

Aménagement du Doron des Belleville dans la traversée du hameau du Bettaix



AVP



N° de référence : 23-003

Version 2

Décembre 2024

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage

Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise
Maison de la Coopération Intercommunale
133 Quai Saint Réal – 73600 MOUTIERS

Opération

Aménagement du Doron des Belleville dans la traversée du hameau
du Bettaix
23-003
Lucas TROLLIET
AVP

Emetteur

HYDRETTUES - Alpes du Nord
Alpespace Bât. Saturne 112 Voie Albert Einstein
73800 PORTE DE SAVOIE
Tél : 04 79 96 14 57
Mail : contact-savoie@hydretudes.com



Document

23-003
Décembre 2024

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	08/11/2024	1 ^{ère} diffusion	LT	SG
2	02/01/2025	Mise à jour suite obs. MOA	LT	SG
3				
4				
5				

SOMMAIRE

1. CONTEXTE	9
1.1. Rappel du contexte.....	9
1.2. Situation géographique.....	9
1.3. Précédentes études	9
2. DESCRIPTION DE L'ETAT INITIAL.....	10
2.1. Entrants.....	10
2.1.1. Hydrologie	10
2.1.2. Transport solide	11
2.1.3. Topographie	11
2.2. Découpage du secteur en tronçon	12
2.3. Tronçon 1	14
2.3.1. Caractéristiques générales du lit mineur.....	14
2.3.2. Berge rive droite	15
2.3.3. Berge rive gauche.....	17
2.3.4. Ouvrages traversants.....	18
2.3.5. Réseaux	19
2.3.6. Enjeux.....	20
2.4. Tronçon 2.....	20
2.4.1. Caractéristiques générales du lit mineur.....	20
2.4.2. Berge rive droite	21
2.4.3. Berge rive gauche.....	21
2.4.4. Ouvrages traversants.....	23
2.4.5. Réseaux	23
2.5. Tronçon 3.....	26
2.5.1. Caractéristiques générales du lit mineur.....	26
2.5.2. Berge rive droite	27
2.5.3. Berge rive gauche.....	28
2.5.4. Ouvrages traversants.....	30
2.5.5. Réseaux	30
2.6. Diagnostic hydraulique.....	34
2.6.1. Modélisation hydraulique	34
2.6.1.1. Architecture du modèle	34
2.6.1.2. Emprise de la modélisation	34
2.6.1.3. Ouvrages modélisés	35
2.6.1.4. Conditions aux limites	35
2.6.2. Scénarios modélisés.....	35
2.6.2.1. Etat sans engravement.....	35

2.6.2.2.	Prise en compte du transport solide	35
2.6.3.	Capacité hydraulique du lit	38
2.6.3.1.	Niveau de référence	38
2.6.3.2.	Capacité hydraulique du lit – tronçon 1	38
2.6.3.3.	Capacité hydraulique du lit – tronçons 2 et 3	44
2.6.4.	Capacité hydraulique des ouvrages traversants – synthèse	48
2.6.5.	Analyse des contraintes tractrices	48
2.7.	Milieus naturels	49
2.7.1.	Habitats	49
2.7.2.	Flore	49
2.7.3.	Faune terrestre	50
3.	PRESENTATION DES AMENAGEMENTS – AVP	51
3.1.	Scénario étudié	51
3.2.	Niveau de protection	51
3.3.	Tronçon 1 – du pont 1 au pont 2	52
3.3.1.	Présentation des aménagements	52
3.3.2.	Impact réseaux	55
3.3.3.	Justification du dimensionnement et incidences hydrauliques	55
3.3.4.	Estimation des coûts	57
3.4.	Tronçon 2 – du pont 2 au pont 3	58
3.4.1.	Présentation des aménagements	58
3.4.2.	Incidences hydrauliques	60
3.4.3.	Impact réseaux	61
3.4.4.	Estimation des coûts	61
3.5.	Tronçon 3 – en aval du pont 3	63
3.5.1.	Présentation des aménagements	63
3.5.2.	Impact réseaux	69
3.5.3.	Justification du dimensionnement et incidences hydrauliques	69
3.5.4.	Estimation des coûts	72
3.6.	Performance générale du projet	73
3.6.1.	Synthèse hydraulique	73
3.6.2.	Prise en compte des enjeux environnementaux	74
3.7.	Gestion des débordements en cas de crue dépassant le niveau de protection	75
3.7.1.	Moyens de prévision des crues et de surveillance des niveaux d'eaux	75
3.7.2.	Gestion des débordements	76
3.8.	Investigations complémentaires	77
3.9.	Estimations des coûts – synthèse globale	77
4.	DEROULEMENT DES TRAVAUX	78
4.1.	Période de réalisation des travaux	78

4.2.	Accès travaux	79
4.3.	Dérivation des eaux	79
4.4.	Mesures de protection de l'environnement	80
4.4.1.	Mesures de prévention des risques de pollution :	80
4.4.2.	Mesures de réduction	81
4.4.3.	Mesures d'accompagnement.....	81
4.4.4.	Mesures de suivi	83
5.	PERSPECTIVES	84

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.....</i>	9
Figure 2 : formes d'hydrogramme "court" (durée caractéristique de 24h) et « long » (72h) obtenus par l'approche de Lavabre (1997).....	11
Figure 3 : Découpage du secteur d'étude en 3 tronçons.....	13
Figure 4 : Profil en long du fond du lit le long du tronçon 1	14
Figure 5 : Vue sur le cours d'eau depuis l'OH1	14
Figure 6 : Vue sur le cours d'eau depuis la digue rive droite	14
Figure 7 : Vue sur la crête de digue.....	15
Figure 8 : Vue sur le parement de la digue en enrochements	15
Figure 9 : Emprise de la digue rive droite.....	16
Figure 10 : Vue sur le pied de parement affouillé	16
Figure 11 : Effondrement d'un bloc lors de la crue de 2014.....	16
Figure 12 : Vue sur la berge rive gauche (1/2)	17
Figure 13 : Vue sur la berge rive gauche (2/2)	17
Figure 14 : Extrait du plan projet de la protection de berge rive gauche (ABEST, 2008)	17
Figure 15 : Photo datant des travaux de 2010 – on visualise le sabot en enrochements bétonnés calé à peu près au niveau de fond du lit	17
Figure 16 : Ouvrage traversant n°1 – profil topographique (face amont)	18
Figure 17 : Ouvrage traversant n°2 – profil topographique (face amont)	18
<i>Figure 18 : Implantation du réseau EU sur les 2 rives.....</i>	19
Figure 19 : Tronçon contraint avec réseau EU en pied de digue	19
Figure 20 : Vue sur le réseau EU en pied de digue	19
Figure 21 : Vue sur la partie aval du tronçon 2	20
Figure 22 : Tronçon 2 - en approche de l'OH3	20
Figure 23 : Vue sur l'extrémité amont du mur rive droite	21
Figure 24 : Vue sur le mur rive droite	21
Figure 25 : Vue sur la rive gauche en aval de l'OH2.....	22

<i>Figure 26 : Vue sur l'extrémité amont du mur et l'avancée de la berge dans le lit.....</i>	22
Figure 27 : Vue sur les travaux de reprise en sous œuvre en rive gauche (à gauche : état en 2023 ; à droite : travaux en cours)	22
Figure 28 : Vue sur la face amont de l'OH3	23
Figure 29 : Ouvrage traversant n°3 – profil topographique (face amont)	23
Figure 30 : Réseau d'assainissement le long du tronçon 2.....	24
Figure 31 : Vue sur le réseau affleurant	25
Figure 32 : Extrait du retour de DT (SUEZ)	25
Figure 33 : Profil en travers au droit de la traversée du réseau AEP sous le lit du Doron	25
Figure 34 : Profil en long du fond du lit le long du tronçon 3	26
Figure 35 : Vue sur la partie amont du tronçon 3 (amont pont 4)	27
Figure 36 : Vue sur la partie aval du tronçon 3	27
Figure 37 : Vue sur la protection de berge rive droite sous le pont 4	27
Figure 38 : Vue sur la protection de berge rive droite en amont du pont 4	27
Figure 39 : Extrait du plan projet de la protection de berge rive droite en aval du pont 4 (ABEST, 2008)	28
Figure 40 : Vue sur protection de berge rive droite.....	28
Figure 41 : Vue sur l'extrémité aval de la protection rive droite	28
Figure 42 : Vue sur le mur rive gauche sous le pont 4	29
Figure 43 : Vue sur l'extrémité aval de la protection rive gauche (ancrage sur rocher)	29
Figure 44 : Vue sur la protection de berge rive gauche le long du chemin (1/2)	29
Figure 45 : Vue sur la protection de berge rive gauche le long du chemin (2/2)	29
Figure 46 : Vue sur la face amont du pont 4 (1/2)	30
Figure 47 : Vue sur la face amont du pont 4 (2/2)	30
<i>Figure 48 : Ouvrage traversant n°4 – profil topographique (face aval).....</i>	30
Figure 49 : Réseau d'assainissement le long du tronçon 3.....	31
Figure 50 : Vue sur la conduite EU en encorbellement sous le pont 4 (1/2)	32
Figure 51 : Vue sur la conduite EU en encorbellement sous le pont 4 (2/2)	32
<i>Figure 52 : Profil topographique le long de la canalisation EU de transport.....</i>	32
<i>Figure 53 : Vue sur la zone de franchissement.....</i>	33
<i>Figure 54 : Emprise de la modélisation</i>	34
Figure 55 : Localisation des premiers débordements en rive gauche	38
Figure 56 : Zone de premiers débordements en rive gauche (1/2).....	39
Figure 57 : Zone de premiers débordements en rive gauche (2/2).....	39
Figure 58 : Zone de premiers débordements en rive gauche (1/2).....	39
Figure 59 : Zone de premiers débordements en rive gauche (1/2).....	39
Figure 60 : Propagation des débordements au sein des habitation en rive gauche – cartographie hauteur d'eau et vitesses en Q100	40
Figure 61 : Profil en long des lignes de charge le long de la digue rive droite – Q10 à Q100	41
Figure 62 : Cartographie des zones de débordements – état initial sans engravement (Q10 à Q100)	42

Figure 63 : Cartographie des zones de débordements – état initial avec engravement (Q10 à Q100).	43
Figure 64 : Profil en long des lignes de charge le long des secteurs 2 et 3 – Q10 à Q100.....	45
Figure 65 : Evolution des contraintes tractrices sur le secteur d'étude – Q10 à Q100	48
Figure 66 : Scénario d'aménagement présenté pas le RTM (étude de faisabilité – 2022).....	51
Figure 67 : Linéaire d'intervention en rive droite.....	52
Figure 68 : Coupe type de reprise de la berge rive droite.....	52
Figure 69 : Exemple habillage mur en pierre de taille.....	53
Figure 70 : Exemple béton matricé (source : RECKLI).....	53
Figure 71 : Principes de bouturage d'une protection de berge en enrochements libres (source : Génialp)	54
Figure 72 : Profil en travers intégrant les plantations en rive gauche	54
Figure 73 : Zone de revégétalisation en rive gauche	54
Figure 74 : Aménagement sommet de berge rive gauche.....	55
Figure 75 : Cartographie des zones de débordements en Q100 à l'état projet VS état initial	56
Figure 76 : Profil en travers au droit de la zone de traversée du réseau AEP	59
Figure 77 : Principes de traitement de l'affouillement en aval du pont 2.....	59
Figure 78 : Traitement de l'érosion rive gauche en aval du pont 2	60
Figure 79 : Profil en long – comparatif des lignes d'eau et lignes de charge à l'état projet VS état initial pour une crue Q100 le long du tronçon 2.....	60
Figure 80 : Cartographie des débordements – état initial Q100 sans engravement	61
Figure 81 : Cartographie des débordements – état aménagé Q100 sans engravement.....	61
Figure 82 : Vue en plan des aménagements sur le tronçon 3	63
Figure 83 : Reprise du profil en long.....	64
Figure 84 : Coupe type des aménagements prévus en amont du pont 4	65
Figure 85 : Coupe type des aménagements prévus sous le pont 4.....	65
<i>Figure 86 : Coupe type des aménagements prévus en aval du pont 4 (1/2)</i>	<i>65</i>
<i>Figure 87 : Coupe type des aménagements prévus en aval du pont 4 (2/2)</i>	<i>65</i>
<i>Figure 88 : Coupe type des aménagements prévus en aval du pont 4 (2/2)</i>	<i>66</i>
Figure 89 : Schéma de principe – casquette d'entonnement sous l'ouvrage.....	67
Figure 90 : Cavalier de protection au droit du franchissement du réseau EU	67
Figure 91 : Schéma de principe de mise en œuvre de caissons végétalisés	68
Figure 92 : Coupe type des protections de berge en rive droite et gauche en aval de la rampe	69
Figure 93 : Profil en long – comparatif des lignes d'eau et lignes de charge à l'état projet VS état initial pour une crue Q30 le long du tronçon 3.....	70
Figure 94 : Cartographie des débordements – état initial Q100 sans engravement	71
Figure 95 : Cartographie des débordements – état projet Q100 sans engravement	71
Figure 96 : Profil en long – comparatif des contraintes tractrices à l'état projet VS état initial pour une crue Q100.....	71
Figure 97 : Vue en plan des zones revégétalisés dans le cadre du projet	74
Figure 98 : Localisation de la station de mesure FlowCapt.....	75

Figure 99 : Niveau de vigilance météorologique	76
Figure 100 : Localisation de la station de mesure de débits (pont n°1)	76
<i>Figure 101 : Débits moyens mensuels observés à la station hydrométrique du Bettaix W024401101</i> .	78
Figure 102 : Positionnement des accès et pistes de chantier envisagées	79

1. CONTEXTE

1.1. RAPPEL DU CONTEXTE

La Communauté de Communes Cœur de Tarentaise a initié en 2021 une étude de faisabilité pour réduire la vulnérabilité au risque torrentiel du hameau du Bettaix sur la commune des Belleville. Des principes d'aménagement ont été validés par l'ensemble des acteurs et notamment les élus communaux et communautaires lors d'un COPIL sur site le 2 mars 2022.

Dans la continuité de ce projet, l'APTV, compétent GEMAPI au 1er janvier 2023 a engagé une mission maîtrise d'œuvre pour affiner le dimensionnement technique et financier du projet dont la finalité est de traiter les risques de défaillance des ouvrages de protection (amélioration structurelle) et faciliter le transit des crues sur certains secteurs (amélioration fonctionnelle).

Le présent rapport constitue l'étude des aménagements sur l'ensemble de la traversée du hameau au stade Avant-Projet.

1.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La zone d'étude concerne la traversée du Doron des Belleville au sein du hameau du Bettaix, sur la commune des Belleville située en Savoie. Le site se situe à 1550 m d'altitude environ.

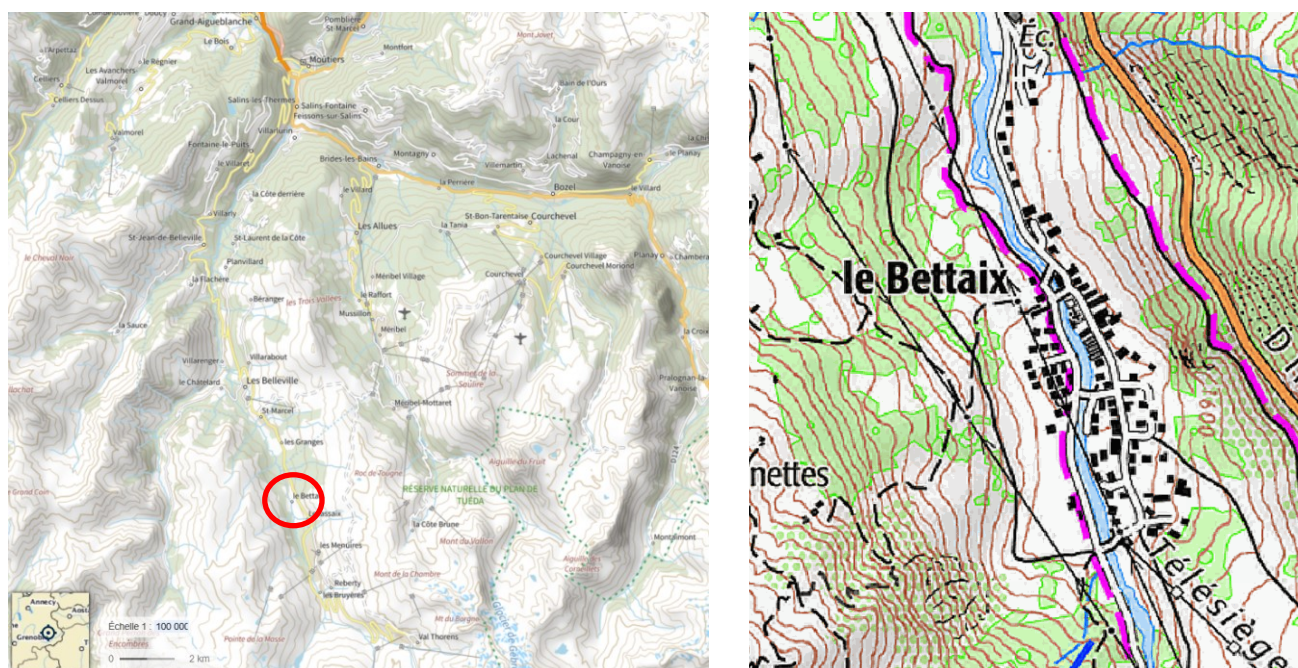


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.3. PRECEDENTES ETUDES

Le torrent du Bettaix a fait l'objet de précédentes études mises à disposition par le Maître d'Ouvrage :

- Etude de faisabilité pour optimiser la gestion du risque inondation du Doron de Belleville dans la traversée du Bettaix aux Belleville (73) – rapport phase 1 – RTM – Septembre 2021

- Etude de faisabilité pour optimiser la gestion du risque inondation du Doron de Belleville dans la traversée du Bettaix aux Belleville (73) – rapport phase 2 – RTM – Mars 2022
- Plan de prévention des risques naturel sur la commune de Saint Martin de Belleville – Décembre 2019
- Dossier PRO en lien avec les travaux d'élargissement et de reprise des berges du Doron dans la traversée du Bettaix - 2009

2. DESCRIPTION DE L'ETAT INITIAL

2.1. ENTRANTS

L'ensemble du diagnostic se base sur les hypothèses établies par le RTM dans le cadre de l'étude de faisabilité réalisées en 2021 et 2022. *Seul la topographie a fait l'objet d'une actualisation afin d'apporter un degré de précision à la modélisation hydraulique ainsi qu'aux plans des aménagements.*

Les entrants en lien avec l'hydrologie (débits caractéristiques) et le transport solide (volume transporté et zone de dépôt) sont directement issus des dernières études réalisées par le RTM en 2021 et 2022 (Etude de faisabilité pour optimiser la gestion du risque inondation du Doron de Belleville dans la traversée du Bettaix aux Belleville).

Pour plus de détail, le lecteur est invité à consulter ces précédentes études.

2.1.1. Hydrologie

Les débits caractéristiques de crue sont les suivants :

Occurrence	Stucky 2006	RTM 2021	Débit retenue
Q10	/	36 m ³ /s	36 m³/s
Q30	/	49 m ³ /s	49 m³/s
Q50	[56 – 59] m ³ /s	58 m ³ /s	58 m³/s
Q100	[65 – 72] m ³ /s	68 m ³ /s	68 m³/s

Il est proposé de retenir deux formes d'hydrogrammes afin d'évaluer l'effet de la durée de la crue sur le transport solide et l'aléa résultant dans la traversée du Bettaix.

Les deux formes synthétiques proposées sont présentées ci-dessous :

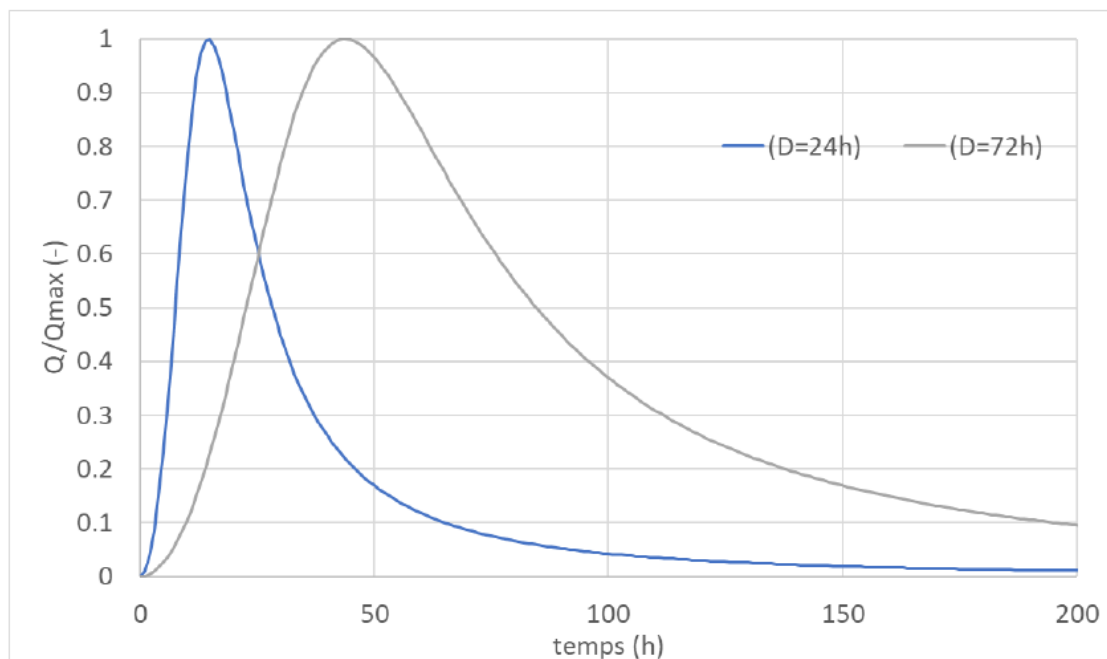


Figure 2 : formes d'hydrogramme "court" (durée caractéristique de 24h) et « long » (72h) obtenus par l'approche de Lavabre (1997)

Ces hydrogrammes correspondent à des durées caractéristiques de 24h et 72h.

2.1.2. Transport solide

La précédente étude du RTM présente une approche par capacité de transport par charriage, avec un calcul effectué sur les deux sections de replat en amont du Bettaix et au niveau du replat du Bettaix.

Il en ressort les ordres de grandeur apports solides arrivant en amont de la zone de replat du Bettaix suivants :

Occurrence	Apports solides (approche de Recking 2016) – ordre de grandeur (RTM 2021)
Q10	650 à 700 m³
Q50	7000 à 16 000 m³
Q100	9000 à 20 000 m³

2.1.3. Topographie

Les données topographiques utilisées pour l'étude proviennent :

- Levé topographique terrestre réalisé par HYDRETUDES en Novembre 2023 (précision : $\pm 1\text{cm}$ en XY ; $\pm 4\text{cm}$ en Z) : lit mineur, ouvrage traversant et digue rive droite
- Pour le lit majeur : LIDAR 2024 DD73 Orthophotoplan associé – MNT maille carrée 1m et semis de point sol (précision : $\pm 25\text{cm}$ en XY ; $\pm 10\text{cm}$ en Z)

2.2. **DECJUPAGE DU SECTEUR EN TRONÇON**

Le secteur d'étude s'étend sur un linéaire total de 575m. Il a fait l'objet d'un découpage en 3 tronçons représenté sur la figure ci-dessous :

- Tronçon 1 : depuis l'amont du reflat du Bettaix (ouvrage traversant n°1 situé au niveau du télésiège) jusqu'au niveau de l'ouvrage traversant n°2, soit un linéaire de 245m
- Tronçon 2 : depuis l'ouvrage traversant n°2 jusqu'au niveau de l'ouvrage traversant n°3, soit un linéaire de 165m
- Tronçon 3 : depuis l'ouvrage traversant n°3 jusqu'au niveau de la zone de régulation présente en rive gauche, soit un linéaire de 155m

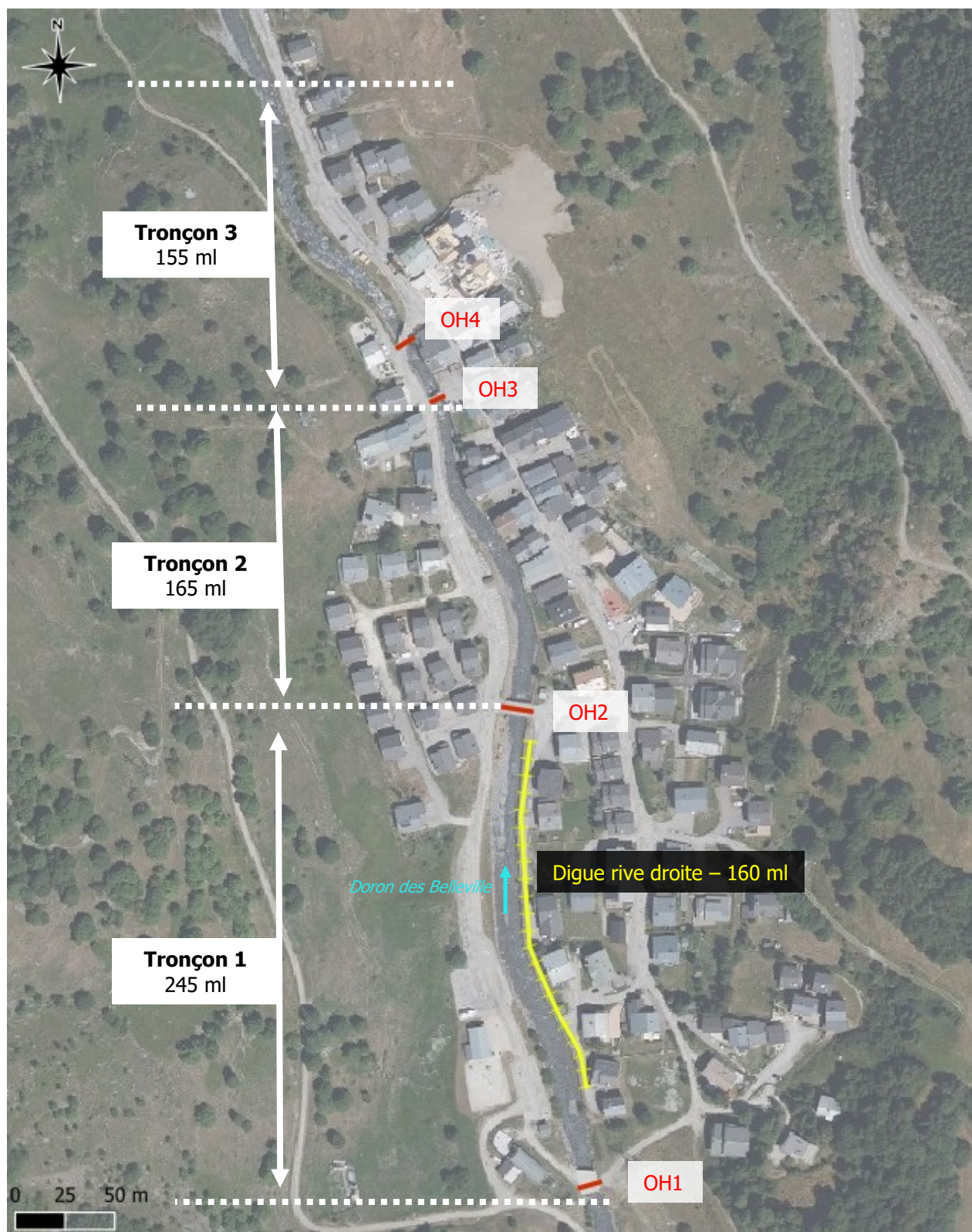


Figure 3 : Découpage du secteur d'étude en 3 tronçons

2.3. TRONÇON 1

2.3.1. Caractéristiques générales du lit mineur

Ce secteur marque l'entrée du Doron des Belleville au sein de la traversée du hameau du Bettaix. Le tronçon se caractérise aussi comme étant le début d'une zone de replat du profil en long du cours d'eau. Il s'étend entre l'OH1 et l'OH2 sur un linéaire de 245ml.

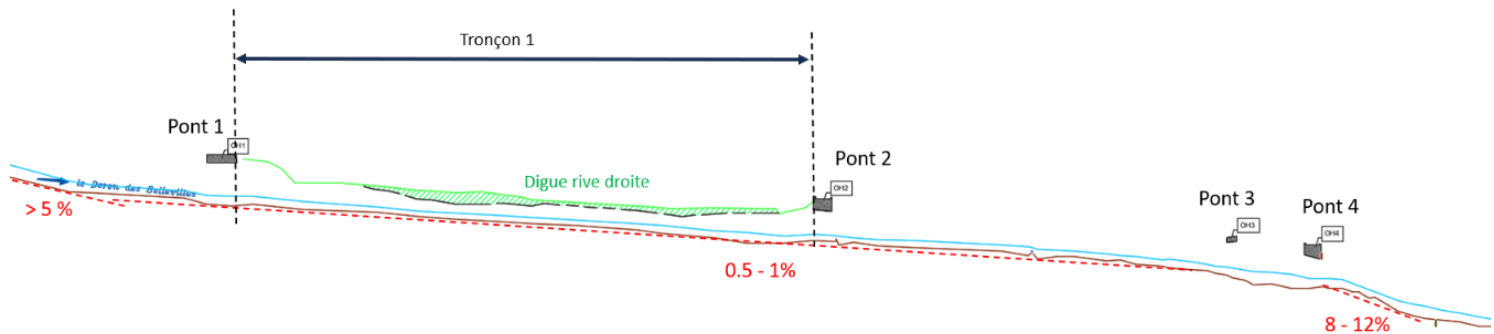


Figure 4 : Profil en long du fond du lit le long du tronçon 1

Le lit mineur est contenu entre ses 2 berges anthropiques.

- **Géométrie du lit** : largeur moyenne d'environ 12 à 15m avec une hauteur de berge de l'ordre de 2 à 3m en rive droite et 1m50 à 3m en rive gauche.
On note la présence d'un point bas en rive gauche sur environ 100ml où la hauteur de berge est de l'ordre de 1m50.
- **Pente moyenne** : 1% (début de la zone de replat)
- **Morphologie du cours d'eau** : La lame d'eau s'étale sur la quasi-totalité de la largeur du lit pour des débits courants. On relève la présence de quelques zones de dépôts de charriage (charge mobile) et de quelques gros blocs bien ancrés qui participent à diversifier quelque peu les écoulements.



Figure 5 : Vue sur le cours d'eau depuis l'OH1



Figure 6 : Vue sur le cours d'eau depuis la digue rive droite

2.3.2. Berge rive droite

La berge rive droite présente un état aménagé sur la totalité du linéaire du tronçon. Il débute quelques mètres en aval du pont 1 et se prolonge jusqu'au niveau du pont 2, construit en 2005. D'une manière plus globale, l'aménagement de la berge s'étend encore une trentaine de mètres en aval du pont 2.

L'ouvrage a été réalisé en 2009-2010, dans le cadre des travaux de réaménagement du hameau du Bettaix. Il s'agit d'une protection de berge constituée de 3 à 4 rangées de gros blocs (blocométrie >1 T) superposés et non imbriqués. Ces blocs sont la plupart du temps en forme de dalle, avec la plus grande dimension parallèle à l'écoulement et procure une faible rugosité de surface au parement.

Cet ouvrage a été repris en 2014 au droit d'érosions de berge / effondrement ponctuels (remise des blocs en place, sans traitement des problématiques d'affouillement), et rehaussé sur 160 ml par une rangée de blocs supplémentaire pour protéger les habitations situées en rive droite. Sur ce tronçon rehaussé, la protection de berge présente donc un faciès de digue, rendant la berge droite plus haute que la gauche.

Cette digue présente une hauteur de 35 cm à 1m maximum, avec une largeur en crête correspondant au minimum à la largeur d'un bloc, soit environ 50 à 70 cm. Les blocs sont épaulés côté val par un cordon en remblais constitués de matériaux alluvionnaires. Sur les dix derniers mètres, les blocs sont moins hauts et ce cordon de matériaux les recouvrent pour conserver un niveau de digue identique avec l'amont.



Figure 7 : Vue sur la crête de digue



Figure 8 : Vue sur le parement de la digue en enrochements

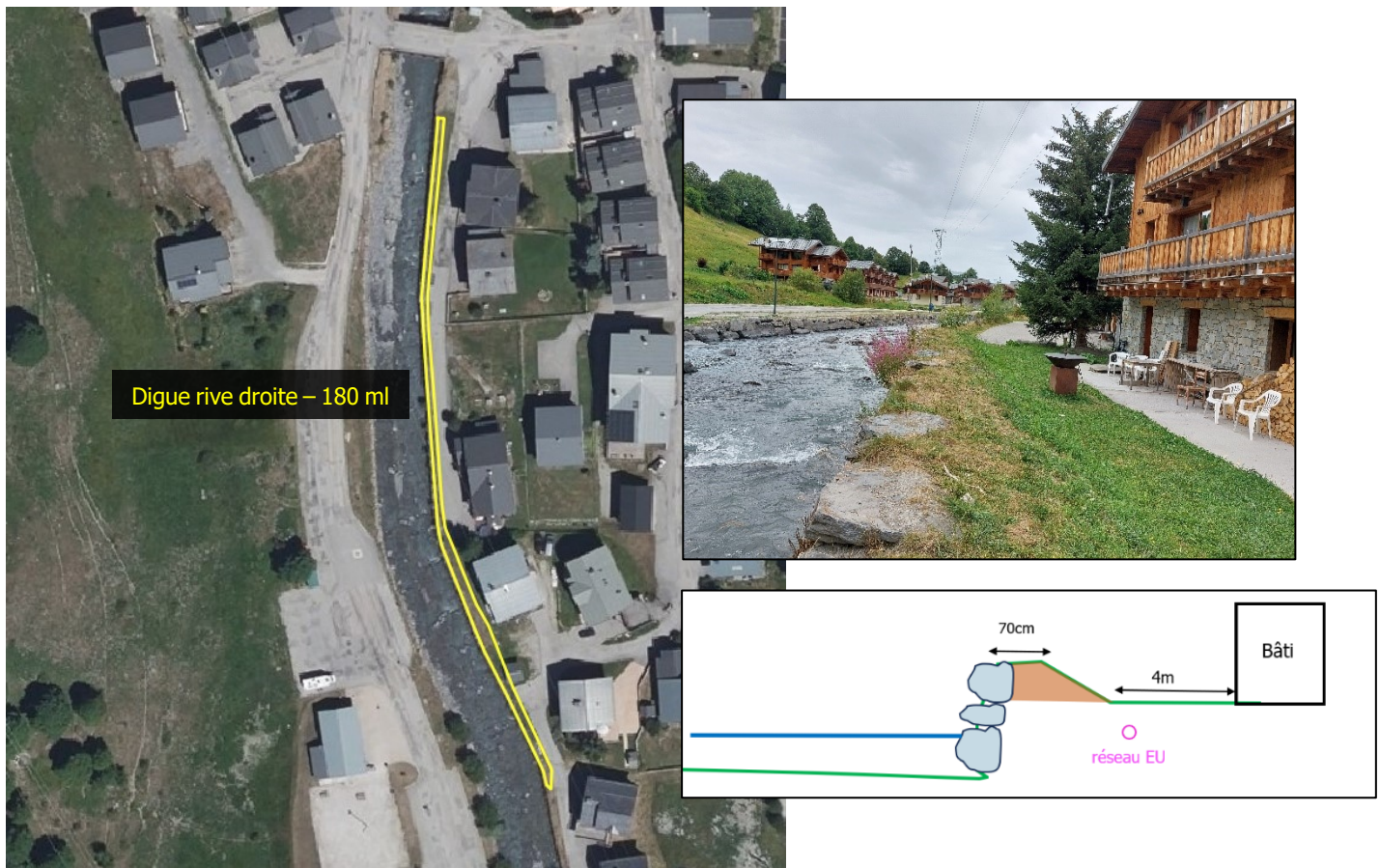


Figure 9 : Emprise de la digue rive droite

Selon les informations dont nous disposons, l'ouvrage ne dispose pas de dispositif anti-affouillement de type sabot en enrochements. Ce point semble être confirmé par les observations visuelles faites sur le terrain, qui font ressortir une zone d'affouillement relativement bien marquée en extrémité aval de la digue (une dizaine de mètres en amont du pont 2).

Ces affouillements en pied menacent la stabilité du parement, ce qui pourrait causer l'effondrement du parement et la progression d'une brèche au sein de la digue ou sur le reste du linéaire. L'effondrement du bloc observé lors de la crue de 2014 est très certainement en lien avec ce type de mécanisme.



Figure 10 : Vue sur le pied de parement affouillé



Figure 11 : Effondrement d'un bloc lors de la crue de 2014

2.3.3. Berge rive gauche

La berge rive gauche a également fait l'objet de travaux de protection en 2009-2010, dans le cadre du programme de réaménagement du hameau du Bettaix.

La protection est constituée par un enrochement libre sur une hauteur moyenne de 1m50 (niveau de la voirie/parking), ce qui représente 2 à 3 rangées de blocs.



Figure 12 : Vue sur la berge rive gauche (1/2)



Figure 13 : Vue sur la berge rive gauche (2/2)

On relève la présence d'interstices parfois important au sein du parement, provoquant localement de légères déstabilisations et un début d'aspiration des matériaux des terrains en place en arrière des enrochements.

Selon les plans DCE de l'époque des travaux, la protection de berge dispose d'un sabot anti-affouillement en enrochements bétonnés d'environ 1m50 de largeur par 80cm de profondeur. Ce dernier est affleurant au fond du lit et partiellement visible sur le terrain. Bien qu'une telle configuration ne soit pas recommandable, nous n'observons pas de signe d'affouillement au droit de la protection.

DETAIL DE L'OUVRAGE (ECHELLE 1/50)

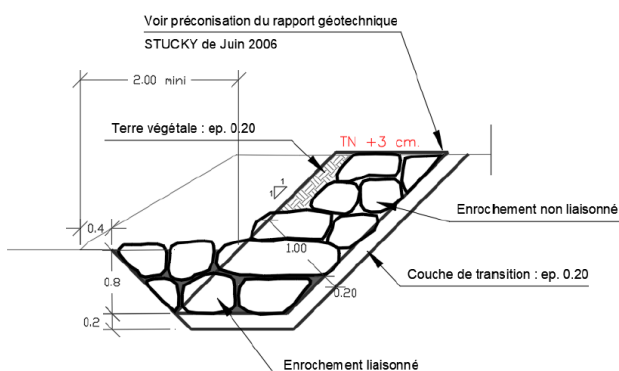


Figure 14 : Extrait du plan projet de la protection de berge rive gauche (ABEST, 2008)



Figure 15 : Photo datant des travaux de 2010 – on visualise le sabot en enrochements bétonnés calé à peu près au niveau de fond du lit

2.3.4. Ouvrages traversants

Les ouvrages traversants suivants sont présents sur le tronçon :

➤ OH1

L'ouvrage se caractérise par une section hydraulique de $21,6 \text{ m}^2$. Les berges sont confortées latéralement en enrochements bétonnés. Le franchissement du cours d'eau se fait par un tablier béton.

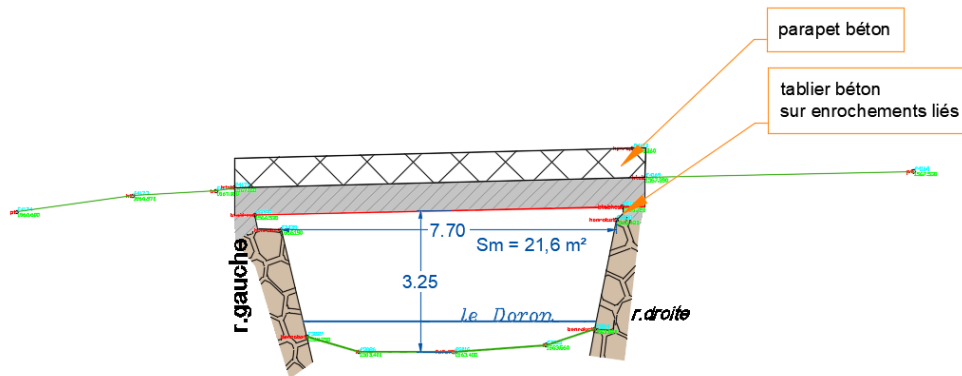


Figure 16 : Ouvrage traversant n°1 – profil topographique (face amont)

➤ OH2

L'ouvrage se caractérise par une section hydraulique de $27,4 \text{ m}^2$. L'ouvrage dispose de voiles latérales en béton. Le franchissement du cours d'eau se fait par un tablier béton.

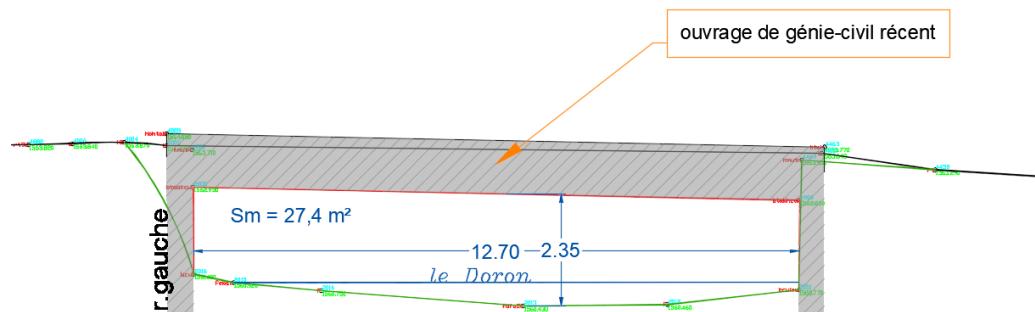


Figure 17 : Ouvrage traversant n°2 – profil topographique (face amont)

2.3.5. Réseaux

➤ Réseau d'assainissement

Des canalisations du réseau d'assainissement sont présentes sur les 2 rives du cours d'eau.

En rive droite, un réseau PVC Ø200mm est présent immédiatement en pied de digue sur un linéaire d'environ 40m (cf. zone délimitée en jaune sur l'image ci-contre), avant de s'écarter progressivement à plus de 5m. La profondeur du réseau est de l'ordre de 70 cm par rapport au TN.

En rive gauche, un réseau béton Ø400mm (conduite acheminant des eaux usées traitées provenant de la STEP des Menuires) longe la voirie et le parking au sein de l'accotement enherbé (à environ 2 mètres du sommet de berge). La profondeur du réseau n'a pas été déterminée sur ce secteur.

Des travaux récents ont été réalisés sur ces réseaux courant de l'année 2023.

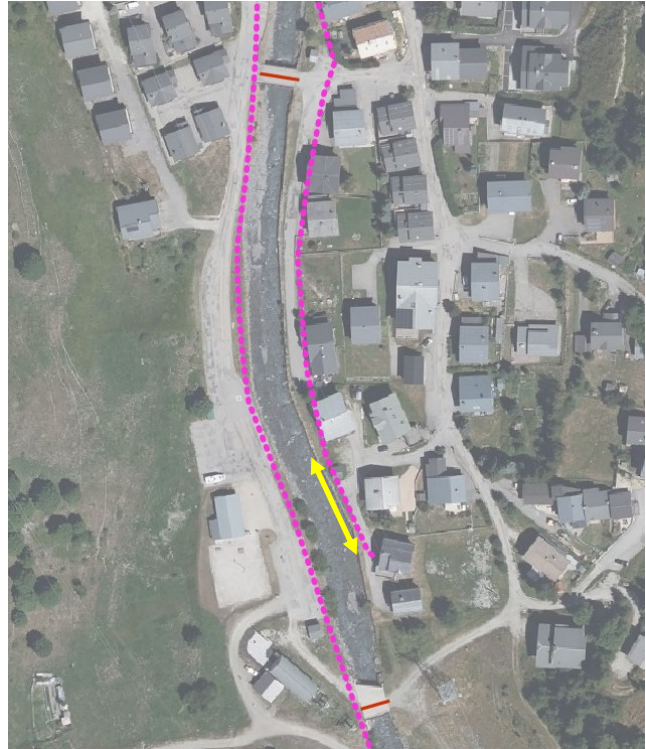


Figure 18 : Implantation du réseau EU sur les 2 rives



Figure 19 : Tronçon contraint avec réseau EU en pied de digue



Figure 20 : Vue sur le réseau EU en pied de digue

➤ Rejets d'eaux pluviales

A noter la présence de plusieurs rejets d'eaux pluviales au sein des protections en enrochements sur les 2 rives. Ces derniers sont mentionnés sur les plans topographiques.

2.3.6. Enjeux

Les enjeux présents en rive droite concernent surtout les habitations du hameau du Bettaix, située à environ 5m du pied de digue pour les plus proches.

En rive gauche, les enjeux sont moins denses puisque l'on retrouve uniquement la salle de fête ainsi que la gare de départ du TS du Bettaix. La zone est couverte en majorité par la voirie/parking.

2.4. TRONÇON 2

2.4.1. Caractéristiques générales du lit mineur

Le secteur s'étend entre l'OH2 et l'OH3, sur un linéaire de 165m.

Le lit mineur est contenu entre ses 2 berges anthropiques constituées par des murs en pierres maçonnées sur une grande partie du linéaire.

- **Géométrie du lit** : largeur moyenne d'environ 12m en aval de l'OH2 puis contraction progressive du lit jusqu'à l'OH3 où le lit dispose d'une largeur inférieure à 6m.

Les murs latéraux disposent d'une hauteur variable entre 2m et 2m50 sur la première partie du tronçon, et atteignent 3m en amont de l'OH3 le long de la zone de contraction du lit.

- **Pente moyenne** : 1.5%
- **Morphologie du cours d'eau** : La lame d'eau s'étale sur la quasi-totalité de la largeur du lit pour des débits courants. On relève encore la présence de quelques zones de dépôts de charriage (charge mobile) notamment en intrados sur la première partie du tronçon. Ces zones se raréfient en s'approchant de l'OH3 compte tenu de la contraction du lit et de l'augmentation des vitesses d'écoulement.



Figure 21 : Vue sur la partie aval du tronçon 2



Figure 22 : Tronçon 2 - en approche de l'OH3

2.4.2. Berge rive droite

La rive droite est confortée par un mur en pierres maçonnées sur une grande partie de son linéaire.

En extrémité amont, cet ouvrage vient s'ancrer sur plusieurs mètres au sein d'une banquette confortée par un enrochement libre venant se raccorder à la culée de l'OH2 (entonnement aval du pont). Le mur se prolonge jusqu'au niveau de l'OH3.

Le niveau de fondation du mur n'est pas connu. On relève ponctuellement la présence de reprises en sous-œuvre / semelles béton sur quelques zones, datant des travaux de reprise des pieds de murs réalisés en 2010.

L'état du parement est correct mais laisse transparaître quelques zones de fragilité au niveau de certains joints ainsi qu'un peu de végétation en cours de développement.



Figure 23 : Vue sur l'extrémité amont du mur rive droite



Figure 24 : Vue sur le mur rive droite

2.4.3. Berge rive gauche

De la même manière que sur la rive opposée, la rive gauche est confortée par un mur en pierres maçonnées sur partie de son linéaire.

Toutefois, l'extrémité amont du mur débute environ 85 mètres en aval de l'OH2, laissant une zone démunie de protection sur la première partie du tronçon.

Sur ce premier tronçon, la berge n'est pas spécialement confortée si ce n'est par la présence d'une butée de pied en enrochement libre. Quelques signes d'érosions sont repérés sur les premiers mètres suivant l'entonnement aval de l'OH2. Toutefois, l'effet de l'intrados plus en aval permet de minimiser les contraintes en pied de berge rive gauche.

A noter que l'aménagement de la berge rive gauche au droit des moloks crée une avancée dans le lit (contraction de l'ordre de 3 à 4m par rapport à la position du mur situé plus en aval), qui contribue à accélérer les vitesses d'écoulement et accentuer les contraintes sur la rive opposée.



Figure 25 : Vue sur la rive gauche en aval de l'OH2



Figure 26 : Vue sur l'extrémité amont du mur et l'avancée de la berge dans le lit

Le mur de protection débute en aval des moloks présent en sommet de berge. Cet ouvrage se prolonge jusqu'au niveau de l'OH3 sur environ 70ml. Les reprises en sous œuvre datant des travaux réalisés en 2010 sont visibles en pied de mur. Ces dernières sont constituées par une rangée d'enrochements bétonnés en pied d'ouvrage (profondeur estimée environ 1m).



Figure 27 : Vue sur les travaux de reprise en sous œuvre en rive gauche (à gauche : état en 2023 ; à droite : travaux en cours)

2.4.4. Ouvrages traversants

Le pont 3 se situe en extrémité aval du tronçon.

➤ OH3



Figure 28 : Vue sur la face amont de l'OH3

L'ouvrage se caractérise par une section hydraulique de 13 m². Les berges sont confortées latéralement en pierres/enrochements bétonnés. Un voile béton de confortement est présent en pied de mur. Ce dernier ne semble pas avoir fait l'objet de reprise en sous œuvre lors des travaux de 2010 (arrêt des travaux en face amont de l'ouvrage). La profondeur des fondations est inconnue.

Le franchissement du cours d'eau se fait par un tablier béton de 40cm d'épaisseur.

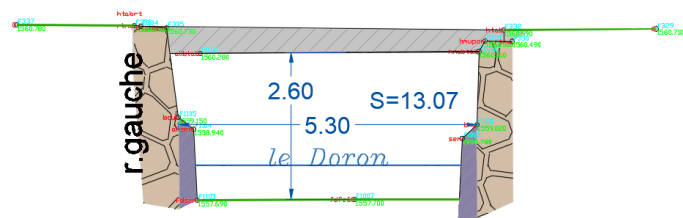


Figure 29 : Ouvrage traversant n°3 – profil topographique (face amont)

2.4.5. Réseaux

➤ Réseau d'assainissement

Plusieurs réseaux d'assainissement sont présents de part et d'autre des berges :

- En rive gauche :
 - On retrouve le réseau de transport des eaux usées traitées en provenance de la STEP des Menuires (BET Ø400) présent environ à 1 - 2m en arrière du mur de protection de la berge. Il est présent sur tout le linéaire de la rive gauche et se poursuit jusqu'en aval du pont 4.
 - Le réseau de collecte des eaux usées des habitations présentes en rive gauche se situe légèrement en retrait et longe la route en direction du pont 4.
- En rive droite : le réseau d'assainissement de collecte est présent immédiatement en arrière du mur de protection de la berge (PVC Ø200).

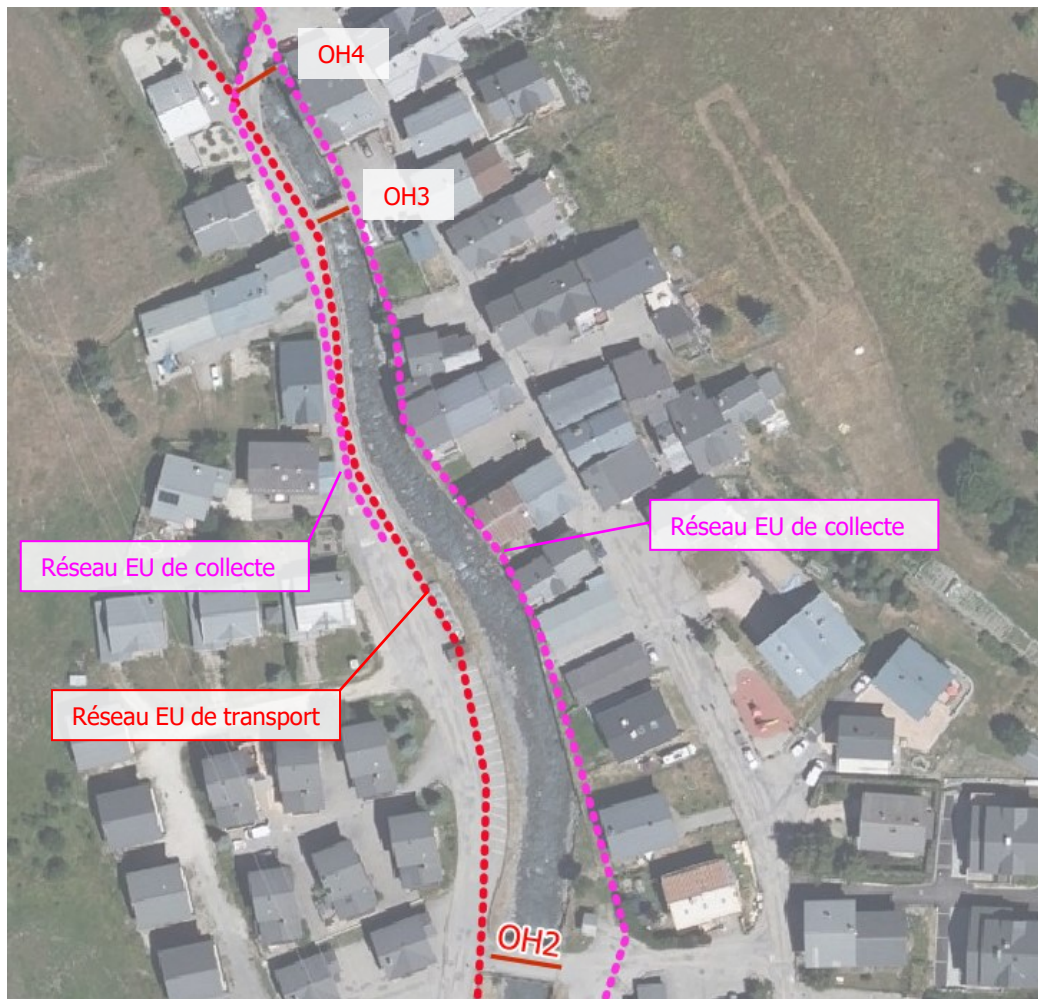


Figure 30 : Réseau d'assainissement le long du tronçon 2

➤ Réseau d'eau potable

Une canalisation fonte Ø100mm du réseau d'eau potable traverse le lit du Doron environ 80m en amont du l'OH3. Ce réseau est affleurant au fond du lit et même visible lors de l'expertise de terrain, ce qui le rend très vulnérable. Les observations font ressortir un début de passage des eaux sous la canalisation, ce qui pourrait à court termes endommager sérieusement le réseau.

L'exploitant du réseau (SUEZ) confirme que cette canalisation est l'unique branche permettant d'alimenter la rive gauche.



Figure 31 : Vue sur le réseau affleurant

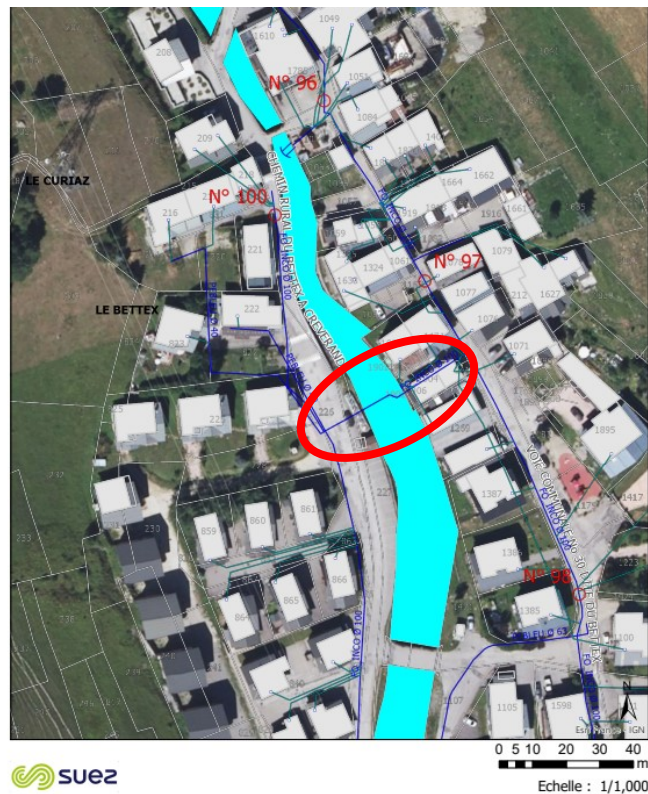


Figure 32 : Extrait du retour de DT (SUEZ)

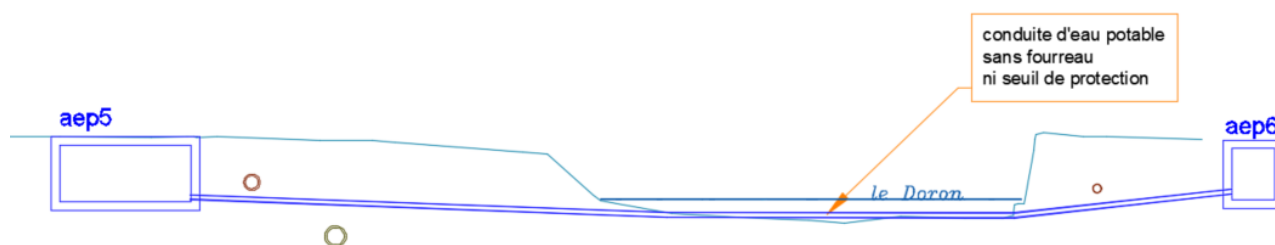


Figure 33 : Profil en travers au droit de la traversée du réseau AEP sous le lit du Doron

2.5. TRONÇON 3

2.5.1. Caractéristiques générales du lit mineur

Le secteur s'étend entre l'OH4 et la zone de régulation présente en rive gauche située environ 155m en aval.

Le lit mineur est contenu entre ses 2 berges aménagées dans le cadre du programme de travaux de 2009-2010.

- **Géométrie du lit** : le lit présente une faible largeur en sortie du pont 3 (de l'ordre de 6m). Il s'élargit légèrement aux abords du pont 4 et reste globalement assez encaissé le long de la zone de rupture de pente (cf. profil en long ci-dessous).

Les hauteurs de berge sont de l'ordre de 3m en amont du pont 4. En aval, la berge rive gauche dispose d'une hauteur de l'ordre de 2m alors que la berge rive droite a une hauteur de l'ordre de 4m.

- **Pente moyenne** : faible pente sous le pont 4 de l'ordre de 1%, puis rupture de pente une dizaine de mètres en aval de l'ouvrage avec une pente atteignant les 12% sur environ 30m. En aval de ce radier, la pente du lit faiblit et est de l'ordre de 2.5% jusqu'à l'extrémité aval du tronçon.

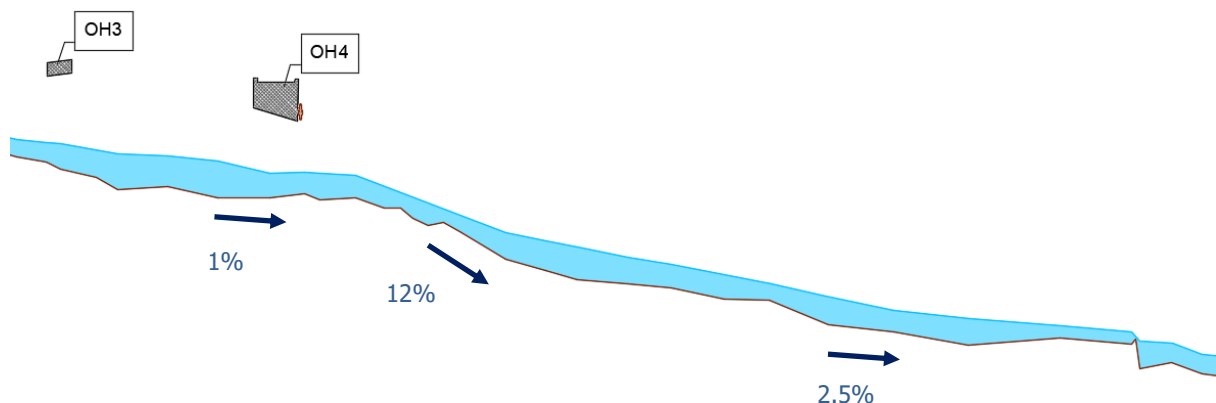


Figure 34 : Profil en long du fond du lit le long du tronçon 3

- **Morphologie du cours d'eau** : en amont du pont 4, on relève quelques blocs présents en fond de lit ainsi que des traces d'affouillement au pied des murs latéraux. En aval du pont 4, le lit est pavé avec de nombreux gros blocs présents en fond de lit. Nous n'observons pas la présence de zone de dépôt jusqu'au niveau de la zone de régulation.



Figure 35 : Vue sur la partie amont du tronçon 3 (amont pont 4)



Figure 36 : Vue sur la partie aval du tronçon 3

2.5.2. Berge rive droite

Entre les ponts 3 et 4, on retrouve toujours un mur de protection en enrochements/pierres maçonnées, similaire à l'ouvrage décrit en amont du pont 3. L'ouvrage se prolonge jusqu'en face aval du pont 4.

Toutefois, sur ce tronçon, les travaux de reprise en sous œuvre n'ont pas été réalisés. La semelle béton présente en pied de mur fait apparaître quelques traces d'affouillement.

Les fondations du mur paraissent hétérogènes le long du tronçon. On relève la présence d'une seconde butée en béton (semelle en L) sous le pont 4.

A noter la présence d'une discontinuité au sein du mur (ouverture donnant accès à l'habitation présente en bordure de cours d'eau). Cette dernière ne semble pas contribuer à majorer les débordements au sein du lit majeur en cas de montée des eaux.



Figure 37 : Vue sur la protection de berge rive droite sous le pont 4



Figure 38 : Vue sur la protection de berge rive droite en amont du pont 4

En aval du pont 4, la berge a été aménagée lors des travaux de 2010 sur environ 120m.

Elle est composée d'une protection type caissons végétalisées ancrée en fond de lit et remontant sur une hauteur allant de 1m à 2m50 par rapport au fond.

Comme observé sur le terrain et mentionné sur les plans du projet d'aménagement, la façade inférieure du caisson est remplie en pierre de parement sur le 1^{er} mètre de protection environ.

La partie haute du caisson a fait l'objet de plantation de saules. On observe toutefois une faible reprise de la végétation sur la majorité du linéaire de l'ouvrage, ce qui lui procure une faible efficacité tant sur le volet hydraulique/protection de berge que sur le volet environnemental/corridor.

La partie haute de la berge est talutée et enherbée jusqu'au niveau de la voirie/parking.

L'ouvrage a fait l'objet de désordres et déstabilisations lors de la crue de 2013. Compte tenu de sa position en extrados et des vitesses d'écoulement (notamment le long de la zone de plus forte pente), il est aujourd'hui fortement sollicité lors des crues et pourrait être amené à évoluer.

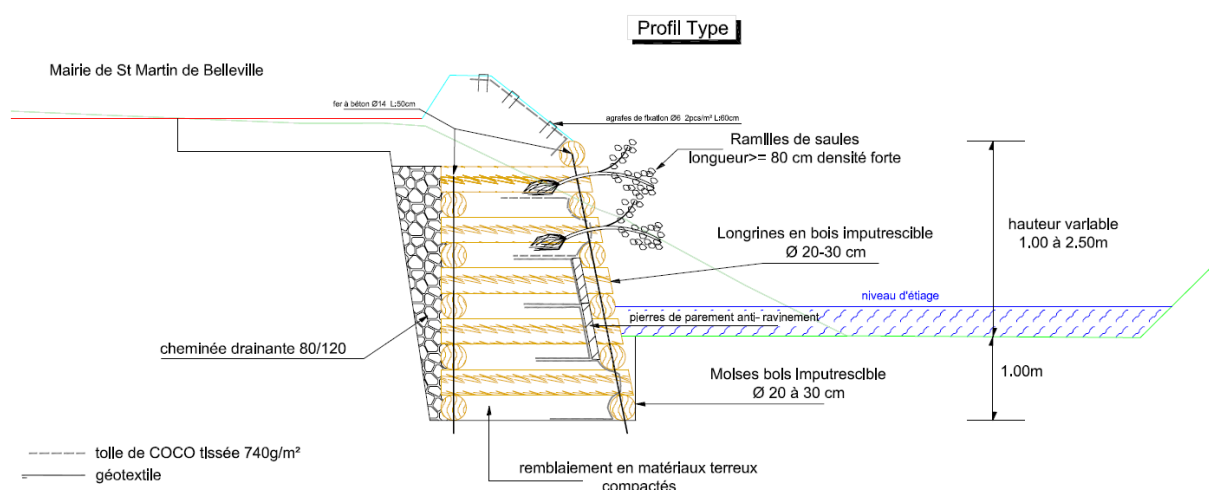


Figure 39 : Extrait du plan projet de la protection de berge rive droite en aval du pont 4 (ABEST, 2008)



Figure 40 : Vue sur protection de berge rive droite



Figure 41 : Vue sur l'extrémité aval de la protection rive droite

2.5.3. Berge rive gauche

Entre les ponts 3 et 4, la typologie et l'état de la berge est identique à la berge rive droite. Toutefois, le mur se prolonge environ 20ml en aval du pont 4 pour venir s'ancrer au sein d'un très gros bloc rocheux.

On relève toujours la présence d'une semelle béton en L en pied de mur (profondeur de fondation inconnue mais vraisemblablement inférieure à 1m sous le niveau du lit).



Figure 42 : Vue sur le mur rive gauche sous le pont 4



Figure 43 : Vue sur l'extrémité aval de la protection rive gauche (ancrage sur rocher)

Une trentaine de mètres en aval du pont 4, la hauteur de berge diminue (~ 2m à 2m50 par rapport au fond de lit). Une piste est présente en sommet de berge.

La berge est confortée en enrochements libres sur un linéaire d'environ 65m (blocs de gros calibres partiellement agencés). Le fruit de la protection est quasi vertical et ne laisse pas transparaître de véritable sabot en pied (on notera tout de même que le lit est pavé).

La première partie de cette protection de berge (le long de la zone de plus forte pente) se situe en intrados, ce qui minimise quelque peu les sollicitations hydrauliques, bien qu'elles restent élevées sur ce secteur. La seconde partie en extrados est moins sollicitée compte tenu de la pente plus faible et de la largeur plus importante du cours d'eau à ce niveau.



Figure 44 : Vue sur la protection de berge rive gauche le long du chemin (1/2)



Figure 45 : Vue sur la protection de berge rive gauche le long du chemin (2/2)

2.5.4. Ouvrages traversants

Le pont 4 se situe une trentaine de mètres en aval du pont 3.

➤ OH4

L'ouvrage se caractérise par une section hydraulique de 18 m^2 (section prenant en compte la perte générée par la présence du réseau EU). Les berges sont confortées latéralement en pierres/enrochements bétonnés. Un voile béton équipé d'une semelle (profil en L) est présent en pied de mur. La profondeur des fondations est inconnue.

Le franchissement du cours d'eau se fait par un tablier béton de 75cm d'épaisseur.



Figure 46 : Vue sur la face amont du pont 4 (1/2)



Figure 47 : Vue sur la face amont du pont 4 (2/2)

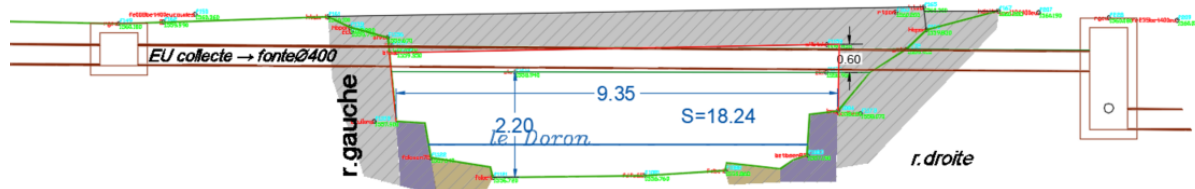


Figure 48 : Ouvrage traversant n°4 – profil topographique (face aval)

2.5.5. Réseaux

Comme sur le tronçon 3, les 2 réseaux d'assainissement (collecte et transport) sont présents le long du tronçon 3 et concernent les 2 rives du Doron.

Leur tracé est reporté sur la vue en plan ci-après :

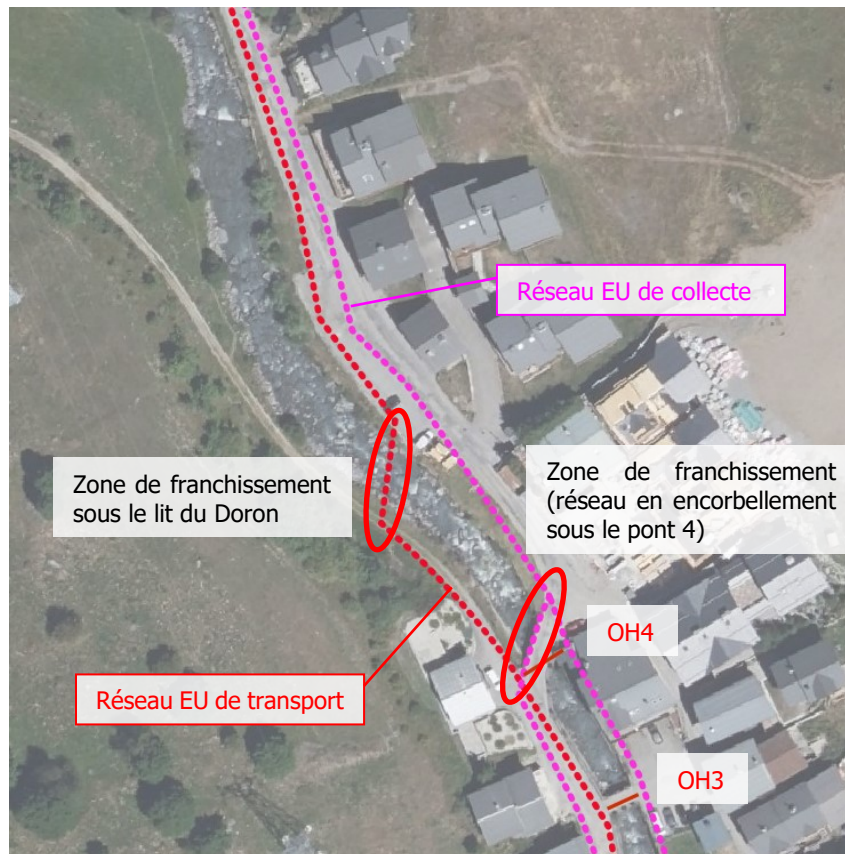


Figure 49 : Réseau d'assainissement le long du tronçon 3

➤ Réseau d'assainissement (collecte EU du hameaux)

En rive gauche, le réseau de collecte des eaux usées des habitations se situe sous la voirie et bifurque vers la rive droite au niveau du pont 4. Le franchissement du cours d'eau se fait par une conduite en encorbellement sous le tablier du pont 4 (FONTE Ø 400mm). La profondeur du réseau est seulement de 45cm en rive gauche (génératrice supérieure du réseau).

La présence du réseau EU sous l'ouvrage génère :

- une perte de section hydraulique significative (de l'ordre de 20%), impactant fortement la capacité de l'ouvrage et contribuant à accélérer sa mise en charge (cf. fonctionnement hydraulique dans le paragraphe 2.6.3.3).
- expose le réseau à un risque d'endommagement voir de rupture vis-à-vis des sollicitations hydrauliques et autres paramètres en lien avec le cours d'eau (embâcle, mise en charge...).

En rive droite, une branche du réseau est présente en arrière du mur entre OH3 et OH4. Cette branche rejoint le nœud situé en rive droite du pont 4 (connexion avec les EU arrivant de la rive gauche) et se prolonge gravitairement le long de la voirie (profondeur ~1m50 à 2m sous le niveau de la voirie).



Figure 50 : Vue sur la conduite EU en encorbellement sous le pont 4 (1/2)



Figure 51 : Vue sur la conduite EU en encorbellement sous le pont 4 (2/2)

➤ Réseau d'assainissement (transport EU traitées STEP des Menuires)

Le réseau de transport des EU traitées provenant de la STEP des Menuires est présent en rive gauche (conduite BET Ø400mm), et se prolonge sous le chemin situé en sommet de berge, en aval du pont 4.

40m en aval du pont 4, le réseau bifurque en direction de la rive droite (regard présent sur le chemin) et traverse sous le lit du cours d'eau. Un regard est présent au droit de la zone de stationnement en rive droite. La canalisation poursuit son cheminement le long de la rive droite à environ 2 – 3m du sommet de berge.

Les relevés effectués confirment que le niveau de la conduite au droit de la zone de franchissement sous le Doron est quasi affleurant par rapport au fond du lit. La conduite n'est pas visible lors de l'expertise de terrain.

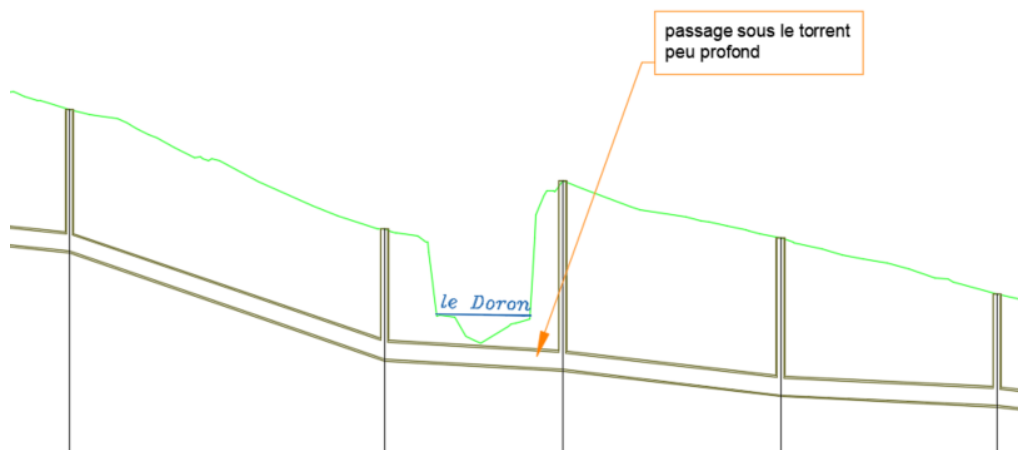


Figure 52 : Profil topographique le long de la canalisation EU de transport



Figure 53 : Vue sur la zone de franchissement

2.6. DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE

2.6.1. Modélisation hydraulique

2.6.1.1. *Architecture du modèle*

Le modèle est réalisé sur le logiciel HECRAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), version 6.5.

Il a été construit selon une architecture du type 1D/2D connecté. Le lit du Doron est modélisé par un bief 1D, connecté à un domaine 2D représentant le hameau (zone inondable).

Les connexions entre le domaine 1D et le domaine 2D sont gérées par des LateralStructures positionnées au niveau des sommets de digue/berge.

2.6.1.2. *Emprise de la modélisation*

Le modèle s'étend sur 700ml. Le premier profil se situe environ 100ml en amont du premier ouvrage traversant. L'extrémité aval du modèle se situe quelques mètres en amont de la zone humide présente en rive gauche (environ 160ml en aval du pont n°4).

L'emprise 2D du lit majeur s'étend au sein du hameau sur les 2 rives du cours d'eau (cf. image ci-dessous).

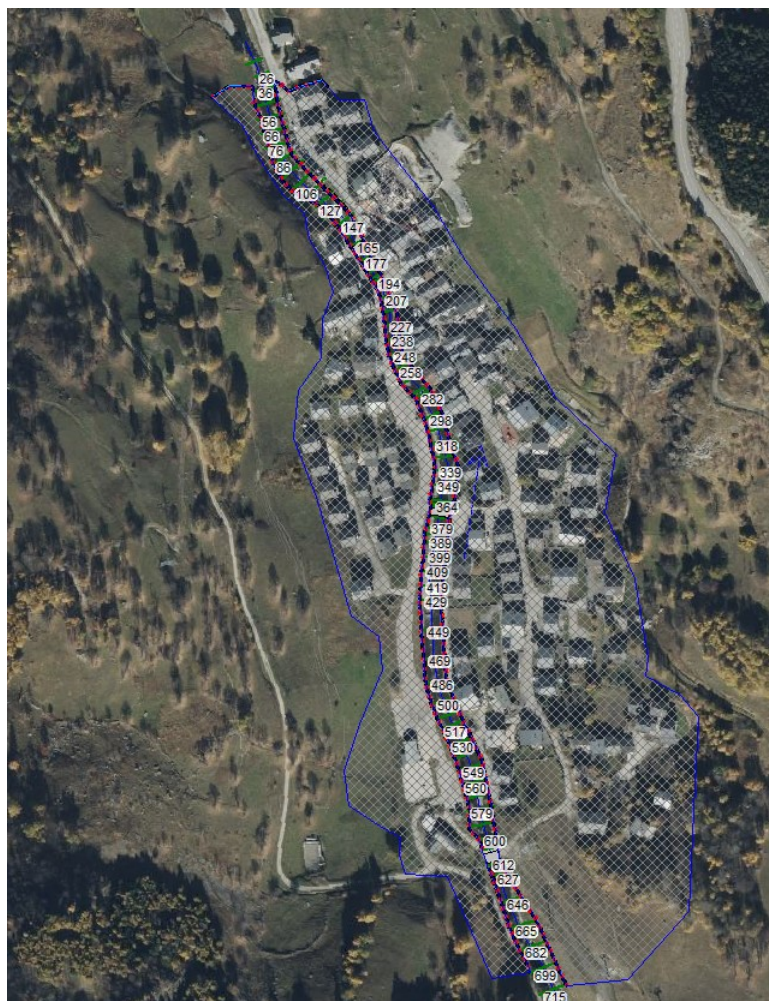


Figure 54 : Emprise de la modélisation

2.6.1.3. *Ouvrages modélisés*

Les 4 ouvrages traversants (ponts) ont été intégrés au modèle.

La modélisation des écoulements au niveau des ponts prend en compte les pertes de charges provoquées par les tabliers.

2.6.1.4. *Conditions aux limites*

Les simulations sont réalisées en régime transitoire (débit variable en fonction du temps) en injectant les hydrogrammes au point d'entrée du modèle.

La condition limite aval du modèle (dernier profil modélisé sur le Doron) est fixée par un calcul de hauteur normal sur le bief 1D (pente de la ligne de charge = 2%, égale à la pente moyenne du fond du lit sur le secteur) ainsi que sur le domaine 2D.

2.6.2. Scénarios modélisés

2.6.2.1. *Etat sans engravement*

Les crues sont modélisées à l'état d'engravement actuel du fond du lit, considéré comme l'état de référence « sans engravement ».

2.6.2.2. *Prise en compte du transport solide*

Dans le cadre des précédentes études, le RTM a réalisé une analyse visant à qualifier l'évolution du profil en long à partir des hypothèses hydrologiques et des apports solides à l'amont du Bettaix.

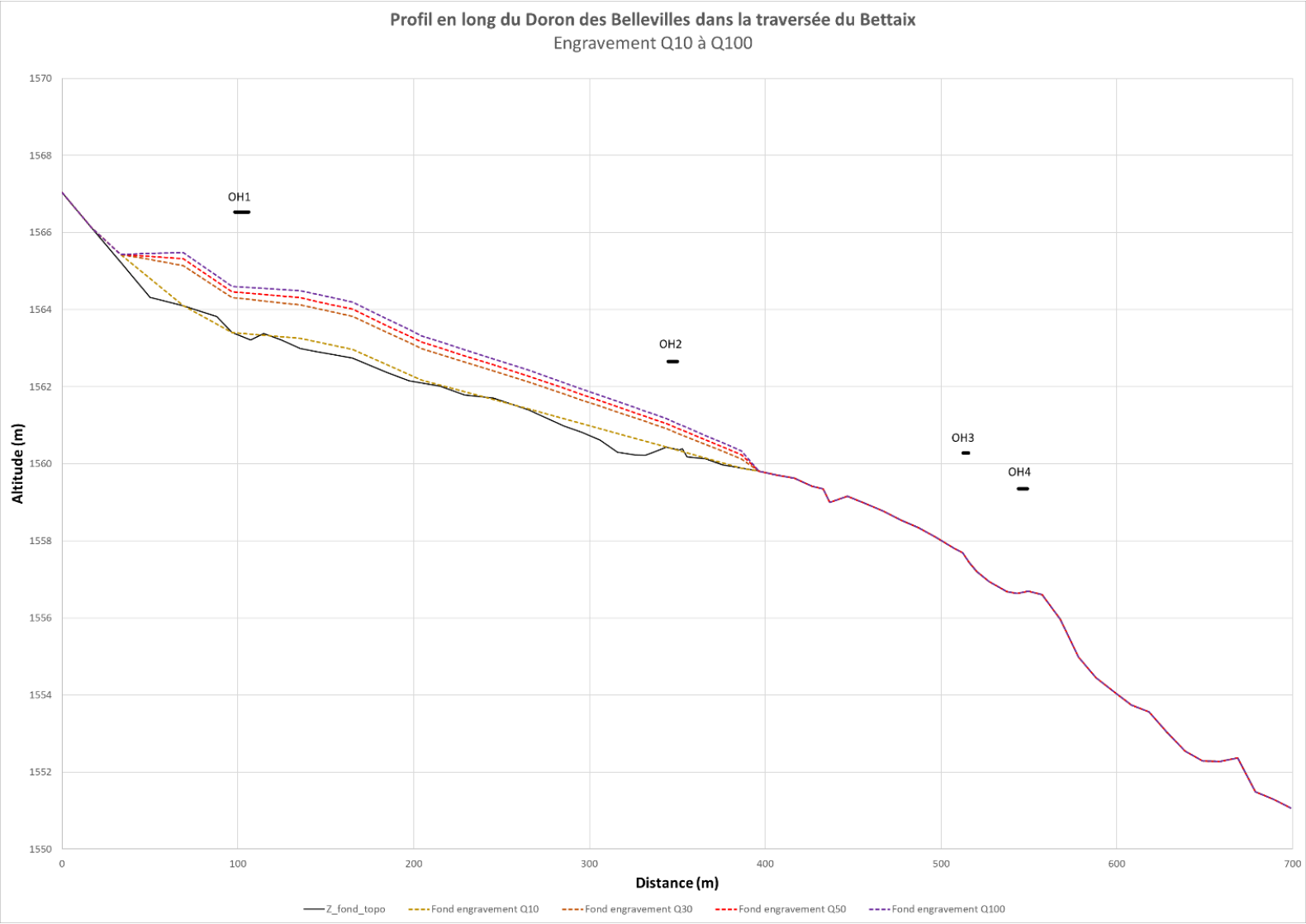
Les calculs sont réalisés à partir du logiciel EVOFOND développé par l'ONF-RTM et permettent de générer les profils en long à l'état engravé pour chacune des occurrences et durée de crue.

A noter les calculs effectués par le RTM se basent sur un état de référence du fond du lit issu du LIDAR 2019 (et donc déjà « pessimiste » par rapport au niveau réel du fond du lit). Par comparaison avec les derniers éléments topographiques de 2024, il en ressort un décalage de l'ordre de 50 à 80cm entre les niveaux de fond du lit.

Nous proposons de retenir les mêmes épaisseurs d'engravement en fin de crue que calculés par le RTM via le logiciel EVOFOND, en considérant le cas pessimiste d'une crue longue.

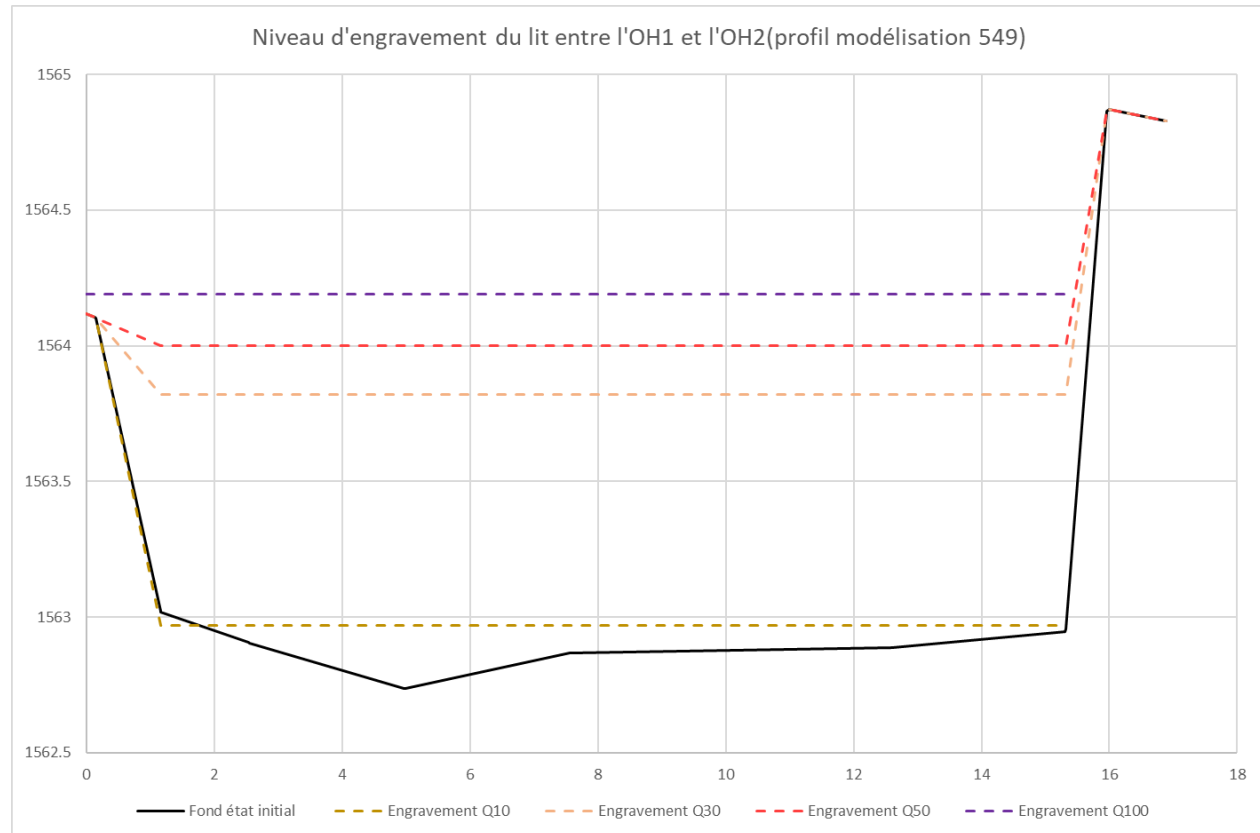
Il en ressort :

- Pour une Q10 : hauteur d'engravement moyenne entre OH1 et OH2 de 20 à 30cm
- Pour une Q30 : hauteur d'engravement moyenne entre OH1 et OH2 de 70cm à 1m10
- Pour une Q50 : hauteur d'engravement moyenne entre OH1 et OH2 de 90cm à 1m20
- Pour une Q100 : hauteur d'engravement moyenne entre OH1 et OH2 de 1m à 1m40





Le scénario d'engravement Q100 correspond à un engravement total du lit jusqu'au niveau de la berge rive gauche.



2.6.3. Capacité hydraulique du lit

2.6.3.1. Niveau de référence

La modélisation hydraulique permet de générer des cartographies de débordements du cours d'eau, lesquelles sont basées sur des calculs de ligne d'eau.

Compte tenu du caractère torrentiel de l'écoulement et des vitesses d'écoulements importantes il est d'usage de prendre la ligne de charge comme niveau de référence. Sécuritaire, ce niveau correspondant à la hauteur d'eau à laquelle est ajoutée une « hauteur cinétique » ($V^2/2g$) permettant de prendre en compte la turbulence de l'écoulement. La ligne de charge est susceptible d'être atteinte par les turbulences de l'écoulement (effets de vagues, remous de surface), et aussi en cas de rencontre d'obstacle dans le lit (embâcle, tablier de pont, etc...).

Par conséquent, les cartographies de débordement présentées dans la suite du rapport sont à analyser avec prudence.

2.6.3.2. Capacité hydraulique du lit – tronçon 1

➤ Premier débordement en rive gauche

Les premiers débordements se produisent en rive gauche, plus abaissée par rapport à la rive droite du fait de la présence de la digue, pour un débit de l'ordre de 30 m³/s (en se basant sur la ligne de charge) à 50 m³/s (en se basant sur la ligne d'eau), ce qui correspond à une occurrence de crue inférieure à Q10 (ligne de charge) à Q30 (ligne d'eau).



Figure 55 : Localisation des premiers débordements en rive gauche

Les premiers débordements se produisent légèrement en aval par rapport au bâtiment de la salle des fêtes. La hauteur de berge est relativement faible (de l'ordre de 1m50 par rapport au fond du lit) sur environ 100m.



Figure 56 : Zone de premiers débordements en rive gauche (1/2)



Figure 57 : Zone de premiers débordements en rive gauche (2/2)

La propagation des débordements en rive gauche se fait dans un premier temps le long de la route, en aval du bâtiment (salle des fêtes), et progresse en direction du point bas de la chaussée. On note la présence d'une grille et d'une buse au niveau du point bas qui permet de renvoyer une partie des écoulements en direction du lit mineur. Toutefois, cette dernière est rapidement saturée en cas de débordement du Doron. Le retour des écoulements vers le lit majeur n'est pas optimal compte tenu de la présence d'une bordure + merlon (hauteur ~ 30cm) entre la chaussée et le cours d'eau, ce qui provoque une saturation de la zone puis une surverse par-dessus le muret en direction des chalets présents plus en aval. Cette surverse s'observe pour une crue d'occurrence comprise entre 30 et 50 ans.



Figure 58 : Zone de premiers débordements en rive gauche (1/2)

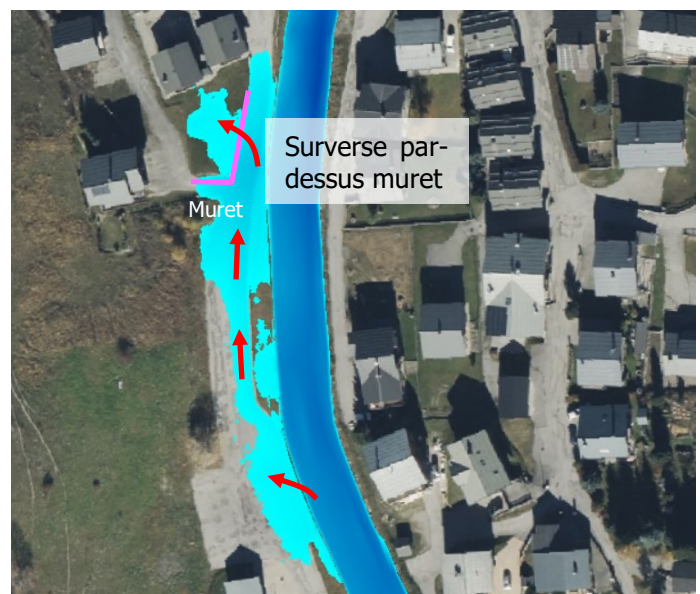


Figure 59 : Zone de premiers débordements en rive gauche (1/2)

Les débordements en rive gauche impactent une dizaine d'habitations avant de retourner dans le lit mineur en aval de l'OH2.

Pour une crue d'occurrence centennale (sans engravement) :

- Débit de 0.25 m³/s
- Hauteur d'eau de 10 à 20cm et vitesse d'écoulement en moyenne < 0.5 m/s

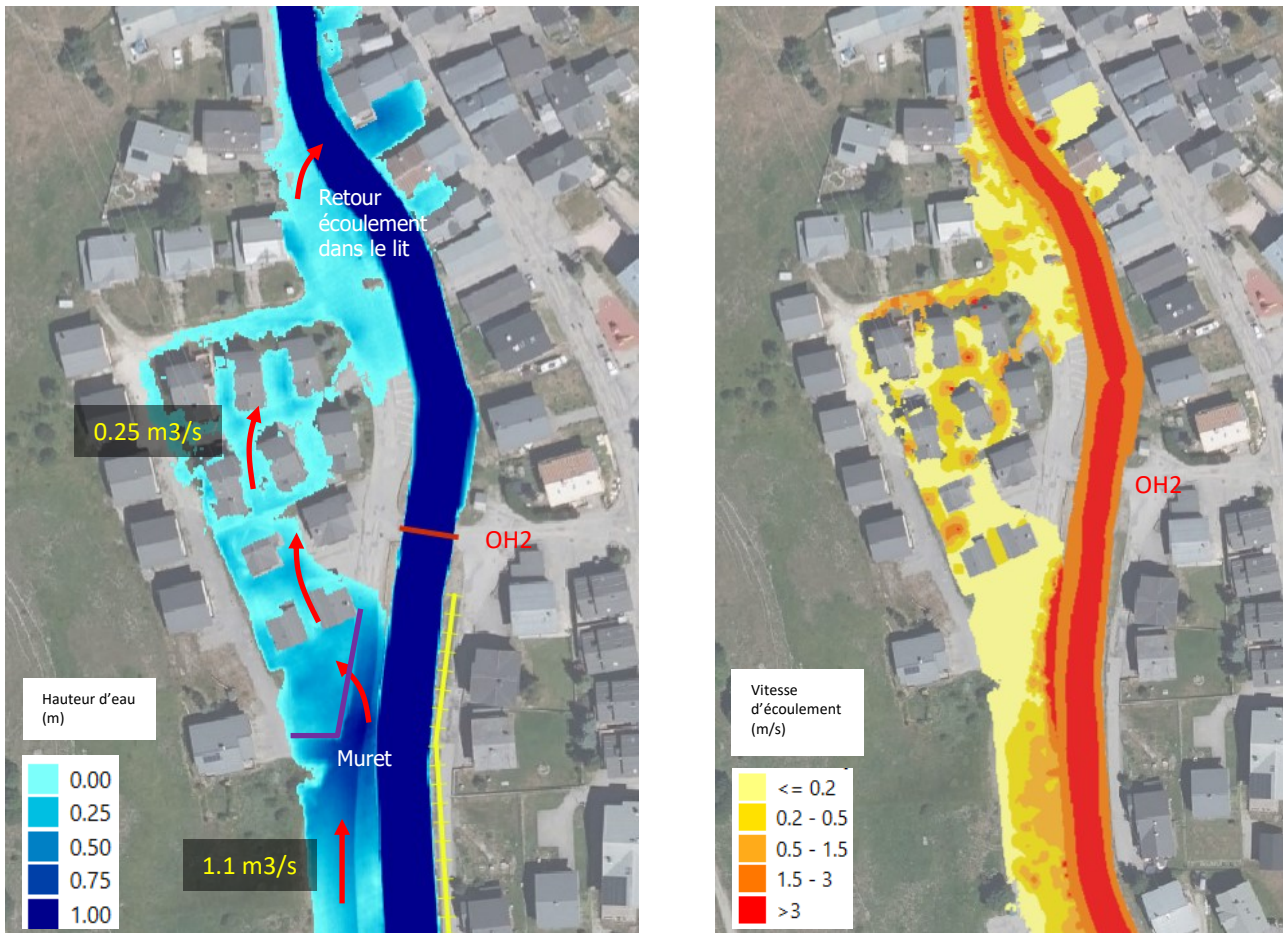


Figure 60 : Propagation des débordements au sein des habitation en rive gauche – cartographie hauteur d'eau et vitesses en Q100

➤ **Sollicitations de la digue rive droite (avec et sans engravement)**

Les sollicitations hydrauliques sur la digue rive droite sont résumées dans le tableau ci-dessous :

		Sans engravement	Avec engravement
Début de mise en charge (ligne de charge)		19 m³/s (<Q10)	19 m³/s (<Q10)
Début de surverse (ligne de charge)		49 m³/s (Q30)	~30 m³/s (<Q30)
Hauteur moyenne de mise en charge	Q10	7 cm (max : 48cm)	12 cm (max : 50cm)
	Q30	38 cm (max : 80cm)	1m05 (max : surverse)
	Q50	58 cm (max : surverse)	(surverse)
	Q100	78 cm (max : surverse)	(surverse)
Revanche moyenne sur ligne de charge	Q10	53 cm (min : 26cm)	47 cm (min : 26cm)
	Q30	21 cm (début de surverse)	(surverse)
	Q50	(surverse)	(surverse)
	Q100	(surverse)	(surverse)

Tableau 1 : Sollicitations hydrauliques de la digue rive droite (avec et sans engravement)

A noter que le début de surverse au-dessus de la digue rive droite est probable à partir d'une occurrence de crue Q30 environ (en se basant sur la ligne de charge). Toutefois, les premiers débordements en rive gauche permettent d'étaler la lame d'eau et de minimiser les risques de surverse par-dessus la digue.

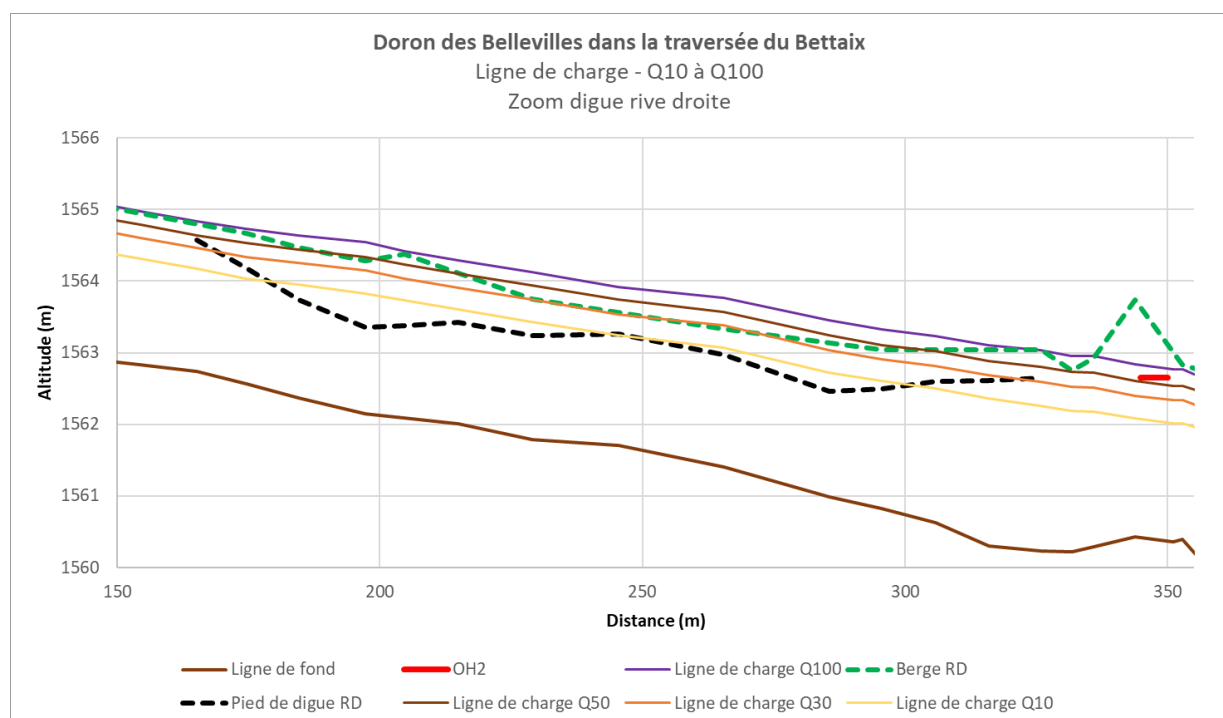


Figure 61 : Profil en long des lignes de charge le long de la digue rive droite – Q10 à Q100

Résultats de la modélisation hydraulique à l'état initial sans engravement du lit

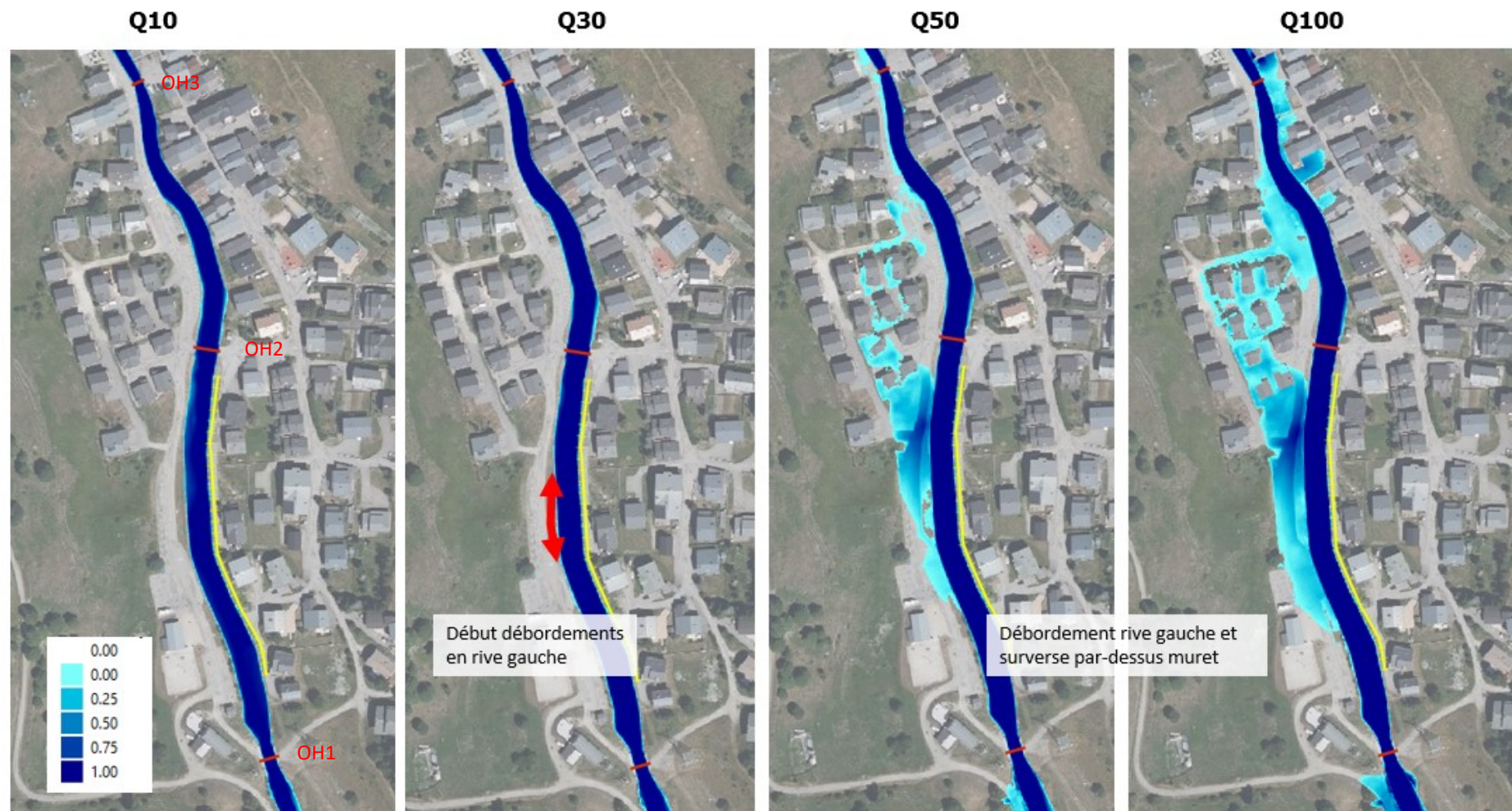


Figure 62 : Cartographie des zones de débordements – état initial sans engravement (Q10 à Q100)

Résultats de la modélisation hydraulique à l'état initial avec engravement du lit

La prise en compte de l'engravement sur le secteur génère des débordements plus marqués en rive gauche mais également en rive droite. La digue rive droite commence par se faire contourner par l'amont avec quelques zones de surverses localisées (Q30). Des surverses plus marquées se produisent pour des crues d'occurrences supérieures. Ces débordements se propagent dans les rues adjacentes et impactent de nombreuses habitations (cf. cartographie ci-dessous).

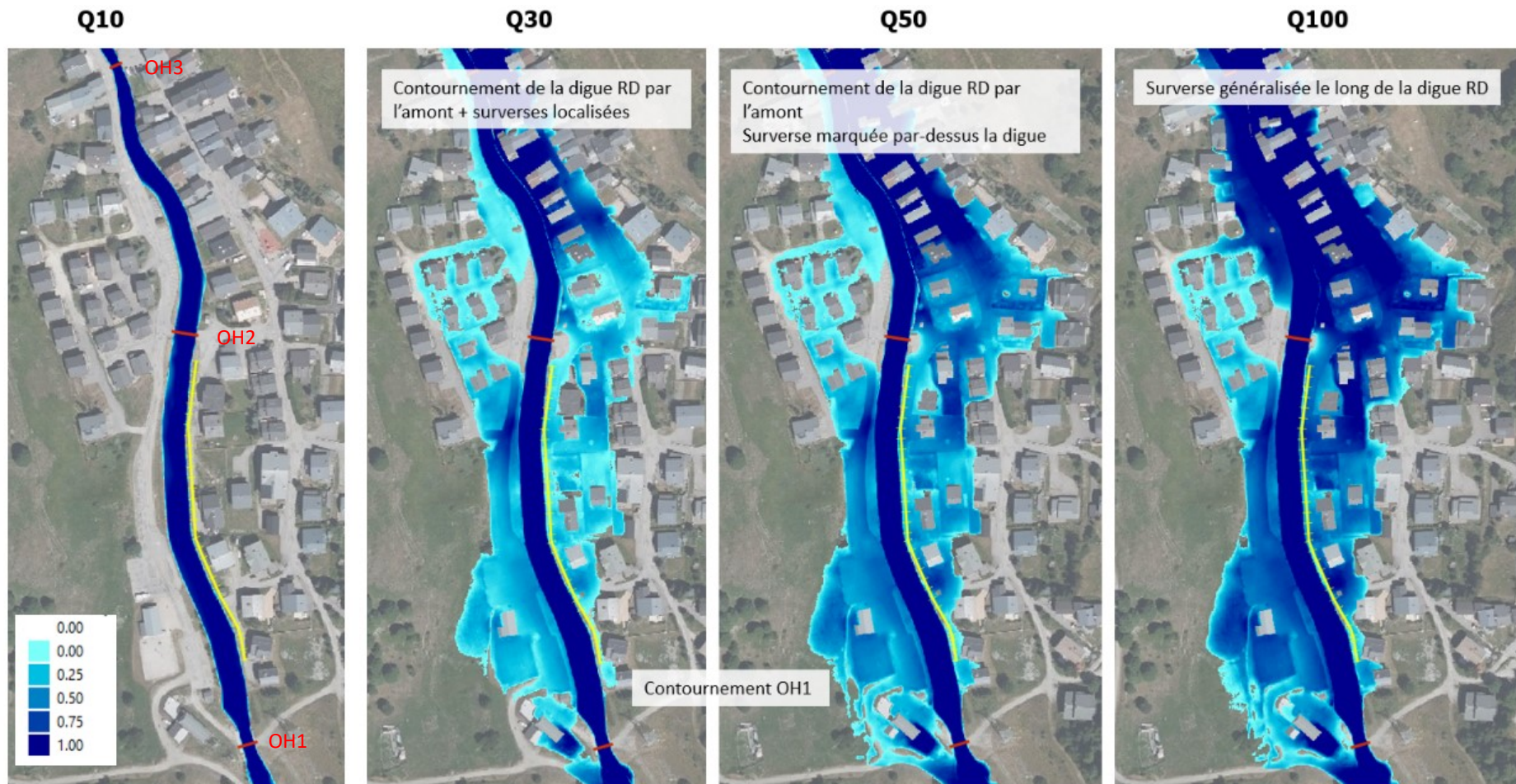


Figure 63 : Cartographie des zones de débordements – état initial avec engravement (Q10 à Q100)

➤ **Capacité ouvrages traversants OH1 et OH2**

Les ouvrages hydrauliques OH1 et OH2 présentent respectivement des gabarits hydrauliques de 21 et 27 m². Leur gabarit permet de faire transiter des débits proches de Q50 avant mise en charge :

- OH1 : 57 m³/s
- OH2 : 61 m³/s

Les capacités hydrauliques et revanches disponibles au droit de chacun des ouvrages traversants sont récapitulées dans le Tableau 2.

L'engravement considéré sous l'OH1 réduit considérablement la section de l'ouvrage. Cela accélère d'autant plus la mise en charge de l'ouvrage et pourrait provoquer un contournement de l'ouvrage par la rive gauche à compter d'une crue d'occurrence 30ans (cf. cartographie des débordements à l'état engravé).

2.6.3.3. Capacité hydraulique du lit – tronçons 2 et 3

➤ **Capacité du lit mineur**

De l'OH2 à l'OH4

En aval de l'OH2, le lit mineur du cours d'eau se contracte progressivement en passant d'une largeur de 10-15m à environ de 7m. Le gabarit le plus critique se trouve au niveau du pont 3 où la largeur du lit est inférieure à 6m.

En se basant sur l'analyse des lignes d'eau et lignes de charge, on conclue que le tronçon dispose d'une capacité hydraulique inférieure à Q30.

A noter que les lignes d'eau et les lignes de charge sont influencées par la présence du pont 3 qui constituent un des points de faiblesse de la traversée en termes de capacité hydraulique. Il en résulte une aggravation des débordements en amont de l'ouvrage.

De la même manière, la mise en charge de la canalisation d'assainissement sous le pont 4 contribuent à créer un remous d'exhaussement en amont du pont 4.

En aval de l'OH4

En aval du pont 4, la pente du cours d'eau se redresse et provoque une nette augmentation des vitesses d'écoulement. A titre d'exemple pour une crue centennal, les vitesses d'écoulement en amont de l'OH3 sont de l'ordre de 3 m/s, puis atteignent des pics de l'ordre de 6 – 7 m/s en aval de l'OH4.

Il en découle des niveaux de charge très élevés atteignant le niveau de la berge rive gauche (cote du chemin) dès la crue d'occurrence Q10.

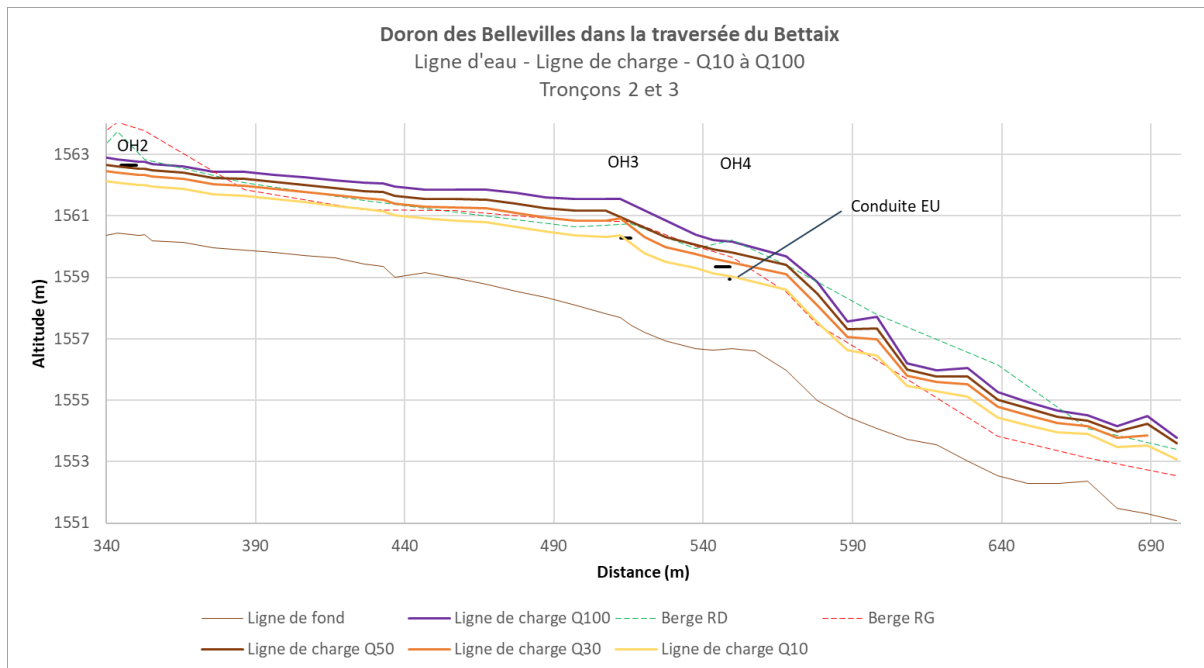


Figure 64 : Profil en long des lignes de charge le long des secteurs 2 et 3 – Q10 à Q100

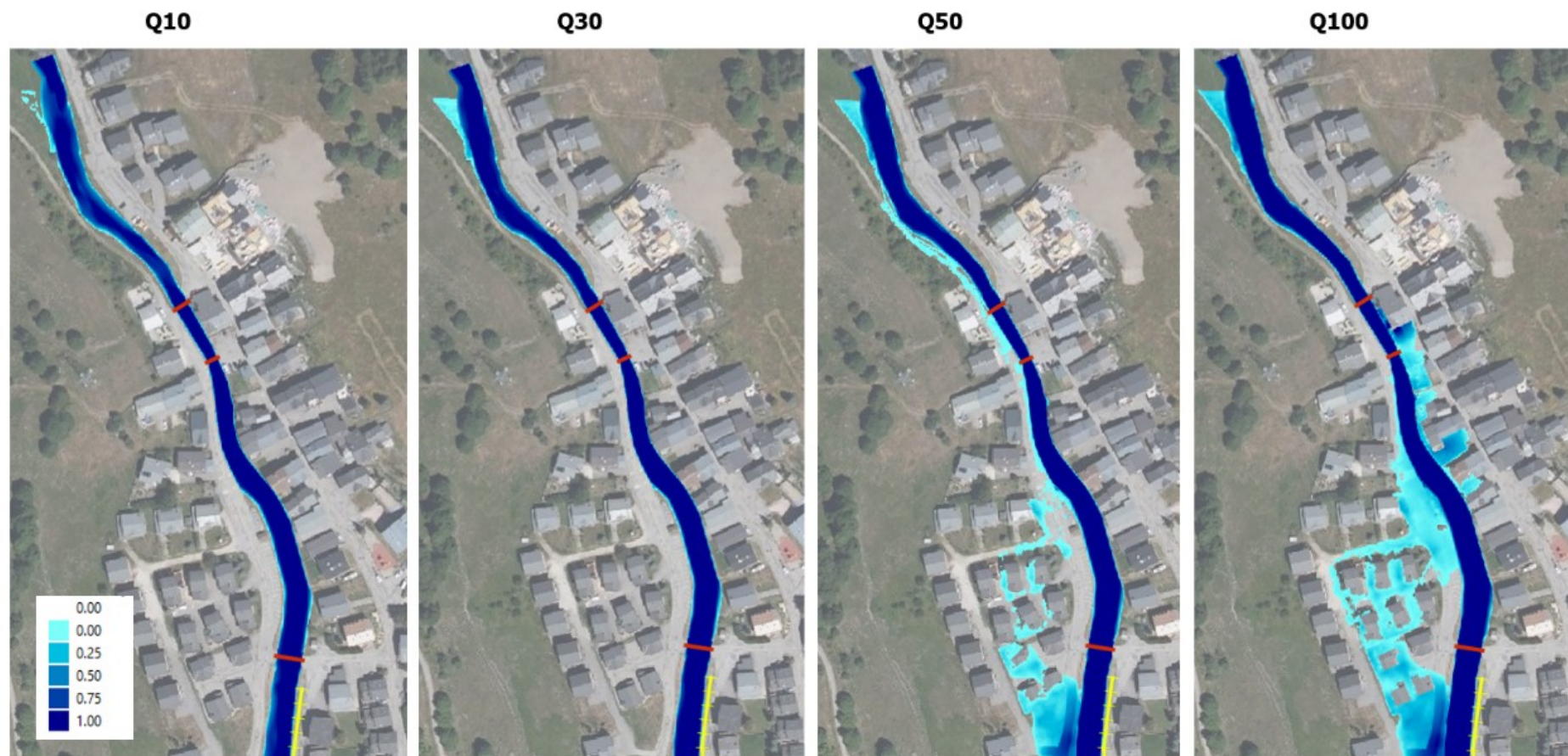
➤ Capacité ouvrages traversants OH3 et OH4

Les ouvrages hydrauliques OH3 et OH4 présentent respectivement des gabarits hydrauliques de 14,7 et 18,3 m². Leur gabarit permet de faire transiter des débits proches de Q10 avant mise en charge :

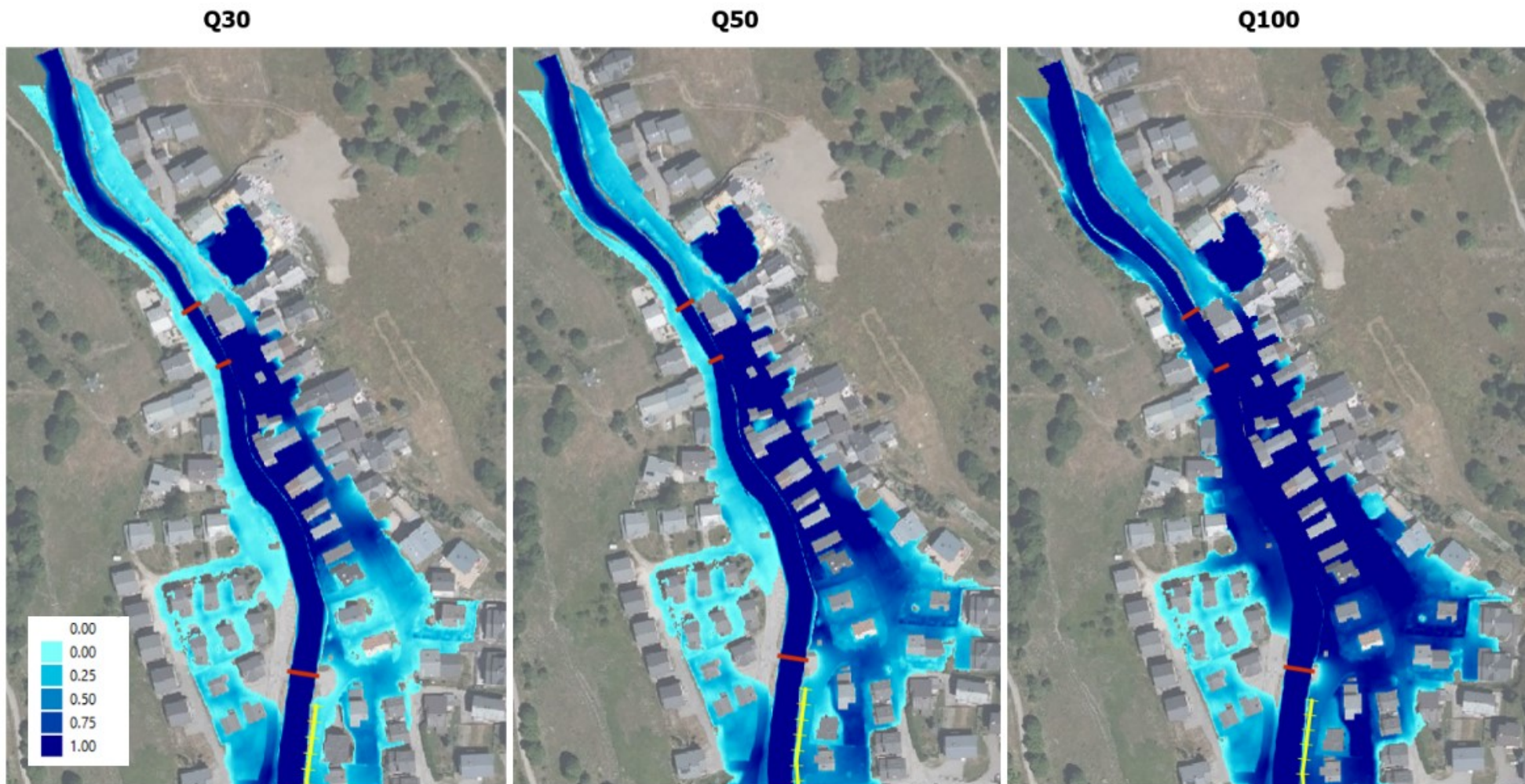
- OH3 : 34 m³/s
- OH4 : 34 m³/s (prenant en compte la cote de la canalisation EU sous l'ouvrage)

Les capacités hydrauliques et revanches disponibles au droit de chacun des ouvrages traversants sont récapitulées dans le Tableau 2.

Résultats de la modélisation hydraulique à l'état initial sans engravement du lit



Résultats de la modélisation hydraulique à l'état initial avec engravement du lit



2.6.4. Capacité hydraulique des ouvrages traversants – synthèse

Les capacités hydrauliques des ouvrages traversants situés le long de la traversée du Bettaix sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Ouvrages	Niveau bas de tablier (mNGF)	Début de mise en charge (ligne de charge)	Revanche bas de tablier sur ligne de charge			
			Q10	Q30	Q50	Q100
OH1	1666.53	57 m ³ /s (~Q50)	74 cm	27 cm	(en charge)	(en charge)
OH2	1562.65	61 m ³ /s (~Q50+)	57 cm	25 cm	4 cm	(en charge)
OH3	1560.28	34 m ³ /s (~Q10)	(en charge)	(en charge)	(en charge)	(en charge)
OH4	1559.35 (tablier)	42 m ³ /s (~Q30-)	22 cm	(en charge)	(en charge)	(en charge)
	1558.93 (conduite EU)	34 m ³ /s (~Q10)	(en charge)	(en charge)	(en charge)	(en charge)

Tableau 2 : Synthèse des capacités hydraulique et revanches sur ligne de charge au droit des ouvrages traversants dans la traversée du Bettaix

2.6.5. Analyse des contraintes tractrices

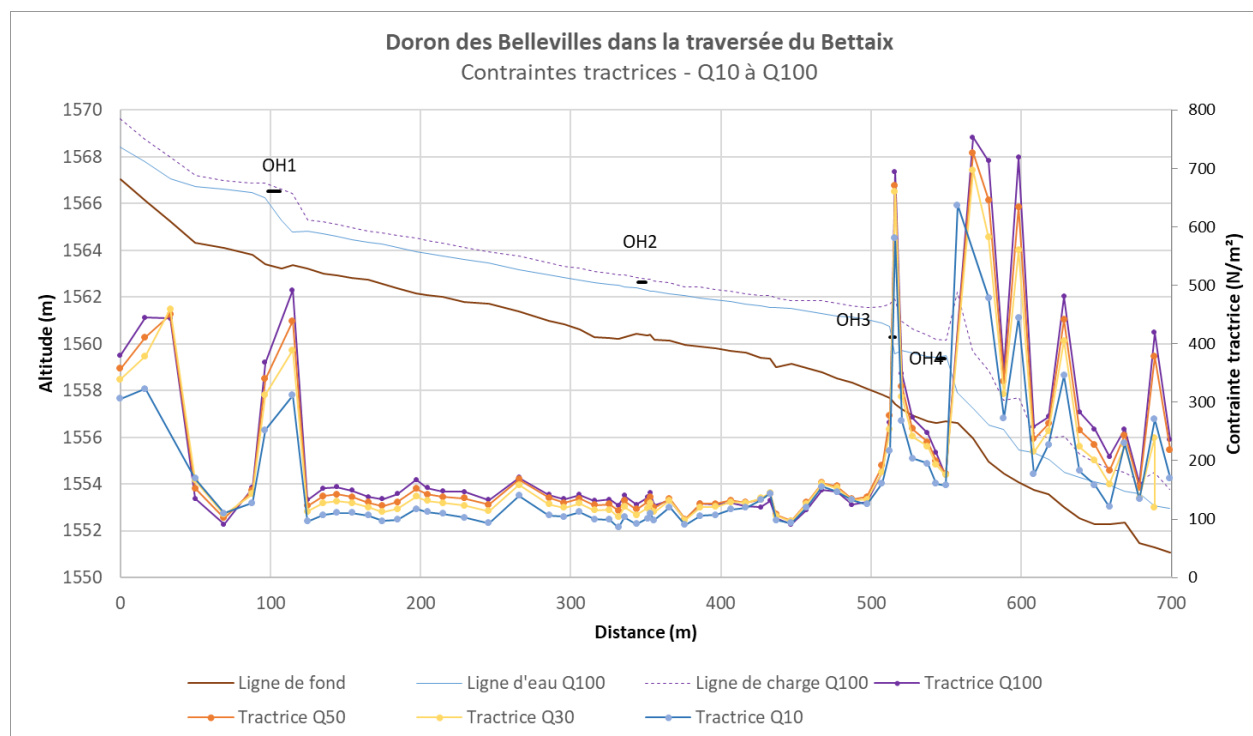


Figure 65 : Evolution des contraintes tractrices sur le secteur d'étude – Q10 à Q100

On constate :

- Les contraintes tractrices sont globalement assez homogènes sur la première partie du secteur d'étude (depuis l'OH1 jusqu'au niveau de l'OH4). Elles évoluent dans la gamme [100 -200] N/m² et sont associées à une pente plutôt faible du cours d'eau (1.5% de pente moyenne). Toutefois, des phénomènes localisés de survitesses et de chenalisation du lit ne sont pas à exclure, pouvant provoquer localement des affouillements le long des protection en enrochements. Ces phénomènes peuvent être amplifiés en cas de faible rugosité des parements en enrochements, ce qui est le cas le long de la digue rive droite.
- A noter la présence d'une chute des contraintes suivies d'un pic au droit des ouvrages OH1 – OH3 et OH4, provoquées par la mise en charge de ces derniers.
- Une augmentation importante des contraintes tractrices en aval de l'OH4 découlant de l'augmentation de la pente du lit (max ~12%), et des vitesses d'écoulement. Sur ce tronçon, les contraintes tractrices se situent dans la gamme [200 -500] N/m² avec des maximums approchant les 700 N/m².

2.7. MILIEUX NATURELS

Une expertise écologique simplifiée a été menée à bien par le cabinet EPODE dans l'optique de faire ressortir les premiers enjeux écologiques avérés et potentiels sur le secteur. Les prospections se sont déroulées fin Juin 2024 et concernaient des inventaires flores, habitats naturels et faune (avifaune, chiroptère, reptiles, mammifères, faune invertébrée).

2.7.1. Habitats

Le site d'étude est concerné par deux habitats à enjeu modéré :

- **Prairies humides atlantiques et subatlantiques** : caractéristiques de zone humide au sens de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié ;
- **Saussaies pré-alpines** : caractéristiques de zone humide au sens de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié et habitat d'intérêt communautaire.

La zone d'étude est majoritairement composée de milieux rudéraux peu favorables à la biodiversité. Les enjeux écologiques se concentrent sur la partie nord de la zone d'étude, comprenant des milieux plus naturels et offrant des potentialités écologiques plus intéressantes.

Il est envisagé sur la prairie humide identifiée en partie amont de la rive gauche de réaliser uniquement des plantations ; l'intervention sera donc possible sans engins avec un balisage potentiel.

Les travaux envisagés ne se situent pas sur les deux habitats à enjeu ; ils sont presque essentiellement localisés sur les milieux anthropogènes. Ils n'impactent pas les habitats favorables à la Grenouille rousse. En revanche, une petite partie de l'habitat favorable à la reproduction de l'Azuré des Géraniums est comprise dans l'emprise du projet.

La zone humide départementale inventoriée n'est pas impactée par le projet (pas de travaux envisagés sur ce secteur). Les travaux auront lieu :

- Sur la rive droite (rive opposée) et pas directement en face avec la reprise de caissons végétalisés ;
- Sur la rive gauche, en amont de la zone humide avec uniquement de la plantation de ripisylve.

2.7.2. Flore

Aucune flore protégée ou patrimoniale n'a été recensée sur le secteur d'étude. Seule une EvEE a été observée au droit de la zone de pâture mésophile : la **Berce du Caucase**.

2.7.3. Faune terrestre

Cinq espèces faunistiques à enjeu de conservation ont été observées dans la zone d'étude :

- **Azuré des Géraniuns** (Lépidoptère) – NT sur la Liste Rouge Régionale – Enjeu modéré ;
- **Faucon crécerelle** (avifaune) - NT sur la Liste Rouge Régionale – Protection nationale (Article 3) – Enjeu modéré ;
- **Geai des chênes** (avifaune) - NT sur la Liste Rouge Régionale – Protection européenne (Annexe II/2) – Enjeu modéré ;
- **Grenouille rousse** (amphibiens) – NT sur les Listes Rouges Régionale et Départementale – Protections nationale (Article 4) et européenne (Annexe V) – Enjeu modéré ;
- **Hirondelle de fenêtre** (avifaune) – NT sur la Liste Rouge Nationale et VU sur la Liste Rouge Départementale – Protection nationale (Article 3) – Enjeu modéré.

Aucune plante-hôte de papillons protégés n'a été recensée sur la zone d'étude.

Les ponts favorables aux chiroptères, ainsi que les bâtiments du hameau et les zones arborées/arbustives ponctuellement présentes et favorables à la reproduction d'espèces d'oiseaux constituent des enjeux écologiques.

Les ponts seront donc investigués en amont des travaux pour vérifier la présence ou l'absence de chiroptères. Les investigations seront réalisées par un écologue au printemps, en été et en automne 2025 pour vérifier la sortie de gîtes ((passages pour détection acoustique et avec les jumelles thermiques). Il n'est pas envisagé de réaliser des investigations en hiver étant donné que les gîtes sont peu favorables à l'hibernation (d'autant plus que l'altitude est élevée). En cas de présence, des mesures seront mises en place pour limiter au maximum les impacts sur les chiroptères.

3. PRESENTATION DES AMENAGEMENTS – AVP

3.1. SCENARIO ETUDIE

Le programme de travaux se base sur un des scénarios d'aménagement étudié dans le cadre de l'étude de faisabilité réalisée par le RTM en 2021 (*Etude de faisabilité pour optimiser la gestion du risque inondation du Doron de Belleville dans la traversée du Bettaix aux Belleville (73) – rapport phase 2 – RTM – Mars 2022*) ayant fait l'objet d'une validation auprès de la commune (scénario d'aménagement n°2). Ce dernier affichait un niveau de protection $\sim Q_{30}$ à l'état aménagé.

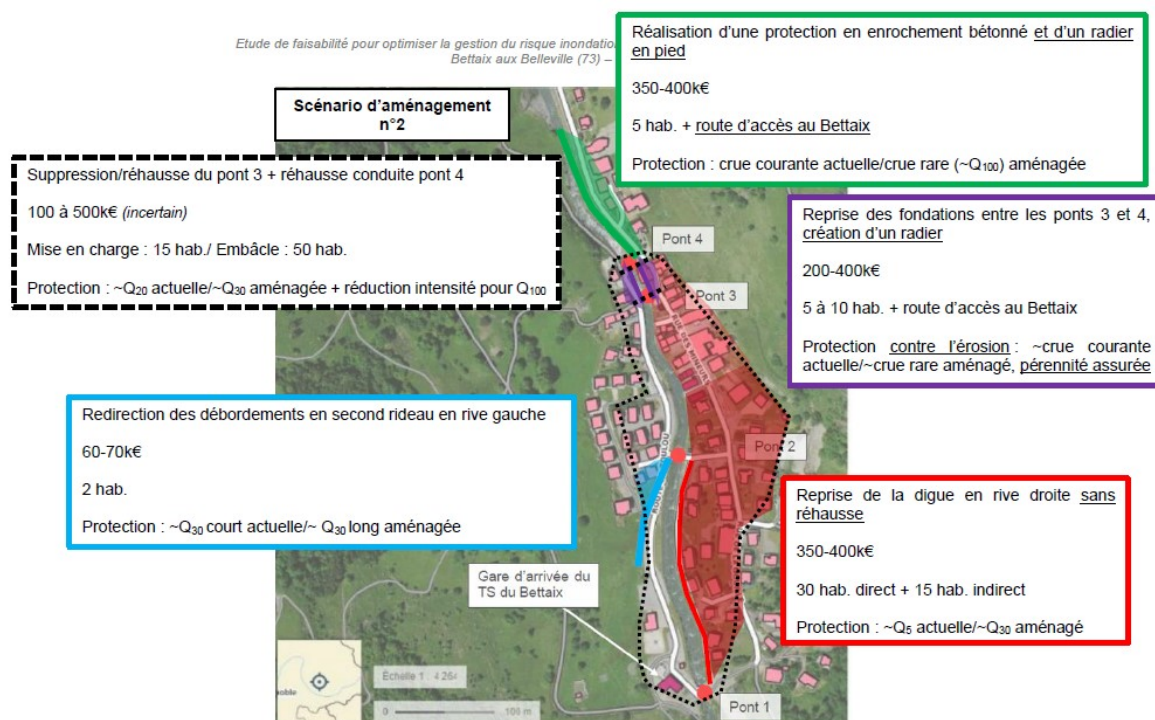


Figure 66 : Scénario d'aménagement présenté par le RTM (étude de faisabilité – 2022)

La présente étude vise à développer ce scénario au stade avant-projet.

3.2. NIVEAU DE PROTECTION

En accord avec le Maître d'Ouvrage, les aménagements présentés dans ce chapitre ont été dimensionnés dans une logique d'assurer un niveau de protection uniforme et cohérent le long de l'ensemble de la traversée du Bettaix. Le niveau de protection retenue et validé en COPIL correspond à un événement d'occurrence trentennal (Q_{30} liquide), considérant l'état d'engrèvement actuel du cours d'eau (niveau de protection apparent).

Le choix de ce niveau de protection découle de la capacité limitante du cours d'eau au niveau du pont 4 à l'état aménagé et semble être le plus pertinent dans une logique de ne pas recréer d'ouvrage digue le long de la traversée. Ce niveau de protection est également limité par un ensemble de contraintes inhérentes au site, comme la présence des voiries, bâtis et réseaux présents le long de la traversée.

3.3. TRONÇON 1 – DU PONT 1 AU PONT 2

3.3.1. Présentation des aménagements

Les aménagements prévus sur le secteur consistent à intervenir sur les 2 rives, en venant d'une part reprendre l'intégralité de l'ouvrage digue en rive droite mais aussi consolider certain tronçon de l'ouvrage existant en rive gauche tout en intégrant diverses plantations. **A noter la non-nécessité d'intervention en amont du pont 1 en considérant un niveau de protection Q30.**

➤ Aménagement de la berge rive droite

En rive droite, les travaux consistent à déposer l'intégralité de la protection en enrochements en place et de recréer une protection de berge respectant les règles de l'art. Les caractéristiques de la future protection sont les suivantes :

- Parement en enrochements libres (adoucissement du fruit de la protection en 1H/1V) – épaisseur 1m50
- Création d'un sabot anti-affouillement en pied d'ouvrage (calage 30cm sous le fond du lit en moyenne, épaisseur 2m et largeur 2m)
- Maintien du faciès digue par la création d'un mur digue béton en sommet de berge sans modifier la hauteur de protection actuelle (hauteur moyenne du mur ~ 75cm)

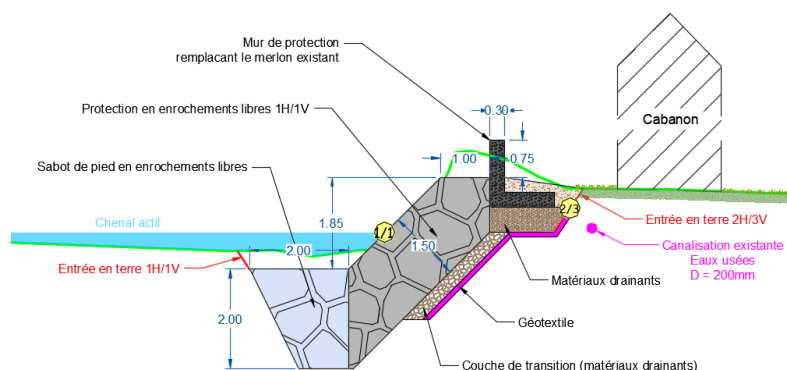


Figure 68 : Coupe type de reprise de la berge rive droite



Figure 67 : Linéaire d'intervention en rive droite

La face arrière du parement en enrochements libres devra être équipée d'un dispositif de filtration permettant d'éviter la migration/aspiration des matériaux du terrain en place au travers des interstices des enrochements. Nous recommandons la mise en place d'une couche d'assise filtrantes (granulométrie 50/150mm) couplé à un géotextile filtrant/anti contaminant. Le fruit du parement en enrochement libre pourra faire l'objet de légères adaptations de sorte à minimiser son avancée dans le lit par rapport au pied de parement actuel. La blocométrie des enrochements est justifiée dans le paragraphe 3.3.3. **Le projet est construit en prenant l'hypothèse de réutilisation de la totalité des enrochements constituant la berge actuelle (prix de dépose/repose des enrochements intégré au chiffrage – volume estimé à environ 285 m³).**

Le positionnement du mur digue se situe en lieu et place du pied de merlon existant. Il se prolonge sur un linéaire de 180 m et se termine quelques mètres en amont du pont 2. La crête du mur a fait l'objet d'une harmonisation par rapport au niveau du merlon actuel, ce qui génère localement de légères réhausses de l'ordre de 20 – 30cm. L'assise du mur devra faire l'objet d'une couche de forme par la mise en œuvre de matériaux type 0/100mm compactés. Les dimensions de la semelle doivent être confirmés par un géotechnicien dans le cadre d'une étude G2 PRO.

L'habillage du mur pourra faire l'objet de diverses possibilités (béton matricé, pierres taillées, ect...) à trancher par la commune.

Le raccordement sur la culée rive gauche du pont 1 se fera par un raidissement progressif de la protection en enrochements jusqu'à atteindre un fruit quasi-vertical au droit du pont. Cette transition se fera en enrochements bétonnés.



Figure 69 : Exemple habillage mur en pierre de taille



Figure 70 : Exemple béton matricé (source : RECKLI)

L'entrée en terre en sommet de berge génèrera un impact provisoire des terrains privés et communaux accolé à la berge. Ces derniers seront remis en état conformément à l'état actuel. Le projet provisionne la remise en état d'une surface de 120 m² d'enrobé.

➤ Aménagement de la berge rive gauche

Le programme de travaux ne prévoit pas nécessairement d'intervention sur la berge rive gauche. A la demande de la commune, il a été intégré au projet la reprise de certains tronçons en enrochements libres déstabilisés et/ou faisant apparaître des défauts d'agencement entre les blocs (présence de vides importants et de signe d'aspiration des terrains en arrières des enrochements). L'objectif étant ici de pérenniser l'ouvrage tout en acceptant les débordements en rive gauche.

Les travaux de reprises consisteront à déposer uniquement les enrochements présents en parement. Le sabot constitué d'enrochements bétonnés est difficilement adaptable et restera inchangé. La repose des blocs se fera sans modifier la géométrie du parement (notamment le sommet de berge qui restera inchangé). Le travail sera axé sur l'agencement entre les blocs, en veillant à minimiser les interstices et redonner un maximum de rugosité de surface au parement. Un dispositif de filtration sera créé en arrière des enrochements (géotextile filtrant + couche de transition).

Etant donné que l'état de la berge rive gauche présente quelques tronçons sans désordres majeurs, le programme de travaux prévoit la reprise de 50% du linéaire de la berge rive gauche (linéaire exact à adapter en PRO), soit environ 120ml. Le chiffrage ne prévoit pas de fourniture de blocs à ce stade de l'étude. En cas d'apport, ces derniers resteront à la marge.

Sur ce secteur, un bouturage des enrochements libres avec des essences de saules adaptées peut être intéressant de sorte à casser les vitesses d'écoulement et condenser les vitesses d'écoulement au centre du lit mineur. Ces principes devront faire l'objet de concertation auprès de la commune et la fédération de pêche, notamment en ce qui concerne la comptabilité de la végétalisation de la berge avec l'activité pêche sur le secteur.



Figure 71 : Principes de bouturage d'une protection de berge en enrochements libres (source : Géni'Alp)

Par ailleurs, et en lien avec la remarque précédente, le projet prévoit la végétalisation d'une bande de 2 à 3m de largeur en sommet de berge. Nous proposons la plantation de plants arbustifs (hauteur 60/90cm) qui pourront être disposés en bosquets de sorte à maintenir des zones d'accès au sommet de berge pour l'activité pêche et **ne pas impacter les réseaux existants en sommet de berge**.

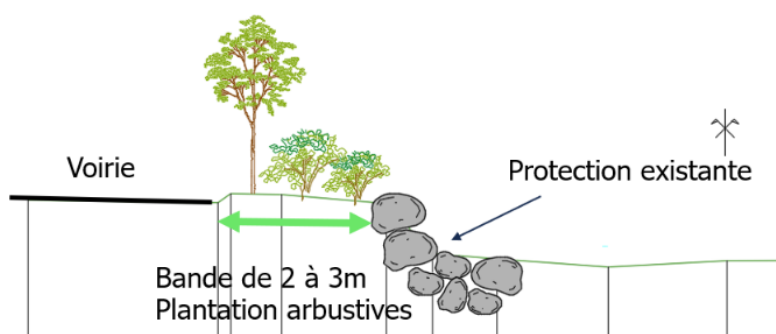


Figure 72 : Profil en travers intégrant les plantations en rive gauche



Figure 73 : Zone de revegetation en rive gauche

➤ Amélioration du retour des écoulements vers le lit mineur en rive gauche

Le programme de travaux intègre une intervention en sommet de berge rive gauche, visant à améliorer le fonctionnement actuel en cas de débordements en rive gauche. En effet, comme mentionné dans le rapport, le fonctionnement actuel n'est pas optimal du point de vue du retour des écoulements du lit majeur en direction du lit mineur (cf. paragraphe 2.6.3).

Les aménagements prévoient d'aménager la zone se trouvant au niveau du point bas de la chaussée visant à éviter une stagnation des eaux et limiter les impacts au droit des habitations situées à proximité. Il est prévu d'abaisser le niveau du terrain se trouvant entre la voirie et le sommet de berge (banquette enherbée) d'environ 30 à 40cm sur environ 5m de large. Cela se traduit par la suppression des bordures et le reprofilage de la zone jusqu'au sommet d'enrochement.



Figure 74 : Aménagement sommet de berge rive gauche

3.3.2. Impact réseaux

Aucun réseau n'est impacté par le projet. Toutefois, plusieurs réseaux se trouveront à proximité immédiate des travaux.

En rive droite, l'entrée en terre en sommet de berge se situe à proximité immédiate du réseau EU sur environ 40ml, ce qui nécessitera ponctuellement de raidir le fruit des fouilles et passera par un travail par plots réduits.

Par ailleurs, la reprise de la berge rive droite nécessitera d'intégrer un certain nombre de rejet d'eau pluviale au sein du parement (2 à 3 unités).

En rive gauche, la canalisation béton Ø400mm (EU traitée) se situe au sein de la banquette entre le sommet d'enrochement et le bord de voirie. Les plantations d'arbustes se feront de part et d'autre du réseau (à confirmer selon profondeur de la canalisation). De la même manière, la reprise du parement en enrochements pourra nécessiter la reprise de rejet EP selon les zones traitées.

3.3.3. Justification du dimensionnement et incidences hydrauliques

➤ **Dimensionnement des protections de berge**

Le dimensionnement des enrochements est effectué en retenant les résultats de la modélisation hydraulique en Q100 le long du tronçon.

On retient les grandeurs hydrauliques et géométriques suivantes :

- Vitesse moyenne de l'écoulement : 3 m/s
- Largeur du lit : 14m
- Pente moyenne du tronçon : 1%
- Hauteur d'eau moyenne dans la section d'écoulement : 1.8m
- Diamètre moyen des alluvions D50 : 43mm (source : granulométrie étude RTM)

Le dimensionnement de la blocométrie recroise les résultats de diverses méthodes de calculs (ISBACH, CEMAGREF, MAYNORD).

Il en ressort :

- Profondeur d'affouillement théorique du lit ~ 1m75
- D50 enrochements ~ 1m (poids moyen 1.2T)
- Fuseau blocométrique proposé :
 - D10 : $0.45 \times D_{max} = 0.7m$ (poids ~ 500kg)
 - Dmax : $D50/0.6 = 1.6m$ (poids ~ 4T)

- Dimension du sabot anti-affouillement retenue :
 - Profondeur : 2m (soit environ 2 épaisseurs de blocs, au moins supérieur à la profondeur d'affouillement théorique sur le secteur)
 - Largeur : 2m
 - Calage en moyenne 30cm sous le fond du lit actuel

➤ Résultats de la modélisation hydraulique à l'état projet

La réalisation des travaux sur le tronçon 1 ne génère pas de modifications au sein du lit mineur. Les travaux concernent l'aménagement du sommet de berge rive gauche. Par conséquent les débordements en rive droite observés pour $Q > Q_{30}$ à l'état engravé restent inchangés (voir carte de débordements dans le paragraphe 2.6.3.2).

Les résultats hydrauliques confirment l'amélioration du fonctionnement du retour des écoulements en rive gauche vers le lit mineur, contribuant ainsi à minimiser les risques de surverses en direction des chalets.



Figure 75 : Cartographie des zones de débordements en Q_{100} à l'état projet VS état initial

Les résultats théoriques mettent en avant une suppression des débordements au sein de la zone d'habitations pour une crue d'occurrence Q_{100} (sans engravement).

Toutefois, compte tenu de la configuration du site et des diverses incertitudes en lien avec les niveaux d'engrèvement / présence d'obstacles dans le lit majeur, il n'est pas réaliste d'affirmer que l'aménagement permet de supprimer totalement le risque d'inondation au sein des habitations.

3.3.4. Estimation des coûts

Le coût total des travaux sur le tronçon 1 est estimé à environ 525 000 €HT. Le tableau ci-dessous récapitule les prix des différentes interventions.

Synthèse estimation tronçon 1	
Chapitre	Montant estimé (€ HT)
Frais généraux	51 000.00
Travaux préparatoires	16 000.00
Reprise digue rive droite - 200ml	432 780.00
Reprise du point bas rive gauche	6 500.00
Reprise enrochements rive gauche et plantations	16 010.00
TOTAL	522 290.00

3.4. TRONÇON 2 – DU PONT 2 AU PONT 3

3.4.1. Présentation des aménagements

Les aménagements prévus sur le secteur consistent à traiter ponctuellement les quelques dysfonctionnements mis en avant dans le diagnostic, notamment :

- La suppression du pont 3,
- La reprise du réseau AEP au droit de la traversée du Doron,
- La reprise de l'affouillement observé en aval du pont 2 ainsi que le traitement d'une érosion de faible linéaire en rive gauche aval de l'ouvrage,
- Si nécessaire : rejointement des murs de rive au droit du pont 3.

Compte tenu des divers travaux de reprises en sous œuvre et de restauration des murs menés à bien en 2010, le programme de travaux ne prévoit pas de grosses interventions au niveau des protections de berge qui présentent pour la plupart un état correct.

➤ **Suppression du pont 3**

Comme évoqué dans le diagnostic hydraulique, le pont 3 présente un gabarit restreint provoquant une mise en charge précoce de l'ouvrage (estimé pour $\sim Q_{10}$).

Compte tenu de la configuration générale des voiries dans le hameau du Bettaix (présence multiple de points de franchissement), la suppression du pont 3 paraît envisageable sans créer de gros bouleversement au niveau de la circulation au sein du hameau. Le projet d'aménagement prévoit ainsi la suppression totale de l'ouvrage.

Le mode de déconstruction n'a pas été déterminé au stade de la mission AVP (sciage/levage ou grignotage depuis le lit). L'estimation des coûts est établie en prenant l'hypothèse que les matériaux à évacuer soient inertes et sans présence de pollution type amiante.

La suppression de l'ouvrage nécessitera en complément la réfection des sommets de parements au droit des appuis actuels de l'ouvrage (reprise longrine béton) ainsi que la remise en place de garde-corps.

La mise en place d'un ouvrage de franchissement en lieu et place du pont 3 destiné à un usage piéton n'a pas été étudiée et chiffrée dans le cadre de la mission. Elle reste toutefois possible sous réserve de ne pas créer d'obstacles sous le niveau des sommets de murs (bas de tablier surélevé par rapport aux berges).

➤ **Reprise du réseau AEP**

Le diagnostic met en avant la grande vulnérabilité du réseau au droit de la zone de franchissement du Doron.

Nous proposons de traiter ce point en abaissant le réseau à minima 1m75 sous le fond du lit de sorte à se prémunir des impacts en cas d'incision du lit sur ce secteur.

Les travaux nécessiteront un abaissement des regards de part et d'autre ainsi que la mise en œuvre d'une barrette en enrochements libres en couverture par-dessus la canalisation.

L'opération pourra également nécessiter la mise en place d'une vidange (création d'un point bas sur le réseau). L'ensemble des spécifications techniques en lien avec le fonctionnement du réseau seront à discuter avec l'exploitant lors de la phase PRO.

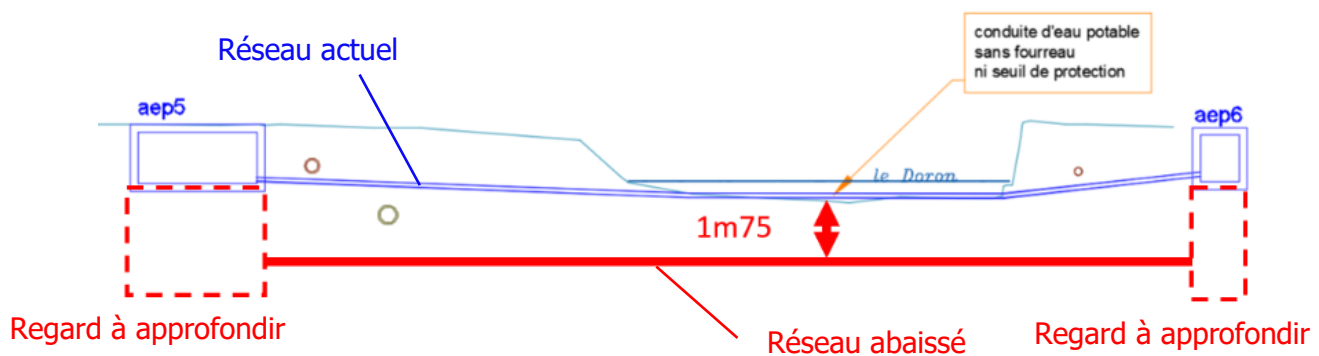


Figure 76 : Profil en travers au droit de la zone de traversée du réseau AEP

➤ Traitement de l'affouillement en aval du pont 2

Le projet intègre le traitement de l'affouillement observé en aval de la conduite présente en face aval du pont 2 **en conservant le profil en long du cours d'eau sans créer de point dur/seuil.**

Nous préconisons la mise en œuvre d'une bêche en enrochements libres sur environ 2ml de longueur en aval de la buse sur toute la largeur du lit. Le chiffrage provisionne environ 45 m³ d'enrochements à ce niveau.

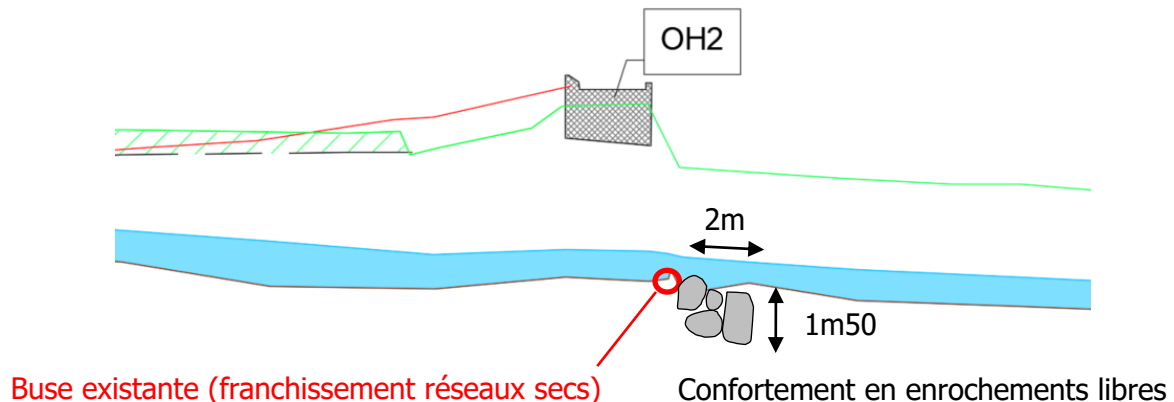


Figure 77 : Principes de traitement de l'affouillement en aval du pont 2

➤ Traitement d'une érosion de berge localisée en rive gauche (aval pont 2)

Le projet intègre le traitement de l'amorce d'érosion de berge située en aval de l'ouvrage d'entonnement du pont 2 sur la rive gauche.

Il consiste à repositionner une butée en enrochements libres en pied de berge et retaluter/réengazonner la partie supérieure de la berge le long de la zone impactée, sur un linéaire d'environ 15ml.



Figure 78 : Traitement de l'érosion rive gauche en aval du pont 2

3.4.2. Incidences hydrauliques

La suppression du pont 3 permet un gain hydraulique théorique de l'ordre de 90cm en Q100 à l'emplacement de l'ouvrage. Cette mesure permet en effet de supprimer les effets négatifs de la mise en charge sur la ligne d'eau et d'atténuer le remous hydraulique que cela provoque en amont de l'ouvrage sur environ 130m (cf. profil en long ci-dessous).

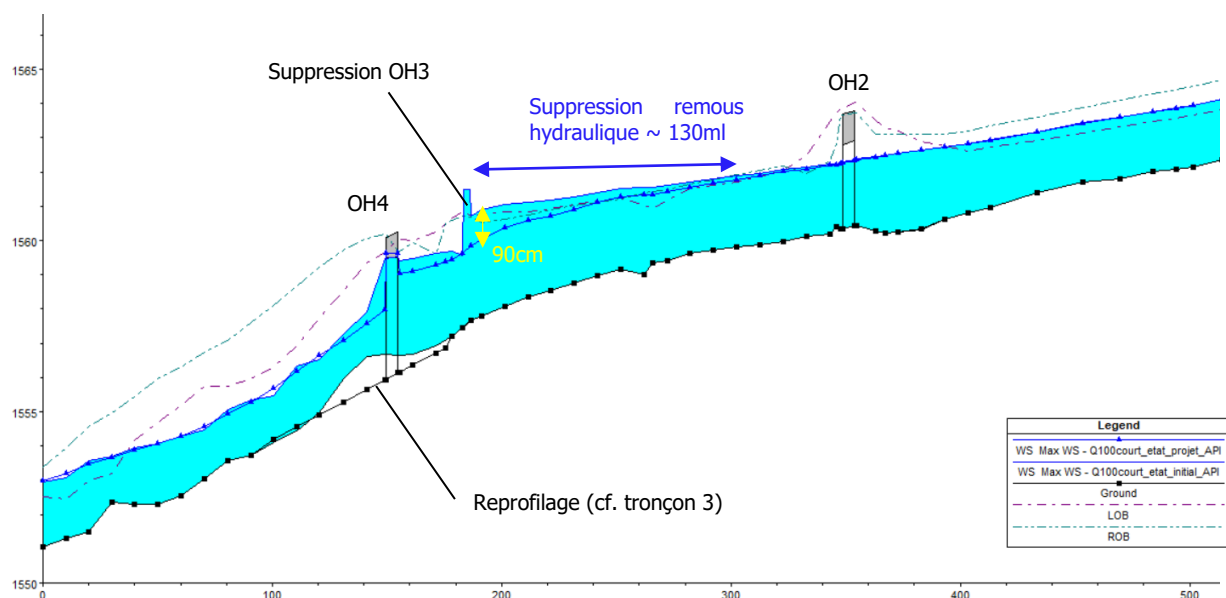


Figure 79 : Profil en long – comparatif des lignes d'eau et lignes de charge à l'état projet VS état initial pour une crue Q100 le long du tronçon 2



Figure 80 : Cartographie des débordements – état initial Q100 sans engrèvement



Figure 81 : Cartographie des débordements – état aménagé Q100 sans engrèvement

A noter que la suppression des débordements visible en rive gauche provient ici des aménagements réalisés dans le lit majeur en amont sur le tronçon 1

3.4.3. Impact réseaux

Le projet d'aménagement concerne ici directement le réseau AEP traversant sous le Doron dans le sens où il prévoit de le reprendre en totalité (tronçon de conduite le long de la traversée uniquement) dans l'optique de l'approfondir. Les principes de reprise sont explicités en partie 3.4.1.

Les autres interventions à réaliser le long du tronçon n'interfère avec aucun réseau.

3.4.4. Estimation des coûts

Le coût total des travaux sur le tronçon 2 est estimé à environ 77 000 €H . Le tableau ci-dessous récapitule les prix des différentes interventions.

A noter que l'estimation des coûts est établie en prenant l'hypothèse que les matériaux à évacuer soient inertes et sans présence de pollution type amiante (démolition du pont 3).

Synthèse estimation tronçon 2	
Chapitre	Montant estimé (€ HT)
Frais généraux	5 000.00
Travaux préparatoires	10 000.00
Démolition pont 3	18 600.00
Reprise du réseau AEP	30 000.00
Rejointement ponctuel	4 900.00
Reprise affouillement aval conduite sous pont 2	4 500.00
Reprise pied de berge rive gauche aval pont 2	4 000.00
TOTAL	77 000.00

3.5. TRONÇON 3 – EN AVAL DU PONT 3

3.5.1. Présentation des aménagements

Les aménagements projetés sur le tronçon 3 consistent principalement à reprendre le profil en long du cours d'eau sur environ 80ml au niveau du pont 4 (sans impacter le réseau EU) et à reprendre les berges sur les 2 rives plus en aval.

La solution visant à reprendre le calage altimétrique du réseau d'eaux usées traversant sous l'ouvrage 4 a été rapidement écartée compte tenu de la faible pente et de la faible couverture sur le réseau actuelle en amont du pont 4. Par ailleurs, la solution visant à décaler la zone de franchissement plus en aval (passage sous le cours d'eau) générerait un impact du réseau sur plusieurs centaines de mètres en rive droite et gauche, ce qui générerait des travaux coûteux de réseaux/voirie.

Par conséquent, la solution retenue vise à approfondir le cours d'eau au passage du pont 4.

La vue en plan générale des aménagements est présentée ci-après :

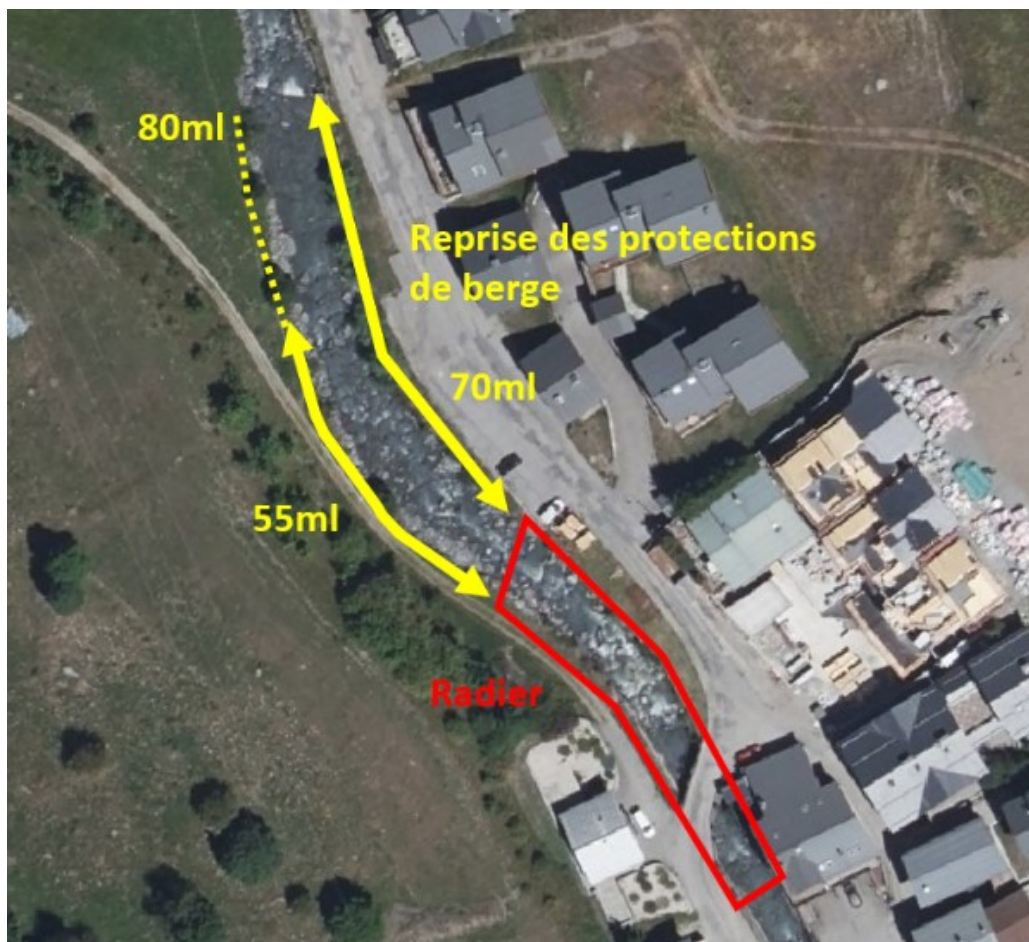


Figure 82 : Vue en plan des aménagements sur le tronçon 3

➤ Reprise du profil en long du cours d'eau

Les objectifs du reprofilage sont :

- De redonner du gabarit hydraulique au passage du pont 4, en approfondissant le fond du lit d'environ 80cm ;

- De casser la rupture de pente marquée en aval de l'ouvrage, permettant ainsi de réduire autant que possible les sollicitations sur la berge rive droite (diminution des contraintes tractrices),

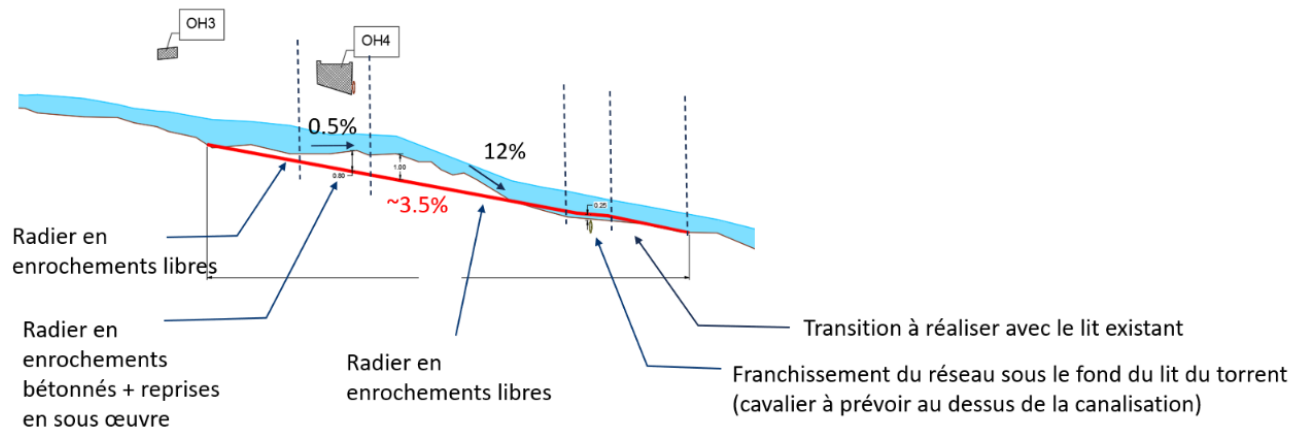


Figure 83 : Reprise du profil en long

La reprise du profil en long débute environ 15 -20 ml en amont du pont 4 et se termine au droit du franchissement du réseau de transport EU situé environ 80ml en aval. Elle consiste à créer une rampe de pente uniforme comprise entre 3.5 et 4%.

Sur ce linéaire, le projet prévoit :

- Un confortement en fond de lit visant à stabiliser le profil en long le long de la rampe. Il s'agit d'une part de réaliser un radier en enrochements libres (type rampe rugueuse) en veillant à créer une rugosité de surface et à privilégier une pose des enrochements en boutisse.

Compte tenu du contexte torrentiel et des fortes vitesses d'écoulement en jeu (de l'ordre de 5 à 6 m/s en Q100), la réalisation d'une rampe en enrochements libres n'est possible qu'en imposant une épaisseur d'enrochement minimale de 2m. Au vu des contraintes de réalisation au passage sous le pont 4 et afin de minimiser les risques d'impacter la stabilité de l'ouvrage, nous envisageons de recourir à un bétonnage des enrochements sur les 15 -20ml de traversée sous l'ouvrage, permettant de réduire l'épaisseur du radier à 1m et terrasser des fouilles moins importante.

- L'approfondissement du fond du lit et les terrassements des fouilles provisoires nécessitent une reprise en sous œuvre des murs latéraux aux abords et sous le pont 4 (cf. vue en plan). Les principes définis au stade AVP consistent à conforter au préalable les murs latéraux par une rangées de tirants, puis de descendre une paroi béton ancrée par une ou plusieurs rangées de tirants jusqu'au niveau des fond de fouille. La réalisation de cette paroi nécessitera la démolition d'une partie de la semelle existante de l'ouvrage (cf. coupe type).

L'ensemble des principes de reprise en sous œuvre nécessiteront l'avis d'un géotechnicien qualifié dans le cadre d'une mission G2PRO ainsi que la réalisation d'investigations géotechniques permettant de qualifier la nature / profondeur des fondations des murs.

- Les confortements prévus au droit des berges en aval du pont 4 sont décrits dans les paragraphes suivants.

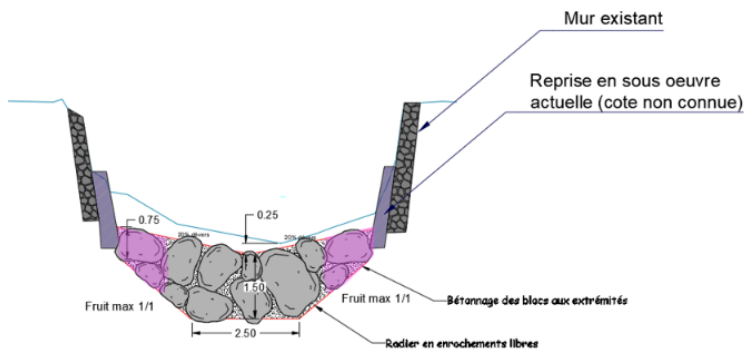


Figure 84 : Coupe type des aménagements prévus en amont du pont 4

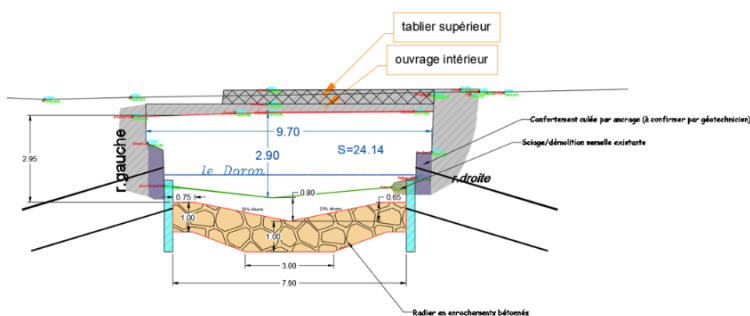


Figure 85 : Coupe type des aménagements prévus sous le pont 4

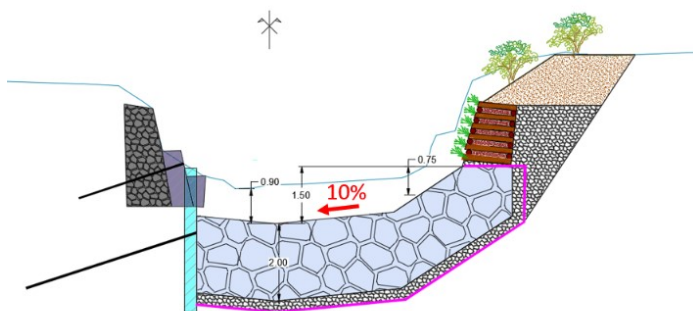


Figure 86 : Coupe type des aménagements prévus en aval du pont 4 (1/2)

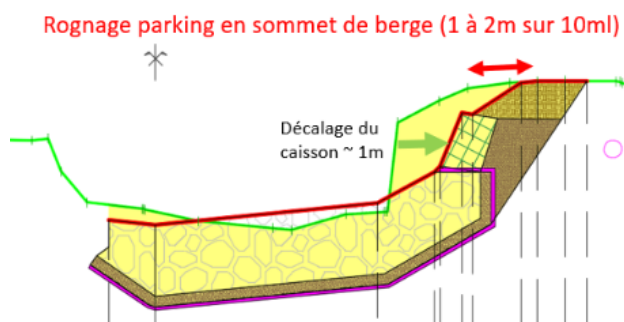


Figure 87 : Coupe type des aménagements prévus en aval du pont 4 (2/2)

Le profil en travers ci-contre illustre l'aménagement prévu sur la première partie du reprofilage (amont pont 4) sur ~ 15 -20ml.

Le fond du lit est conforté en enrochements libres sur une épaisseur de 2m avec un pendage latéral de 20% permettant de concentrer la lame d'eau au centre du lit et minimiser les profondeurs de terrassements en pied de mur. Les raccordements aux pieds de murs nécessiteront possiblement un liaisonnement des enrochements (à définir selon profondeur de la fondation des murs).

Le profil en travers ci-contre illustre l'aménagement prévu le long de la traversée sous l'ouvrage (~20ml).

Le reprofilage permet d'approfondir le fond du lit d'environ 80cm au droit de l'ouvrage.

Les confortements intègrent la création d'un radier en enrochements bétonnés ainsi que les reprises en sous œuvre évoquées précédemment.

Le profil en travers ci-contre illustre l'aménagement prévu le long du tronçon de rampe située en aval de l'ouvrage.

Le reprofilage permet d'approfondir le fond du lit de 1m au droit de la zone de rupture de pente actuelle. Le radier de fond dispose d'un pendage orienté vers la rive gauche (10% de pente) permettant de réduire les sollicitations sur la rive droite située en extrados.

En rive gauche, les principes de reprise en sous œuvre se prolongent le long du mur jusqu'au niveau de l'ancrage au sein du rocher. Le minage d'une partie du rocher contribuant à renvoyer les écoulements vers la rive gauche sera à étudier plus précisément.

En rive droite, la protection de berge est totalement reprise et consiste à mettre en œuvre un caisson végétalisé (hauteur 1m50) reposant sur une assise en enrochements libres, calé à +1m50 par rapport au fond du lit (soit environ au niveau d'eau atteint pour une crue d'occurrence >Q10). Le remplissage des caissons se fera impérativement avec des matériaux d'apport terreux et plantation d'espèces locales afin d'assurer une reprise optimisée.

Le sommet de berge est retaluté et pourra faire l'objet de plantations arbustives.



Figure 88 : Coupe type des aménagements prévus en aval du pont 4 (2/2)

La reprise de la berge rive droite vise également à élargir autant que possible le cours d'eau (contrainte réseau EU et parking en sommet de berge). Un gain de largeur de l'ordre de 1 à 2m est possible sur une partie du linéaire mais contribue à impacter un faible linéaire de parking en sommet de berge.

Le décalage du caisson au sein de la rive droite génère un impact sur une partie des places de stationnement situées en sommet de berge. La vue en plan ci-dessous indique la surface impactée en phase définitive. On estime la perte d'environ 4 places de stationnement à ce niveau.

A noter l'impact d'une surface de voirie de 150 m² en phase provisoire (entrée en terre des terrassements). Les travaux intègrent une remise en état à l'identique.

➤ Casquette d'entonnement sous le pont 4

Le reprofilage du fond du lit permet de retarder la mise en charge du pont 4 pour une crue d'occurrence trentennale. Néanmoins, la mise en charge du réseau EU pour les crues > Q30 reste une menace pour la pérennité du réseau.

Par conséquent, le projet prévoit l'aménagement d'une « casquette d'entonnement » sous le tablier de l'ouvrage, qui permettra d'éviter une mise en charge soudaine et frontale de la conduite. La casquette d'entonnement vise à équiper le dessous de tablier d'un dispositif permettant d'accompagner progressivement la ligne d'eau jusqu'au niveau du bas de la canalisation (cf. schéma ci-après). La réflexion menée au stade AVP prévoit l'installation d'une structure métallique (assemblage de tôles galvanisées) qui pourra être intégrée sous le tablier.

Ce dispositif nécessitera l'avis d'un bureau d'études structure de sorte à préciser les possibilités de fixations sous l'ouvrage ainsi que les vérifications sur les impacts potentiels en lien avec l'effet de surcharge sur la stabilité de l'ouvrage.

Par ailleurs, ce dispositif permettra de minimiser les pertes de charge sous l'ouvrage et donc d'avoir un impact positif sur la ligne d'eau. Cet impact n'a pas été quantifié par la modélisation.

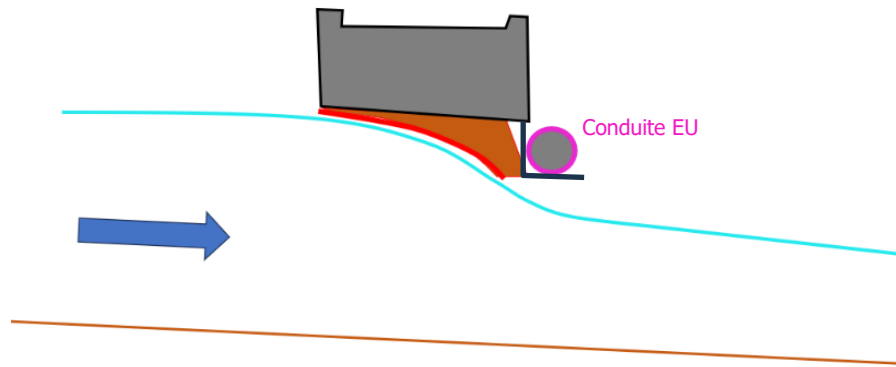


Figure 89 : Schéma de principe – casquette d’entonnement sous l’ouvrage

➤ **Franchissement du réseau EU de transport**

Comme mentionné ci avant, l'extrémité aval de la rampe vient buter contre le réseau EU qui constitue un point dur en fond de lit. Un reprofilage du lit à ce niveau n'est pas possible compte tenu de la position du réseau affleurant (enfouie de quelques cm seulement) et qui se prolonge avec une faible pente plus en aval.

Afin de ne pas risquer de déstabiliser le réseau ou d'aggraver la situation actuelle par amplification des contraintes hydrauliques, l'aménagement prévoit de réaliser un cavalier de protection au droit du réseau. Ce dernier consiste à créer une dalle béton armée au-dessus de la canalisation maintenue entre 2 butées en enrochements bétonnés (cf. coupe type ci-dessous). Cela génère une légère réhausse du fond du lit au passage sur le réseau. La dalle béton sera calée au plus proche du réseau afin d'éviter la formation d'un fond lisse.

Dans l'optique de contraindre à minima le profil en long et de se prémunir de la formation d'une « marche » / affouillement en sortie de rampe, nous préconisons la mise en place d'un tapis en enrochements de transition équipé d'une bêche sur environ 3ml.

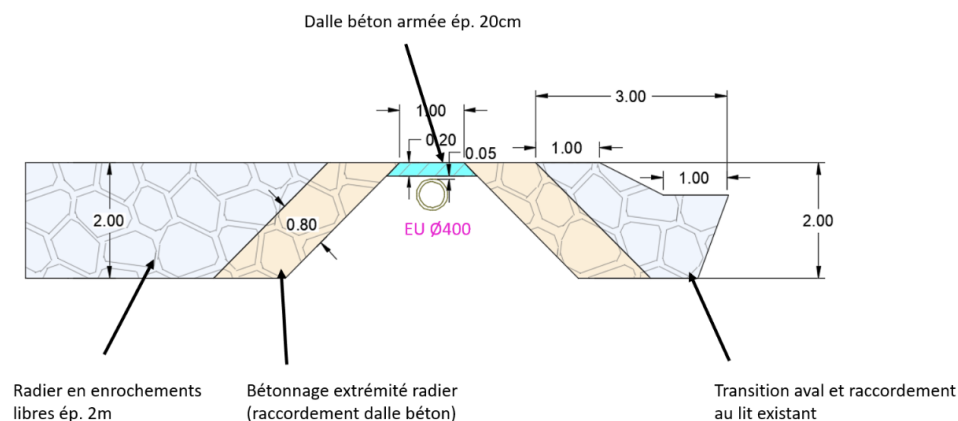


Figure 90 : Cavalier de protection au droit du franchissement du réseau EU

➤ **Prolongement des protections de berge en aval du radier**

En aval de la rampe, le projet prévoit de reprendre les protections de berges présentes sur les 2 rives du cours d'eau.

En rive droite, la protection de berge est totalement reprise et consiste à mettre en œuvre un caisson végétalisé (hauteur 1m50) reposant sur une assise en enrochements libres, calé à +1m50 par rapport au fond du lit. Le sommet de berge est retaluté et pourra faire l'objet de plantations arbustives.

Les principales caractéristiques techniques de la protection sont résumées ci-après :

- Protection en enrochements libres de gros calibres (3 – 5T) équipé d'un sabot anti-affouillement de largeur 3m et profondeur 2m.
 - o Hauteur de la protection : 1m50
 - o Fruit de la protection : variable entre 3H/2V et 1H/1V
- Mise en place d'un dispositif de filtration en arrière des enrochements (géotextile filtrant + matériaux d'assise drainants)
- Caissons végétalisés (hauteur 1m50) avec matériaux de remplissage terreux (apport de matériaux nécessaire) et plantation d'essences de saules adaptées au climat (à définir en PRO). Une cheminée drainante est à réaliser en arrière du caisson.

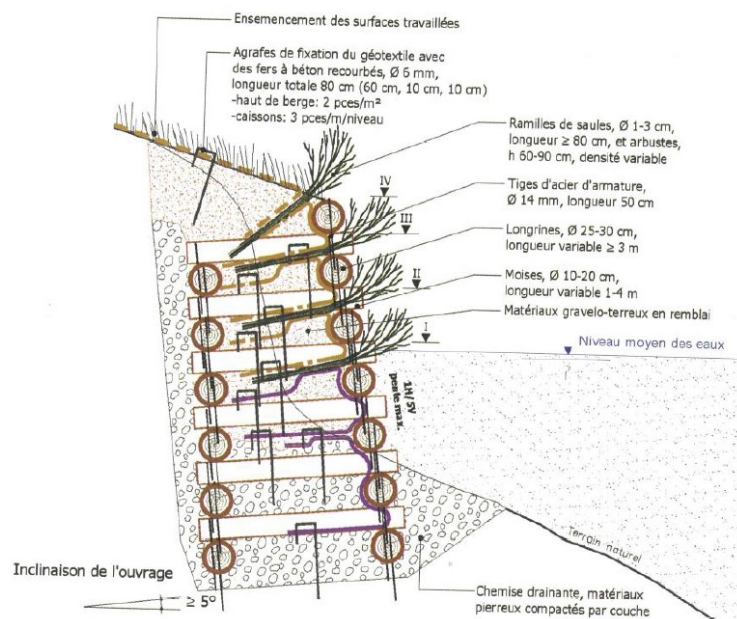


Figure 91 : Schéma de principe de mise en œuvre de caissons végétalisés

En rive gauche, la reprise de la protection de berge paraît nécessaire compte tenu de la réorientation des écoulements vers la rive gauche qui auront nécessairement un impact sur les sollicitations hydrauliques de la berge. Le linéaire concerné est de l'ordre de 60 ml environ et s'applique le long du chemin présent en sommet de berge (cf. vue en plan).

Il s'agit de conforter la berge par la mise en œuvre d'une technique mixte associant une protection en enrochements libres en pied de berge surmontée de 2 à 3 lits de plants et plançons en partie haute.

Les principales caractéristiques techniques de la protection sont résumées ci-après :

- Protection en enrochements libres de gros calibres (3 – 5T) équipé d'un sabot anti-affouillement de largeur 3m et profondeur 2m.
 - o Hauteur de la protection : 1m50
 - o Fruit de la protection : variable entre 3H/2V et 1H/1V
- Mise en place d'un dispositif de filtration en arrière des enrochements (géotextile filtrant + matériaux d'assise drainants)

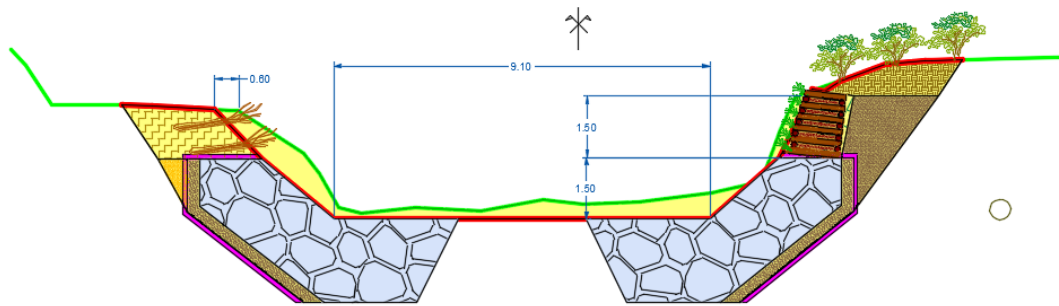


Figure 92 : Coupe type des protections de berge en rive droite et gauche en aval de la rampe

Le prolongement de la rive gauche jusqu'au niveau de la zone de régulation pourra faire l'objet de diverses plantations afin de recréer un corridor **connecté à la zone humide** (linéaire supplémentaire ~ 25ml).

3.5.2. Impact réseaux

La réalisation des aménagements n'impacte pas de réseaux. Toutefois, on notera la proximité du réseau EU en rive gauche sur une grande partie du linéaire des travaux. Cela nécessitera ponctuellement de raidir le fruit des fouilles et passera par un travail par plots réduits.

De même, les travaux sous le réseau EU (pont 4) ainsi qu'au niveau de la zone de franchissement du réseau EU en fond de lit nécessiteront une vigilance particulière des entreprises lors des terrassements à proximité du réseau. Une prise de contact avec le gestionnaire est nécessaire dès la phase PROJET avant de valider les aménagements prévus.

3.5.3. Justification du dimensionnement et incidences hydrauliques

➤ **Dimensionnement des protections de berge**

Le dimensionnement des enrochements est effectué en retenant les résultats de la modélisation hydraulique en Q100 le long du tronçon.

On retient les grandeurs hydrauliques et géométriques suivantes :

- Vitesse moyenne de l'écoulement : 4 à 5 m/s (avec des pointes à 6 m/s le long de la rampe)
- Largeur du lit : 7m
- Pente moyenne du tronçon : 4% sur la rampe et 2.8% en aval de la rampe
- Hauteur d'eau moyenne dans la section d'écoulement : 2 à 2.5m
- Diamètre moyen des alluvions D50 : 43mm (source : granulométrie étude RTM)

Le dimensionnement de la blocométrie recroise les résultats de diverses méthodes de calculs (ISBACH, CEMAGREF, MAYNORD).

Il en ressort :

Paramètres	Rampe rugueuse en enrochements	Protection en enrochements aval rampe
Profondeur d'affouillement théorique du lit	Sans objet (pavage en enrochements pleine largeur)	3m60
D50 enrochements	1.1m (poids moyen ~ 1.5T)	0.9m (poids moyen ~ 1T)
Fuseau blocométrique proposé	D10 : 0.8m (poids ~ 700kg) Dmax : 1.9m (poids ~ 6T)	D10 : 0.6m (poids ~ 400kg) Dmax : 1.5m (poids ~ 4T)
Dimension du sabot anti-affouillement retenue (ou épaisseur rampe)	Epaisseur rampe : 2m	Largeur : 3m Profondeur : 2m

➤ Résultats de la modélisation hydraulique à l'état projet

Les aménagements créés sur le tronçon 3 permettent de retarder la mise en charge du pont 4 à un événement d'occurrence trentennale.

Le gain hydraulique en Q30 s'étend sur environ 100ml en amont du pont 4 et permet un abaissement de 30 à 40cm de gain sur la ligne d'eau par rapport à l'état actuel.

Résultats Q30

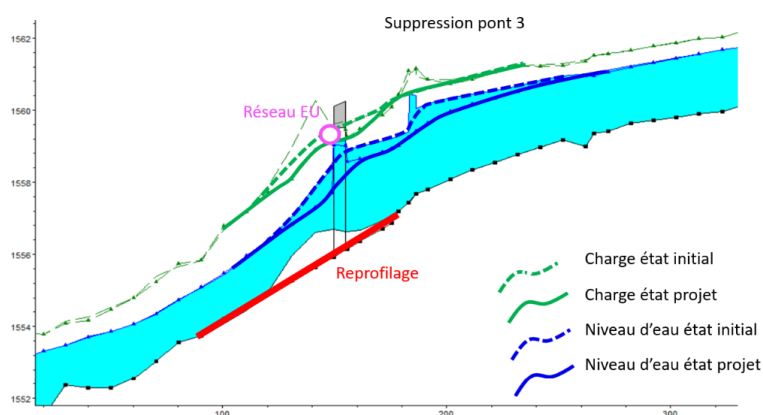


Figure 93 : Profil en long – comparatif des lignes d'eau et lignes de charge à l'état projet VS état initial pour une crue Q30 le long du tronçon 3



Figure 94 : Cartographie des débordements – état initial Q100 sans engravement



Figure 95 : Cartographie des débordements – état projet Q100 sans engravement

La reprise du profil en long et suppression de la pente à 12% permet également une nette atténuation des pics de contraintes en aval de l'ouvrage OH4. Les maximums à l'état initial approche les 700 – 800 N/m² et se cantonnent à des valeurs comprises entre 500 – 600 N/m² à l'état projet.

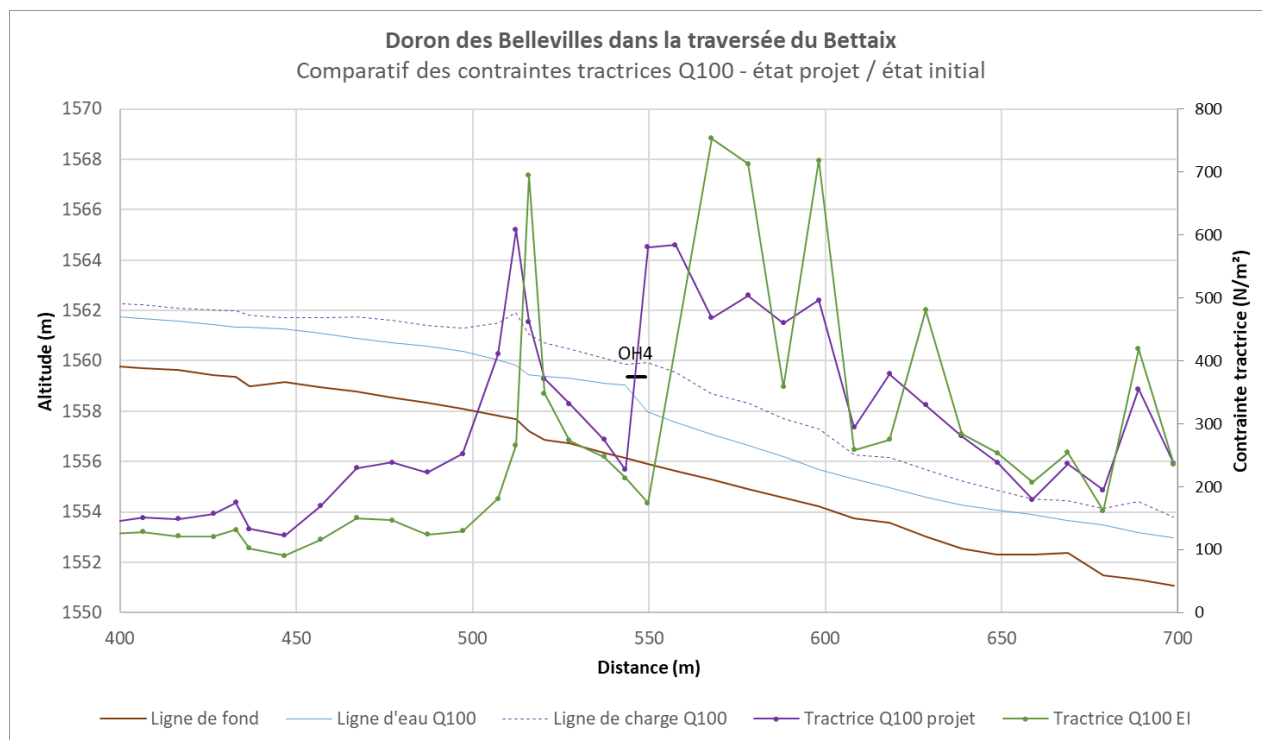


Figure 96 : Profil en long – comparatif des contraintes tractrices à l'état projet VS état initial pour une crue Q100

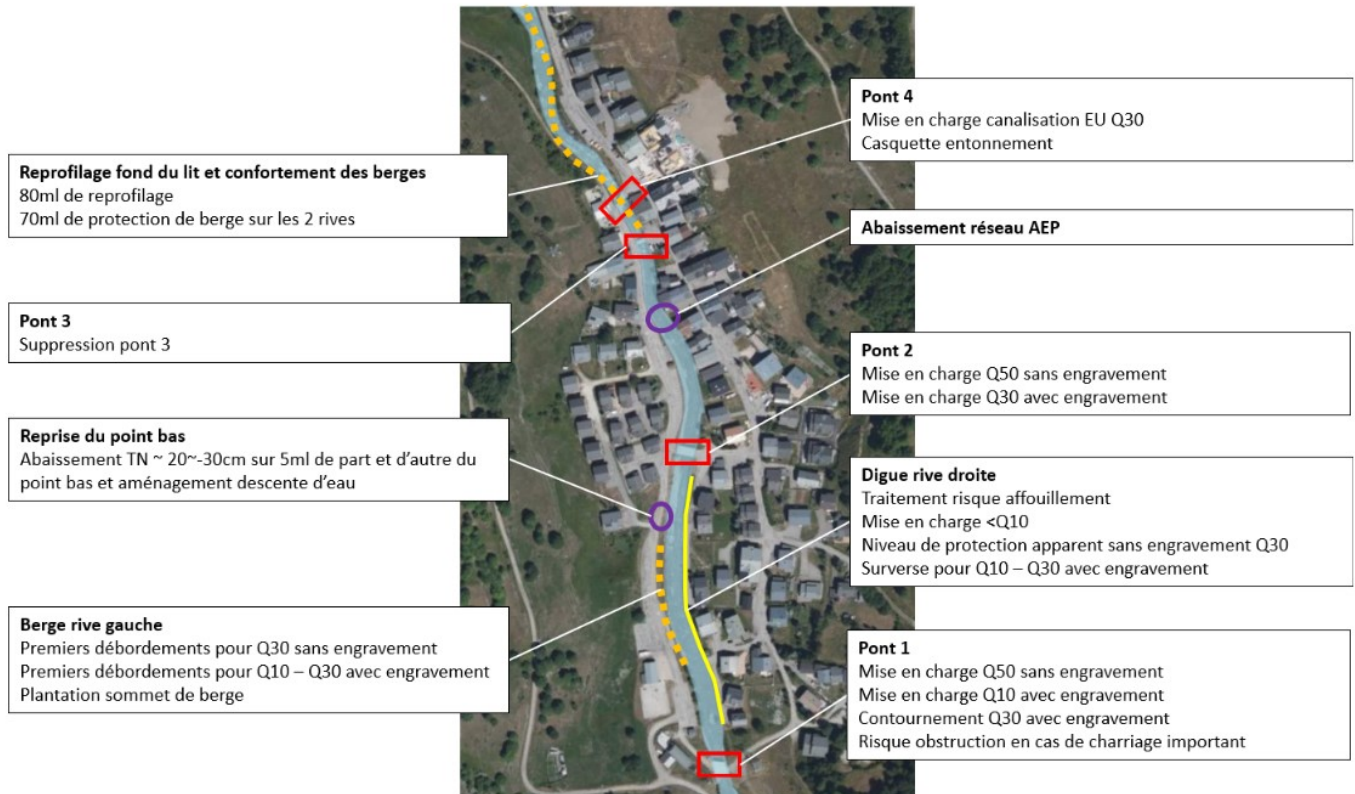
3.5.4. Estimation des coûts

Le coût total des travaux sur le tronçon 3 est estimé à environ 910 000 €HT. Le tableau ci-dessous récapitule les prix des différentes interventions.

Synthèse estimation tronçon 3	
Chapitre	Montant estimé
Frais généraux	56 200.00
Travaux préparatoires	19 200.00
Reprofilage du lit sur 80ml	492 411.00
<i>P01 au P04 (amont pont)</i>	<i>21 940.00</i>
<i>P05 au P10 (sous pont)</i>	<i>210 570.00</i>
<i>P11 au P27 (aval pont)</i>	<i>259 901.00</i>
Protection rive droite 70ml	205 100.00
Protection rive gauche 80ml	133 971.00
TOTAL	906 882.00

3.6. PERFORMANCE GENERALE DU PROJET

3.6.1. Synthèse hydraulique



Ouvrages	Niveau bas de tablier (mNGF)	Début de mise en charge (ligne de charge)	Revanche bas de tablier sur ligne de charge			
			Q10	Q30	Q50	Q100
OH1	1666.53	57 m³/s (~Q50)	74 cm	27 cm	(en charge)	(en charge)
OH2	1562.65	61 m³/s (~Q50+)	57 cm	25 cm	4 cm	(en charge)
OH3	1560.28	31 m³/s (~Q10)	(en charge)	(en charge)	(en charge)	(en charge)
OH4	1559.35 (tablier)	42 m³/s (~Q30) Q30 – Q50	20 cm sur cana EU	Début de mise en charge cana EU	(en charge)	(en charge)
	1558.93 (conduite EU)	34 m³/s (~Q10) ~Q30			(en charge)	(en charge)

Suppression de l'ouvrage

3.6.2. Prise en compte des enjeux environnementaux

Les linéaires de berges / sommet de berges revégétalisés sont mentionnés sur le plan ci-dessous. Par ailleurs, le projet permet une amélioration sensible de la continuité écologique au niveau du pont 4 compte tenu de la suppression du tronçon de lit à 12% de pente.

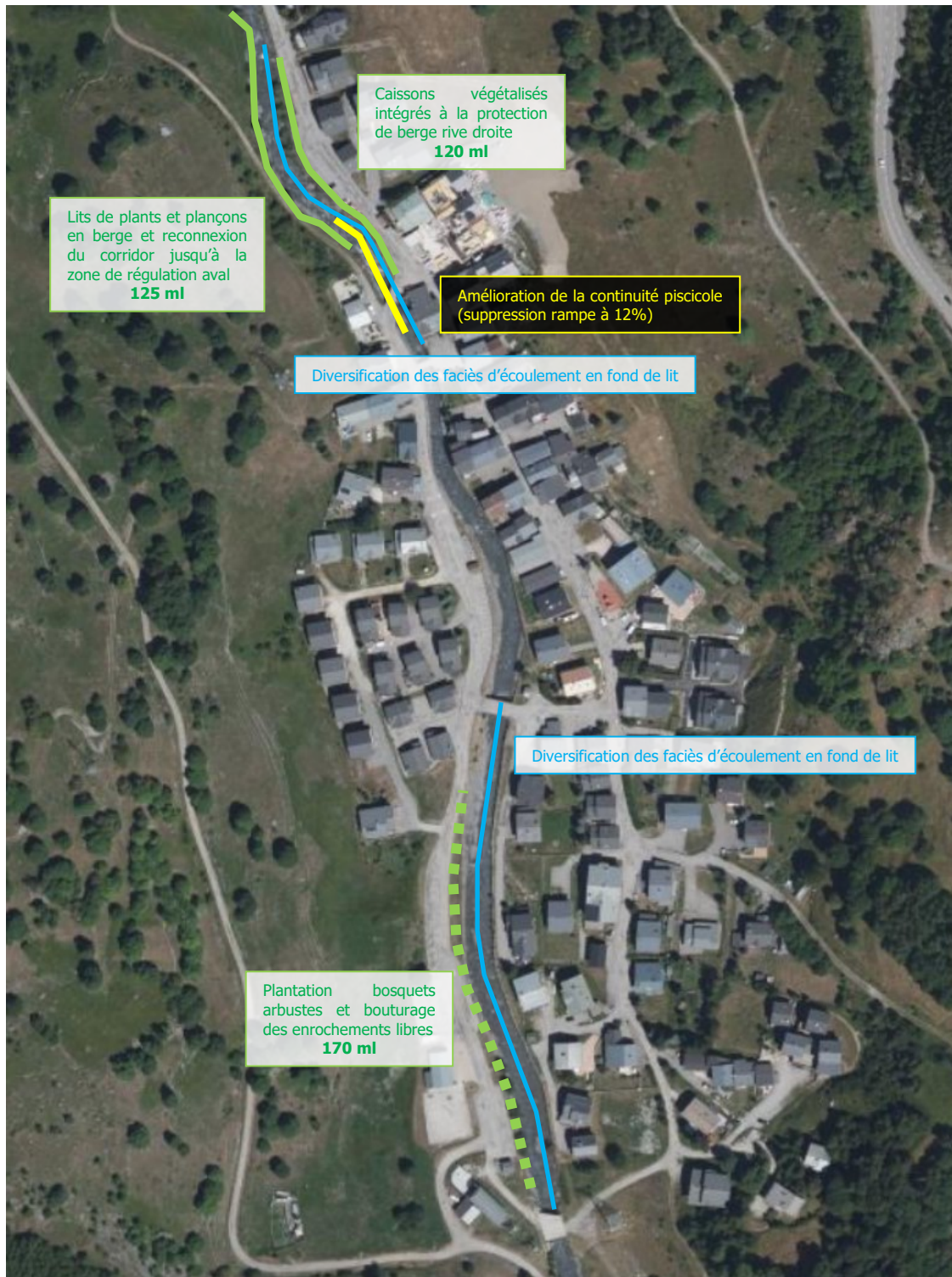


Figure 97 : Vue en plan des zones revégétalisées dans le cadre du projet

3.7. GESTION DES DEBORDEMENTS EN CAS DE CRUE DEPASSANT LE NIVEAU DE PROTECTION

3.7.1. Moyens de prévision des crues et de surveillance des niveaux d'eaux

Les crues du Doron des Belleville sont généralement caractérisées par une montée des eaux rapides et peuvent être associées à des phénomènes météorologiques très localisés et difficilement prévisibles. La notion d'anticipation des crues est donc très délicate et nécessite une grande réactivité des communes afin de pouvoir gérer efficacement ces situations de crise.

Il pourrait intéressant de pouvoir faire le lien avec les pluviomètres du domaine skiable situés sur le bassin versant du Doron de sorte à pouvoir anticiper autant que possible une montée des eaux au sein du hameau et gagner de précieuses minutes dans la gestion de crise.

Une station de mesure FlowCapt est présente en versant SUD (combe du pluviomètre) sur les hauteurs de Val-Thorens (soit environ 7km en amont de la zone d'étude en suivant le cheminement hydrologique du cours d'eau). Cette station permet d'avoir un suivi sur les cumuls de pluie en temps réel et pourrait être utilisée dans une logique de surveillance de montée des eaux.

Le suivi de ces données laisserait cependant une fenêtre de temps limitées de l'ordre de une à deux heures.

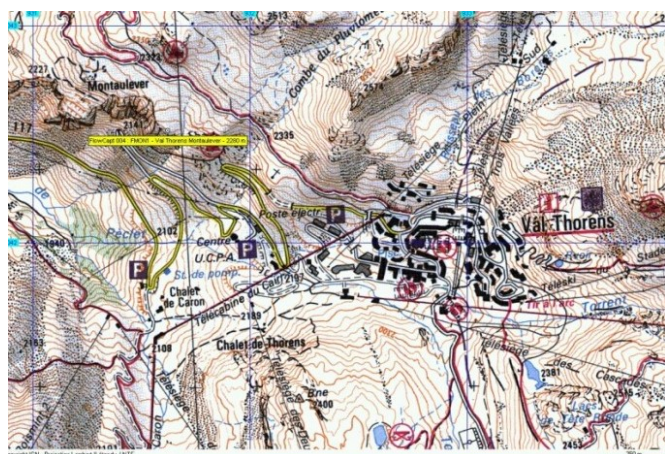


Figure 98 : Localisation de la station de mesure FlowCapt

Par ailleurs, le cours d'eau est équipé d'une station hydrométrique (DREAL) permettant de mesurer une hauteur d'eau et interpoler cette valeur en débit. Cette station se situe sous le pont n°1 en entrée du hameau du Bettaix, il est donc difficile de réellement compter sur cette station pour anticiper une crue. Cependant, il pourrait être pertinent de définir un seuil d'alerte qui, couplé aux observations faites sur les pluviomètres du bassin versant, déclencherait un schéma de gestion de crise au sein du hameau.

Enfin, les niveaux d'alertes concernant les phénomènes Pluie-Inondation et Orages émis au sein des bulletins de prévisions météo à l'échelle du massif peuvent également être intégrés au schéma de surveillance et d'information des habitants du hameau. Par exemple, par le biais d'une alerte SMS en cas de vigilance Orange et pouvant déclencher une évacuation du hameau en cas de vigilance Rouge.

	(ORANGE : niveau 3) : Soyez très vigilant ; des phénomènes météorologiques dangereux sont prévus ; tenez-vous au courant de l'évolution météorologique et suivez les conseils émis par les pouvoirs publics.
	(ROUGE : niveau 4) : Une vigilance absolue s'impose ; des phénomènes météorologiques dangereux d'intensité exceptionnelle sont prévus ; tenez-vous régulièrement au courant de l'évolution météorologique et conformez-vous aux conseils ou consignes émis par les pouvoirs publics.

Figure 99 : Niveau de vigilance météorologique



Figure 100 : Localisation de la station de mesure de débits (pont n°1)

3.7.2. Gestion des débordements

Nous prenons ici l'exemple d'une crue centennale avec engravement.

Les débordements se produisent sur les 2 rives et impactent une grande partie des habitations du hameau. Dans ce contexte torrentiel, et compte tenu de la fenêtre de temps réduite pour passer à l'action à partir du moment où le seuil d'alerte a été dépassé, il nous semble difficilement envisageable de mettre en place des moyens visant à rediriger les écoulements au sein du hameau (du type batardeaux amovibles ou autres dispositifs) de sorte à limiter la vulnérabilité de tel ou tel enjeu.

Nous identifions les leviers d'action suivants :

- Information de la situation de crises aux habitants (alerte SMS, alerte sonore ?) et évacuations des habitations les plus vulnérables
- Déplacement des enjeux mobiles sur des zones dédiées (détaillé dans le PCS ?)
- Favoriser le retour des écoulements dans le lit vif

En rive gauche, les débordements sont redirigés en direction du lit majeur par le biais du point bas aménagé dans le cadre du projet (cf. 3.3.1).

En rive droite, les débordements commencent par contourner la digue par l'amont et se propagent ensuite le long des voiries internes au hameau. Le retour des écoulements vers le lit vif se fait en aval du pont n°2. Cependant, les terrains restent globalement situés légèrement plus bas que le sommet de mur rive droite, ce qui ne favorise pas le retour naturel des écoulements vers le cours d'eau.

Il pourra être pertinent de recréer quelques cunettes/reprofilages permettant que rediriger naturellement les écoulements vers le lit vif. Ces dernières resteront toutefois inefficaces au moment du pic de crue.

3.8. INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Comme mentionné dans le rapport, plusieurs points nécessitent d'être investigués plus en détail afin d'étoffer cette étude avant-projet et de minimiser les incertitudes techniques.

❖ Investigations géotechniques à réaliser au droit du pont 4

Elles doivent permettre de préciser le niveau de fondations de l'ouvrage ainsi que les différentes épaisseurs de semelles/murs latéraux attenants à l'ouvrage. L'objectif final étant de pouvoir dimensionner les dispositifs de soutènements et confortements adéquats à mettre en œuvre au droit de l'ouvrage lors des travaux de terrassements et réalisation du radier en enrochements.

La teneur des investigations sur l'ouvrage reste à préciser. Il pourra être préconisé :

- ➔ Sondages pressiométriques permettant de caractériser les terrains à proximité de l'ouvrage
- ➔ Sondages carottés permettant de préciser le niveau de fondation des murs existants
- ➔ Sondages à la pelle mécanique depuis le fond du lit ?

Une étude G2PRO permettra de valider/préciser les dispositions établies lors de l'AVP.

❖ Etude structure – casquette entonnement pont 4

Comme mentionné ci-avant, la réalisation de la casquette d'entonnement sous le pont 4 nécessitera une étude d'un BE structure/GC visant à :

- ➔ Dimensionner la future structure ainsi que les ancrages / dispositifs de fixation sur le tablier de l'ouvrage
- ➔ Étudier les impacts de la casquette sur l'ouvrage (surcharge)

3.9. ESTIMATIONS DES COUTS – SYNTHESE GLOBALE

Synthèse estimation des coûts par tronçons	
Tronçon 1	522 290.00
Frais généraux	51 000.00
Travaux préparatoires	16 000.00
Reprise digue rive droite - 200ml	432 780.00
Reprise point bas rive gauche	6 500.00
Reprise enrochements rive gauche (50% du linéaire) et plantations	16 010.00
Tronçon 2	77 000.00
Frais généraux	5 000.00
Travaux préparatoires	10 000.00
Reprise réseau AEP	30 000.00
Suppression pont 3	18 600.00
Reprise affouillement et pied de berge localisé	13 400.00
Tronçon 3	906 882.00
Frais généraux	56 200.00
Travaux préparatoires	19 200.00
Reprofilage du lit	472 411.00
Casquette entonnement	20 000.00
Protection rive droite 70ml	205 100.00
Protection rive gauche 80ml	133 971.00
TOTAL	1 506 172.00

4. DEROULEMENT DES TRAVAUX

4.1. PERIODE DE REALISATION DES TRAVAUX

La durée prévisionnelle des travaux est d'environ 3 mois pour l'ensemble des secteurs (dont 1 mois de préparation).

La réalisation des travaux en lit mineur est soumise à un arrêté loi sur l'eau, autorisant les travaux jusqu'au 30/09.

Selon le graphique des débits moyens mensuels observés à la station hydrométrique du Bettaix, il serait préférable de ne pas commencer les travaux avant le mois d'Août.

Ceci induit une réalisation des travaux jusqu'à fin Octobre, ce qui nécessite une dérogation par rapport à la Loi sur l'Eau.

A noter que les travaux pourront également faire l'objet de plusieurs tranches afin d'échelonner leur réalisation sur plusieurs années.

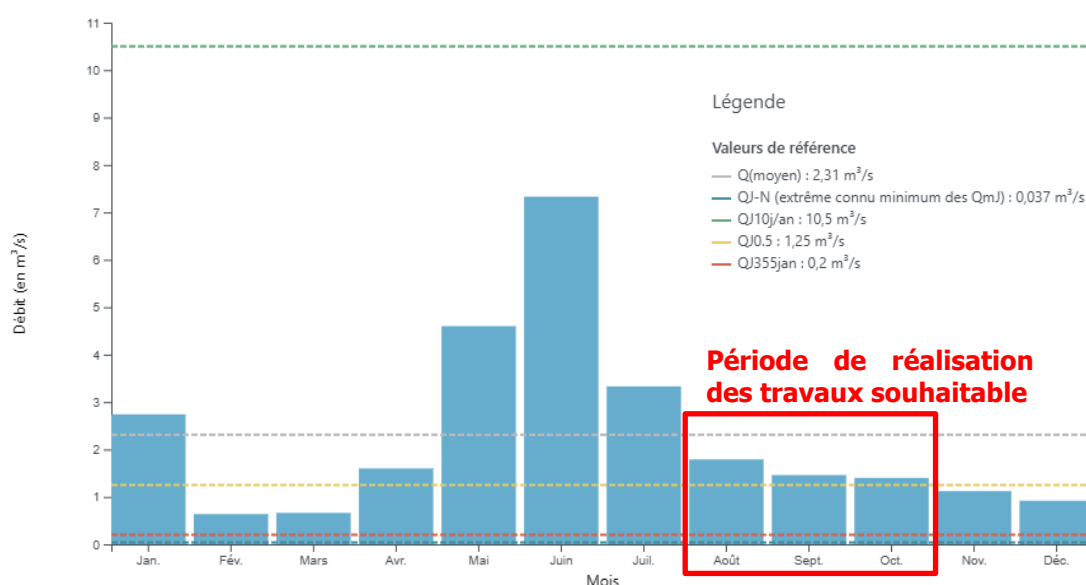


Figure 101 : Débits moyens mensuels observés à la station hydrométrique du Bettaix W024401101

4.2. ACCES TRAVAUX

Plusieurs accès possibles sont proposés au stade AVP et devront faire l'objet de validation de la part de la commune. Les accès envisagés sont figurés sur la vue en plan ci-dessous :



Figure 102 : Positionnement des accès et pistes de chantier envisagées

A noter que le cheminement en rive droite aura un impact temporaire sur des parcelles privées. Il sera nécessaire de prendre un temps de concertation avec les riverains concernés afin d'obtenir les autorisation de passage.

4.3. DERIVATION DES EAUX

Les travaux devront être effectués hors eau pour avoir des conditions de travail satisfaisantes. Un dispositif de dérivation des eaux est prévu dans le marché intégrant toute protection contre la dégradation par des crues. L'entreprise devra prendre toutes les dispositions pour respecter le libre écoulement des eaux du cours d'eau.

Les travaux concernant la réalisation de la rampe seront réalisés par demi-largeur de lit, ils nécessiteront un basculement des eaux d'une rive à l'autre.

La construction et le bon fonctionnement des dispositifs provisoires de détournement des eaux doivent permettre un maintien hors eau des travaux en lit mineur **jusqu'à 15 m³/s** (débit moyen journalier dépassé moins de 1% du temps).

4.4. MESURES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Au stade AVP du projet, il est envisagé de mettre en place plusieurs mesures pour limiter les impacts et permettre un bilan d'incidences résiduelles faible. Ces mesures sont présentées dans les paragraphes suivants. Celles-ci seront affinées au cours de la phase PRO.

4.4.1. Mesures de prévention des risques de pollution :

Le risque de pollution concerne principalement les machines de travaux et les infrastructures de stockage d'engins et matériaux installées dans l'emprise projet. Dans le but de prévenir le risque de pollution des habitats naturels, les recommandations suivantes seront appliquées :

- Les bases chantiers doivent être installées à l'écart des secteurs écologiquement sensibles, du cours d'eau et des zones inondables ;
- Tous les engins de chantiers et les véhicules du personnel doivent être bien entretenus et justifier d'un contrôle technique récent. L'étanchéité de leurs réservoirs et de leurs circuits de conduction de liquides (huile, liquide de refroidissement, carburant) doit être contrôlée régulièrement ;
- Les zones de stockage des huiles et hydrocarbures à destination des engins de chantiers doivent être étanches et confinées au sein d'une plateforme étanche ou d'un container étanche ;
- Les opérations d'entretien, de vidange ou de réparation des engins de chantier doivent être réalisées au niveau d'emplacements aménagés spécialement pour cette fonction (délimités, imperméabilisés), à l'écart de la zone de travaux. Les eaux de ruissellement issues de ces emplacements doivent être collectées puis traitées. Tous les produits de vidange doivent être collectés et évacués le plus rapidement possible à l'aide de cuves étanches vers des installations de traitement agréées ;
- Les matériaux et substances non naturelles issues des opérations de travaux doivent être collectés et pas rejetés dans le milieu naturel ;
- Les engins de chantiers et les installations de stockage d'huile et d'hydrocarbures doivent être mis en défend.

La gestion des eaux sanitaires issues de la base vie dépend du raccordement de cette dernière au réseau de collecte des eaux usées. Si la base vie est déconnectée du réseau des eaux usées, la base vie devra être équipée en installations sanitaires autonomes reliées à des cuves de stockage des effluents. Ces cuves doivent être contrôlées et vidangées régulièrement.

La gestion des déchets issus du chantier sera à la charge et sous la responsabilité des entreprises attributaires des travaux. Elles seront responsables de la collecte, du tri et de l'évacuation des déchets générés lors de la phase de travaux. Les entreprises de travaux devront notamment respecter les dispositions suivantes :

- L'organisation de la collecte et du tri des déchets en fonction de leur nature et de leur toxicité ;
- Le conditionnement et le transport des déchets dans des conditions hermétiques ;
- La définition d'une aire de stockage temporaire des déchets ;
- La sensibilisation des équipes intervenant sur le chantier.

Des précautions devront également être prises pour limiter le départ de matières en suspension dans le cours d'eau. En cas de pompages, l'eau chargée sera décantée avant rejet dans le cours d'eau par un dispositif de filtration/décantation.

Les bétonnages seront effectués hors d'eau afin de limiter l'écoulement des laitances de ciment. Il pourra être préconisé d'utiliser un béton colloïdale.

4.4.2. Mesures de réduction

- **MR1 : Optimisation spatio-temporelle des travaux :**

Afin de réduire le risque de destruction et le dérangement du projet sur les espèces à enjeu pouvant se reproduire dans la zone d'étude, les travaux devront être réalisés en dehors des périodes les plus sensibles correspondant à la période de reproduction des espèces qui ont un enjeu notable dans la zone d'étude.

Pour réduire le risque de dérangement et de destruction d'individus des espèces de l'avifaune présentes dans la zone d'étude, **les travaux devront être réalisés entre septembre et janvier inclus**. L'entretien de la végétation durant l'exploitation devra également éviter les périodes de reproduction de l'avifaune.

Pour réduire le risque de dérangement et de destruction d'individus des chiroptères lors de la destruction des ponts, ceux-ci **devront être détruits entre septembre et mi-octobre**, à la suite de la pose des nichoirs. Un écologue devra réaliser un passage préventif afin de s'assurer de l'absence de chiroptères dans les fentes.

4.4.3. Mesures d'accompagnement

- **MA1 : Remise en état du site**

L'intégralité des pistes et plateformes de chantier seront remises en état conforme à l'état des lieux dressé dans le diagnostic avant travaux.

Une fois le chantier terminé, l'ensemble des engins seront retirés. Les surfaces de sol compactées par les engins ou les installations de chantier seront décompactées.

- **MA2 : Stockage d'éléments favorables à la faune terrestre**

La mesure consistera à stocker des éléments favorables à la faune terrestre (reptiles, amphibiens, insectes...). Les matériaux laissés sur le site seront inertes, ce qui fera donc l'objet d'un protocole de vérification de ces derniers lors du chantier. Ces derniers seront composés de bois et de pierres issus du chantier avec la présence d'ouvertures non colmatées qui constitueront des zones de pontes et de refuge, notamment pour les reptiles vis-à-vis des prédateurs. Des tuyaux, gouttières ou tuiles pourront être installés afin de faciliter la présence d'ouvertures sur l'extérieur.

De plus ces aménagements pourront être utilisés par certaines espèces terrestres pendant l'hiver, comme la Grenouille rousse, pour supporter de basses températures et lutter contre le gel.

Il est prévu de créer 5 zones favorables à la faune terrestre qui feront environ 5 m³. Ces aménagements seront mis en place au niveau des milieux les moins favorables à la faune terrestre, connectés aux milieux environnants (lisières, zones humides) et à proximité des chemins pour faciliter la réalisation de ces derniers, ce qui permettra d'augmenter l'attractivité de ces milieux pour la faune terrestre.

- **MA3 : Restauration et revégétalisation des milieux rudéraux présents dans la zone d'étude**

En fin de chantier, la terre végétale stockée sera reprise et régalée à la surface des terrains remodelés, des bords de cours d'eau et des zones rudérales visées pour la revégétalisation.

L'opération de végétalisation proprement dite fera appel à la technique de végétalisation par semis hydraulique. La végétalisation sera réalisée dès les terrassements terminés (automne/hiver), avec un éventuel second passage au printemps en fonction de la repousse. Les mélanges de semis intégreront le Géranium des bois, plante hôte de l'Azuré des Géraniums, pour créer des zones favorables à cette espèce à enjeu.

- **MA4 : Végétalisation des enrochements**

Les enrochements seront végétalisés avec des espèces locales afin de fournir des milieux favorables pour l'avifaune et l'entomofaune et pour limiter le développement des espèces invasives. La localisation des zones végétalisées sera affinée en PRO (notamment au droit des tronçons digues et à adapter le long du parcours de pêche). La végétalisation joue un rôle important dans le renforcement de la stabilité de l'ouvrage en réduisant la vitesse du courant près de la berge et en stabilisant le sol situé sur ou entre les enrochements. Elle aide également à capturer les sédiments. Les tiges et racines qui s'entrelacent autour des blocs renforcent également la structure de l'enrochement.

- **MA5 : Restauration d'une continuité écologique**

La végétalisation des enrochements et la revégétalisation des bords du cours d'eau pourront contribuer à la restauration d'un corridor écologique le long du cours d'eau appelé « ripisylve ». La ripisylve joue un rôle essentiel sur le plan écologique (diversité floristique/ faunistique) et permet de consolider les berges contre l'érosion naturelle.

- **MA6 : Mesures de prévention à l'introduction et la dissémination d'EvEE**

Une unique EvEE a été observée sur le site : le Berce du Caucase.

En vue de prévenir la propagation de cette espèce et l'introduction d'autres EvEE lors de la phase travaux, les prescriptions suivantes seront appliquées :

- Sensibilisation de tout le personnel intervenant sur le chantier ;
- Nettoyage de tout matériel entrant en contact avec une EvEE avant leur sortie de la zone de travaux (pneus, chenilles godets, pelles, griffes, équipements personnels) ;
- Limitation maximale de l'utilisation de matériaux extérieurs à la zone d'étude, notamment les terres végétales et remblais. Utilisation de matériaux extérieurs uniquement traités au préalable ;
- Mise en place d'un suivi spécifique EvEE par un écologue compétent avant, pendant et après les travaux. Ce suivi ciblera en priorité les zones ayant fait l'objet d'interventions et aura pour objet l'évaluation de l'évolution des populations d'EvEE. En fonction des constatations effectuées, des mesures de traitement et d'éradication peuvent être proposées.

Concernant la Berce du Caucase, un arrachage ponctuel pourra être réalisé avec une vigilance importante vis-à-vis de son pouvoir photosensibilisant.

- **MA7 : Valorisation et protection de la zone humide**

La zone humide identifiée au nord de la zone d'étude est une prairie humide, c'est-à-dire un habitat humide d'intérêt communautaire présentant un enjeu local de conservation.

Cette zone humide accueille notamment une espèce d'amphibiens présentant un enjeu patrimonial, la Grenouille rousse, qui s'y reproduit.

Cette zone humide représente un écosystème fonctionnel, d'importance pour la biodiversité. Des supports pédagogiques pourront être installés afin de sensibiliser, informer le public sur les enjeux écologiques des zones humides et la biodiversité associée. Ces panneaux pourront également permettre d'éviter d'éventuelles dégradations.

- **MA8 : Favorisation des ponts pour les chiroptères**

Les ponts sont des potentiels gîtes pour les chiroptères. L'un d'eux va être détruit tandis que les autres vont subir des modifications structurelles. Les aménagements prévus permettront de favoriser l'accueil des chiroptères.

D'une manière générale, des creux, des trous et des fissures seront favorables aux chiroptères.

- **MA9 : Diversification piscicole**

Le projet a également pour but d'améliorer l'habitabilité piscicole et le diversifier (en visant la truite fario) sur des faciès de radiers plats et plats courants trop homogènes.

Des blocs d'enrochements sur l'ensemble du linéaire des travaux seront mis en place (hors contraintes fortes hydrauliques), dans lit ou en pied de berge. L'objectif est d'enrichir la diversité des habitats en densifiant les blocs et/ou en agrandissant le linéaire sur lesquels des blocs ont déjà été implantés.

- **MA10 : Installation de nichoirs à avifaune et chiroptères**

Espèces et/ou habitats ciblés : avifaune et chiroptères arboricoles/cavernicoles

Afin de limiter la potentielle destruction d'habitats de l'avifaune nichant en milieu arboré/arbustif et de chiroptères forestiers, il est proposé d'installer des nichoirs pour les oiseaux cavernicoles et des gîtes pour les chiroptères fréquentant les arbres à cavités. Le nombre et le positionnement de ces gîtes et nichoirs est à définir précisément en fonction des surfaces d'habitats impactés.

Au vu des impacts potentiels pressentis, cinq nichoirs à avifaune et cinq gîtes à chiroptères pourraient ainsi être installés.

4.4.4. Mesures de suivi

- **MS1 : Suivi des travaux par un écologue**

Un suivi doit être réalisé par un opérateur compétent (écologue) que le maître d'ouvrage doit missionner en interne ou auprès d'un organisme compétent comme un bureau d'études. Les missions principales du responsable de veille environnementale sont :

- Accompagnement de l'entreprise dans le positionnement du balisage de mise en défens des zones à fort enjeu écologique (ME2) ;
- Vérification de l'absence de reptile, d'amphibiens et d'œufs d'Azuré des Géraniums (ME2) ;
- Vérification de l'absence de chiroptères dans les fentes des ponts avant les travaux (MR1) ;
- Accompagnement de l'entreprise dans le positionnement des habitats favorables à la faune terrestre (MA2) ;
- Le contrôle de l'introduction et de la propagation d'EvEE sur le site des travaux (MA6) ;
- Accompagnement de l'entreprise dans le positionnement des nichoirs à chiroptères sous les ponts (MA10).

- **MS2 : Suivi écologique post-travaux**

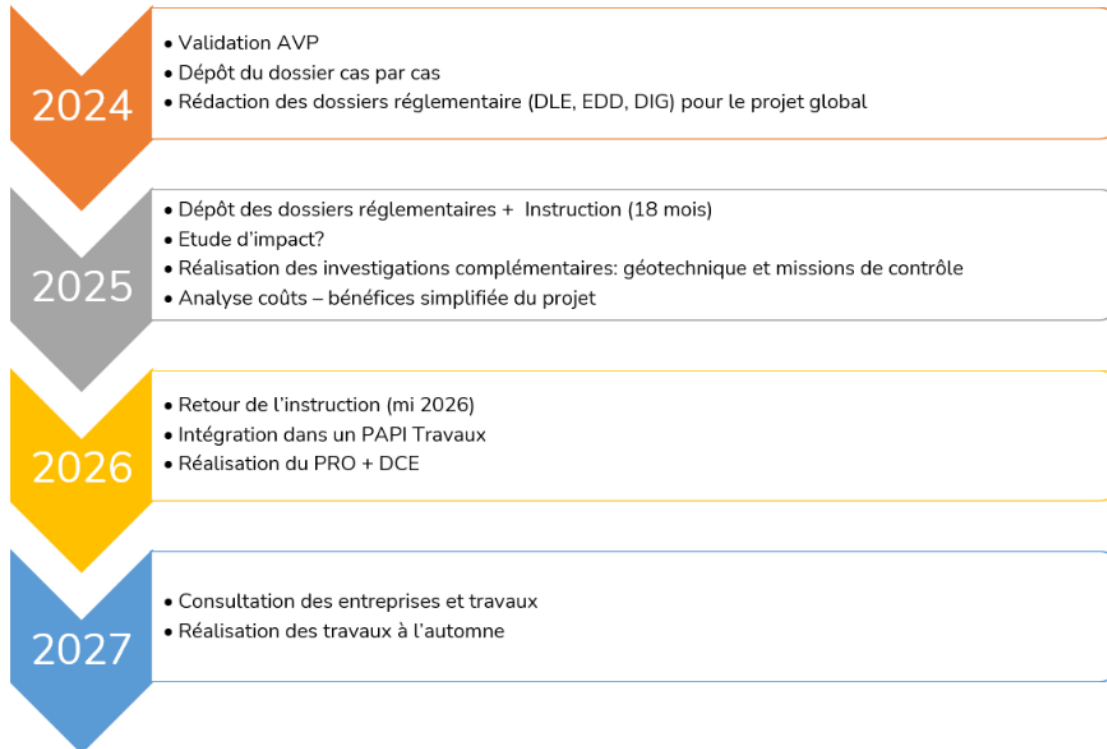
Afin de vérifier la bonne intégration des travaux dans leur environnement et la bonne recolonisation des milieux remaniés par la faune et la flore, un suivi général de la faune et de la flore sera réalisé sur l'emprise de la zone d'étude.

Ce suivi, réalisé par des opérateurs compétents (écologues) selon des protocoles de prospection adaptés, permettra entre autres :

- D'observer l'évolution de la flore et des habitats à enjeu ;
- D'observer l'évolution des populations d'Espèces végétales Exotiques Envahissantes ;
- D'observer l'évolution des populations animales à enjeu du site (avifaune, mammifères, reptiles, amphibiens, invertébré)

5. PERSPECTIVES

Les perspectives de planning validées en COPIL sont mentionnées ci-après :



NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

UNE EXPERTISE DE L'EAU COMPLETE ET UN ACCOMPAGNEMENT SUR MESURE

Rivières, lacs et torrents

Prévention, prévision, protection, gestion du risque inondation,
Expertise post crue, gestion de crise.
Gestion sédimentaire.
Réalisation d'ouvrages de protection des biens et des personnes
(Barrages, digues, ouvrages de franchissement).

Environnement et écologie

Renaturation & valorisation des cours d'eau et milieux associés.
Développement durable.
Protection des milieux.
Continuité écologique.

Réseaux

Production, stockage & distribution d'eau potable.
Assainissement & épuration des eaux usées.
Gestion des eaux pluviales.
Conception et gestion des aménagements
D'irrigation et d'enneigement.

Topographie

Topographie de rivières, de réseaux.
Récolement.

Contact :
contact@hydretudes.com
www.hydretudes.com



Flashez et visitez notre site

Saint-Pierre
de la Réunion

