'eau. La création d'une piste dédiée aux cycles nécessite de réfléchir au partage de la voirie entre les différents modes, tant en rive droite qu'en rive gauche. Des dispositifs doivent permettre aux cyclistes de s'arrêter pour monter sur les digues et découvrir la richesse des paysages alluviaux alentour. À ce stade AVP, nous suggérons de déplacer la véloroute au plus proche du Borne, pour que les usagers puissent bénéficier du paysage boisé qualitatif.



© Cartographie des projets en cours sur la commune de Bonneville

Figure 20 : Carte synthèse des projets connexes

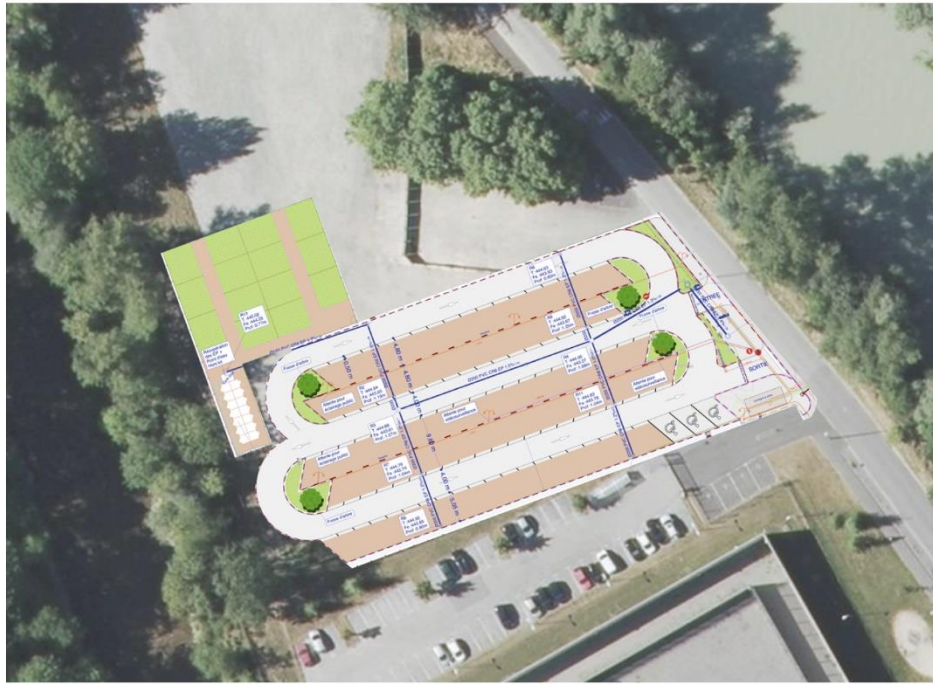
2.11.3.3 Confluence

Un premier projet d'aménagement de la confluence, est porté par la mairie de Bonneville et prévoit la mise en place d'un parking relais et de jardins partagés, tels que présentés sur la figure suivante.

Parmi les options d'aménagements futurs, des projets « champs de foire » ou « d'espace événementiel » ont été évoqués. Si ces types d'aménagements sont envisagés, l'espace confluence ne devra pas se limiter à ce seul usage. Il accueille aujourd'hui un terrain de pétanque et des jardins familiaux qui devront être conservés sous une forme nouvelle. De nouveaux usages peuvent également voir le jour, comme la promenade ou encore le jeu. Nous imaginons un parc adapté à des usages divers qu'ils soient ponctuels (haute fréquentation) ou quotidiens (moyenne et basse fréquentation). Ce parc par son positionnement stratégique offre un belvédère sur le paysage si particulier de la confluence, qu'il conviendra de révéler. Des espaces dédiés à la contemplation pourront être mis en place (bancs, belvédère, etc.).

L'implantation d'une passerelle sur le Borne pourra être envisagée aussi bien pour faciliter l'accès au parc, que pour assurer son évacuation en cas de crues.

Le parking relais qui sera implanté à proximité de la maison d'arrêt devra être intégré à l'espace confluence par un travail des franges (plantations) et l'usage de matériaux poreux (pavés enherbés, gravier, etc.).



© Projet de création d'un parking relais, plan de la CCFG, 2020

Figure 21 : Vue en plan du futur parking relais en aval du centre d'arrêt

2.11.3.4 *Projet Aralep*

Une « Etude de conception et de dimensionnement de dispositifs de diversification des habitats piscicoles en secteur endigué sur le Borne aval » a été réalisée en 2018 par Setec/Hydratec et Aralep pour le compte du SM3A (cf. [DA16]). Le tronçon porté par cette étude était un peu plus important que le secteur de projet actuel, partant de l'amont du franchissement du cours d'eau par l'autoroute A40 jusqu'à sa confluence avec l'Arve. Les travaux du secteur immédiatement à l'amont de notre secteur de projet sont prévus pour cet été 2021 sous maîtrise d'œuvre du SM3A.

La diversification des habitats aquatiques a pour objectifs de recréer des habitats favorables pour les principales espèces de poissons présentes sur ce cours d'eau, à savoir le chabot, la truite fario et l'ombre commun. Ces actions visent également à favoriser la sédimentation des éléments de substrat de taille intermédiaire (graviers, galet), afin de générer des zones de frayères potentielles pour la truite fario et l'ombre commun, ce type d'habitat étant actuellement absent des 3 km aval du Borne.

Les actions proposées par Aralep sont :

- Des banquettes et épis sur les 2/3 de la largeur du lit (les banquettes sont réalisées successivement par une recharge alluviale du lit, une sur-profondeur, puis un épi et une banquette végétalisée bordée d'une rangée de blocs),
- Des amas de blocs pour création de caches dans le lit,
- Des micro-seuils disjoints de blocs.

Ceci de l'aval de l'autoroute A40 jusqu'au pont de Toisinges, puis uniquement sous la forme d'amas de blocs en aval du même pont jusqu'au seuil/rampe précédant la confluence avec l'Arve.



Figure 22 : Extraits plans de situation des travaux prévus dans le lit du Borne (source Setec-Hydratec/Aralep 2018), avec à gauche la partie amont de notre secteur d'étude et à droite la partie aval.

3 Niveaux de protection actuels et projetés

3.1 Définition des niveaux réglementaires

D'après l'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, la définition du niveau de protection est le suivant :

« Le **niveau de protection** qui est associé à une zone protégée par un système d'endiguement est précisé par la **hauteur d'eau maximale** (cote du cours d'eau ou niveau marin) **ou le débit maximal du cours d'eau qui peut être atteint, sans que cette zone protégée soit inondée**. On admettra un **risque résiduel de rupture d'ouvrage d'au plus 5 %** pour ce niveau de protection »

Le site France digue précise la définition des niveaux de dangers et niveau de submersion :

« Le **niveau de danger** d'un ouvrage correspond au niveau d'eau à partir duquel la probabilité de défaillance du système d'endiguement est considérée comme très élevée ou certaine pour l'un des différents modes de rupture auxquels il est potentiellement exposé, il est égal à une probabilité de brèche de 50 % . ».

Le « niveau de protection apparent ou niveau de submersion d'un ouvrage » est la « hauteur maximale que peut atteindre l'eau sans que la zone protégée ne soit inondée en raison du débordement ou du contournement des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer et en faisant abstraction des risques de défaillance avant surverse. Il s'agit, la plupart du temps, d'un niveau apportant une fausse impression de protection. »

Le schéma suivant illustre les définitions précédentes dans le cas d'une digue non résistante à la surverse :

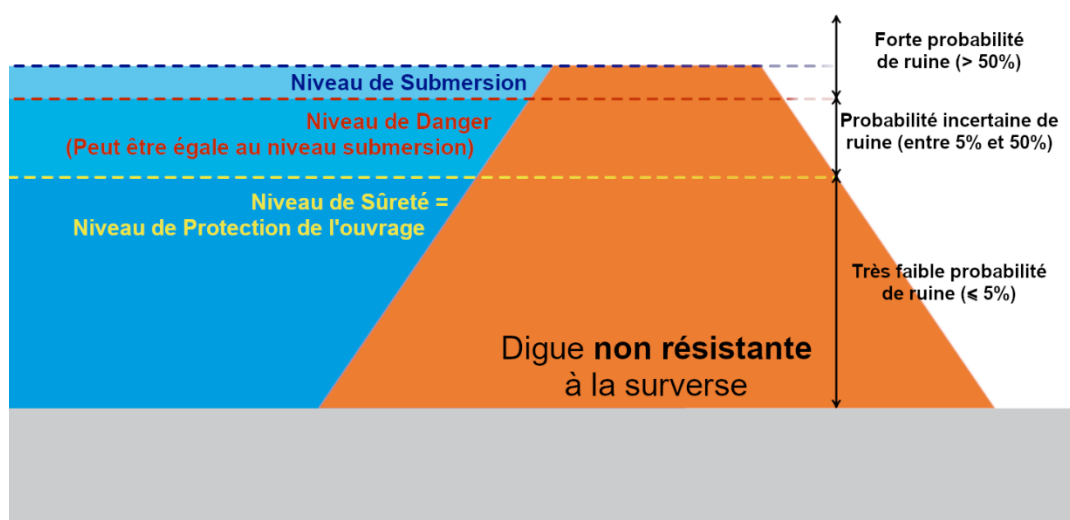


Figure 23 : Schéma de définition des niveaux réglementaires sur les endiguements – Source France digue

3.2 Niveau de protection actuel

Le niveau de protection actuel des ouvrages du secteur d'étude a été défini dans les Etudes de Dangers (EDD) des deux systèmes d'endiguements concernés ([DA2], [DA3]) :

- Pour la rive droite (digues de Bois Jolivet B et Queue du Borne), le niveau de protection actuel est Q_{10} ,
- Pour la rive gauche (digue de Toisinges et digue de la Step), le niveau de protection actuel est inférieur à Q_{10} .

3.3 Objectif de protection

La crue de projet fixée par le Maître d'ouvrage est la crue centennale (Q_{100}). 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 intégrant :

- 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 ([DA13]), 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 m³/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 selon sujétions particulières (cf. § 4.2.2.12).

4 Description du projet d'aménagement

4.1 Rappels de l'AVP structurel ([DA1])

L'Avant-Projet structurel de 2018 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, cf. 1.3).

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 Q_{100}) : enrochements 300/1000 kg, épaisseur 1.30 m,
 - ♦ Partie supérieure (Q_{100} 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 structurel de 2018.

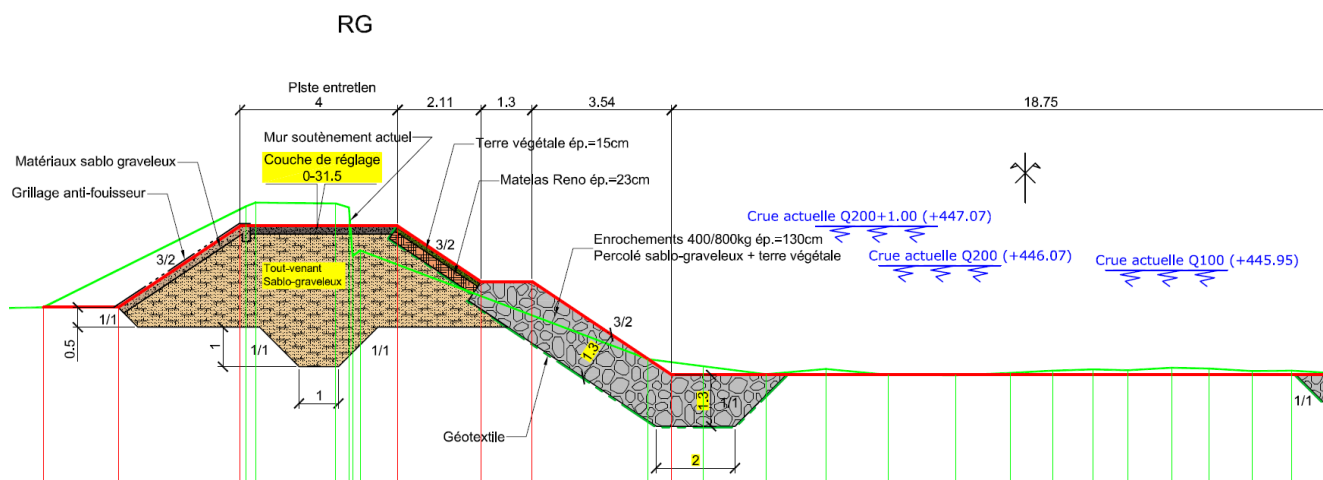


Figure 24 : Profil type de l'AVP structurel de 2018.

Le tableau suivant reprend les principales quantités estimatives de l'AVP structurel.

Tableau 7 : Quantité estimative AVP structurel de 2018.

	Unité	Quantité
Déblais	m ³	70 000
Remblais sablo-graveleux avec fines pour corps de digue, compactés	m ³	30 000
Matériaux sablo-graveleux drainants sur talus aval	m ³	1 500
Matelas RENO	m ³	5 000
Enrochements 300/1000 kg	m ³	30 000
Géotextile de transition	m ²	35 000

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 aspect environnementaux, paysagers et intégration des usages, objet de la présente mission, désigné « avant-projet optimisé » dans la suite du rapport.

4.2 Avant-Projet optimisé

4.2.1 Description générale du projet

4.2.1.1 Sectorisation des digues en tronçons homogènes

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 en rive droite et 9 tronçons en rive gauche. La définition précise de ces tronçons est proposée en annexe 1. La localisation de ces tronçons homogènes est rappelée dans le Tableau 8 et la Figure 25

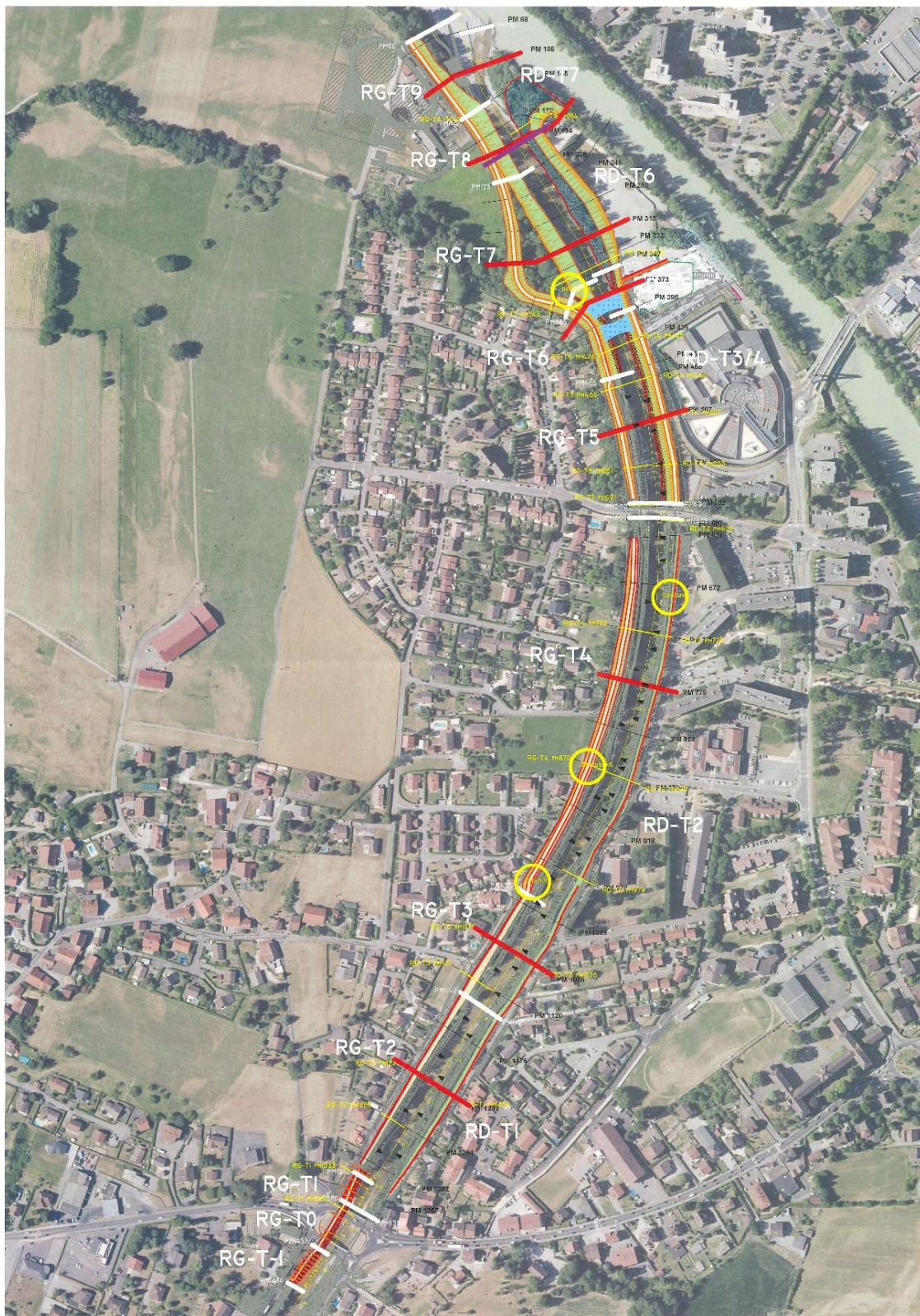


Figure 25 : Vue en plan de la sectorisation des digues en tronçons homogènes.

Tableau 8 : 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
Rive droite				
Bois Jolivet B	RD-T1	1380	1140	Confortement par l'aval (mur béton)
	RD-T2	1140	605	
	RD-T3+T4	590	395	Reprise intégrale de la digue
Queue du Borne	RD-T5	395	350	Reprise intégrale de la digue (merlon)
	RD-T6	350	195	Arasement digue + adoucissement berge
	RD-T7	195	70	Abaissement confluence
Rive gauche				
-	(RG-T-1)	1480	1440	(Passage piste cyclable)
	(RG-T0)	1440	1380	
	(RG-T1)	1380	1350	
Toisinges	RG-T2	1350	1140	Confortement interne (palplanches)
	RG-T3	1140	1020	
	RG-T4	1020	605	Confortement par l'aval (épaulement)
	RG-T5	590	455	
Step	RG-T6	455	355	Reprise intégrale de la digue
	RG-T7	355	225	Reprise intégrale de la digue (avec recul)
	RG-T8	225	145	Reprise intégrale de la digue
	RG-T9	145	50	

4.2.1.2 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, 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 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). 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).

L'ensemble des plans présentés en Annexe 4 de la présente note technique illustrent l'ensemble des aménagements projetés.

4.2.2 Description par secteur

4.2.2.1 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. Les caractéristiques de ces épis sont précisées au § 7.4.

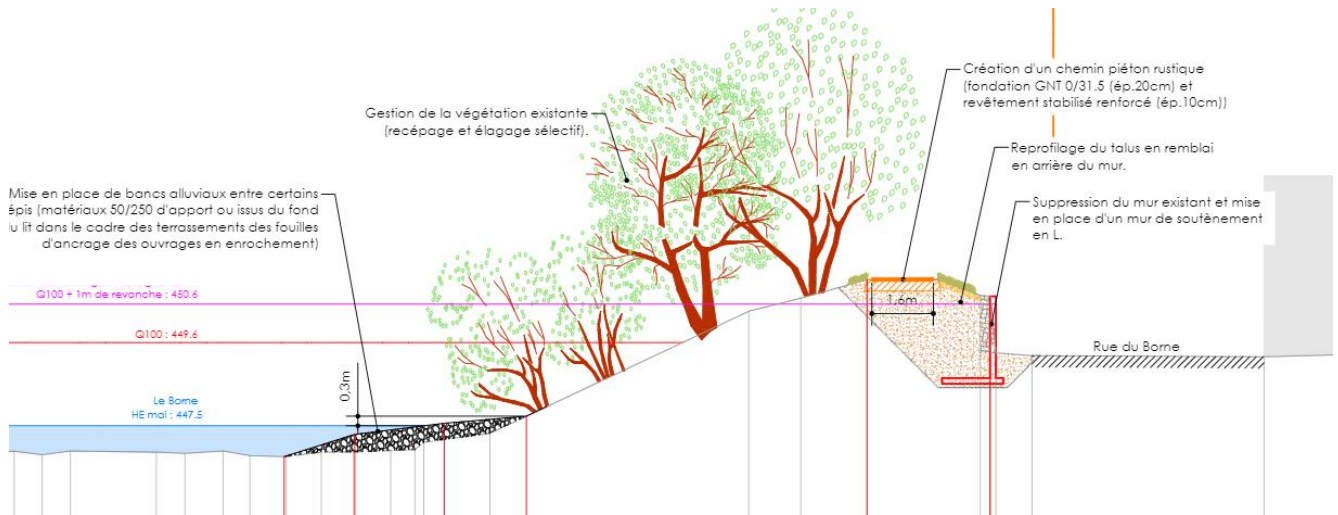


Figure 26 : Profil type RD T01 / T02 (PM1076) – géotechnique et aménagements hydro-écologiques

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.

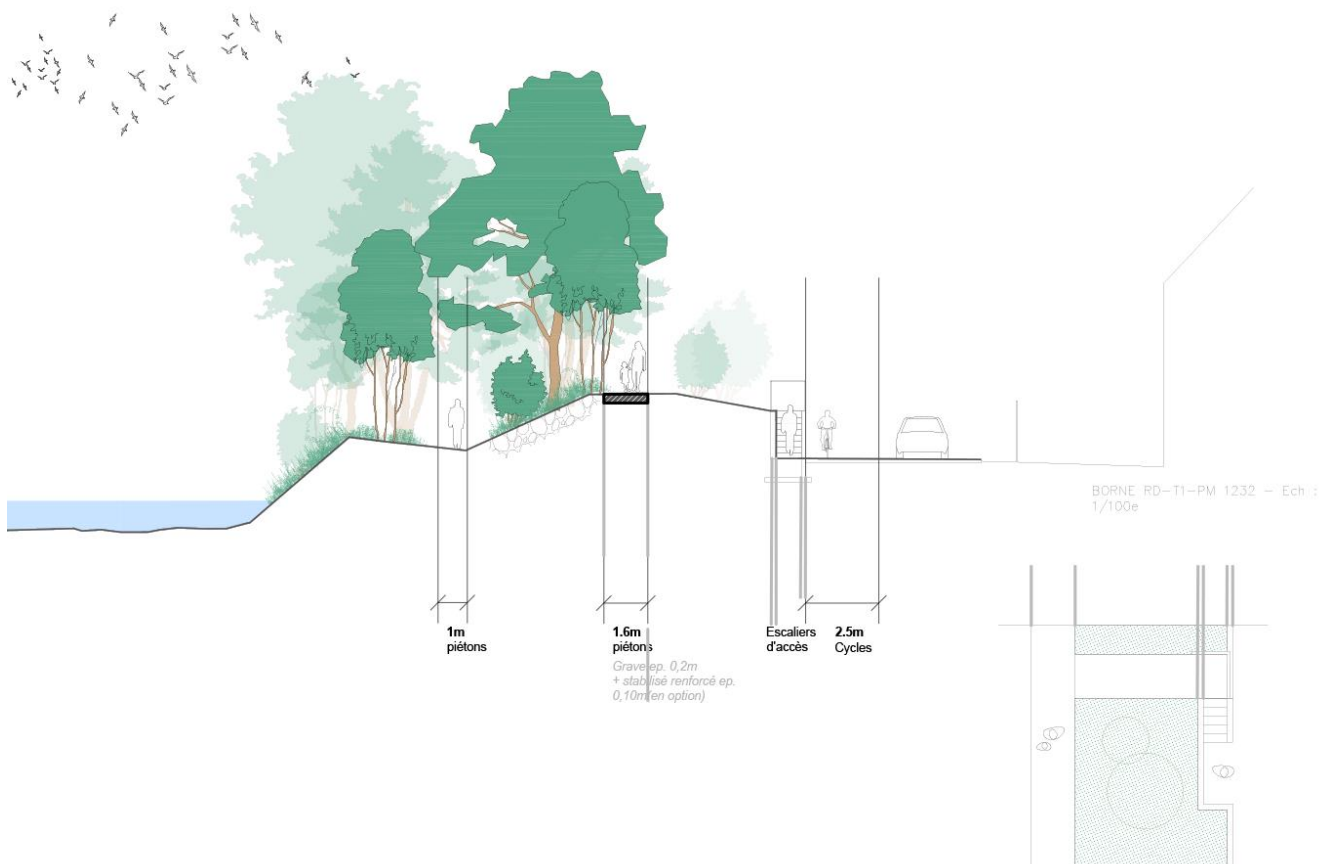


Figure 27 : Profil type RD-T1 et vue en plan des escaliers d'accès

À l'aval (RD T2, illustration en annexe), 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 assurer 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.

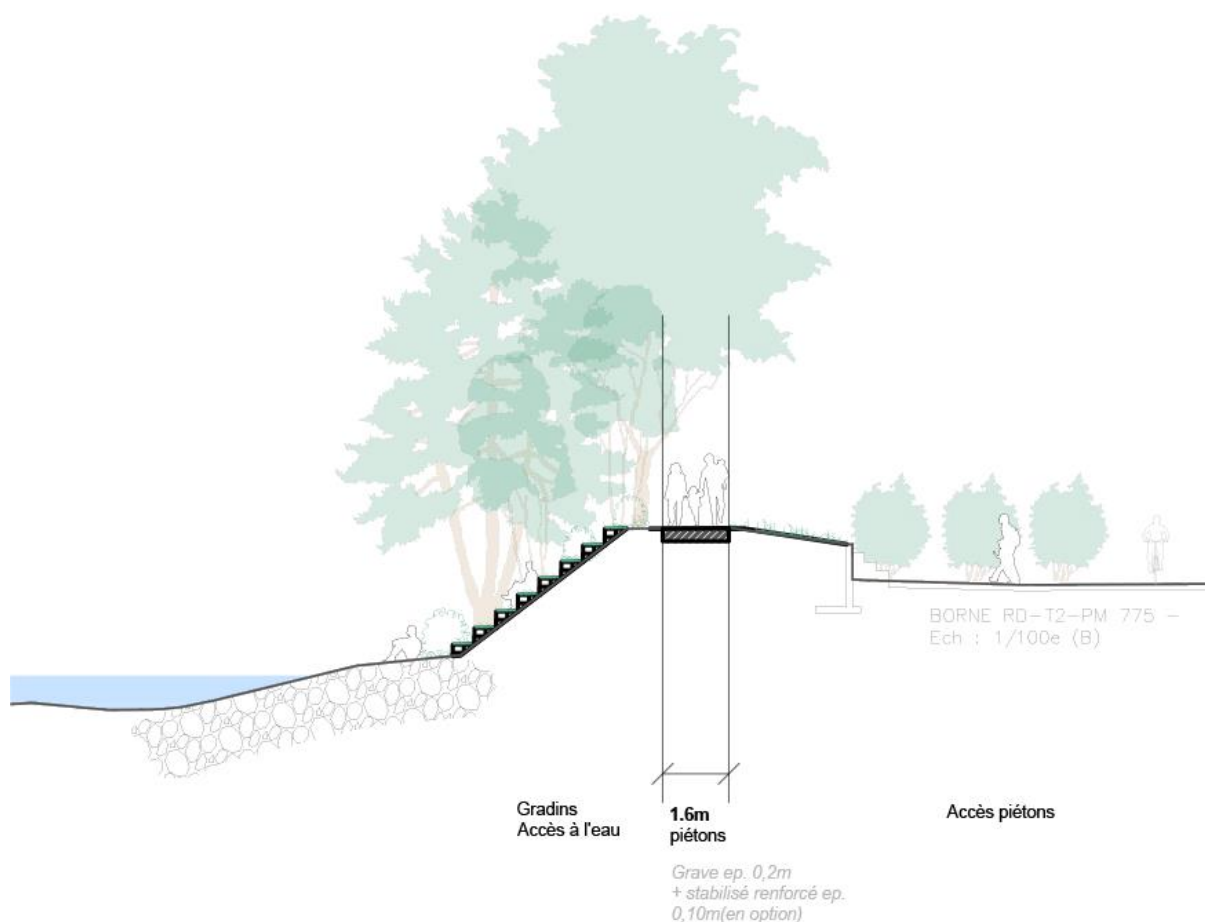


Figure 28 : Profil type RD-T2 et principe d'accès à l'eau

4.2.2.2 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 (cf. § 4.2.2.12).

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. Les caractéristiques de ces épis sont précisées au § 7.4.

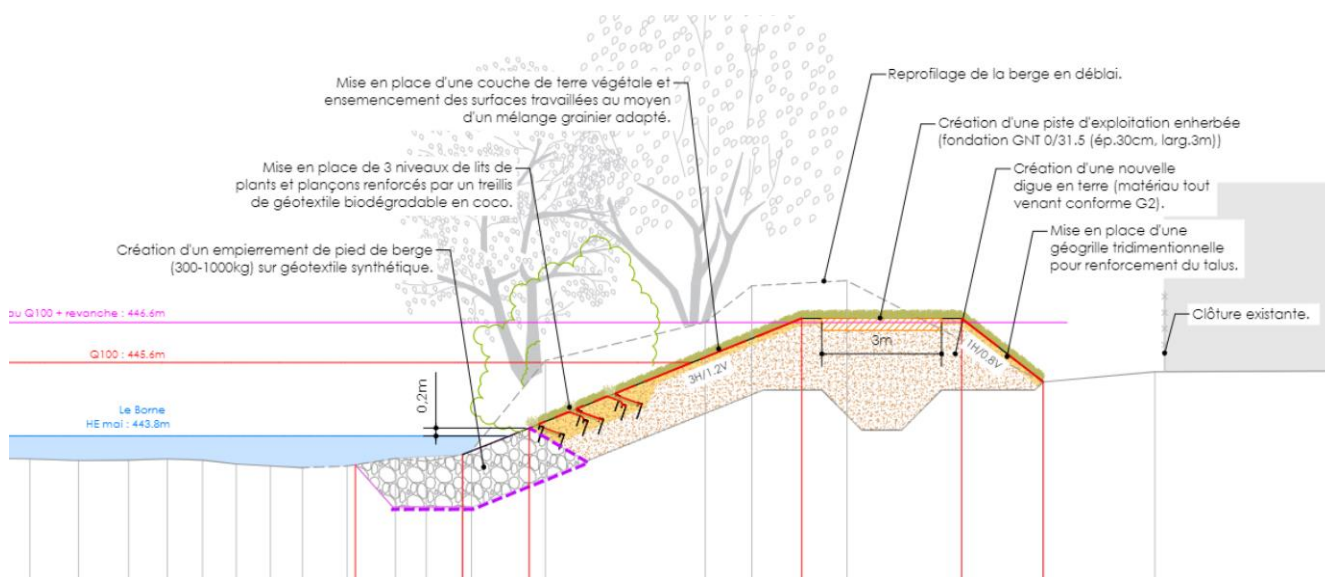


Figure 29 : Profil type RD T03 / T04 (PM507) – vue géotechnique et hydro-écologiques

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.

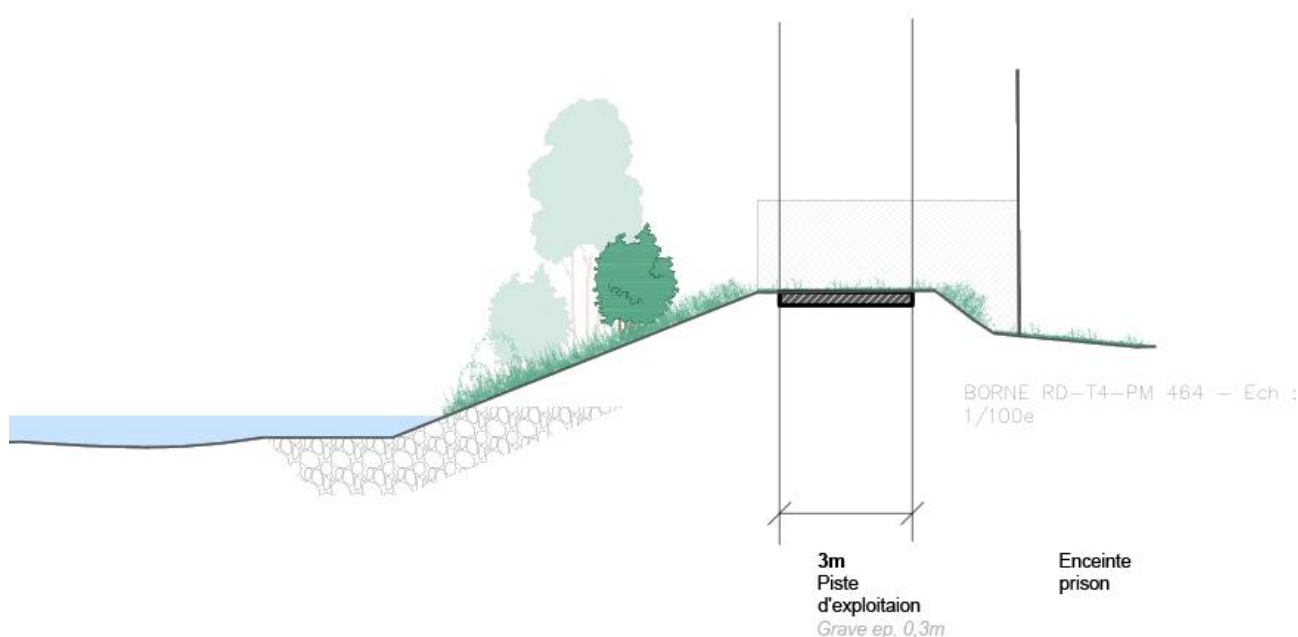


Figure 30 : Profil type RD-T3 et RD-T4 au droit du centre d'arrêt

4.2.2.3 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 zone de la confluence, à l'aval de ce tronçon n'étant pas protégée par un merlon permettant la gestion de la revanche (cf. § suivant), une continuité hydraulique de ce merlon avec la digue rive gauche de l'Arve est à prévoir.

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.

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.

4.2.2.5 Berge rive droite – RD-T7

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.

4.2.2.6 Digue rive gauche – RG-T2 et RG-T3

Linéaire d'application : 325 m,

Type d'intervention : confortement interne (rideau de palplanche).

Un confortement interne de l'ouvrage est préconisé et se traduit par la mise en œuvre d'un rideau de palplanche auto-stable. Cette solution permet, malgré l'étroitesse de la digue actuelle et la raideur des talus, d'atteindre les objectifs de sûreté hydraulique et de stabilité de l'ouvrage, tout en maintenant la végétation présente sur le talus amont.

Les palplanches doivent rester stables même si le talus amont de la digue ne présente pas de facteur de stabilité au glissement acceptable de manière à assurer la protection à long terme. Au stade AVP, aucun essai pressiométrique n'a été effectué et une longueur moyenne de fiche de 12 m est considérée (cf. [DA18]). Ce dimensionnement sera à affiner/optimiser au stade Projet.

La crête de digue actuelle, d'altimétrie supérieure à la cote Q₁₀₀ + revanche, est arasée jusqu'à cette dernière. La largeur en crête de la digue restituée est supérieure ou égale à 3 m.

Le talus côté val et les banquettes de part et d'autre du futur cheminement sont ensemencés avec un mélange grainier indigène adapté.

Côté amont, 5-6 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. Les caractéristiques de ces épis sont précisées au § 7.4.

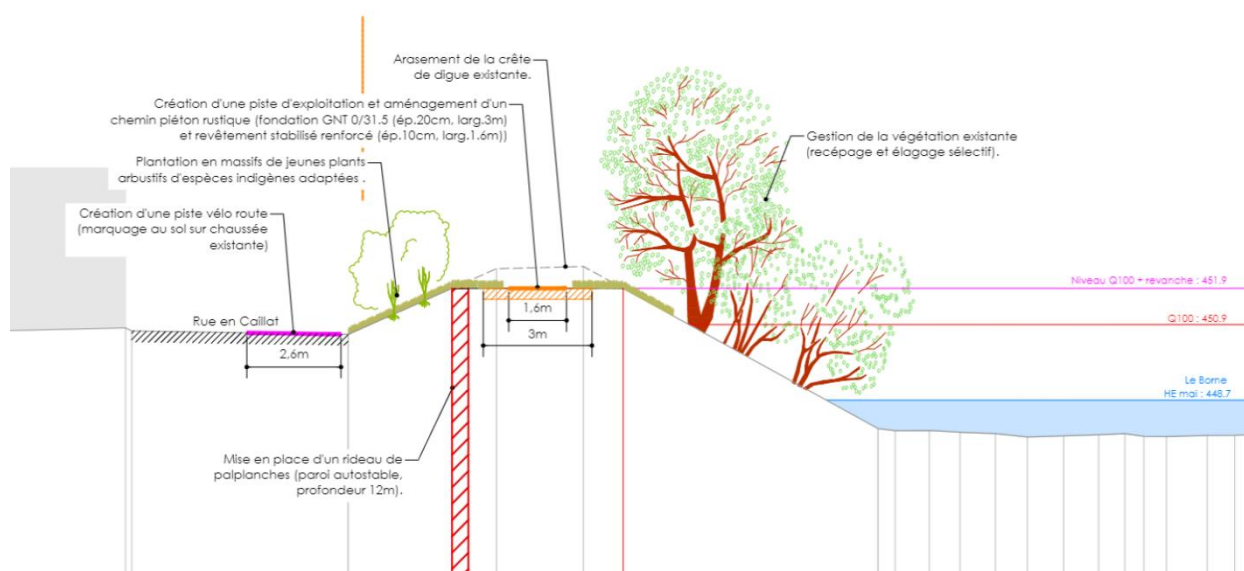


Figure 33 : Profil type RG-T2 et RG-T3 – PM1232 – vue géotechnique et hydro-écologiques

Réflexion paysage

La digue rabaissée permettra d'aménager un chemin intégré dans un espace de prairie, bordée par la ripisylve existante du Borne et une strate arbustive basse implantée au pied de digue côté val. La véloroute (projet département) longera le Borne sous le pont Royal pour ensuite remonter sur la crête de digue et redescendre aussitôt sur la rue en Caillat

(voie sans issue, déserte sept logements). Une bande cyclable pourra être peinte au sol afin de signaler la présence de la voie cyclable.

Dans le but de limiter les conflits d'usages, liés à la vitesse importante des cyclistes sur une voie rectiligne, il est préférable de séparer les flux piétons/cycles et assurer un parcours de qualité pour chaque usager. En aval, la véloroute profitera d'un chemin dédié en contrebas du sentier piéton.

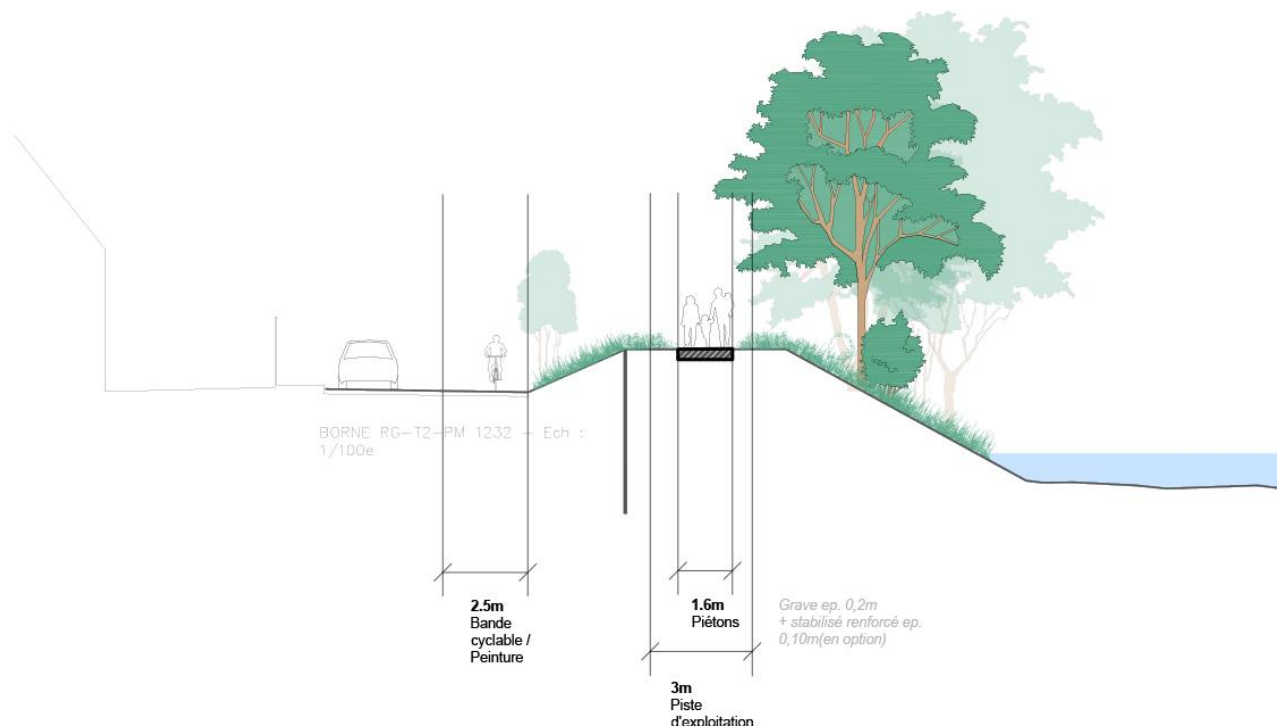


Figure 34 : Profil type RG-T2 et RG-T3 en aval du pont Royal

4.2.2.7 Digue rive gauche – RG-T4 et RG-T5

Linéaire d'application : 550 m,

Type d'intervention : confortement par l'aval (épaulement).

Ces deux tronçons se situent de part et d'autre du pont de Toisinges. Ils se caractérisent par la présence d'un franc bord assez large côté amont, et une emprise foncière disponible plus importante côté val. L'objectif est de tirer parti de cet espace côté val pour réaliser un confortement via un épaulement du talus aval, tout en maintenant la digue actuelle, dont l'altimétrie est supérieure au niveau de Q₁₀₀ + revanche, afin de conserver la végétation présente sur la crête et le talus amont. La conservation de la digue actuelle servira également de protection contre l'érosion externe.

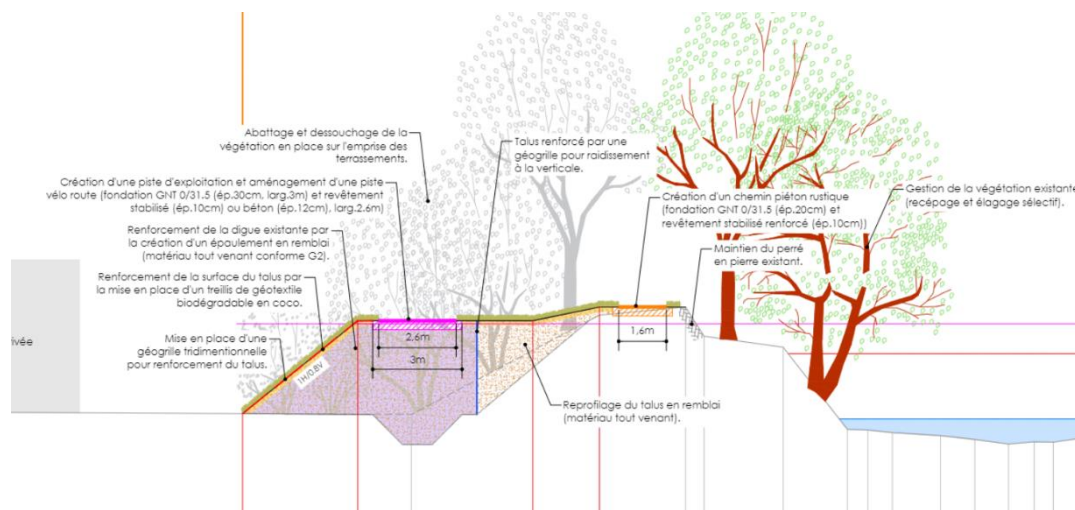


Figure 35 : Profil type RG-T4 et RG-T5 – PM775 – vue géotechnique et hydro-écologiques

L'épaulement, dont l'arase supérieure est positionnée à la cote projetée de $Q_{100} +$ revanche constituera l'ouvrage de protection contre les inondations. Il est constitué d'un remblai homogène avec un fuseau granulométrique adapté.

Les caractéristiques géométriques de l'épaulement sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4 m,
- Hauteur : 1.8 à 3.3 m,
- Pente du talus amont : sub-verticale, maintenue par des géogrilles (technique de remblai armé),
- Pente du talus aval : 2.5H/1V à 1.2H/1V maintenu par la mise en place de géotextiles tissés biodégradables en coco et un ensemencement indigène adapté, afin de respecter les emprises foncières disponibles si pente douce. Sur les talus inférieurs à 2.5H/1V, des géogrilles sont proposées sur le principe de terre armée. Ces matériaux demandent un soin particulier pour l'entretien.

La crête de l'épaulement accueillera la piste cyclable au droit du RG-T4 (amont du pont de Toisinges). Un cheminement piéton est maintenu en crête de la digue actuelle (cf. § 4.2.2.12).

Côté amont, une dizaine 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. Les caractéristiques de ces épis sont précisées au § 7.4.

Réflexion paysage

Sur ce tronçon, la digue actuelle sera renforcée par un épaulement à l'arrière. Le sentier en crête de digue sera conservé et amélioré le long du perré maçonné. La véloroute sera aménagée sur l'épaulement, sans chevaucher la géogrille, qui sépare la digue actuelle du nouvel ouvrage. Le revêtement conseillé pour la véloroute est un béton désactivé qui pourra être réévalué par le département, maîtrise d'ouvrage responsable des voies vertes.

Néanmoins, cette situation projetée comporte des dysfonctionnements paysagers :

- Le talus côté val, pour rester dans l'emprise foncière doit être très raide (pente proche de 1/1)
- Le talus ne pourra pas être végétalisé et devra être maintenu par une géogrille, qui dans le temps risque d'être visible
- À proximité de la véloroute, la forte pente du talus présente des risques de chute importants. La réglementation impose un garde-corps dans le cas où la voie cyclable se situe à moins de 1 m de la crête du talus en forte pente, mais même éloigné la chute reste possible
- Depuis les fonds de parcelle, la vue sur le talus sera peu qualitative

Une pente à 2/1 (en rouge sur les illustrations suivantes) présenterait un avantage paysager, sans toutefois réduire les impacts visuels. Aucune végétalisation arbustive du talus ne sera possible sur l'ouvrage. Cette pente minimale de 2/1 nécessitera par endroit d'acquérir du foncier et de décaler les clôtures. Un accès d'entretien doit également être maintenu entre le pied de l'ouvrage et la limite foncière.

L'ambiance paysagère de ce tronçon étant très qualitative aujourd'hui, sentier en sous-bois dense, il sera probablement nécessaire de communiquer auprès de la population afin de montrer et d'anticiper les transformations. Après travaux, le chemin traversera davantage une zone de clairière avec par endroits des fenêtres ouvertes sur le Borne.

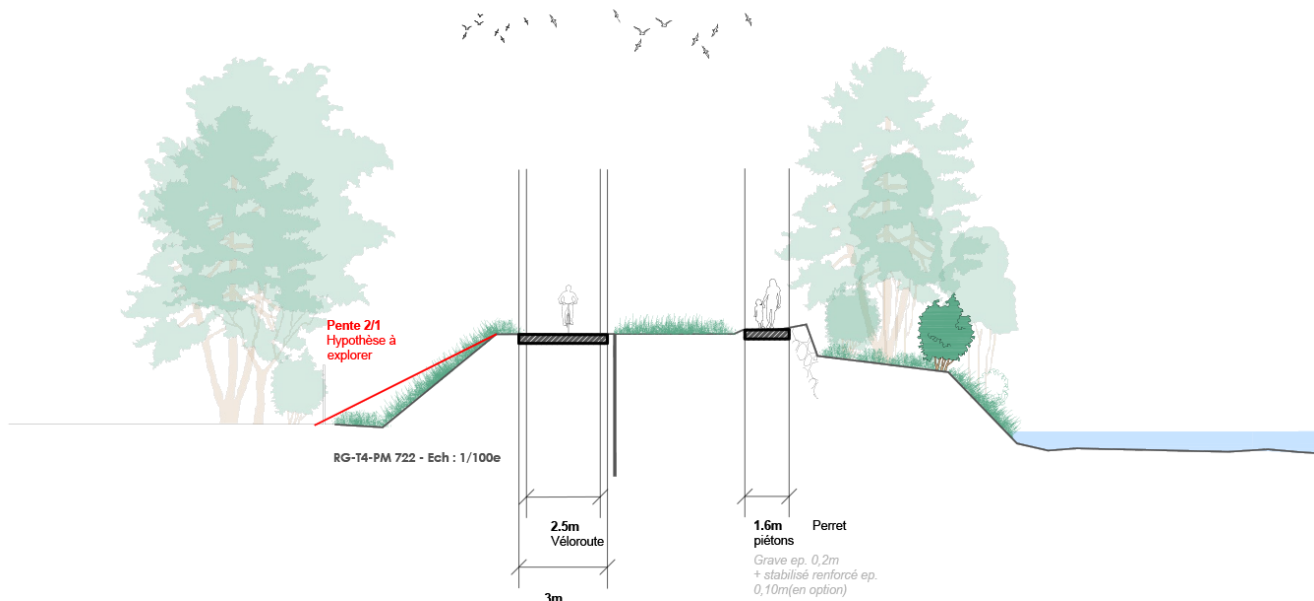


Figure 36 : Profil 722 RG-T4 en amont du pont de Tucinge (Avenue Ravel)

Sur ce tronçon et sur le secteur où le cordon boisé est le moins large, il sera possible d'intégrer une structure légère, type belvédère, en bois, en métal, pour une plus grande durabilité ou avec les deux types de matériaux (structure métallique et bardage bois). Ce belvédère offrira une vue plongeante sur le cours d'eau depuis le houppier des arbres de la ripisylve. De 2 m de large, il sera visuellement et écologiquement peu impactant, car suffisamment haut pour assurer les continuités écologiques et être dissimulé dans le feuillage des arbres.

Ce type de structure pourra être ajoutée après travaux par la commune de Bonneville.

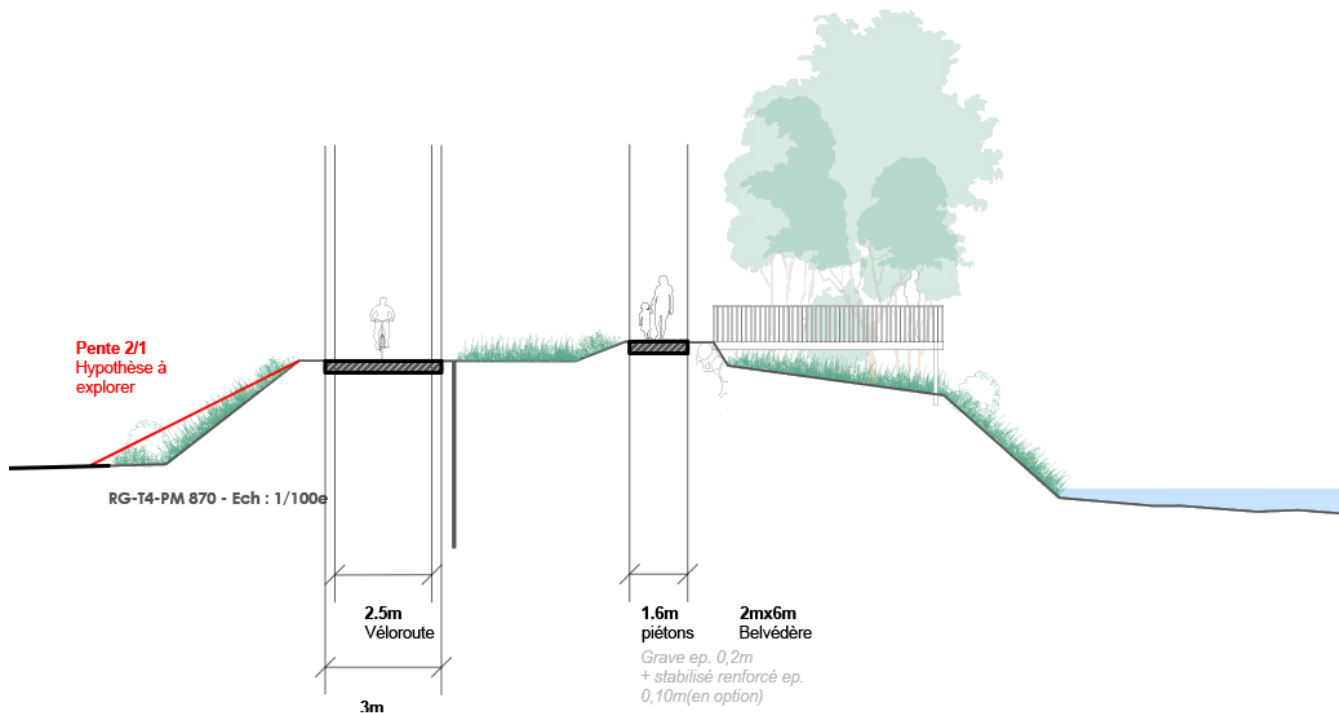


Figure 37 : Profil 870 RG-T4 en amont du pont de Tucinge (Avenue Ravel)

À l'aval du pont de Tucinge, le chemin piéton se poursuivra en crête de digue actuelle, le long du perré historique. La véloroute s'interrompt ici pour rejoindre le centre-ville de Bonneville en empruntant l'Avenue Ravel. Néanmoins, il semble intéressant de maintenir un chemin rustique accessible pour les cycles type VTC/VTT, avec cette fois un revêtement poreux. Sur l'épaulement le passage tout terrain sera donc toujours possible, mais la strate herbacée recouvrira progressivement la crête. Un entretien par fauche devra être réalisé, 2 à 3 fois par an afin de garantir le maintien d'un passage cycle et surveillance des ouvrages.

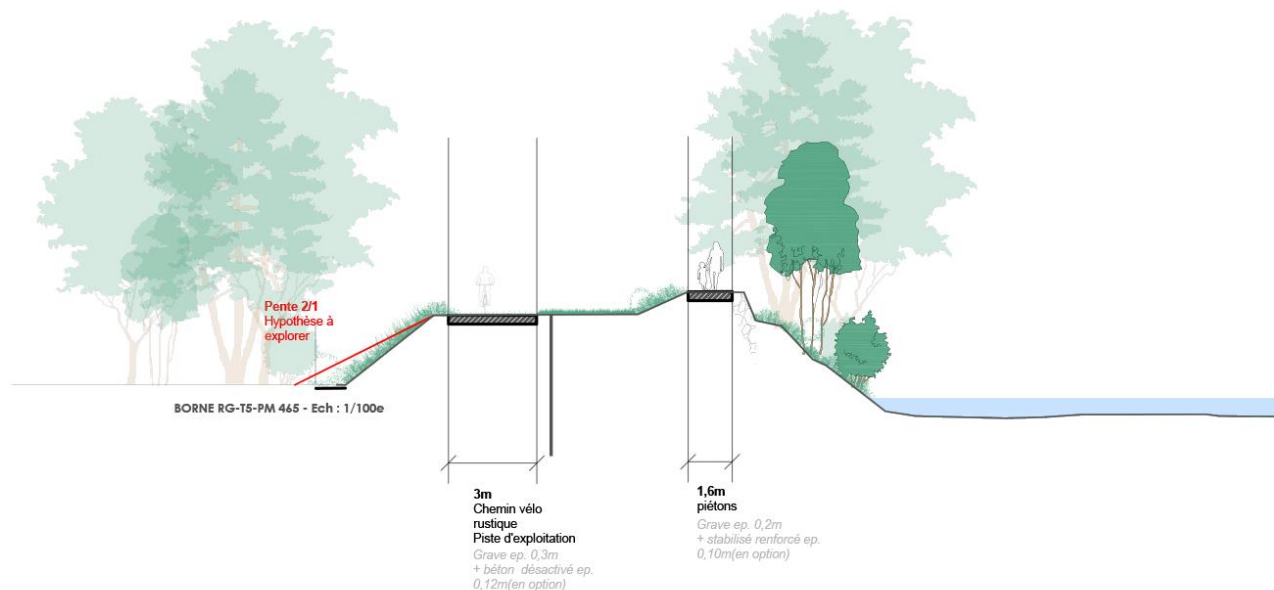


Figure 38 : Profil 465 RG-T5 en aval du pont de Tucinge (Avenue Ravel)

4.2.2.8 Digue rive gauche – RG-T6

Linéaire d'application : 100 m,

Type d'intervention : reprise intégrale de la digue.

Ce tronçon, plus contraint foncièrement est situé au droit des rampes en enrochements prescrites dans le lit mineur (cf. § 4.2.2.11). Il s'agit ici d'une reprise intégrale de l'ouvrage. La hauteur en charge est très importante sur ce secteur, le TN aval ayant une altimétrie très légèrement supérieure à celle du niveau des eaux moyennes du mois de mai + 20 cm, niveau retenu comme limite de la protection en enrochement. La double rampe sera détaillée plus loin mais au droit de cet ouvrage, 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.

Afin de pouvoir assurer malgré tout une végétalisation sur ce secteur, la mise en œuvre d'un rideau de palplanche à l'intérieur du corps de digue est prescrite. Son but est de créer une barrière physique vis-à-vis des systèmes racinaires des ligneux et de créer une coupure hydraulique aux écoulements à l'intérieur du corps de digue (traitement des problématiques d'érosion interne générées par la végétation).

Le remblai de la digue étant stable par lui-même, les palplanches n'ont pas de rôle de soutènement, ce qui permet de limiter la profondeur de fiche comparativement au rideau mis en œuvre au droit des tronçons RG-T2 et RG-T3. A ce stade la hauteur de palplanche considérée est de 3.5 à 3.75 m (hauteur en charge par rapport à $Q_{100} + 1$ m).

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4 m,
- Pentes de talus :
- Talus aval
 - ◆ Pente $>2.5H/1V$; renforcée par des géogrilles
- Talus amont :
 - ◆ Pente : $2.5H/1V$
 - ◆ Enrochement 300/1000 kg jusqu'au niveau du débit moyen mensuel du mois de mai surélevé de 20 cm,

- 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 (cf. § 4.2.2.12).

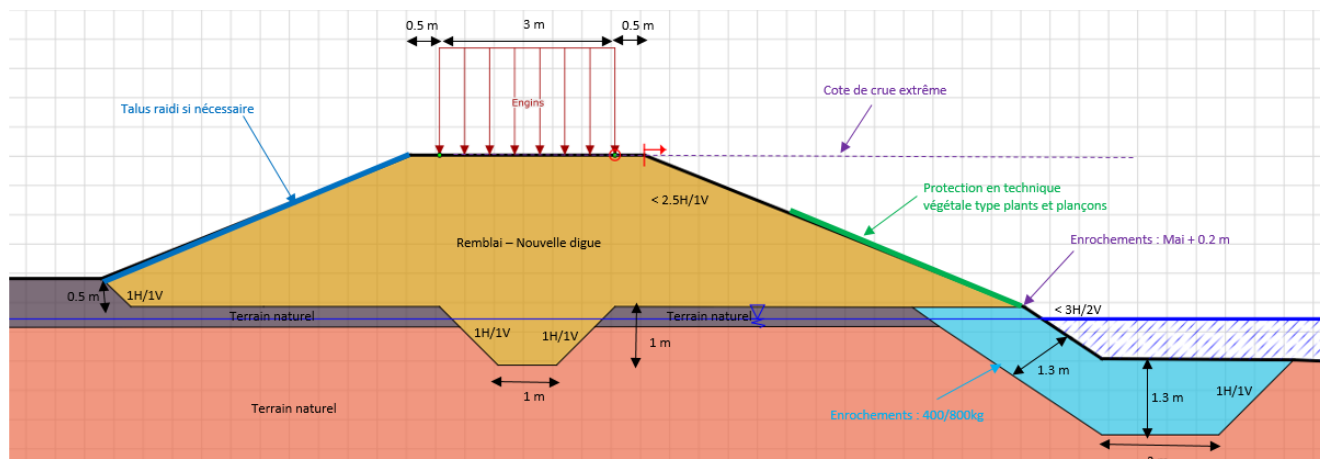


Figure 39 : Profil type RG-T6

4.2.2.9 Digue rive gauche – RG-T7

Linéaire d'application : 145 m,

Type d'intervention : reprise intégrale et recul de la digue.

L'espace foncier disponible et les potentialités de restauration écologique permettent, au droit de ce secteur, d'araser totalement la digue actuelle et de reconstruire une nouvelle digue dans la plaine pour élargir l'espace de liberté du Borne à proximité de la confluence et ainsi maintenir le cordon ripicole existant, la nouvelle digue étant réalisée en retrait.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4 m,
- Pente des talus : $2.5H/1V$,

Le profil de cette nouvelle digue est marqué par une hauteur de mise en charge très importante. L'altimétrie du TN, quasi équivalente de part et d'autre, proscrit toute technique de protection des talus par génie écologique. Compte-tenu des faibles vitesses liées à l'éloignement avec la section d'écoulement, une protection en enrochement n'est pas nécessaire au pied de cet ouvrage, c'est le cordon végétal existant qui servira de protection au pied de digue, sachant que compte tenu de l'élargissement notoire, les contraintes hydrauliques seront nécessairement diminuées.

Les talus et crêtes de digue hors emprise du chemin piéton sont entièrement végétalisés avec un ensemencement indigène adapté.

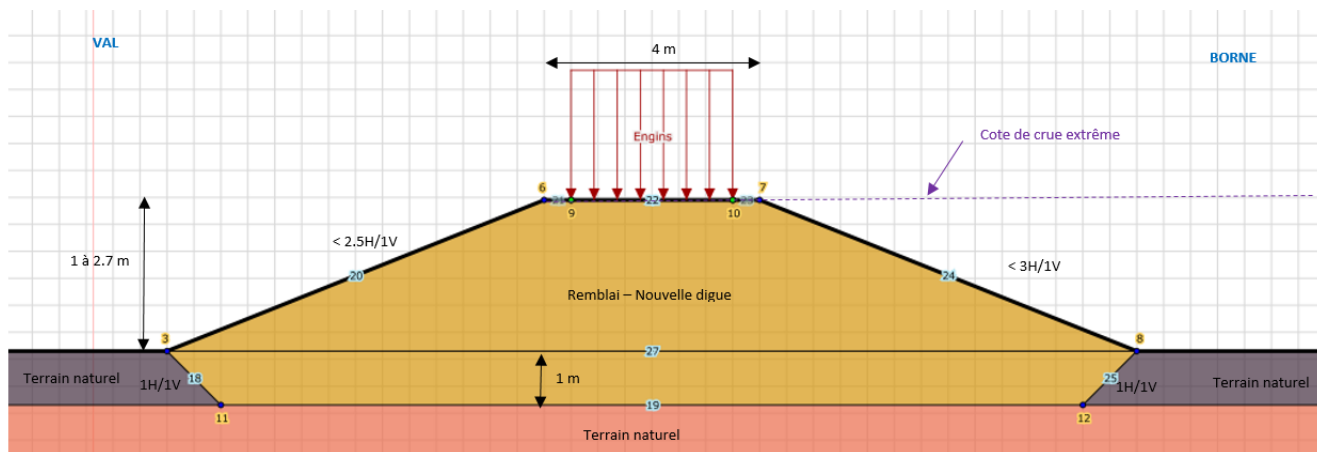


Figure 40 : Profil type RG-T6

Réflexion paysage

En amont de la STEP, l'espace alluvial du Borne sera élargi, intégrant la végétation existante. La nouvelle digue construite en retrait accueillera un chemin rustique partagé piéton/cycle. Ce chemin en périphérie d'espaces urbanisés est une amorce du chemin qui se poursuit en aval, le long de l'Arve, dans la forêt communale de Bonneville et jusqu'à la passerelle piétonne de l'Arve. C'est une boucle de randonnée de proximité identifiée par les riverains qui devra être maintenue. On peut donc considérer que le départ de ce chemin se trouve au niveau du pont de Tucinge.

Un second belvédère de 11 m de long pourra être placé juste en aval des seuils, à la suite des protections de berges liées au seuil aval. La large vue sur l'espace alluvial régulièrement inondé pourra être très qualitative. On pourra y observer la ripisylve, la roselière, le Borne en aval des remous des seuils et en arrière-plan la confluence avec l'Arve surplombée par les falaises du Dard.

Cette structure est suggérée, mais devra être aménagée par la commune de Bonneville.



Figure 41 : Profil 343 RG-T7

4.2.2.10 Digue rive gauche – RG-T8 et T9

Linéaire d'application : 175 m,

Type d'intervention : reprise intégrale de la digue.

Ces secteurs, situés au droit de la station d'épuration de Bonneville, sont caractérisés par une faible mise en charge. Par ailleurs, les travaux de réaménagement de la STEP (cf. § 2.11.3.1) libèrent une emprise en pied de l'ouvrage côté val, permettant de réaliser un recul de la digue et un adoucissement du talus amont avec emploi de techniques de génie écologique sur ce dernier.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Largeur en crête : 4 m,
- Pente du talus amont : $2.5H/1V$,
- Pente du talus aval : $2.5H/1V$.

Dans la mesure du possible, la végétation ligneuse présente en pied de digue est maintenue. Ce secteur comporte néanmoins des massifs d'espèces exotiques invasives représentées essentiellement par des massifs de buddleias qui seront entièrement supprimés, les substrats contaminés évacués puis criblés-concassés.

La végétation du bas de berge devra être relativement dense afin de stabiliser le pied de digue face aux crues de l'Arve qui pourront venir frapper frontalement ce talus. Cette végétalisation s'opérera par la mise en place de massifs de grosses boutures et pieux vivants de salicacées en partie basse puis de plantations ripicoles en partie supérieure, alors que l'ensemble des surfaces travaillées sera ensemencé d'un mélange grainier indigène et adapté.

Le chemin rustique sera maintenu en crête de digue afin d'assurer une continuité entre l'amont et l'aval.

4.2.2.11 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 sur largeur 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 feraient 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.

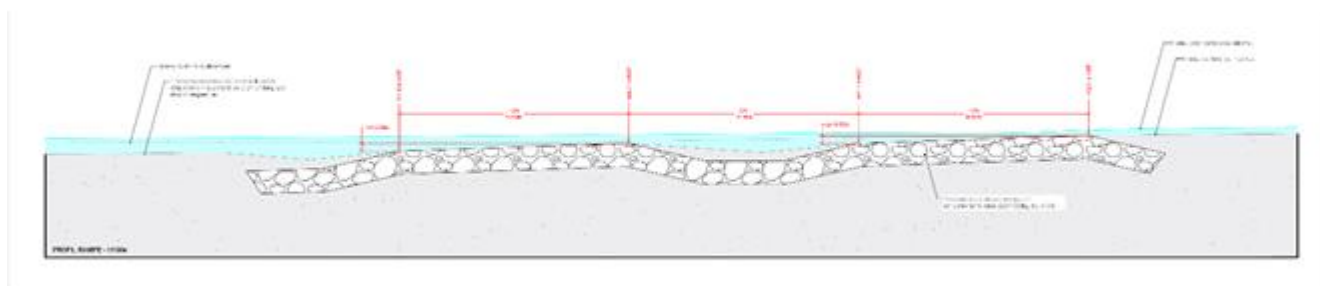


Figure 19 : Profil en long de la double rampe proposée en stabilisation du lit du Borne

La cote supérieure de cet ouvrage sera calée sur la cote actuelle du fond du lit du Borne, afin d'éviter toute modification 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).



Figure 19 : 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

4.2.2.12 Pistes d'exploitations

La réalisation d'une piste d'exploitation en crête de digue est intégrée au droit des tronçon suivants :

- RD-T3 et RD-T4,
- RG-T2 et RG-T3,
- RG-T4 et RG-T5 (crête de l'épaulement),
- RG-T6 à RG-T9.

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).

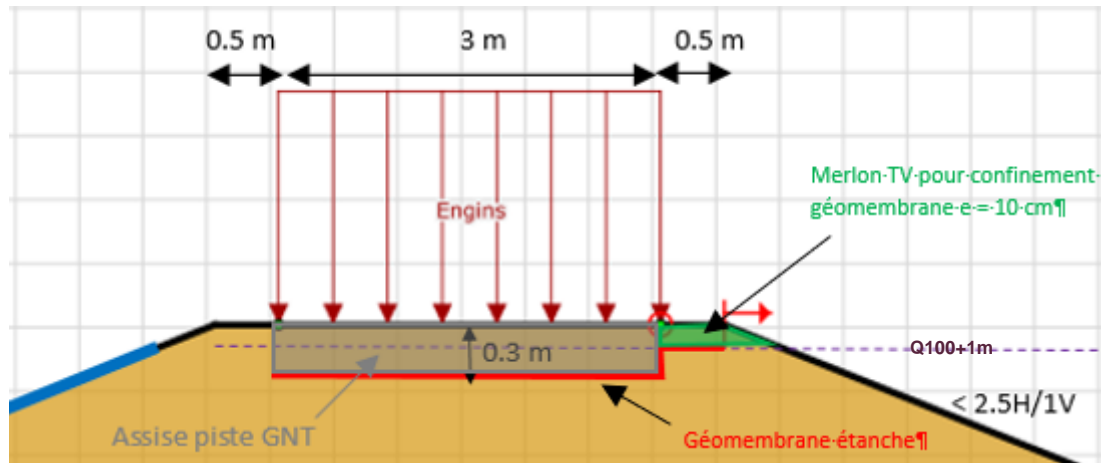


Figure 42 : Etanchéité au droit des pistes d'exploitation.

Sur l'aval du tronçon T5, la piste d'exploitation sera également utilisée pour les cycles de type VTC/VTT 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.

4.2.2.13 Synthèse des continuités piétonnes et cycles

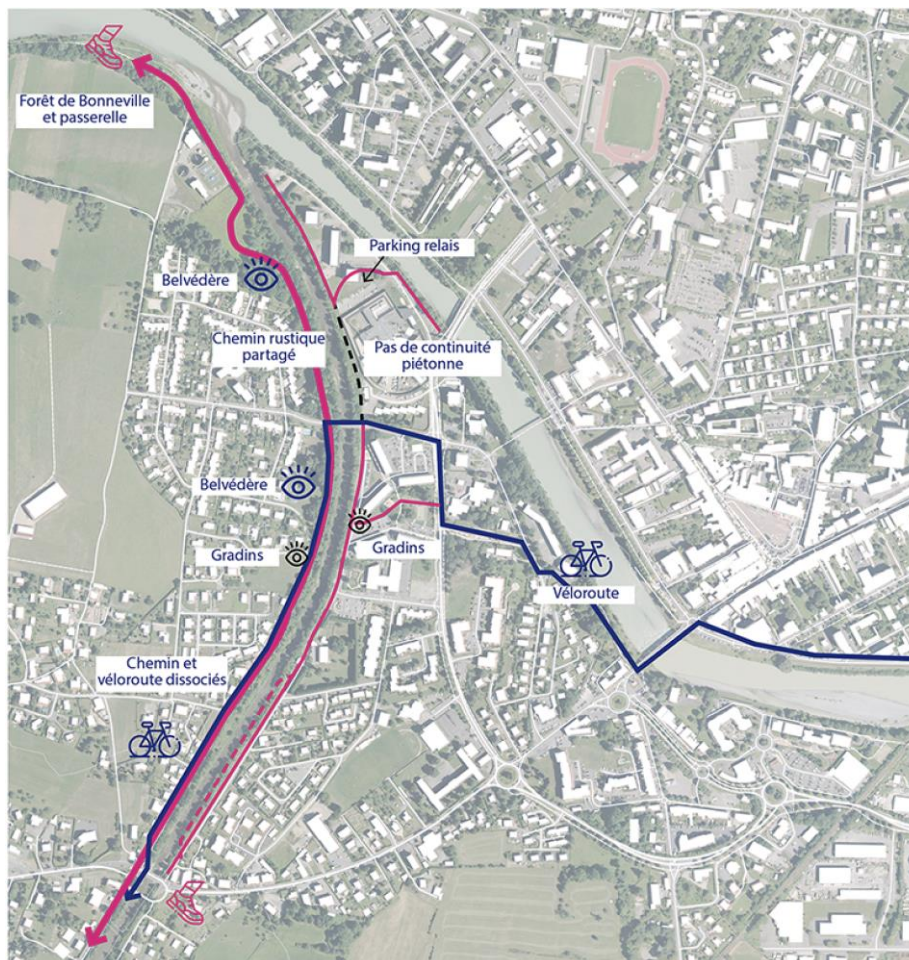


Figure 43 : carte de synthèse des cheminements piétons et cycles aux abords du Borne

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.

4.2.2.14 Passage de la piste cyclable sous le pont de la RD1203 – RG-T-1 à RG-T1

Linéaire d'application : 135 m

A la demande du SM3A, le passage de la véloroute sous le pont de la RD1203 a été intégré à l'étude. Il permet d'assurer la liaison entre la véloroute existante à l'amont du pont et la véloroute projetée à l'aval, via deux rampes et une risberme en berge du Borne. La limite entre le tronçon RG-T1 et RG-T2 correspond à la transition entre berge (niveau du TN inférieur à Q_{100} +revanche) et digue. Ces travaux ne sont donc pas en lien direct avec le projet de confortement de digues. Ils présentent toutefois une interface forte avec le lit du Borne étant donné qu'ils impactent la section d'écoulement au droit du pont de la RD. De ce fait, ils ont été intégrés aux modélisations hydrauliques de l'état projeté (cf. § 5). Ces travaux sont chiffrés à part dans l'estimation financière (cf. 9.2.2).

Les aménagements projetés sont décrits ci-dessous.

- **A l'amont du pont amont de la RD1201 (RG-T-1) :**
 - ♦ Réalisation d'une rampe de 40 m de long entre les PM 1475 et 1435,
 - ♦ Pente de la rampe : 6.5%
 - ♦ Soutènement de la rampe :
 - Talus haut : soutènement vertical de type mur (maintien du mur existant sur la partie aval, nécessitant reprise en sous-œuvre).
 - Talus bas : talus de pente supérieure à 3H/2V en enrochements percolés au béton à l'amont du PM1455 ; talus de pente inférieure à 3H/2V à l'aval du PM1455 en enrochements libres ; butée de pied.

- **Sous les deux ponts de la RD1201 (RG-T0) :**
 - ♦ Passage en risberme le long du Borne sur 55 m,
 - ♦ Tirant d'air minimum de 2.3 m entre l'arase de la piste et la face inférieure des tabliers,
 - ♦ Niveau de la piste environ 50 cm au-dessus de la cote moyenne mensuelle de Mai, et environ 30 cm sous le niveau de Q_2 ,
 - ♦ Pente de 2.3 % sur les 40 m amont, puis plane sur les 15 m les plus à l'aval,
 - ♦ Soutènement de la piste cyclable :
 - Talus haut : soutènement subvertical de type enrochement percolés existant,
 - Talus bas : enrochements libres à 3H/2V, avec butée de pied.

- **A l'aval du pont de la RD1201 (RG-T1) :**
 - ♦ Réalisation d'une rampe de près de 40 m de long entre les PM 1480 et 1350,
 - ♦ Pente de la rampe : 5.9 %,
 - ♦ Soutènement de la rampe :
 - Talus haut : soutènement vertical de type rideau de palplanches,
 - Talus bas : enrochements libres à 3H/2V.

Le soutènement vertical en palplanches au droit de la rampe aval est habillé par des gabions (cages thermo soudées) et couvertines.

Sur l'ensemble du linéaire, le projet intègre :

- ♦ Une couche de fondation de la piste cyclable en GNT (épaisseur = 40 cm),
- ♦ Un revêtement en béton désactivé (épaisseur = 15 cm).

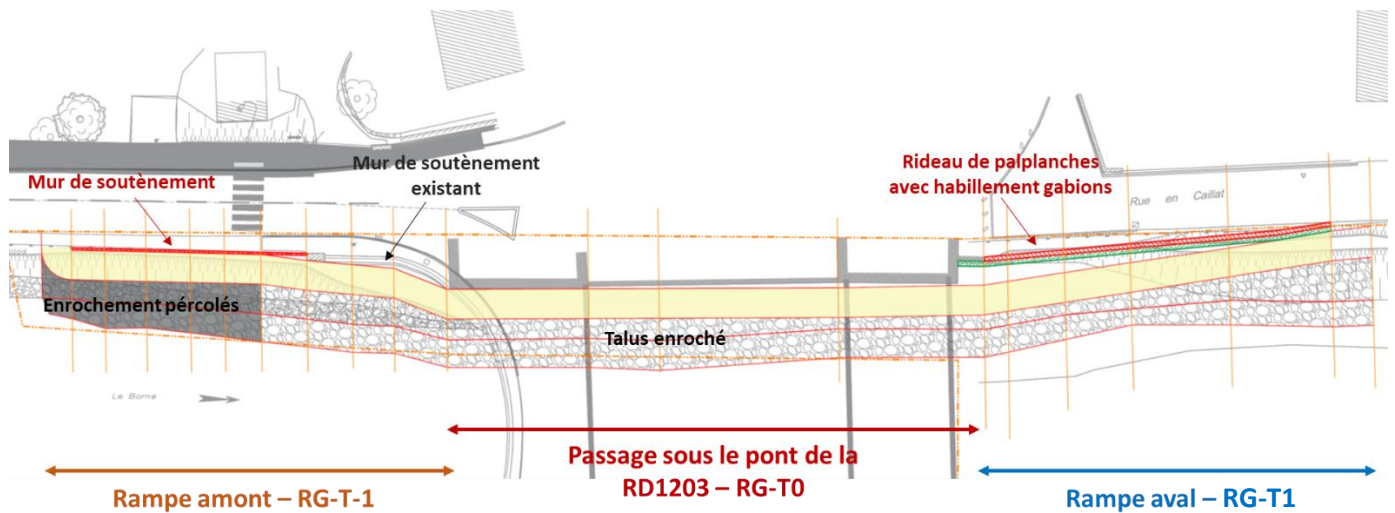


Figure 44 : Passage de la véloroute sous le pont de la RD1203.

Pour mémoire, cette section de berge ne pourra pas être végétalisée, les enrochements ne pouvant pas être végétalisés, ceci d'autant plus sous le franchissement par la RD1203. Après quelques années, il est néanmoins fort probable que de la végétation puisse coloniser spontanément le pied de la protection, sur des dépôts de matériaux naturels au gré des crues du Borne. Il est à noter que l'amont du pont sera également aménagé au niveau de son lit dans le cadre du projet Aralep (voir plus haut).

Afin d'assurer la sécurité des cyclistes sur ce passage au plus près du Borne, il sera nécessaire d'installer un chasse-roue au bord de la piste cyclable. L'implantation d'un garde-corps n'est pas envisageable en raison des risques d'embâcles. En cas de crue, la piste sera inondée, il sera alors nécessaire de la nettoyer avant sa réouverture. Une surveillance plus régulière devra être faite sur ce secteur. Les pentes étant importantes des panneaux et bornes lumineuses devront être installés afin de limiter les risques d'accident.

5 Simulation hydraulique de l'état projeté

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, 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.

Les profils en long en annexe 3 font apparaître la superposition des lignes d'eau (résultats bruts sans ajout d'une revanche) et vitesses à Q_{100} , dans la situation actuelle et à l'état projet. Les résultats des simulations réalisées montrent :

- une influence inférieure au centimètre de l'aménagement de la piste cyclable sous le pont Royal,
- une surélévation de la ligne d'eau de Q_{100} de +10 cm maximum à l'amont du PM480 liée à l'effet des épis,
- une faible diminution des vitesses en pied de berge à l'amont du PM480, liée à l'effet des épis, de 0.14 m/s en moyenne et de 0.72 m/s au maximum à la Q_{100} ,
- un abaissement de la ligne d'eau de Q_{100} du PM550 au PM170, de 0.35 m en moyenne et de 0.80 m au maximum, lié à l'élargissement du lit du Borne,
- une diminution des vitesses à l'axe du Borne au droit du même tronçon allant jusqu'à -1.5 m/s et de 0.3 m/s en moyenne, lié à l'élargissement du lit du Borne,

Au droit de l'élargissement du Borne, la réduction des vitesses induit un risque, à long terme, de dépôts préférentiels. Pour intégrer ce risque ainsi que les ajustements de la position des rampes en enrochements dans le lit du Borne, le niveau retenu pour la crue de projet sur la partie aval est sensiblement supérieur au niveau renvoyé par le modèle hydraulique (cf. figure 45).

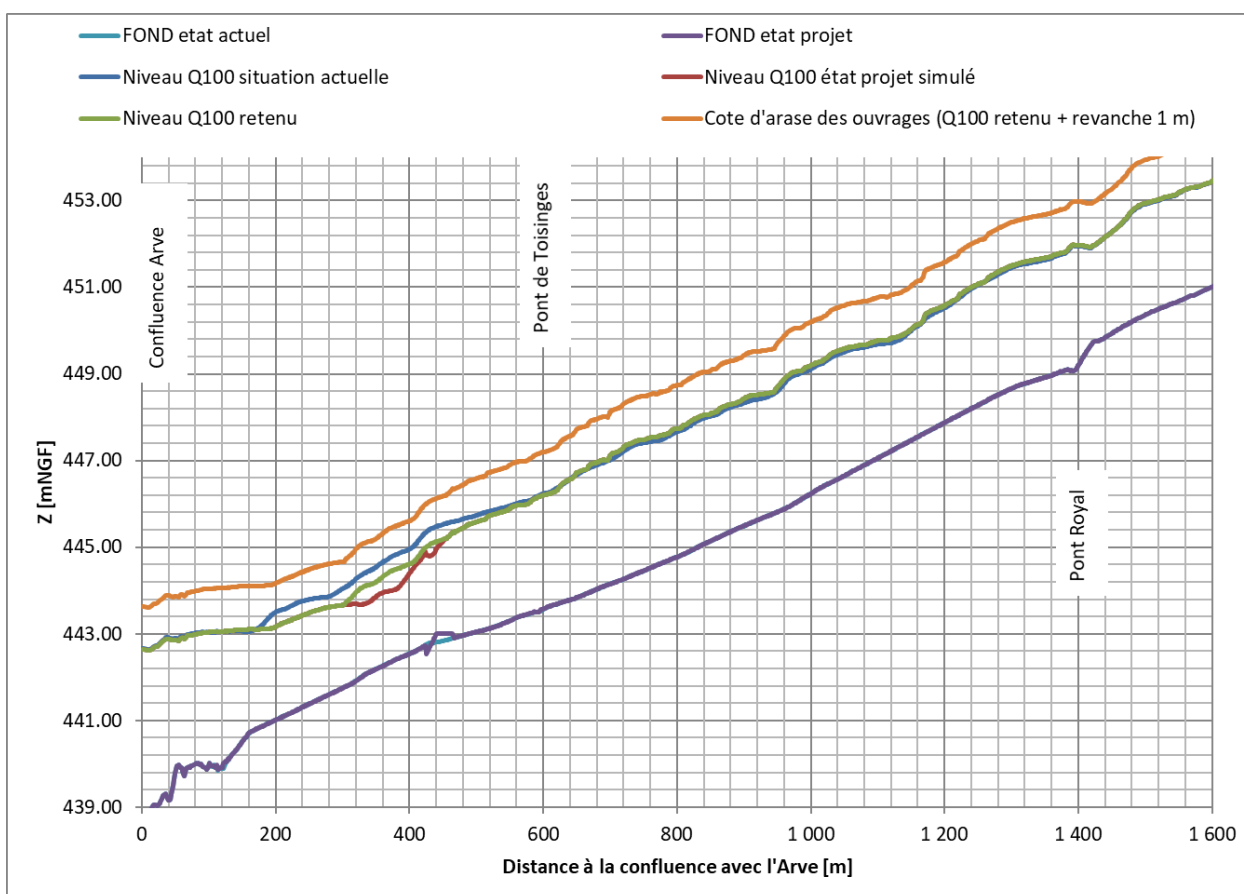


Figure 45 : Niveau de la crue de projet issu des simulation et niveau retenu.

La cote retenue pour le niveau d'arase supérieure des ouvrages correspond au niveau retenu pour la crue de projet (cf. figure 45 ci-dessus) avec ajout d'une revanche de 1 m (cf. § 3.3).

6 Vérification et la justification de la stabilité des ouvrages

Le dimensionnement, la vérification et la justification de la stabilité des ouvrages, ainsi que l'analyse des risques résiduels, fait l'objet de la mission G2-AVP. Ces points sont détaillés pour chaque tronçon homogène dans le rapport de G2-AVP ([DA18]) et le document présentant la sectorisation en annexe 1. Les caractéristiques propres à chaque grand principe de confortement, vis-à-vis de risques d'érosion interne, érosion externe, glissement, et surverse sont rappelés succinctement dans les paragraphes qui suivent.

6.1 Surverse

L'arase de l'ensemble des ouvrages est positionnée à Q100+revanche (cf. § 3.3 et 5).

6.2 Erosion interne

6.2.1 Reprise intégrale de la digue

Tronçons concernés : RD-T3 à T5, RG-T6 à T9

La nouvelle digue est réalisée avec un remblai homogène présentant un fuseau granulométrique adapté afin d'empêcher l'initiation des phénomènes d'érosion interne (notamment suffusion). Ce remblai ne sera pas végétalisé avec des espèces ligneuses (favorisant un risque d'érosion de conduit par le développement des systèmes racinaires) mais simplement intégré par un semis herbacé ; les techniques de génie végétal seront limitées à la berge (d'altimétrie inférieure au TN aval, non mise en charge). Des grillages anti-fouisseurs seront mis en œuvre sur les talus pour empêcher la formation de conduits par la faune.

Une gestion de la végétation post-travaux (fauches et tailles) sera nécessaire afin d'empêcher la colonisation par les ligneux du remblai situé au-dessus du TN et limiter le risque de chablis lors des crues.

Le RG-T6 constitue un cas particulier qui associe reprise intégrale de la digue et confortement interne (cf. § 4.2.2.8). Du fait de la présence d'un rideau de palplanches constituant une coupure mécanique (empêchant la formation de conduits) dans le corps de digue, une végétation ligneuse pourra être réimplantée sur les talus au droit de ce tronçon.

Risques résiduels : -

6.2.2 Confortement interne

Tronçons concernés : RG-T2 et T3,

Le rideau de palplanches vient introduire une coupure hydraulique coupant les écoulements souterrains entre le Borne et l'aval et empêchant les phénomènes d'érosion interne de s'initier. Cette technique permet, par conséquent, le maintien d'une végétation ligneuse sur les talus sans aggravation du risque d'érosion interne.

Risques résiduels : -

6.2.3 Confortement par l'aval

6.2.3.1 Mur béton

Tronçons concernés : RD-T1 et T2

Le mur constitue une coupure étanche coupant toute possibilité de débouché de conduit aval (érosion de conduit maîtrisée) et rallongeant les cheminements d'écoulements souterrains (diminution du risque de suffusion). Cette technique permet le maintien d'une végétation ligneuse sur le talus amont sans aggravation du risque d'érosion interne.

Risques résiduels : -

6.2.3.2 Epaulement

Tronçons concernés : RG-T4 et T5

L'épaulement est constitué d'un remblai non végétalisé réalisé en utilisant un matériau homogène présentant un fuseau granulométrique adapté (critères de filtre) qui permettra de gérer ce risque. L'interface digue – TN devra être soignée de manière à ne pas intégrer de problématique d'érosion de contact.

A contrario du confortement aval via un mur béton, le confortement par un épaulement ne prévient pas des risques liés au développement des systèmes racinaires dans la digue. Par conséquent, l'épaulement devra être maintenu exempt de végétation ligneuse, et une distance de 5 m non végétalisée par des ligneux sera respectée entre le talus amont de l'épaulement et le talus amont de l'ancienne digue où les boisements sont maintenus. Cette zone de 5 m de large correspond à la surface du remblai entre l'épaulement et l'ancienne digue, ainsi que tout ou partie de la crête de l'ancienne digue. Le respect de ces dispositions permet de gérer le risque d'érosion interne.

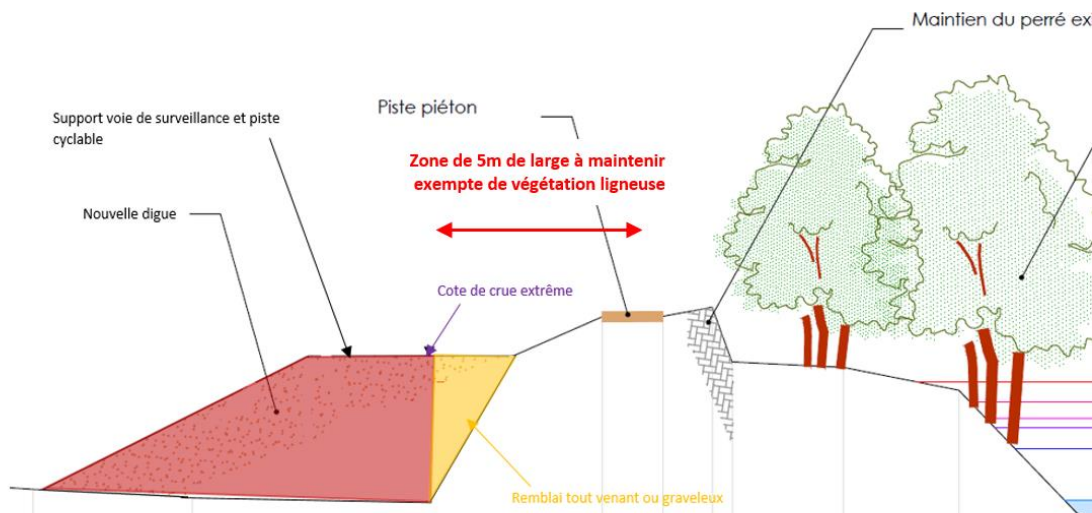


Figure 46 : Schéma de principe de gestion de la végétation ligneuse sur les tronçons confortés par épaulement.

Risques résiduels : -

6.2.4 Arasement de la berge

Tronçons concernés : RD-T6 et T7

La digue actuelle est arasée au niveau du TN tant et si bien que la plaine avale est laissée inondable. De fait d'absence de digue, ces tronçons ne sont pas concernés par le risque d'érosion interne.

Risques résiduels : -

6.3 Erosion externe

De manière générale, les talus côté val des ouvrages ne sont pas au contact d'écoulements hydrauliques générateurs d'érosion externe. Il conviendra néanmoins d'assurer un ensemencement de ce dernier afin de limiter les actions d'affouillement générées par le ruissèlement des eaux pluviales. Il conviendra également de s'assurer que la géométrie de l'ouvrages reste intègre vis-à-vis des actions naturelles et anthropiques (terrassment par exemple).

Concernant le talus amont, les paragraphes suivants présentent la réflexion par type d'aménagement. A noter qu'une érosion externe du talus amont a pour effet de modifier négativement la géométrie de l'ouvrage d'endiguement (raidissement, affouillement de pied), amplifiant le risque de glissement qui lui pourrait aboutir, dans un cas extrême, à la ruine de l'ouvrage de protection.

A noter que les solutions proposées dans l'AVP structurel de 2018 permettaient la gestion du risque d'érosion externe sur l'ensemble du linéaire d'étude tandis que cet AVP optimisé, de par la volonté de conserver l'aspect actuel des digues, propose des solutions qui, à défaut de gérer le risque d'érosion externe, permettent de gérer son effet à plus long termes.

6.3.1 Reprise intégrale de la digue

Tronçons concernés : RD-T3 à T5, RG-T6 à T9 (cf. Figure 26)

La protection du talus amont est dimensionnée en fonction de la pente du talus et des vitesses d'écoulement à l'état projet (issus des simulation hydrauliques). Il s'agit soit de :

- Techniques mixtes (RD-T3 à T5, RG-T6) :
 - ♦ Butée de pied en enrochement 300/1000kg,
 - ♦ Lits de plants et plançons, de la limite des enrochements à la limite de la partie berge,
 - ♦ De géotextiles tissés biodégradables en coco sur la partie supérieure de talus lorsque nécessaire et ensemencement des surfaces travaillées
 - ♦ Des géogrilles lorsque les talus sont plus raides que 2.5H/1V
- Techniques de génie végétal (RG-T8) :
 - ♦ Pieux vivants et grosses boutures de salicacées, plantations indigènes et adaptées puis ensemencement des surfaces travaillées
- Autre : (RG-T6)
 - ♦ Géogrille pour talus plus raides que 2.5H/1V ;

Risques résiduels : -

6.3.2 Confortement interne

Tronçons concernés : RG-T2 et T3,

Le risque d'érosion du talus amont végétalisé, maintenu en l'état, n'est pas contrôlé. La mise en œuvre, à des fins de diversification écologique, d'épis en pied de talus ne réduit pas significativement les vitesses d'écoulement et n'aura qu'un effet très limité sur la réduction de ce risque.

Toutefois, le caractère autostable du rideau de palplanches garantit la protection du val vis-à-vis des inondations même si la digue actuelle (située entre le Borne et ce rideau) est amenée à disparaître par érosion externe et/ou glissement. La sûreté de l'ouvrage est donc garantie à court et long termes.

Aussi, au droit du tronçon RG-T3, la présence d'un franc bord jouant le rôle de zone tampon limite ce risque à la tranche superficielle de ce franc-bord, évitant l'amplification du risque de glissement global de la digue.

Risques résiduels : Risque toujours présent mais ne remettant pas en cause la sûreté de l'ouvrage vis-à-vis de sa fonctionnalité de protection des inondations.

A noter toutefois que le maintien de ce risque résiduel a pour conséquence de remettre en cause à long terme et la pérennité des aménagements paysagers situés en amont de la nouvelle digue de confortement.

6.3.3 Confortement par l'aval

Tronçons concernés : RD-T1 et T2, RG-T4 et T5

Le risque d'érosion du talus amont végétalisé, maintenu en l'état, n'est pas contrôlé. La mise en œuvre, à des fins de diversification écologique, d'épis en pied de talus ne réduit pas significativement les vitesses d'écoulement et n'aura qu'un effet très limité sur la réduction de ce risque.

Le risque résiduel est plus marqué au droit du tronçon RD-T2 où le franc-bord est moins large.

Toutefois, la mise en œuvre d'un ouvrage d'endiguement indépendant de la digue actuelle dans son fonctionnement garantit la protection du val vis-à-vis des inondations même si la digue actuelle (située entre le Borne et ce nouvel ouvrage) est amenée à disparaître par érosion externe et/ou glissement. La sûreté de l'ouvrage est donc garantie à court et long termes.

A noter que le maintien de la digue actuelle devant l'ouvrage de confortement, qui constituera la future digue, jouera un rôle de zone tampon vis-à-vis de l'érosion externe. L'atténuation du risque est d'autant plus importante que la digue actuelle est large.

Risques résiduels : Risque toujours présent mais ne remettant pas en cause la sûreté de l'ouvrage vis-à-vis de sa fonctionnalité de protection des inondations. A noter toutefois que le maintien de ce risque résiduel a pour conséquence de remettre en cause à long terme et la pérennité des aménagements paysagers situés en amont de la nouvelle digue de confortement.

6.3.4 Arasement de la berge

Trançons concernés : RD-T6 et T7

La digue actuelle est arasée au niveau du TN, la berge est adoucie et reculée en rognant une partie de la surface de la plateforme de confluence entre Arve et Borne. Aussi, la digue située en rive opposée étant également reculée, ceci a pour conséquences d'augmenter significativement la largeur du lit du Borne et de limiter sensiblement les vitesses d'écoulement (cf. § 5). Ainsi, le risque d'érosion externe est limité et aucune disposition supplémentaire de type protection par technique mixte n'est jugée utile afin de gérer ce risque.

Risques résiduels : -

6.4 Stabilité au glissement

6.4.1 Reprise intégrale de la digue

Trançons concernés : RD-T3 à T5, RG-T6 à T9

La géométrie des nouvelles digues (remblai et protections) permettra de satisfaire les critères de stabilité au glissement amont et val.

Risques résiduels : -

6.4.2 Confortement interne

Trançons concernés : RG-T2 et T3,

Le caractère autostable du rideau de palplanche garantit la protection vis-à-vis de toute problématique de glissement.

Les talus de la digue actuelle sont considérés stables au glissement, les coefficients obtenus montrant toutefois peu de marge pour le talus amont.

Risques résiduels : -

A noter que le phénomène d'érosion externe n'étant pas stoppé (cf. § 6.3.2), il est susceptible d'engendrer des instabilités du talus amont (non vérifiable par le calcul), potentiellement problématiques pour la pérennité du cheminement en crête et l'intégration paysagère, mais sans risque pour la stabilité de l'ouvrage de protection contre les inondations.

6.4.3 Confortement par l'aval

Trançons concernés : RD-T1 et T2, RG-T4 et T5

Les caractéristiques des ouvrages de confortement (géométrie/renforcement de l'épaulement, fondation des murs béton) permettent de satisfaire les critères de stabilité au glissement, y compris en cas de glissement de la digue actuelle.

Risques résiduels : Le risque de glissement du talus amont de la digue actuelle, n'est pas contrôlé.

6.5 Stabilité du génie biologique

La définition d'aménagements de berge adaptés à la protection des digues du Borne (génie biologique) nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs et contraintes d'aménagements :

- Méandrage et exposition face aux courants de crue

Pour mémoire, le Borne opère une légère courbe sur la gauche sur le secteur de projet, ce qui entraîne globalement des contraintes d'affouillement plus importantes en extrados de méandre rive droite, en particulier de part et d'autre du pont de Toisinges.

- Incision

Tel que susmentionné, le Borne connaît une tendance à l'incision en se calquant sur le processus de l'Arve, raison pour laquelle un seuil/rampe a été placé sur le Borne juste en amont de la confluence avec l'Arve ; seuil qui abrite comme il a été vu également une canalisation d'eaux usées menant à la STEP et des enrochements localisés ont été réalisés successivement au cours du temps, en particulier en partie amont du tronçon. Il a été vu que si le seuil en amont de la confluence peut être déplacé, la cote du fond du lit actuel du Borne ne peut être modifiée au risque de déstabilisation des digues.

- Talus à forte pente

Si les digues ont été initialement construites avec des perrés puis l'incision compensée localement et successivement par des enrochements, les pieds des berges du Borne restent aujourd'hui relativement peu protégés, avec des talus à forte pente ($\geq 3H/2V$) mais néanmoins comme il a été vu une végétation globalement bien développée et plutôt de nature ripicole indigène et adaptée, mise à part quelques foyers de renouées asiatiques en particulier en partie amont du tronçon rive droite, des robiniers faux acacia et de nombreux buddleias, notamment à la confluence avec l'Arve.

- Régime nival et réduction de l'espace alluvial

De même que pour de nombreux autres cours d'eau alpins, le Borne se caractérise par un régime hydrologique nival, avec :

- des débits importants en période printanière et en début d'été suite à la fonte des neiges d'altitude ;
- des débits faibles en automne et en hiver ;
- une grande amplitude des variations mensuelles des débits (rapport élevé hautes eaux/étiages).

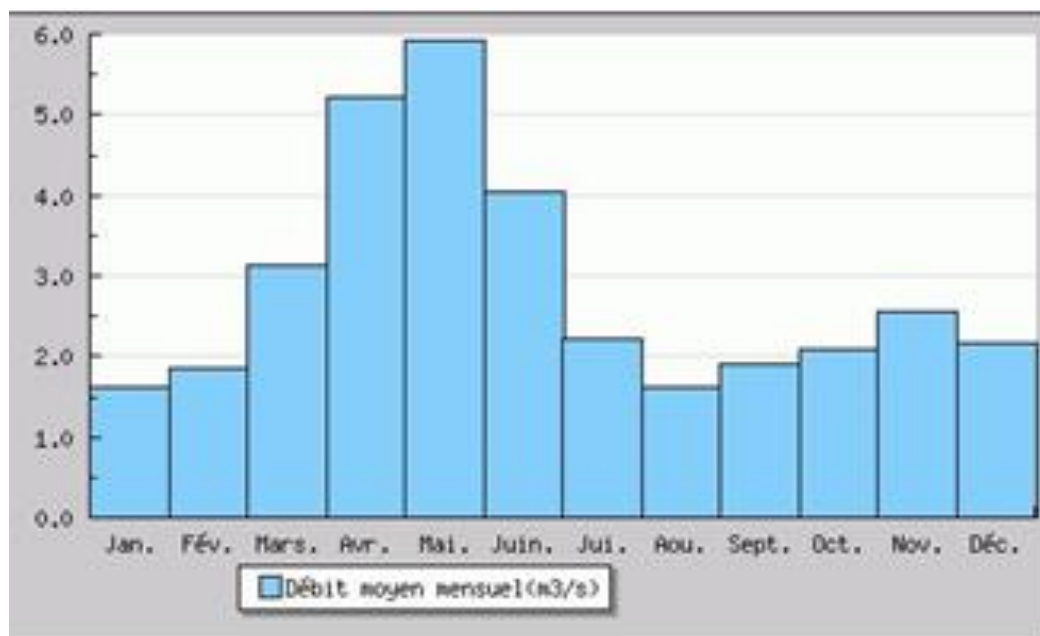


Figure 47 Illustrations des débits moyens mensuels du Borne à St-Jean de Sixt de 1964 à 2021 (source : banque hydro).

Les hautes eaux printanières, en pleine période de développement de la végétation pénalisent le recrû d'espèces ligneuses en pied de berge, d'autant plus lorsque le cours d'eau est endigué ; ceci en raison d'une trop importante submersion des parties aériennes (limitation de la respiration des feuilles).

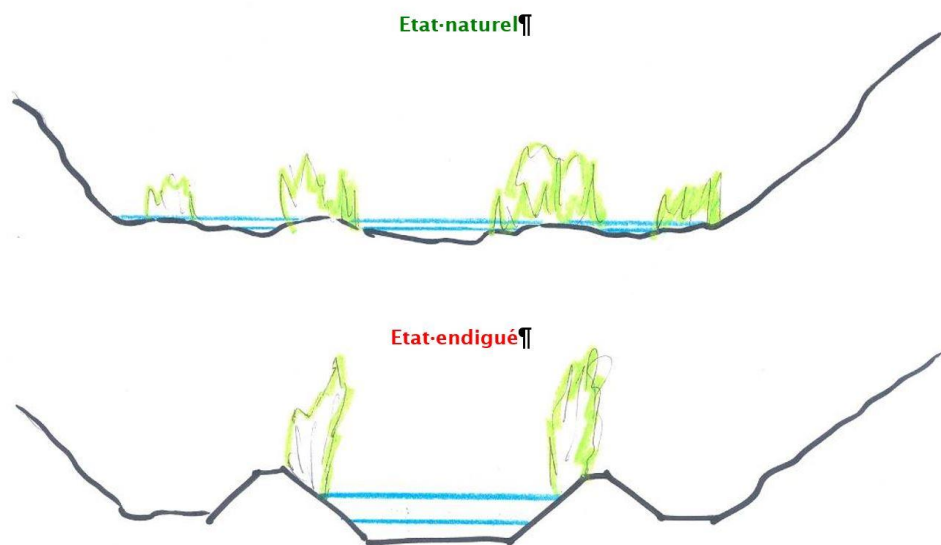


Figure 48 Illustrations schématiques de la différence d'amplitude entre un débit hivernal (basses eaux) et printanier (hautes eaux de fonte des neiges) sur un cours d'eau au bassin versant alpin, dans son état naturel en haut puis endigué en bas (figure Biotec).

Les différentes contraintes liées à l'endiguement et à la réduction de l'espace alluvial peuvent également engendrer des forces d'arrachement des eaux importantes (forces tractrices dépassant la capacité de résistance de végétaux).

Pour mémoire, la force tractrice exprime la force d'arrachement des eaux en crue et peut être évaluée, soit en fonction du rayon hydraulique [R] du cours d'eau, soit en fonction de la vitesse d'écoulement des eaux [V], soit en fonction de la hauteur d'eau sur étiage [H], en particulier sur des cours d'eau de largeur importante.

Elle s'exprime en kg/m^2 .

La formule usuelle à partir de la hauteur d'eau sur étiage est la suivante :

$$t = r \times H \times l$$

avec

$$t = \text{force tractrice (kg/m}^2\text{)}$$

$$r = \text{poids unitaire de l'eau = 1'000 kg/m}^3$$

$$H = \text{hauteur d'eau sur étiage (m)}$$

$$l = \text{pente de la ligne d'eau}$$

Soit la pente du lit sur le Borne, égale à environ 7‰ (selon cotes fond + lignes d'eau CNR), ce qui engendre les forces tractrices suivantes sur le site sur la base des calculs des hauteurs d'eau pour différents débits caractéristiques effectués par CNR.

Débit caractéristique	Débit (m ³ /s)	Hauteur d'eau sur étiage (m)	Force tractrice (kg/m ²)
Mai	13.5	0.5	3.5
Q ₂	66.6	1.3	9.1
Q ₅	93.5	1.6	11.2
Q ₁₀	113.5	1.8	12.6
Q ₁₀₀	178.4	2.4	16.8

Tableau 9 : calcul de forces tractrices

Cette estimation de force tractrice ne permet évidemment pas au concepteur de dimensionner le projet en techniques végétales, mais constitue un moyen de contrôle simple afin de déterminer si oui ou non des techniques végétales peuvent être appliquées en protection de berge d'un point de vue des seules forces d'arrachement. Les valeurs de forces tractrices limites (ou critiques) connues et définies pour certains types d'ouvrages en techniques végétales après enracinement sont :

- herbacées (bien adaptées) : 5 kg/m²
- jeunes saules : 10 kg/m²
- fascines issues de branches de saules : 25 kg/m²
- couches de branches à rejets : 30 kg/m²

Si l'on compare les valeurs obtenues avec les valeurs de forces tractrices limites ci-dessus, il est possible de constater que d'un point de vue théorique et des seules forces tractrices, une protection de berge réalisée uniquement avec des herbacées ne serait "théoriquement" pas suffisante, même pour une crue de type Q₂. Par contre, d'un point de vue théorique et des seules forces tractrices, une stabilisation 100% végétale pourrait être proposée. Une protection du pied de berge est nécessaire, ceci d'autant plus durant les premières années à suivre des travaux (épis, base en enrochements, génie végétal, etc.) ou maintien/gestion de la végétation actuelle.

7 Prescriptions techniques pour les aménagements

7.1 Travaux préparatoires

7.1.1 Déboisement et nettoyage des emprises

Ces opérations regroupent :

- Le nettoyage et le défrichage des emprises,
- L'abattage des arbres,
- Le dessouchage.

Compte-tenu de l'enjeu majeur de préservation des boisements qui a guidé les choix techniques du projet, une attention particulière devra être portée pour limiter les déboisements au strict nécessaire. Il conviendra de respecter une préservation des boisements des talus amont au droit des secteurs faisant l'objet d'un confortement interne ou d'un confortement par l'aval, ainsi qu'une préservation au maximum des boisements de la plaine au droit du secteur faisant l'objet d'un recul de digue (RG-T7).

7.1.2 Décapage de la terre végétale

Sur les emprises générant des gisements satisfaisants ou significatifs, la terre végétale sera préalablement décapée puis mise en dépôt pour être réutilisée dans le cadre du chantier. Au stade AVP, une épaisseur de décapage de 20 cm est considérée.

7.1.3 Dévoisement des réseaux

Les plans des réseaux existants et des dévoiements proposés sont donnés dans le dossier de plans en annexe du présent rapport.

7.1.3.1 Dévoisement des réseaux secs

A ce stade d'étude, les réseaux secs concernés par un potentiel dévoiement sont listés ci-dessous :

- Réseau télécom aérien à dévier : 650 ml ;
- Fibre optique à déplacer : 120 ml ;
- Basse tension à déplacer : 160 ml ;
- Réseau d'éclairage publique à déplacer : 170 ml ;
- Réseau télécom souterrain : 100 ml.

Un total d'environ 1.2 km de réseaux secs est à déplacer/dévoier.

La forme du dévoiement et les linéaires exactes des réseaux secs à dévoier seront précisés en phase « Projet ». Un échange préalable avec les exploitants des réseaux concernés est à mener.

Pour rappel, le dévoiement des réseaux secs est hors marché.

7.1.3.2 Réseaux EU sous le Borne

Le réseau EU sous le Borne est à dévoier au niveau des rampes projetés (seuil) afin de le protéger de toute érosion régressive du Borne.

En mars 2021, une réunion a eu lieu entre le SM3A et la régie eau assainissement de Bonneville concernant le franchissement du Borne. L'exploitant du réseau a donné les préconisations suivantes pour le déplacement du réseau :

Solution en gravitaire préférable avec une pente proche des 0.5 % ;

- Nécessité de remonter le déversoir d'orage situé en RG de l'Arve au bout de la queue du Borne (déversoir équipé d'un débit mètre et vanne de sectionnement) ;
- Prévoir un tuyau fonte sous le seuil pour franchissement du Borne avec chemisage ;
- Prévoir tuyau en Grés sur la partie à plus faible pente ;
- Rester sur un diamètre de 500 mm ;
- Intégrer un bout de piste en pied de digue (RG) pour l'entretien des éventuels regards de visite.

La vue en plan ci-dessous montre le linéaire de dévoiement :

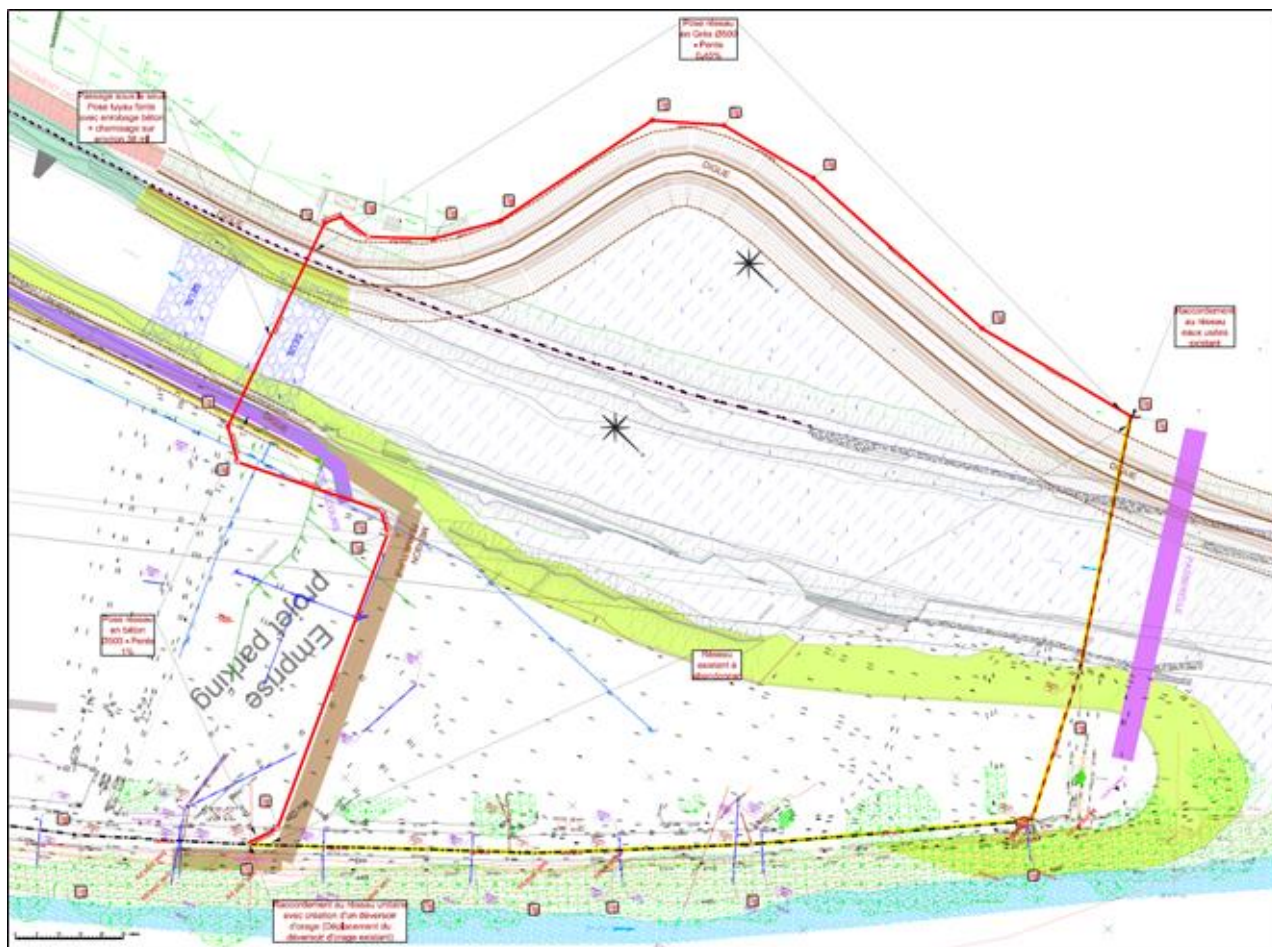


Figure 49 : Vue en plan du dévoiement du réseau EU (tracé en rouge)

Le dévoiement concerne un linéaire d'environ 400 m.

Il est à noter que le profil en long du nouveau tracé du réseau est disponible dans le dossier de plans en annexe du présent document.

7.2 Réfection et renforcement des digues

7.2.1 Reprise intégrale des digues et épaulements

Les ouvrages existants sont généralement constitués par des remblais de sables et graviers, plus ou moins pauvres en matériaux fins.

Les types de matériaux présentés dans les remblais sont détaillés dans le rapport G2AVP. L'objectif est d'assurer une perméabilité de 10^{-4} m/s au maximum.

Les matériaux seront soigneusement compactés :

- A 95 % de l'OPN pour les argiles/limons,
- A 90% de l'OPN pour les sables graveleux.

Le recours à des techniques alternatives à la reprise intégrale des ouvrages conduit à réduire les besoins en remblais par rapport à l'AVP structurel de 2018.

Le mouvement des terres devra être précisé en phase Projet sur la base de l'analyse des reconnaissances géotechniques complémentaires réalisées fin 2020 (cf. § 2.7). Les hypothèses prises à ce stade sur le réemploi des matériaux sont précisées au § 8.1.

7.2.2 Palplanches

Les palplanches seront implantées depuis la route en pied de digue dans la mesure du possible. Afin d'éviter les risques de refus liés au réseau racinaire, sur les zones avec forte présence d'espèce ligneuse sur le talus amont, une purge, sur environ 50 cm de profondeur, est préconisée sur toute la largeur du rideau, soit entre 0.5 et 1 m.

Pour les zones où les rideaux de palplanche sont susceptibles de fonctionner comme des soutènements, les modules de palplanches type PU18 sont envisagés à ce stade. Ce point sera dimensionné en phase PRO à partir des essais pressiométriques disponibles.

Pour les zones où les rideaux de palplanche ont une fonction d'écran anti-érosion, des profilés plus légers, type GU6N ou PU 12 sont à envisager. Ce point sera validé en phase PRO.

7.2.3 Murs béton

La mise en œuvre de la fondation des murs béton nécessitera un déblai d'une partie du talus aval et de la crête de la digue actuelle.

La semelle sera positionnée hors gel, sur un béton de propreté.

7.3 Protection des talus

7.3.1 Géométrie des enrochements

Les éléments relatifs au dimensionnement des enrochements, en fonction de la pente des talus et des vitesses d'écoulement sont précisés dans le rapport de G2-AVP ([DA18]).

Les talus enrochés auront les caractéristiques suivantes :

- Blocométrie : 300/1000 kg,
- Epaisseur : 1.3 m.

La bêche d'ancrage à réaliser en pied de talus aura les dimensions suivantes :

- Largeur en partie inférieure : 2 m,
- Largeur en partie supérieure : 3 m.

L'arase inférieure de la bêche dans le lit de la rivière se situera 1.3 m sous le fond de la rivière.

7.3.2 Qualité des enrochements

Les enrochements retenus pour la conception répondront aux exigences des spécifications de la norme NF-EN 13383.

7.3.3 Géogrilles

Les matériaux retenus pour stabiliser les talus dont la pente est raide en générale inférieure à 2H/1V voire 3H/2V ne doivent pas se dégrader dans le temps.

7.3.4 Grillage anti-fouisseurs

Un grillage anti-fouisseurs sera mis en œuvre sur la partie en charge des nouvelles digues en remblais, ainsi que sur le développé du talus aval des épaulements, pour limiter la dégradation des ouvrages par les fouisseurs.

7.3.5 Géotextiles

Des géotextiles pourront être nécessaires :

- En assise de digue pour assurer une séparation/filtration entre les matériaux rapportés et les matériaux en place,
- En fond de fouille sous les enrochements, suivant la nature des terrains rencontrés, pour assurer les règles de filtre avec les enrochements. Il n'est, en effet, pas prévu de couche filtre en enrochements plus petits.

A ce stade, les métrés incluent la mise en œuvre de géotextile sous la totalité des enrochements en protection de berge, ainsi que sous les bèches.

7.3.6 Génie biologique

Les techniques végétales pures proposées en partie aval rive gauche et rive droite sont calées à partir de la cote atteinte par les hautes moyennes du mois de mai (fonte des neiges). Elles s'illustrent par la mise en place de lits de plants et plançons dans les endroits plus fortement sollicités d'un point de vue hydraulique et sous la forme de végétalisation simple illustrée par des pieux vivants et grosses boutures de salicacées dans les endroits moins exposés.

Pour les dispositifs de protection de berge en techniques mixtes, la limite « génie civil/génie végétal » au moyen de la technique des lits de plants et plançons est calée comme il a été vu à la cote des hautes eaux moyennes de mai + 20 cm en section courante et + 60 cm au droit de la double rampe de stabilisation du fond du lit.

Pour mémoire, la « technique » des lits de plants et plançons sera réalisée par la mise côte à côte sur des rangées successives (lits) de plants enracinés d'espèces ripicoles indigènes adaptées et de plançons vivants de saules (reproduction par voie végétative selon le principe du bouturage). Cette technique a l'avantage de présenter dès la mise en place (à savoir avant même que les végétaux n'aient repris) une grande densité de ramilles capables de dissiper l'énergie hydraulique proche du sol donc de limiter les risques d'érosion. Entre les lits de plants et plançons, les géotextiles tissés biodégradables en coco mis en place vont permettre d'éviter le lessivage des particules fines des substrats de végétalisation. Un ensemencement de l'ensemble des surfaces travaillées permettra une couverture rapide des sols en place, le protégeant d'autant plus face aux effets érosifs des écoulements et de manière à concurrencer quelque peu le développement des espèces néophytes à tendance invasive, qui comme il a été vu, sont présentes sur le site.



Figure 23 : Illustrations successives de la protection mixte enrochements-lits de plants et plançons-plantation mise en place en rive gauche du Rhône à Avully (Suisse) en soutènement d'une route (conception, photos et suivi des travaux : Biotec en collaboration avec GEOS

Les géotextiles biodégradables ont quant à eux une fonction provisoire de maintien des substrats en place face à tout risque d'érosion superficielle dans l'attente du développement végétal souhaité. De plus, leur grande capacité de rétention en eau lors d'évènements pluvieux, leur permet de favoriser le démarrage des ensemencements établis sous la pose de ces derniers.

La totalité des espèces végétales installées sera bien entendu de nature indigène et adaptée au contexte du bassin versant de l'Arve. Le SM3A a d'ailleurs initié une démarche de Végétal Local que nous cherchons également à favoriser au travers de cette opération.

7.4 Restauration hydro-écologique

Tel que susmentionné une « *Etude de conception et de dimensionnement de dispositifs de diversification des habitats piscicoles en secteur endigué sur le Borne aval* » avait été réalisée en 2018 par Setec/Hydratec et Aralep pour le compte du SM3A (cf.[DA16]) .

Si les objectifs et le diagnostic de cette étude sont identiques à ceux du présent AVP en ce qui concerne le lit du Borne, les propositions d'interventions défendues dans le présent AVP optimisé diffèrent quelque peu de l'étude de 2018.

En effet, il est utile de rappeler que le contexte de réalisation des aménagements intra-digues a changé, avec le parti d'aménagement aujourd'hui développé en protection des digues (avant-projet optimisé). Avec le projet structurel, qui comprenait la reprise complète de l'ensemble des berges en enrochements, tout effet hydraulique provoqué par les turbulences des aménagements piscicoles (banquettes et épis rocheux sur les 2/3 du lit notamment) était « absorbé » par les enrochements des berges. Aujourd'hui, avec un parti d'aménagement qui mise sur le maintien/gestion de l'essentiel des berges végétalisées existantes (avant-projet optimisé), la dimension des aménagements réalisés dans le lit du Borne doit inévitablement être revue à la baisse si l'on ne veut pas que les aménagements eux-mêmes soient la source de dégradation future des berges et donc des digues.

D'autre part, les aménagements aujourd'hui prévus dans le lit du Borne font appel à une philosophie d'intervention moins figée, à savoir plus évolutive en fonction des différents événements hydrologiques que va connaître le Borne dans le futur. Les nombreux épis proposés, comme vu de manière plus significative sur la rive droite, permettront comme il a été vu de délester le pied des berges d'une partie des contraintes hydrauliques en recentrant les écoulements. Mais ils permettront également de maintenir des dépôts de matériaux graveleux, à la fois créés dans le cadre des travaux avec des excédents de terrassements, puis spontanés suite aux travaux, au gré des différentes crues du Borne.

Ces dépôts graveleux ne sont pas fixés par un cordon d'enrochements mais libres d'évoluer au gré des crues. Ils constitueront des surfaces adaptées au développement spontané d'un type de végétation caractéristique de ces milieux alluviaux.

Les épis seront implantés perpendiculairement aux berges. Ils seront des ouvrages courts (environ 6 mètres, soit grossièrement 1/4 à 1/3 de la largeur du lit). Ils seront de forme plongeante et constitués d'enrochements libres rangés. Leur cote supérieure sera établie quelques 50 cm au-dessus de la cote atteinte par les hautes eaux moyennes de printemps (mai). Leur espacement est volontairement irrégulier afin de favoriser l'hétérogénéité du lit.



Figure 15 : Différentes vues des travaux de suppression de seuil sur la Corrèze en ville de Tulle puis de reconquête de l'espace alluvial, mise en place d'épis et re-végétalisation des berges en génie écologique (état initial en haut 2014 puis travaux en cours 2016 en bas à gauche et développement de la végétation 2020 en bas à droite), photos, conception et maîtrise d'œuvre Biotec

Si des alternances d'épis et bandes graveleuses sont prévues sur l'ensemble du tronçon en amont de la double rampe, en aval de cet ouvrage le lit du Borne sera laissé à son évolution naturelle, avec la possibilité de création de lits multiples, de bancs graveleux et d'îlots au gré des crues du Borne et aussi de l'Arve au point de confluence.

Ce secteur permettra la constitution d'hibernaculums et structures d'abris pour la faune avec la mise en place de souches/racines et troncs issus des travaux forestiers. Les amas de pieux vivants/branchages, massifs de grosses boutures et pieux vivants de salicacées etc. auront également pour but de « fixer » quelque peu des îlots, de créer des « point durs » participant à la dynamique du milieu et pour éviter la disparition complète des îles dès les premières crues importantes du Borne et de l'Arve.



Figure 15 : Différentes vues de dépôts végétalisés ou « renforcés » par des structures souples de diversification des conditions d'écoulement : amas de souches et leurs rejets, massifs de pieux de salicacées, structures de troncs enchevêtrés et bois morts (photos Biotec).

7.5 Gestion de la végétation post-travaux

7.5.1 Gestion/entretien à court terme

Il est à noter que si l'ensemble des surfaces travaillées sont ensemencées, y compris au droit des surfaces de stockage provisoire de matériaux, d'installations de chantier et/ou de passages d'engins, les zones spécifiquement plantées (boutures et pieux vivants de salicacées, arbustes et lits de plants et plançons) seront sous la garantie de reprise et entretien à charge de l'entreprise mandataire, durant trois saisons végétatives à suivre des travaux. Durant cette période, la maîtrise d'ouvrage n'a pas à intervenir sur les surfaces travaillées.

Concernant les surfaces de berges aménagées en techniques végétales et mixtes, le futur marché de travaux prévoira une seule fauche des herbacées en début de période automnale (soit idéalement fin septembre) afin de dégager les sujets plantés ligneux puis favoriser leur croissance et permettre un léger recru des herbacées d'autre part, avant l'hiver pour mieux résister à l'effet potentiellement érosif des crues.

Cette coupe des herbacées menée en début d'automne sera réalisée de manière précautionneuse (soit à la main ou au moyen d'une débroussailleuse munie d'une cloche) pour éviter toute blessure aux sujets ligneux plantés. De plus, les résidus herbeux fauchés seront exportés pour éviter une couche stérile à la surface du sol, dont le pourrissement entraînerait la dégradation prématurée des géotextiles biodégradables mis en place et un appauvrissement de la diversité biologique des espèces installées et/ou en développement spontané.

Sur les zones où les géogrilles sont prévues, un entretien très minutieux est nécessaire pour éviter tout risque de dégradation par les épaveuses, ce qui est fréquent pour ce type de matériaux.

Outre ces obligations en matière de fauche annuelle des surfaces ensemencées durant trois périodes végétatives, l'entreprise mandataire aura bien entendu également pour obligation de procéder au remplacement de végétaux morts ou malades, d'éliminer les espèces indésirables, voire néophytes pouvant coloniser les surfaces travaillées, puis de veiller à un arrosage éventuel en cas de manque d'eau marqué des végétaux.

7.5.2 Gestion/entretien à plus long terme

A l'issue de ces trois premières périodes végétatives, comme il a été vu à charge de l'entreprise mandataire, l'entretien et la gestion de la totalité des espaces végétalisés du Borne reviendra à la charge de la maîtrise d'ouvrage.

De ce fait, les considérations suivantes pourront avantageusement être respectées pour garantir à long terme les objectifs de protection et de valorisation recherchés :

- globalement, les surfaces traitées en berges ont été conçues pour nécessiter aucun ou un minimum d'entretien. Il y a aucune raison à ce que des interventions systématiques soient réalisées en berges du Borne sur la végétation maintenue dans le cadre de l'opération ou plantée;
- une des raisons principales d'intervention pourra être de veiller au maintien d'un développement végétal 100 % indigène et adapté au contexte riverain du Borne, avec le repérage puis l'évacuation de tout végétal inadapté et de nature xénophyte à tendance invasive, tel que le robinier, l'ailante, le buddleia, l'érable négundo, les renouées asiatiques, les asters américains, les solidages, etc.;
- concernant les sujets ligneux mis en place (pieux vivants et boutures de salicacées, plantation d'arbustes en massifs et lits de plants et plançons), la seule intervention préconisée outre la gestion des éventuelles espèces néophytes à tendance invasive, peut être un rajeunissement des peuplements végétaux à long terme (tous les 10-15 ans environ). Dans ce sens, l'ensemble des végétaux pourra être recépé à la tronçonneuse à 10-20 cm au-dessus du sol en période de repos végétatif (novembre à mars). Pour des raisons paysagères, cet entretien spécifique pourra avantageusement être séquencé par tronçons d'une centaine de mètres et par berge, ceci afin de limiter tout impact négatif sur le milieu alluvial par une opération d'entretien trop interventionniste;
- pour mémoire, une bande de 5 m depuis le pied des nouvelles digues en remblais doit être réservée dans les emprises foncières au sein de laquelle une gestion sélective de la végétation sera nécessaire (enlèvement des plus gros sujets dont les systèmes racinaires sont susceptibles de s'étendre en interface avec les ouvrages);
- de même toutes les surfacesensemencées en crête de digues nouvelles, soit au-dessus de la cote du TN, devront être fauchées au minimum 1 x par an pour éviter tout développement de la végétation ligneuse.

7.6 Gestion des ouvrages traversants

Compte-tenu des techniques employées pour le confortement/réfection des ouvrages, la présence d'éventuels anciens réseaux non répertoriés ne nécessitera pas de traitement particulier.

8 Organisation des travaux

8.1 Mouvements de terre et réemploi des matériaux

8.1.1 Analyse préliminaire du mouvement des terres

Le tableau ci-dessous synthétise l'estimation au stade AVP des volumes de déblais/remblais mis en jeu par le projet.

Tableau 10 : Synthèse du mouvement des terres.

TYPE DE MATERIAUX		Rive droite (m ³)	Rive gauche (m ³)	Lit mineur (m ³)	QUANTITE TOTALE (m ³)
DEBLAIS	Terre végétale	2 380	3 520	-	5 900
	Produits de démolition	780	990	-	1 770
	Déblais alluvionnaires	26 820	22 740	5 150	54 710
REMBLAIS	Terre végétale	2 060	2 850	-	4 910
	Remblais GNT	200	1 470	-	1 670
	Remblais généraux	8 110	20 010	1 110	29 230
	Tout venant	4 390	2 510	1 110	8 010
	Corps de digue	3 930	17 500	-	21 430

A ce stade, les hypothèses suivantes ont été établies :

- Réemploi pour les remblais de corps de digue de 50% du volume de déblais alluvionnaire (environ 27 500 m³), dont 10% (2 750 m³) après criblage,
- Utilisation des déblais non réemployable en corps de digue pour les remblais de tout venant (8 010 m³),
- Volume d'excédents d'environ 29 000 m³.

Sur la base de ces hypothèses, les déblais générés permettent de couvrir la totalité des besoins en remblais. Compte-tenu des incertitudes sur ces hypothèses de réemploi, un approvisionnement supplémentaire de 5000 m³ (environ 25% des besoins) est comptabilisé dans l'estimation financière, soit un montant de 100 k€.

Concernant la terre végétale, les incertitudes sur les volumes (présences de souches, etc.) et la qualité de la terre décapée ont conduit à intégrer un approvisionnement à hauteur de 50% des besoins (environ 2500 m³).

Les hypothèses énoncées ci-dessus seront à préciser en phase Projet à partir des résultats des campagnes de reconnaissances géotechniques complémentaires réalisées (cf. § 2.7 et [DA18] §8) dans une logique d'optimisation du réemploi des matériaux.

8.1.2 Gisement de matériaux et destination des excédents

Des possibilités de prélèvement de matériaux existent hors des emprises du projet du Borne, sur des zones connexes au projet des digues de l'Arve (espace entre la digue et le merlon des Bordet notamment). En fonction des optimisations possibles sur le réemploi des matériaux et des besoins en fourniture résiduels, cette option sera à approfondir si nécessaire en phase Projet en lien avec l'économie des deux projets.

Pour les enrochements, les carrières suivantes, situées dans un périmètre de 15 à 30 km ont été identifiées dans l'AVP structurel de 2018 :

- BALME Benedetti (Magland),
- ROSETTO (Saint-Jeoire),
- SOCAVA (Saint-Jeoire),
- Carrière du SALEVE (Etrembière),
- SIXT TINES (Sixt Fer à cheval).

A ce stade, une mise en décharge de la totalité des excédents est intégrée. Plusieurs pistes pourront être étudiées pour optimiser la gestion des excédents alluvionnaires :

- Optimisation du réemploi (cf. § précédent),
- Réinjection sédimentaire,
- Mise en remblais dans une ancienne ballastière,
- Valorisation économique.

Ces pistes seront à étudier en phase Projet dans une logique d'optimisation économique et de réduction des émissions de GES.

8.2 Zones d'installations de chantier et accès à la zone de travaux

Deux zones ont été pré-identifiées à proximité immédiate de l'emprise des travaux. Elles sont d'une surface suffisante pour accueillir les installations de chantier (base-vie, stock-tampons, installations de criblage des matériaux, etc.) :

- La zone de la Queue du Borne, en rive droite, en aval de la maison d'arrêt et du parking relais,
- La parcelle située en amont de la STEP, en rive gauche (ayant accueilli les installations de chantier des travaux de la Step, cf. § 2.11.3.1).

Leur superficie est d'environ 5000 m² chacune.



Figure 50 : Localisation des zones d'installations potentielles.

Des accès sont possibles :

- En rive droite :
 - ♦ au droit de la rue des Minotiers,
 - ♦ au droit de la rue des Pêcheurs,
 - ♦ au droit de la zone de la Queue du Borne, via l'avenue Mozart,
- En rive gauche :
 - ♦ Au droit de l'allée du Torrent,
 - ♦ Au droit de la rue du Bois Gentil,
 - ♦ Au droit de la parcelle amont de la Step, via la rue des Ancolies.

Au droit des secteurs où l'intervention est centrée sur le talus aval, la circulation devra se faire :

- Via la rue du Borne en rive droite pour la mise en œuvre du mur de soutènement,
- Via la rue en Caillat en rive gauche pour la mise en œuvre des palplanches,
- Dans l'emprise de l'épaulement, à l'avancé, pour sa mise en œuvre en rive gauche.

Des pistes provisoires dans le lit du Borne seront nécessaires pour la mise en œuvre des protections de talus sur les digues à l'aval du pont de Toisinges, ainsi que pour la mise en œuvre des épis à l'amont des rampes en enrochement.

8.3 Sécurité de chantier

Cette opération relève du décret du 26 décembre 1994 de 2^{ème} catégorie pour les raisons suivantes :

- Nature des travaux faisant intervenir plusieurs entreprises (risques de co-activité),
- Travaux hydrauliques avec risque de montées des eaux en crues et travaux sur des réseaux.

Il convient de mandater pour le maître d'ouvrage, un coordonnateur sécurité, en phase conception et réalisation qui couvrira l'ensemble du projet. Ce coordonnateur établira sur la base de l'AVP un Plan Général de Coordination en matière de sécurité et de protection de la santé (Article R238-8).

8.4 Protection de l'environnement

Les travaux respecteront bien évidemment les normes en vigueur en matière de protection de l'environnement et seront conformes au futur arrêté autorisant les travaux. En outre les éléments suivants seront respectés :

- Pas de travaux durant les périodes de reproduction de la faune, voir plus loin ;
- La nature des matériaux utilisés et leurs conditions d'emploi ne doivent pas être à l'origine de contamination du milieu naturel, notamment en période pluvieuse.
- Les aires de chantier, de stockage des matériaux, ciment, huiles, solvants, adjuvants, produits de traitement et hydrocarbures sont situées en dehors des zones sensibles et éloignées du cours d'eau. Elles sont aménagées de façon à :
 - exclure tout rejet d'effluents polluants ou de substances non-naturelles dans le milieu naturel ;
 - à limiter les risques de pollution accidentelle
 - à confiner une éventuelle fuite de matériaux ou produits polluants.
- En cas de fuite ou déversement de produits ou matériaux polluants, des mesures visant à bloquer la pollution et à récupérer au mieux et au plus vite les produits déversés sont immédiatement mises en œuvre. Les terres souillées sont enlevées et évacuées vers des décharges agréées.
- Tout déversement ou écoulement direct ou indirect de matières polluantes dans les eaux superficielles est proscrit. Toute infiltration dans les sols de produits ou eaux polluées est strictement interdite.
- Les huiles et eaux usées sont récupérées dans des fosses étanches. Les installations sanitaires sont équipées pour récupérer les eaux-vannes et les eaux usées. Toutes les fosses étanches sont aménagées de façon à permettre la collecte, le recueil et le traitement des effluents recueillis.
- Un plan d'assainissement du chantier est mis en œuvre.
- Un kit de pollution est présent dans chacun des engins et véhicules de chantier ainsi que sur la base de vie.
- Un suivi journalier des conditions de stockage des produits polluants est effectué (absence de stockage hors rétention, repérage d'une fuite, évacuation des liquides polluants ou des eaux pluviales contenus dans les rétentions).
- Durant l'exécution des travaux, l'exploitant s'assure que l'ensemble des dispositifs garantissant la protection du milieu aquatique contre les risques de pollution chronique ou accidentelle est mis en œuvre.
- La turbidité de l'eau à l'aval de la zone de chantier par rapport à l'amont ne doit pas dégrader la qualité de l'eau de plus d'une classe du système d'évaluation, dit SEQ-Eau.
- Durant l'exécution des travaux l'exploitant s'assure que :
 - des mesures et installations sont mises en œuvre pour limiter le départ des matières en suspension (MES), de boues et éviter toute pollution, notamment par des laitances de béton ;
 - toutes les dispositions sont prises pour éviter la turbidité des eaux superficielles, l'augmentation des teneurs en MES et le colmatage des substrats à l'aval, notamment dans le cas de l'installation d'un dispositif de dérivation provisoire des eaux ;
 - la fréquence de mesure de la turbidité est suffisante pour garantir un bon suivi de la qualité des eaux.
- Les mesures préventives et curatives d'évitement et de réduction du risque d'importation et de dissémination de plantes néophytes à tendance invasive suivantes sont mises en œuvre :

- avant le démarrage des travaux, les espèces exotiques envahissantes sont identifiées. Les zones présentant des espèces invasives sont matérialisées, délimitées et mise en défens afin d'éviter le franchissement de ces zones par des engins de chantier et la dissémination de ces espèces ;
- une évaluation qualitative et quantitative des matériaux contaminés qui nécessitent un traitement spécifique est réalisée ;
- toutes les dispositions de contrôle des terres sont prévues et mises en place pendant la durée du chantier pour que celles-ci soient exemptes de toutes formes d'espèces végétales invasives (renouées asiatiques, buddleias, balsamines de l'Himalaya, ambroisie...). Dans l'éventualité où ces espèces invasives seraient importées sur le site, toutes les mesures nécessaires à leur non-prolifération, ainsi qu'à leur éradication sont prises immédiatement ;
- des consignes particulières sont transmises au personnel de chantier afin de limiter la propagation de ces espèces (propreté des engins de chantier, ne pas broyer les espèces à propagation végétative, nettoyer systématiquement les engins de chantier en sortie de zone contaminée ou à proximité immédiate de massifs) ;
- un suivi et un contrôle des zones de stockage est réalisé, notamment pour les surfaces mises à nu qui constituent des terrains propices à la germination et/ou développement des espèces invasives et créant de nouveaux foyers de dissémination ;
- il est procédé à la destruction des espèces exotiques envahissantes par purge et broyage/concassage des massifs identifiés, ou par tout autre moyen technique adapté ;
- dès la fin des travaux l'entreprise titulaire du marché effectue un suivi du site et procède à l'élimination des espèces identifiées et ceci pendant 3 années au moins à l'issue de leur éradication.

8.5 Remise en état du site

Un état des lieux avant et après travaux sera établi, notamment sur les pistes en berges, rivière et les voies de circulation. La remise en état des lieux concerne les pistes, les plates-formes de chantier ou de gestion des matériaux. Cette remise en état sera conforme à l'état des lieux réalisé avant travaux. A la fin du chantier, matériels et autres installations sont repliés. Les matériaux utilisés en remblai pour stabilisation et circulation sont repris et exportés. Les terrains sont préparés en vue de la végétalisation c'est-à-dire décompactés, cas échéant et la terre végétale régénérée puis ensemencé avec un mélange grainier indigène et adapté.

9 Estimation financière

9.1 Méthode d'estimation et prix de référence

Le niveau des prix unitaires proposés est basé d'une manière générale sur l'expérience du groupement de Maîtrise d'œuvre dans de ce type de travaux (référence à des chantiers similaires antérieurs suivis par le groupement, suivi du cours du marché des matières premières et des produits manufacturés entrant en compte dans la réalisation du projet (consultations préalables des entreprises)).

Référence récente :

- Intitulé : Marché de Maîtrise d'œuvre pour les travaux de confortement du système d'endiguement de la Châtelaine et restauration morphologique de l'Arve sur les communes d'Annemasse, Gaillard et Etrembières ;
- Maître d'ouvrage : SM3A ;
- Maîtres d'œuvre : SAFEGE (mandataire) et BIOTEC ;
- Remise des offres : Février 2021.

Compte tenu des aléas du marché public, liés au contexte actuel (Covid 19,), le prix de fourniture et pose d'un mètre cube d'enrochements libres retenu est de 65.00 €HT.

9.2 Estimation stade AVP

Le détail de l'estimation financière au stade AVP est fourni en annexe 5.

9.2.1 Estimation avant-projet Borne (MOA SM3A)

La synthèse de l'estimation financière au stade avant-projet est présentée ci-dessous, pour la part des travaux sous maîtrise d'ouvrage du SM3A, c'est à dire :

- Confortement des digues (et intégration environnementale) des digues sur le linéaire d'étude,
- Restauration hydro-écologique du lit mineur,
- Dépose du seuil de la confluence et réfection plus en amont,
- Dévoisement du réseau EU traversant sous le lit du Borne (en lien avec la dépose du seuil),
- Assise des pistes en crêtes de digue (lorsqu'un revêtement particulier est nécessaire, lié à la véloroute ou aux cheminement piétons, celui-ci n'est pas inclus dans cette estimation, cf. § 9.2.2 et 9.2.3).

Compte-tenu des imprécisions à ce stade, cette estimation intègre une provision pour aléa et travaux divers de 20%. En outre, cette estimation concerne uniquement la partie travaux et n'intègre pas les missions de maîtrise d'œuvre, les reconnaissances complémentaires, les éventuelles acquisitions foncières, les missions de coordination (SPS, environnement, géotechnique, communication...).

L'estimation au stade avant-projet s'élève à 6.94 M€HT. Le tableau 11 ci-dessous présente la ventilation de ce montant par groupes et par rive / lit mineur (sont inclus dans lit mineur les travaux de diversification écologique, le déplacement du seuil de la confluence et le dévoisement du réseau associé).

Sur la globalité des travaux, les postes les plus importants correspondent :

- A la fourniture et la mise en œuvre des palplanches (23.3%),
- A la fourniture et la mise en œuvre des enrochements (7.7%, y compris épis et rampes dans le lit mineur du seuil),
- A la fourniture et la mise en œuvre des murs bétons (6.3%).

Tableau 11 : Estimation financière stade AVP du projet du Borne – ventilation par rive/lit mineur.

Poste	Rive droite	Rive gauche	Lit mineur / réseau traversant	TOTAL	%
Groupe 100 - Prix généraux	192 219.56 €	371 422.46€	101 357.98 €	665 000.00 €	9.6%
Groupe 200 - Préparation des emprises	72 930.00 €	134 930.00 €	- €	207 860.00 €	3.0%
Groupe 300 - Terrassements	539 316.59 €	762 913.41 €	140 810.00 €	1 443 040.00 €	20.8%
Groupe 400 - Protection de berges, enrochements, génie civil, soutènements	627 305.00 €	1 691 855.00 €	289 950.00 €	2 609 110.00 €	37.6%
Groupe 500 - Pistes et voiries et cheminements	41 010.00 €	128 855.00 €	- €	169 855.00 €	2.4%
Groupe 600 - Aménagements paysager, mobilier, éclairage, etc	32 000.00 €	32 000.00 €	- €	64 000.00 €	0.9%
Groupe 700 - Réseaux	- €	- €	349 150.00 €	349 150.00 €	5.0%
Groupe 800 - Intégration écologique des digues, intégration paysagère, génie biologique	135 770.00 €	80 040.00 €	- €	215 810.00 €	3.1%
Groupe 900 - Entretien de la végétation	30 722.76 €	27 367.24 €	- €	58 090.00 €	0.8%
Aléa et divers (20%)	334 254.78 €	645 0874.62 €	176 253.60 €	1 156 383.00 €	16.7%
TOTAL HT	2 005 528.69 €	3 875 247.74 €	1 057 521.57 €	6 938 298.00 €	
TVA 20%	401 105.74 €	775 049.55€	211 504.31 €	1 387 659.60 €	
TOTAL TTC	2 406 634.43 €	4 650 297.29 €	1 269 025.89 €	8 325 957.60 €	

9.2.1.1 Découpage pour une potentielle éligibilité aux financements de l'Agence de l'Eau suivant demande SM3A

Le tableau 12 ci-dessous présente la ventilation de l'estimation financière stade AVP en distinguant ce qui concerne l'élargissement du lit du Borne à l'aval du PM400 (y compris déplacement du seuil en lien avec cet élargissement et dévoiement préalable du réseau EU traversant) du reste du projet.

Tableau 12 : Estimation financière stade AVP du projet du Borne – distinction entre secteur d'élargissement du lit du Borne et reste du projet.

Poste	Elargissement du lit du Borne	Reste du projet	TOTAL	%
Groupe 100 - Prix généraux	466 977.67 €	198 022.33 €	665 000.00 €	9.6%
Groupe 200 - Préparation des emprises	111 120.00 €	96 740.00 €	207 860.00 €	3.0%
Groupe 300 - Terrassements	872 907.87 €	570 132.13 €	1 443 040.00 €	20.8%
Groupe 400 - Protection de berges, enrochements, génie civil, soutènements	2 274 355.00 €	334 755.00 €	2 609 110.00 €	37.6%
Groupe 500 - Pistes et voiries et cheminements	127 880.00 €	41 975.00 €	169 855.00 €	2.4%
Groupe 600 - Aménagements paysager, mobilier, éclairage, etc	64 000.00 €	- €	64 000.00 €	0.9%
Groupe 700 - Réseaux	- €	349 150.00 €	349 150.00 €	5.0%
Groupe 800 - Intégration écologique des digues, intégration paysagère, génie biologique	114 250.00 €	101 560.00 €	215 810.00 €	3.1%
Groupe 900 - Entretien de la végétation	28 697.72 €	29 392.28 €	58 090.00 €	0.8%
Aléa et divers (20%)	812 037.65 €	344 345.35 €	1 156 383.00 €	16.7%
TOTAL HT	4 872 225.91 €	2 066 072.09 €	6 938 298.00 €	
TVA 20%	974 445.18 €	413 214.42 €	1 387 659.60 €	
TOTAL TTC	5 846 671.09 €	2 479 286.51 €	8 325 957.60 €	

9.2.2 Estimation passage de la véloroute sous le Pont Royal (MOA Conseil Départemental)

Cette estimation comprend :

- la réalisation des soutènement, rampes et plateforme permettant le passage de la véloroute sous le pont Royal, en amont immédiat du projet,
- l'assise et le revêtement de la véloroute,
- la signalétique ainsi que l'éclairage sous le pont Royal,
- les sujétions d'intégration écologique de ce secteur (ensemencements, plantations, etc.).

Cette estimation, au stade avant-projet, s'élève à **584 K€HT**. Elle est donnée avec un aléa de 20%. Les postes les plus importants correspondent :

- à la réalisation d'un soutènement en palplanche (30.8%),
- à la fourniture et la mise en œuvre d'enrochements en berge (15.8%),
- à la reprise en sous œuvre des soutènements existants (10.0%).

Tableau 13 : Estimation financière stade AVP du passage de la véloroute sous le pont royal.

Poste	TOTAL	%
Groupe 100 - Prix généraux	56 000.00 €	9.6%
Groupe 200 - Préparation des emprises	3 670.00 €	0.6%
Groupe 300 - Terrassements	39 945.00 €	6.8%
Groupe 400 - Protection de berges, enrochements, génie civil, soutènements	347 810.00 €	59.6%
Groupe 500 - Pistes et voies et cheminements	33 615.00 €	5.8%
Groupe 600 - Intégration écologique des digues, intégration paysagère, génie biologique	5 200.00 €	0.9%
Groupe 700 - Entretien de la végétation	320.00 €	0.1%
Aléa et divers (20%)	97 312.00 €	16.7%
TOTAL HT	583 872.00 €	
TVA 20%	116 774.40 €	
TOTAL TTC	700 646.40 €	

9.2.3 Estimation aménagements paysagers connexes (MOA commune de Bonneville)

Tableau 14 : Estimation financière aménagement paysagers connexes.

Poste	TOTAL	%
Groupe 100 - Prix généraux	14 940.25 €	10.5%
Groupe 200 - Aménagements paysager, mobilier, éclairage, etc.	114 925.00 €	80.5%
Aléa et divers (10%)	12 986.53 €	9.1%
TOTAL HT	142 851.78 €	
TVA 20%	28 570.36 €	
TOTAL TTC	171 422.13 €	

9.2.4 Estimation réseaux secs

Tableau 15 : Estimation financière du dévoiement des réseaux secs (hors EU)

Poste	TOTAL	%
Groupe 100 - Prix généraux	12 480.00 €	9.5%
Groupe 200 - Aménagements paysager, mobilier, éclairage, etc.	96 000.00 €	73.5%
Aléa et divers (10%)	21 996.00 €	17%
TOTAL HT	130 176.00 €	
TVA 20%	26 035.20 €	
TOTAL TTC	156 211.20 €	

9.3 Incertitudes, enjeux et aléas

Le but du présent paragraphe est d'aborder les incertitudes existantes au stade des études et pouvant avoir un impact sur le chiffrage du projet. Ces incertitudes sont liées aux risques résiduels que comporte une telle opération. Les risques peuvent être endogènes (généré par l'opération elle-même) ou exogènes (risque généré par un facteur extérieur ayant un impact sur l'opération).

Ces éléments sont pris en compte dans le poste « Aléa et divers », estimés à ce stade des études à 20 % du montant des travaux (à l'exception du chiffrage des aménagements paysagers connexes pour lequel cet aléa est estimé à 10%).

La liste suivante n'est pas exhaustive. L'impact des facteurs identifiés ci-dessous peut être autre que financier (impact sur le délai par exemple).

9.3.1 Géotechnique mouvement des terres

Cet aléa est essentiellement lié aux hypothèses faites sur la qualité des déblais et leur possibilité de réemploi. L'analyse en phase Projet des reconnaissances géotechniques complémentaires réalisés fin 2020 permettra d'affiner les hypothèses prise à ce stade. En outre, du fait notamment du caractère très local des reconnaissances, ces hypothèses comportent toujours une part d'incertitude, particulièrement dans un milieu alluvionnaire. C'est pourquoi un suivi régulier des matériaux déblayés devra être réalisé tout au long du chantier pour garantir que les sols réutilisés soient de bonne qualité. Le Maître d'œuvre veillera à optimiser le rapport coût – qualité.

9.3.2 Génie civil et géotechniques

Comme tout travaux géotechniques, la mise en fiche de palplanches présente un risque si une hétérogénéité des sols est rencontrée au battage. Pour prévenir les risques d'augmentation de coût, il est recommandé d'ajouter un poste préforage et un poste purge au moment de la rédaction des pièces du marché de travaux. Ces préforages, et/ou purges, peuvent en effet permettre de gérer les potentiels risques de refus de battage.

9.3.3 Variabilité des prix

Le prix de fourniture des palplanches est directement lié aux prix de l'acier. Ce dernier a connu des fluctuations importantes au cours des derniers mois (baisse en fin d'année 2020 puis forte hausse début 2021), pour partie liées au contexte pandémique. L'estimation de 1350 €/t prise à ce stade est jugée assez prudente au vu des dernières références du groupement (avril 2021), mais raisonnables dans le contexte haussier de ces derniers mois et compte-tenu de l'influence de ce prix unitaire sur le montant global (une variation de 20% du prix unitaire représente un montant de 300K€).

Le prix de fourniture et pose des géogrilles pour remblai armé a été estimé en consultant un fournisseur, sans références marché propre au groupement. Par conséquent, une consolidation sera nécessaire en phase Projet.

9.3.4 Aléa climatique et hydrologique

L'aléa climatique peut générer des surcoûts. La pluie, la neige, la survenue d'une crue pendant la durée des travaux, sont susceptibles de générer des arrêts de chantier. Afin de réduire le risque de surcoût associé, il est recommandé d'appliquer des prix d'immobilisation de chantier lors des phases de rédaction du marché.

En outre, le compactage des matériaux de remblais peut être affectés par une teneur en eau trop importante impliquant des mesures correctives (chaulage).

9.3.5 Interfaces avec d'autres ouvrages

A ce stade, le détail des raccordements aux abords des ouvrages de franchissement du Borne, à l'exception de la rive gauche aux abords du pont Royal (passage de la piste cyclable sous le pont) n'a pas été étudié.

9.3.6 Interface avec des projets connexes

Les interfaces potentielles avec les projets tiers (piste cyclable notamment) devront l'objet d'un point d'attention en phase projet.

9.3.7 Conjoncture Covid-19

Si les surcoûts potentiels liés au maintien des protocoles sanitaires en vigueur sont déjà intégrés dans les niveaux de prix retenus, l'ensemble des conséquences économiques de la crise pandémique (variation du cours des matières premières, faillites de certains acteurs), peu prédictibles, conduit à des incertitudes notables, non intégrées dans les estimations présentées.

10 Programme prévisionnel/Planning

Concernant le planning prévisionnel, les périodes favorables / non favorables aux travaux sont les suivantes :

- Période favorable pour les déboisements : fin août à fin octobre ;
- Période favorable au génie végétal et génie écologique : octobre à mars ;
- Période hautes eaux non favorable pour les travaux dans le lit : Avril, Mai et potentiellement le mois de Juin. A ce stade, cette période n'est pas intégrée au planning sachant que si elle est cumulée à la période piscicole, il ne reste plus que 4 mois pour faire les travaux dans le lit mineur ce qui étalerait les travaux sur 4 ans ;
- Période de gestion de la végétation existante : Décembre à février ;
- Période non favorable à la reproduction piscicole : Novembre à Mars

Le tableau suivant présente une première proposition de planning/phasage en prenant comme principe que les travaux sont réalisés de l'aval vers l'amont, sur les deux rives en même temps, ce qui implique de démarrer par l'élargissement aval. Cette logique hydraulique peut être rediscuter avec le SM3A et adaptée dans les phases suivantes du projet. Pour la partie palplanche et épaulement, entre pont royal et pont de Toisinges, cette logique est inversée. En effet, les risques sur le battage sont plus importants, il semble plus logique de commencer par cet atelier, d'autant qu'il servira ensuite pour l'ouvrage sous le pont royal. Les deux ateliers palplanches et épaulement peuvent aussi être commencer en même temps.

Les hypothèses principales retenue pour l'établissement du planning sont :

- Période de préparation du chantier sur 6 mois ou 2 * 3 mois ;
- Déblai sur 2 périodes d'environ 3 mois chacune ;
- Dévoisement des réseaux sur environ 2 mois pour le réseau EU avec 2.5 mois de préparation. Le dévoisement des réseaux secs est hors marché et devra être réalisé en amont du chantier ;
- Démolition sur environ 1 à 2 mois sur chaque période ;
- Remblai sur 1/2 mois pour la partie aval et 2/3 mois pour la partie amont ;
- Mise en place des enrochements dans lit de la rivière, y compris seuil, sur environ 14 mois à répartir sur 2 ans ;
- Battage des palplanches à réaliser sur environ 4/5 mois pour la partie aval pont royal ;
- Travaux sur environ 3 à 4 mois sur la partie pont royal ;
- Mise en place des murs en T et ouvrages génie civil sur 5 mois ;
- Pistes d'exploitations sur 2 périodes de 2 mois ;
- Génie écologique sur 2 périodes de 3 mois.

11 Points d'attention/ajustements en phase PRO

L'objet du présent paragraphe est de rappeler les points d'attentions particulier et adaptation nécessaires du projet déjà identifiées à ce stade, en vue de leur intégration à la phase projet. Les objectifs usuels de la phase PRO ne sont pas rappelés ci-dessous.

- Révision du mouvement des terres sur la base des campagnes de reconnaissances géotechniques complémentaires (réalisées fin 2020), dans une logique d'optimisation financière et d'économie circulaire, et en lien avec le projet des digues de l'Arve,
- Précision à une échelle plus fine des linéaires des tronçons et adaptation aux évolution du projet, notamment limite aval entre les tronçons RG-T5 et RG-T6 à déplacer au PM430 (justification),
- Précision des raccordements entre les tronçons et aux interfaces avec les ouvrages de franchissement du Borne,
- Intégration des lignes d'eau, vitesses et revanches de l'Arve en état actuel et aménager sur le secteur confluence notamment sur secteur RGT8/T9,
- Ajout des rampes d'accès pour les pistes et cheminements en crête des ouvrages,
- Mettre à jour la piste en RD au droit de la prison pour intégrer une piste d'évacuation pompier en fonction du retour de l'exploitant,
- Intégration des prix sur les immobilisations de chantier, préforage, purge afin de prévenir les risques identifiés dans le paragraphe précédent,
- Dimensionnement des profilés des palplanches et autres ouvrages de soutènement à partir des reconnaissances de sols disponibles,
- Optimisation des solutions de confortement à partir des reconnaissances de sols effectuées fin 2020.
- Adoucissement des talus des épaulements si des parcelles sont disponibles pour éviter la mise en place de géogrilles qui nécessite un entretien particulier.
- Mise en place d'un géotextile anti-racinaire sur un mètre en partie basse des épaulements afin de revégétaliser le pied aval de l'ouvrage. Un suivi visuel régulier serait donc préconisé pour rechercher d'éventuels affaissement sur le talus afin de vérifier que le géotextile évite le passage des racines dans la digue. Un suivi complémentaire structurel est type teste au poinçonnement est à envisager sur des zones précises qui n'engagerait pas la structure de la digue.

12 Procédures réglementaires

Un dossier de demande d'examen au cas par cas sera déposé auprès des services de L'Etat suite à la validation de l'AVP. En amont du dépôt, une réunion d'échanges est à prévoir avec la DDT/DREAL.

Les séquences ERC seront intégrées au dossier.

13 Conclusion

Ce sont les connaissances et expériences récentes acquises dans les domaines de la gestion des milieux aquatiques et de la restauration morpho-écologique de cours d'eau qui ont conduit à l'élaboration de cet avant-projet de confortement du système d'endiguement du Borne en amont de sa confluence avec l'Arve. Si les consignes et propositions d'intervention qui y sont développées sont le fruit de l'expérience et de l'observation (et sont, à ce titre, tout à fait opérationnelles), elles rappellent :

- qu'il ne peut exister de restauration biologique sans restauration physique ;
- que les problématiques de restauration de milieux fortement banalisés et contraints relève d'un exercice délicat puis demeurent fortement attachées au niveau d'ambition ainsi qu'aux objectifs et contraintes (notamment en termes d'emprises foncières) que l'on se fixe ;
- que toute tentative de restauration du Borne, ne sera jamais à l'échelle des impacts de l'artificialisation vécue. Toutefois, la présente opération constitue une véritable opportunité de restauration hydro-écologique sur un tronçon élargi du Borne, avec le maintien/renforcement de la fonction de corridor écologique des berges, la lutte contre les espèces néophytes à tendance invasive, l'effacement d'une partie des impacts de la chenalisation (amélioration de la continuité/habitabilité piscicole, élargissement

localisé de l'espace alluvial, etc.), l'amélioration de la biodiversité avec la multiplication des habitats, l'optimisation des échanges entre les milieux aquatiques et terrestres avec le développement d'espaces de transition quelque peu plus élargis, puis la mise en valeur des milieux, non seulement pour la faune mais également pour les usagers.

Les adaptations et techniques alternatives proposées par rapport à l'avant-projet structurel permettent d'atteindre les objectifs de sûreté des ouvrages et de protection contre les inondations. Des risques résiduels subsistent par rapport à l'AVP structurel de 2018 : glissement et érosion externe à l'amont du pont de Toisinges, néanmoins sans que ceux-ci n'engagent la sûreté des nouveaux ouvrages dimensionnés en arrière des digues en place. Cet AVP optimisé ne comprend pas d'acquisition foncière, hormis au droit de l'élargissement aval. Sur les zones où les remblais sont renforcés par des géogrilles, si l'emprise foncière peut être augmentée, des techniques de talutage simple serait possible et ainsi réduire les contraintes d'entretien.

L'emploi de techniques mixtes en protection des digues reconstruites et l'emploi de techniques alternatives visant à améliorer l'intégration environnementale du projet permettent une optimisation des volumes d'enrochements (-70% par rapport à l'AVP structurel) et des volumes de matériaux meubles tassés (-15% par rapport à l'AVP structurel).

Financièrement, ces optimisations sont compensées par le recours à des techniques de soutènement plus coûteuses (palplanches, murs béton) dans les techniques alternatives, ainsi que le déplacement des seuils et dévoiement de réseaux nécessaires à l'optimisation de la restauration hydromorphologique. A ce stade, l'avant-projet optimisé de confortement et reconstruction des digues du Borne est estimé à **6,94 M€HT** (part sous Maîtrise d'ouvrage du SM3A). Pour rappel, l'avant-projet structurel était estimé à 6.145 M€HT, hors restauration du lit mineur, soit un montant total de 6.280 M€HT pour les travaux chiffrés dans les études antérieures en ajoutant le montant chiffré dans l'étude de faisabilité Hydratec/Aralep de diversification des habitats piscicoles.

D'un point de vue paysager et usages, l'intégration des usages à la conception d'ouvrages de protection s'avère ici indispensable. En effet le contexte urbain et la fréquentation des chemins et sentiers informels nous montrent l'importance de l'aménagement de continuités mode doux sur les digues, car ce sont bien souvent les axes les plus directs pour relier les différents quartiers au centre-ville.

L'aménagement de belvédères ou de gradins a aussi été inspiré des prospections de terrains. Les sentiers permettant de descendre aux pieds du Borne sont nombreux, organiser ces usages est apparu essentiel afin d'améliorer les espaces contemplatifs et les rendre accessibles par tous. Ponctuellement, il est également intéressant de créer des fenêtres paysagères dans la végétation afin de rendre le cours d'eau visible sans aménagements importants. La volonté forte de conserver le cordon rivulaire composé d'essences arborées de qualité a permis de concevoir des espaces végétalisés ouverts, en arrière du cours d'eau rappelant les ambiances de clairières et de lisières forestières.

L'aménagement du lit mineur apportera également une plus-value importante pour l'amplification du paysage sonore liée à l'eau. L'alternance de zones de rapides, de remous et de calme sera bénéfique pour l'amélioration de l'ambiance paysagère globale et c'est aussi une manière de révéler le Borne dans sa traversée de Bonneville.

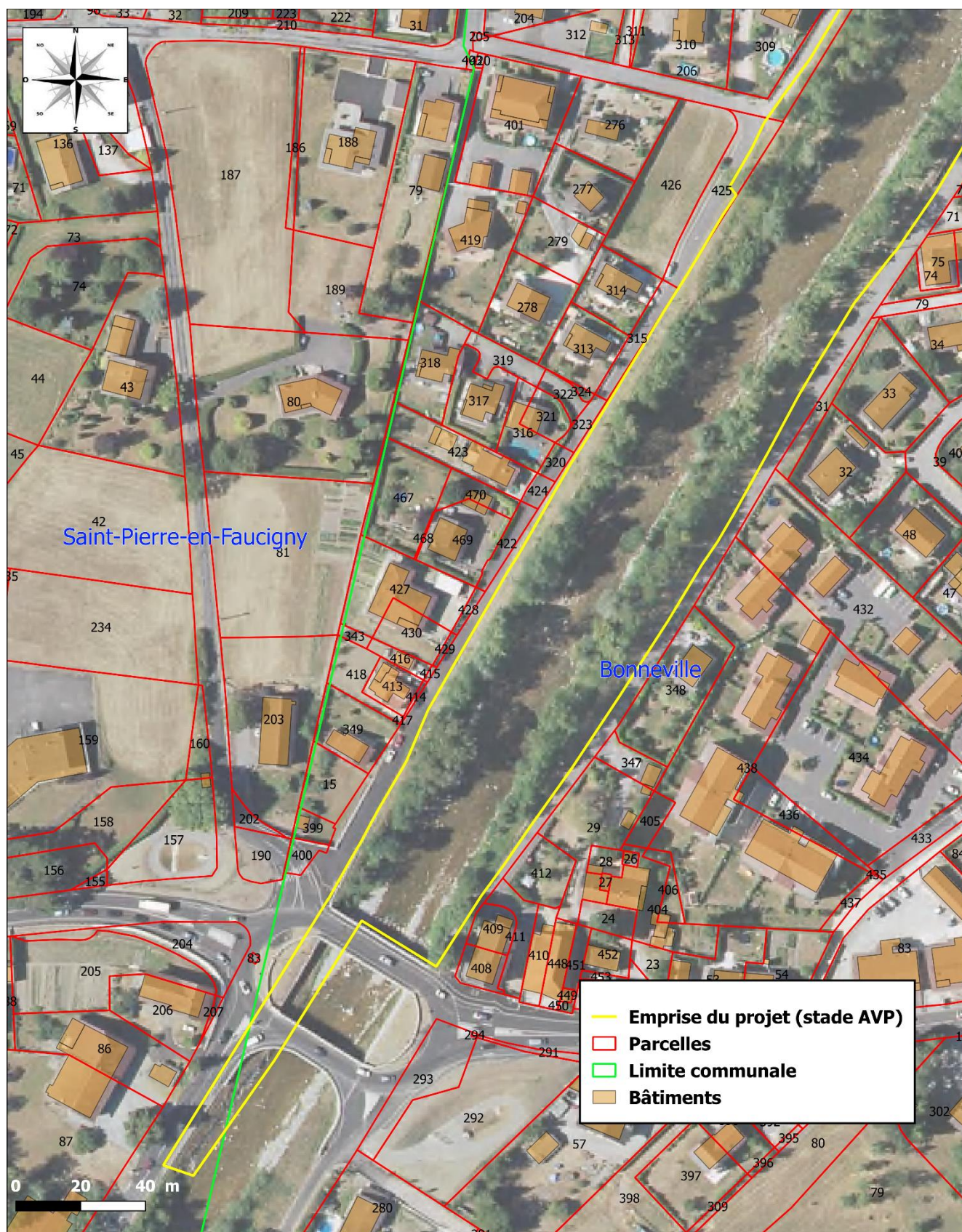
Annexes





Annexe 1 : Définition des profils types de confortement	89
Annexe 2 : Notice hydraulique.....	90
Annexe 3 : Localisation des parcelles – Emprises foncières.....	91
Annexe 4 : Dossier de plans	93
Annexe 5 : Détail de l'estimation financière	94

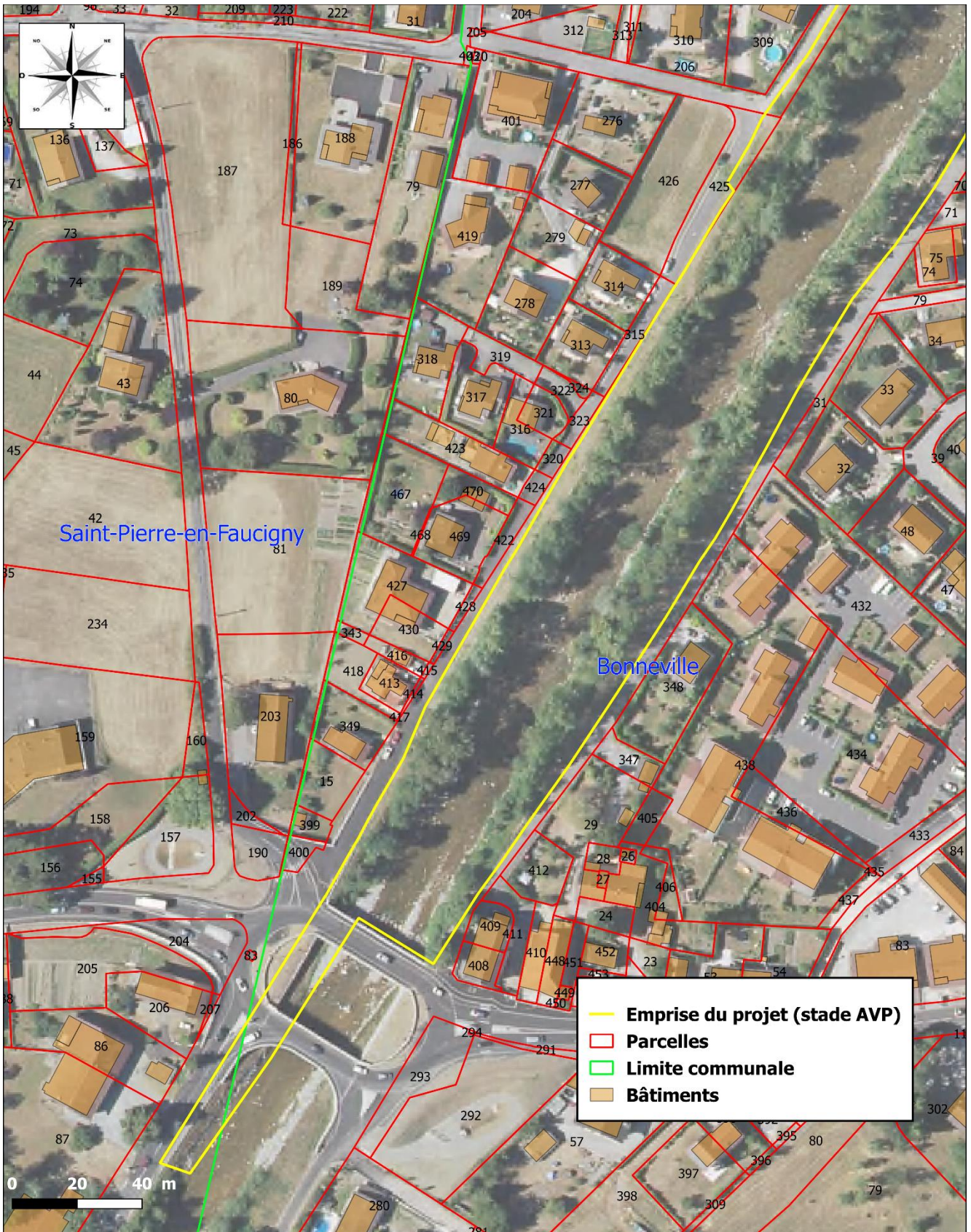
Annexe 1 : Définition des profils types de confortement



Annexe 2 : Notice hydraulique

Annexe 3 : Localisation des parcelles – Emprises foncières



 	Emprise foncière du projet - stade AVP	Planche n° 1	1 : 1000	 
	20CRA102 : Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville		Format : A3	
	Maîtrise d'oeuvre : SUEZ CONSULTING - CNR INGENIERIE - BIOTEC Maîtrise d'ouvrage : SM3A - Département de la Haute-Savoie		Sources : IGN, BD CARTHAGE	



	Emprise foncière du projet - stade AVP	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		Sources : IGN, BD CARTHAGE	

Annexe 4 : Dossier de plans

Plan	N°/ref	Format	Nb folios	Echelle
19.178-AVP-01	Vue en plan générale	A0	1	1/2000 ^e
19.178-AVP-02	Vue en plan détaillée	A0	1	1/500 ^e
19.178-AVP-03	Profil en long	A0	3	1/100 ^e et 1/1000 ^e
	Profil rampe			1/100 ^e
19.178-AVP-04	Profils types PM313 PM194 PM108	A0	3	1/100 ^e
19.178-AVP-05	Profils types PM775 PM507 PM373	A0	3	1/100 ^e
19.178-AVP-06	Profils types PM1232 PM1076, épi déflecteur	A3	7	1/100 ^e
19.178-AVP-07.1	Vue en plan terrassement	A3	7	1/250 ^e
19.178-AVP-07.2	Profils en travers terrassement	A3	36	1/100 ^e
19.178-AVP-07.3	Profils en travers passage sous pont Royal	A3	19	1/100 ^e
19.178-AVP-08	Vue en plan des réseaux à dévoier-Planches 1 à 3	A0	3	1/250 ^e
19.178-AVP-09	Vue en plan des réseaux à dévoier-Planches 4 à 5	A0	2	1/250 ^e
19.178-AVP-10	Vue en plan du dévoiement du réseau Eaux Usées	A0		1/250 ^e
19.178-AVP-11	Profil en long du dévoiement du réseau Eaux Usées-Solution 1-Réseau en gravitaire	A0		1/500 ^e - 1/200 ^e
19.178-AVP-12	Profils paysagers et détails d'aménagement	A3	1	1/100 ^e

Annexe 5 : Détail de l'estimation financière

L'énergie au cœur des territoires

2 rue André Bonin
69316 LYON CEDEX 04 - FRANCE
Tél. : +33 (0) 472 00 69 69

cnr.tm.fr

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

