



**val vanoise**  
communauté de communes

# COMMUNAUTE DE COMMUNES VAL VANOISE

Le torrent du Bonrieu à Bozel

## Restauration de la confluence et de la continuité écologique

Phase 2 – Propositions d'aménagements

Réf : CEAUCE182839 / REAUCE04170-02

JL / ATR

30/01/2020



**GINGER**  
BURGEAP




## COMMUNAUTE DE COMMUNES VAL VANOISE

### Le torrent du Bonrieu à Bozel

#### Restauration de la confluence et de la continuité écologique

Ce rapport a été rédigé avec la collaboration de :

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Validation Nom / signature
Rapport	05/11/2019	01	J. LALLIAS 	J. LALLIAS 	A. TRIGANON 
Rapport	30/01/2020	02	J. LALLIAS 	J. LALLIAS 	A. TRIGANON 

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CEAUCE182839 / REAUCE04170-02
Numéro d'affaire :	A48103
Domaine technique :	BV04
Mots clé du thésaurus	AMENAGEMENT TORRENTIEL HYDRAULIQUE TORRENTIELLE TRANSPORT SOLIDE PAR CHARRIAGE CONTINUITE BIOLOGIQUE

BURGEAP Agence Centre-Est • Bâtiment A "Hermès" - 2, rue du tour de l'eau  
 38400 Saint-Martin-d'Hères  
 Tél : 04.76.00.75.50 • Fax : 04.76.00.75.69 • [burgeap.grenoble@groupeginger.com](mailto:burgeap.grenoble@groupeginger.com)

## SOMMAIRE

Introduction .....	4
1.1 Contexte de l'étude .....	4
1.2 Périmètre d'étude .....	4
2. Présentation de la démarche .....	6
2.1 Enjeux sur le périmètre d'étude .....	6
2.2 Identification des éléments dimensionnants .....	9
2.2.1 Contraintes identifiées .....	9
2.2.2 Opportunités identifiées .....	11
2.2.3 Références hydrologiques .....	11
3. Proposition d'aménagements .....	12
3.1 A. Restauration de la continuité biologique .....	12
3.2 B. Aménagement du Bonrieu .....	20
3.3 C. Aménagement des berges du Doron .....	34
3.4 D. Aménagement d'une connexion piétonne .....	38
4. Synthèse .....	42

## FIGURES

Figure 1 : Localisation du périmètre d'étude .....	5
Figure 2 : Contraintes d'aménagement .....	10
Figure 3 : Répartition des débits moyens mensuels au droit de la prise d'eau (cote 1 406 m NGF) et de l'usine (904 m) (GAY Environnement, 2015) .....	11
Figure 4 : Profil en long du Bonrieu et continuité biologique .....	13
Figure 5 : Principe de restauration de la continuité biologique au droit du seuil OH2 .....	15
Figure 6 : Schéma de principe du réaménagement de la confluence .....	18
Figure 7 : Illustration de la modification du profil en long permise par la suppression du seuil de prise d'eau (OH7) .....	21
Figure 8 : Illustrations des principes de reprise du pavage .....	25
Figure 9 : Vue d'ensemble de l'implantation des protections de berges (ETRM) .....	30
Figure 10 : Confluence Malfosse / Durance en amont de Briançon (ETRM) .....	31
Figure 11 : Vue en plan de la confluence Malfosse / Durance en amont de Briançon (ETRM) .....	32
Figure 12 : Localisation des protections de berges du Doron en aval de la confluence .....	35
Figure 13 : Coupe type de la protection le long du Doron (ETRM) .....	36
Figure 14 : Localisation du projet de passerelle .....	39
Figure 15 : Exemple de passerelle himalayenne sur la Romanche à Livet et Gavet (SYMBHI) .....	39
Figure 16 : Exemple de passerelle himalayenne sur la Romanche à Livet et Gavet (SYMBHI) .....	40

## ANNEXES

Annexe 1. Expertise des ouvrages du lit dans la traversée du village de Bozel (RTM)

## Introduction

### 1.1 Contexte de l'étude

Le Bonrieu est un cours d'eau aménagé, traversant le centre bourg de Bozel. L'ensemble du chef-lieu de Bozel est construit sur le cône de déjection du Bonrieu.

Le Bonrieu draine un bassin versant au pied du Mont Jovet de 16,4 km<sup>2</sup>. Ces terrains dégradés ont conduit à la formation de puissantes laves torrentielles dont celle, catastrophique, de 1904. Depuis, les endiguements successifs sur le cône de déjection ne permettent plus le dépôt des matériaux charriés. En cas de lave torrentielle, les conséquences pourraient être très importantes (inondation, érosion, dépôts massifs en milieu urbain, etc.).

Par ailleurs, le torrent du Bonrieu (FRDR10614) est classé en liste 2 au titre de l'article L.214-17 du Code de l'Environnement, de sa confluence avec le Doron de Bozel au pont de la RD 915. Suite à l'enfoncement progressif du Doron et à l'endiguement du Bonrieu sur sa section aval, la confluence avec le Bonrieu se retrouve perchée : une chute d'un peu moins d'un mètre de haut (très sélective pour la remontée des jeunes stades truite fario) s'est constituée.

Ainsi, plusieurs ouvrages aménagés doivent faire l'objet d'une réflexion quant à l'amélioration de leur franchissabilité piscicole.

Aussi, la commune de Bozel a le projet de construire un parking (et une passerelle traversant le Doron) sur la zone de confluence Bonrieu / Doron de Bozel afin de connecter la zone de stationnement à la gare de téléporté projetée à court terme à proximité de la centrale hydroélectrique.

La Communauté de Commune Val Vanoise a commandé au groupement BURGEAP – ETRM une prestation visant à étudier les problématiques et proposer les aménagements associés.

**L'objectif de la présente étude est d'établir un avant-projet combinant les diverses problématiques hydromorphologiques (transport solide et risques hydrauliques) et écologiques du site ainsi que le projet de développement urbain de la commune de Bozel (parking et passerelle) afin de concevoir un projet global concerté.**

La présente étude se décompose en trois parties :

- PHASE 1 – Diagnostic hydraulique et hydromorphologique du Bonrieu ;
- PHASE 2 – Etude de scénarios d'aménagements de restauration ;
- PHASE 3 – Etude Avant-projet du scénario retenu.

**Le présent document constitue le rapport de Phase 2.**

### 1.2 Périmètre d'étude

Suite au premier devis établi, le périmètre d'étude a évolué de manière à couvrir une zone plus étendue. Le périmètre d'étude définitif est donc défini comme suit.

- Le **torrent du Bonrieu** qui s'étend entre le seuil de l'ancienne prise d'eau, situé en amont du pont de la RD 89, et sa confluence avec le Doron (0,400 km). Pour les problématiques de transport solide et de lave torrentielle, le périmètre d'étude sera élargi au bassin versant afin de considérer les apports solides amont.
- La **zone de confluence** et le terrain en friche qui doivent faire l'objet de l'aménagement du parking communal ;

- Les **ouvrages hydrauliques** (seuils) suivants :
  - OH1 - Confluence (ROE52158). Bien qu'il ait été inventorié au Référentiel des Obstacles à l'Écoulement (ROE), il ne s'agit pas d'un seuil artificiel mais plutôt d'une configuration naturelle dégradée par l'érosion du lit du Doron (incision) qui rend la confluence difficilement franchissable en l'état.
  - OH2 - Seuil non référencé dans le ROE situé 70 m en amont de la confluence ;
  - Seuils de la RD 915 constitués de 3 ouvrages distincts :
    - OH3 - Seuil de la rampe aval (ROE76851) ;
    - OH4 - Rampe sous le pont de la RD 915 (non référencée au ROE) ;
    - OH5 - Seuil amont de la RD 915 (ROE76852) ;
  - OH6 - Rampe de la RD 89<sup>1</sup> (non référencé au ROE) ;
  - OH7 - Seuil de l'ancienne prise d'eau<sup>2</sup> (non référencé au ROE).

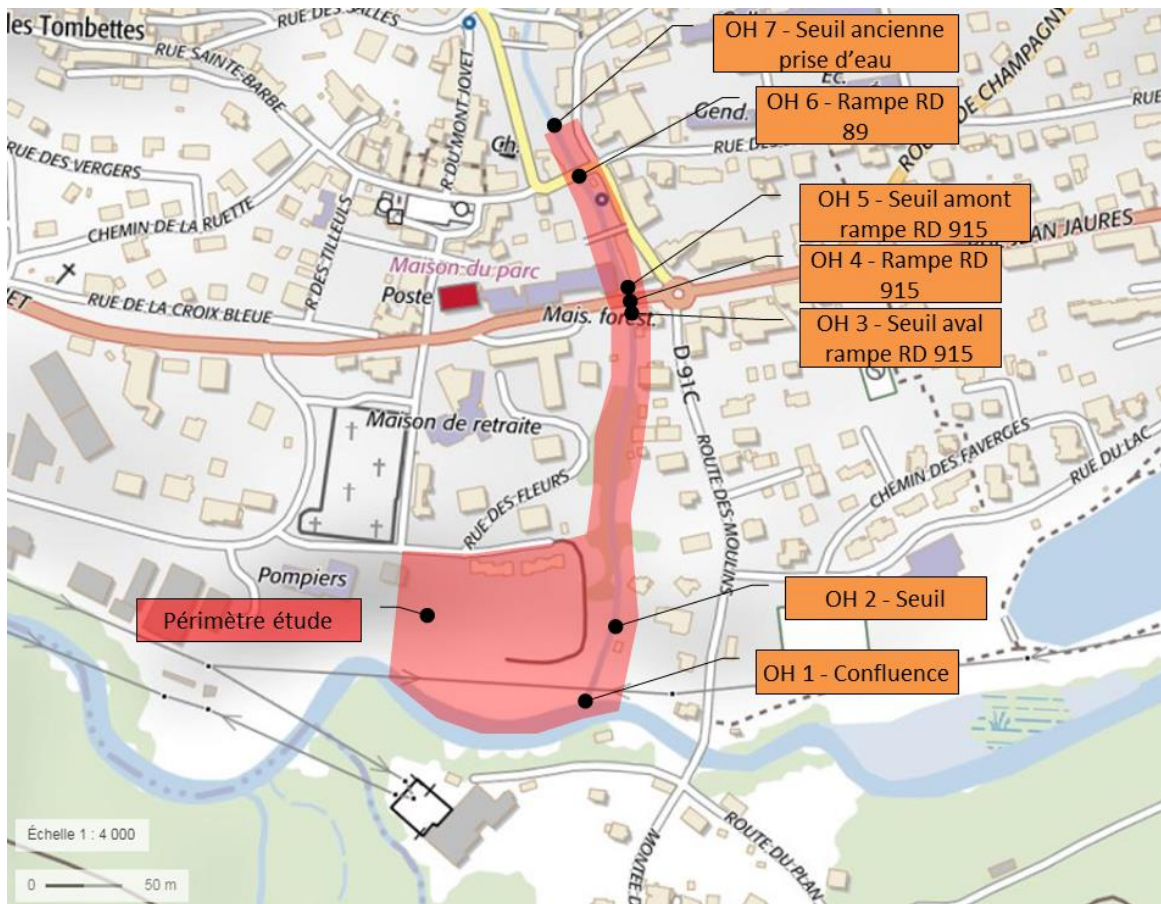


Figure 1 : Localisation du périmètre d'étude

<sup>1</sup> Ouvrage ne faisant pas l'objet d'une étude de scénarios d'aménagements (hors classement Liste II)

<sup>2</sup> Ouvrage ne faisant pas l'objet d'une étude de scénarios d'aménagements (hors classement Liste II)

## 2. Présentation de la démarche

### 2.1 Enjeux sur le périmètre d'étude

Les différents enjeux identifiés lors du diagnostic (phase 1 – REAUCE03674-01) sont les suivants :

- **Risques hydrauliques** – compte tenu de sa position sur le cône de déjection du Bonrieu, le village de Bozel est particulièrement exposé aux risques hydrauliques : d'une part à l'origine du Bonrieu, et d'autre part à l'origine du Doron (périmètres vulnérables différents).
- **Crue avec charriage**. Les calculs réalisés par SOGREAH, en retenant un débit centennal de 19 m<sup>3</sup>/s, montrent que la revanche au droit des ouvrages et sommet de berges/digues est très confortable. Si le débordement paraît très improbable avec le charriage torrentiel, l'affouillement du lit et des berges constitue le risque le plus important pour un tel écoulement. Sur le Doron, le constat est similaire. L'encassement du lit au droit de la confluence empêche tout débordement en crue centennale (à l'exception du bâtiment abandonné en rive gauche du Doron face à la confluence).



**Affouillement du pavage entre les ponts de la RD 89 et de la RD 915**



**Faible hauteur du pont de l'Eglise (RD 89 – ETRM)**



**Affouillement sous le mur rive gauche en amont du pont de la RD 915**

- **Lave torrentielle.** Le volume estimé d'une lave torrentielle pourrait atteindre 100 000 m<sup>3</sup>. Dans ces circonstances, quatre ouvrages critiques ont été identifiés dans la traversée de Bozel :
  - Le pont de Bellegarde, peu élevé et étroit qui pourrait favoriser un débordement en rive droite sur une large superficie en cas de lave torrentielle peu fluide ;
  - Passerelle de Bellegarde trop basse et dans une zone à pente réduite ;
  - L'ancienne prise d'eau (OH7) qui réduit la pente en amont et qui favoriserait les débordements de part et d'autre ;
  - Le Pont de l'Eglise (RD 89), présentant une faible hauteur et suffisamment solide pour arrêter un bloc et favoriser le débordement.

Les autres ouvrages de franchissement restent néanmoins très sensibles en terme de dimensionnement et ne permettraient pas le passage d'un évènement similaire à celui de 1904 sans dommages.

A la confluence, la très forte pente du Doron (5,8 %) permet un remarquable étalement de la lave vers l'aval et la limitation de l'ampleur des dépôts à la confluence, sous réserve que la section soit suffisante au niveau du changement de direction. Les incidences à la confluence seraient donc plus spectaculaires que dommageables compte tenu de l'absence d'enjeux identifiés sur ce périmètre en cas de crue / lave torrentielle.

- **Affouillement / sapement.** Plusieurs ouvrages ont été identifiés de dégradés sur le Bonrieu en raison d'affouillements : rampe en fond de lit affouillée en de multiples secteurs entre le pont de l'Eglise et le pont de la RD 915, pied de bâtiment rive gauche en aval immédiat du seuil OH5, affouillement du pied du seuil OH2.
- **Glissement de terrain / érosion.** Ces risques ont été clairement identifiés par SOGREAH qui illustre sur les cartes de zones inondables les possibilités d'érosions et/ou de glissements de berges tout le long de la Z.A. en rive droite du Doron, constitués pour majeure partie de remblais non stabilisés. Notre vision de terrain confirme ce constat. Sur le Bonrieu, la majeure partie du linéaire de berges a également été modifiée par des remblaiements ponctuels en aval de la RD 915.

#### • Ecologique

- **Continuité biologique.** Le Bonrieu est classé en Liste II au titre de l'article L.214-17 du Code de l'Environnement, entre sa confluence avec le Doron et le pont de la RD 915 (0,280 km). Sur cette emprise, plusieurs ouvrages – ou configuration de lit – rendent la continuité biologique difficile voire impossible et empêchent la colonisation du Bonrieu par les espèces piscicoles du Doron.
  - OH1 – confluence. Il ne s'agit pas d'un ouvrage artificiel mais davantage d'un contexte morphologique hérité de l'incision du lit du Doron. La très forte pente locale (14,35 % sur les 25 derniers mètres de cours d'eau) et les chutes associées (0,50 à 0,80 m de hauteurs entre les blocs) rendent la confluence difficilement franchissable.
  - OH2 – Seuil de stabilisation du lit. Cet ouvrage est difficilement franchissable du fait de la présence d'une chute verticale au pied de l'ouvrage (affouillement du lit en aval).
  - OH3 – aval pont de la RD 915. Cet ouvrage stabilise l'aval du pavage artificiel du Bonrieu dans la traversée du village. Il est totalement infranchissable en l'état.
  - OH4 – pavage sous le pont de la RD 915. Cet ouvrage est légèrement dégradé et difficilement franchissable compte tenu de la faible rugosité de surface de l'ouvrage et de la pente élevée (10,1 %).
  - OH5 – amont pont de la RD 915. Ce seuil est en partie démantelé et difficilement franchissable.

En amont de cet ouvrage (hors classement Liste II), deux autres aménagements historiques sont totalement infranchissables : le pavage de fond de lit (OH6) qui s'étend sur 115 m entre OH5 et OH7 avec une pente moyenne de 12,1 %, et l'ouvrage OH7 d'une hauteur de 2,67 m totalement infranchissable également.



**Confluence Bonrieu – Doron (OH1) illustrant la franchissabilité très difficile en raison de la forte pente (BURGEAP)**



**Seuil de stabilisation du lit OH2 difficilement franchissable en raison de l'affouillement aval (BURGEAP)**

- **Invasives.** La Renouée du Japon est très abondante à la confluence Bonrieu – Doron. Elle est évidemment présente sur tous les secteurs qui ont été remaniés (terrassements, dépôt de matériaux, charriage sédimentaire). Elle constitue un enjeu dans le sens où son risque de propagation peut être sensible en phase travaux.



**Massif de Renouée du Japon au droit de OH2 (BURGEAP)**



**Massif de Renouée du Japon à la confluence Bonrieu – Doron (OH1 – BURGEAP)**

## 2.2 Identification des éléments dimensionnants

L'identification des contraintes d'aménagements et des opportunités permettent de prendre la mesure du champ des possibles en terme d'ambition d'aménagement.

### 2.2.1 Contraintes identifiées

Les différentes contraintes identifiées en terme d'aménagement et de mise en œuvre des travaux sont mentionnées ci-après (Figure 2). Ne sont indiqués que les réseaux dans l'emprise du périmètre d'étude à proximité du lit du Bonrieu.

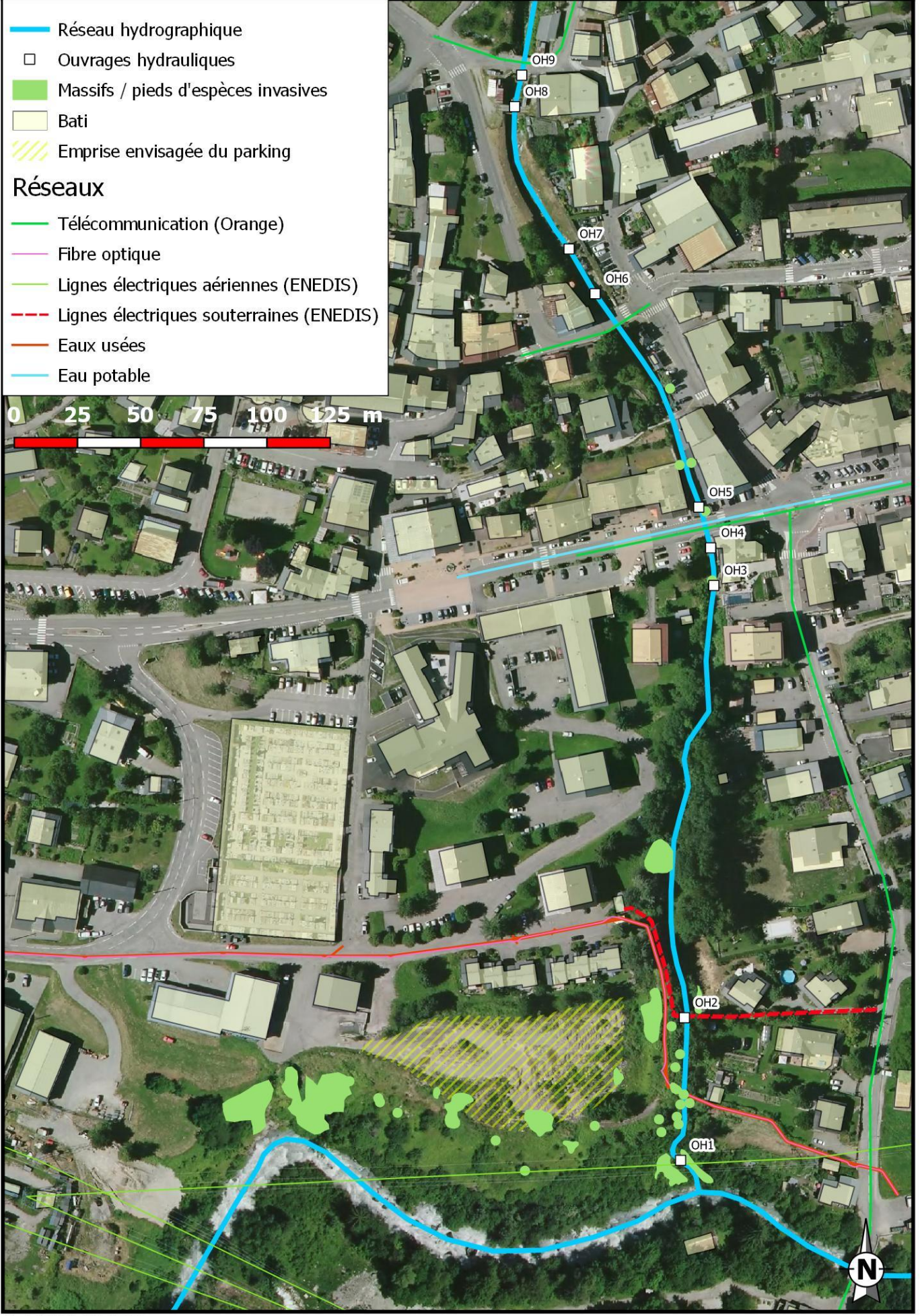
- L'emprise disponible pour les travaux dans le lit du Bonrieu dans la traversée du village de Bozel est relativement réduite. Peu de largeur de lit et une hauteur des berges / digues conséquente qui nécessitera des modalités interventions particulières et spécifiques.
- Les contraintes topographiques (pente du lit) sont élevées (>10%), notamment pour les aménagements piscicoles qui nécessiteraient des pentes d'ouvrages inférieures pour être franchissables.
- Réseaux enterrés et aériens. Une demande de Déclaration de Travaux a été réalisée le 23/10/2019 pour compléter les éléments connus (visibles sur terrain) et les éléments obtenus auprès de la mairie de Bozel sur l'implantation du réseau d'eaux usées. L'implantation des réseaux identifiés sont les suivants :
  - **Eaux usées** (SIAV) : deux canalisations de diam. 250 mm franchissent le Bonrieu sous le lit entre OH2 et la confluence à la cote 834,57 m NGF (génératrice supérieure), soit sous environ 1,10 m sous le fond du lit. Le franchissement n'est pas protégé. Des enrochements ont néanmoins été déstabilisés en berge.
  - **Fibre optique** (Orange) : Elle franchit le lit du Bonrieu au même niveau que les eaux usées. Un tuyau métallique situé au-dessus du fond du lit a été constaté lors de la visite de terrain en 2018. Nous ne pouvons dire s'il s'agit de ce réseau ou d'un autre réseau non utilisé.
  - **Transport d'électricité** (ENEDIS) : En dehors des lignes électriques aériennes visibles sur l'ensemble du périmètre d'étude, des réseaux souterrains ont été identifiés sur le secteur aval du Bonrieu. Un poste électrique est aménagé au bout de la rue des Fleurs, duquel partent deux fourreaux diam. 200 mm qui franchissent le lit du Bonrieu au niveau du seuil OH2 (ouvrage de protection du réseau).
  - **Eau potable** : le réseau traverse le Bonrieu dans le pont de la RD 915 ;
  - **Télécommunication** : le réseau téléphonique franchit plusieurs fois le Bonrieu dans les ouvrages de franchissement : RD915, RD89 et pont de Bellegarde.

**L'implantation commune des réseaux souterrains dans la digue située en rive droite du Bonrieu entre le poste électrique et la confluence constitue une très forte contrainte compte tenu de la nature des réseaux considérés.**

- Espèces végétales invasives présentent sur la majeure partie du périmètre des travaux.
- Contraintes relatives à la qualité / nature des sols.
  - Les terrains situés sur les berges du Bonrieu sont localement constitués de remblais et de matériaux non stabilisés facilement érodables. C'est notamment le cas en aval rive droite du pont de la RD 915.
  - Les terrains au droit de la zone remblayée (en lieu et place du projet de parking) semblent être constitués de matériaux tout venants, de matériaux de déconstruction et de déchets localisés. La qualité physico-chimique des terrains n'est pas connue mais nécessiterait des investigations préalablement aux aménagements. Ce diagnostic serait davantage nécessaire pour le projet de parking que pour le projet de restauration (situé hors emprise des zones de remblais).

**Contraintes d'aménagements**

- Réseau hydrographique
  - Ouvrages hydrauliques
  - Massifs / pieds d'espèces invasives
  - Bati
  - Emprise envisagée du parking
- Réseaux**
- Télécommunication (Orange)
  - Fibre optique
  - Lignes électriques aériennes (ENEDIS)
  - Lignes électriques souterraines (ENEDIS)
  - Eaux usées
  - Eau potable



## 2.2.2 Opportunités identifiées

L'emprise foncière disponible (depuis l'ouvrage OH2 jusqu'à la confluence) pour le projet est conforme et permet d'envisager des aménagements de dimensionnement suffisant.

## 2.2.3 Références hydrologiques

Pour rappel, les références hydrologiques en crue au niveau de l'exutoire du bassin versant (confluence avec le Doron) sont les suivantes :

- Crue décennale : 9 m<sup>3</sup>/s ;
- Crue centennale : 19 m<sup>3</sup>/s.

L'hydrologie de basses et moyennes eaux est extraite de l'étude d'impact pour la création de la microcentrale hydroélectrique (GAY Environnement, 2015). Les valeurs ont été calculées au droit de la prise d'eau (1 406 m) et de l'usine (904 m), située en amont immédiat du village. Compte tenu de la position de notre périmètre d'étude, nous pouvons retenir les mêmes valeurs que celles présentées au droit de l'usine (Figure 3).

Ainsi, nous retiendrons les valeurs suivantes :

- Etiage : 0,110 m<sup>3</sup>/s ;
- Module : 0,447 m<sup>3</sup>/s.

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
QMM à la prise d'eau (m <sup>3</sup> /s)	0,210	0,107	0,222	0,470	0,742	0,596	0,423	0,324	0,185	0,161	0,184	0,214	0,320
QMM à l'usine (m <sup>3</sup> /s)	0,293	0,150	0,310	0,656	1,036	0,832	0,591	0,452	0,258	0,225	0,257	0,299	0,447

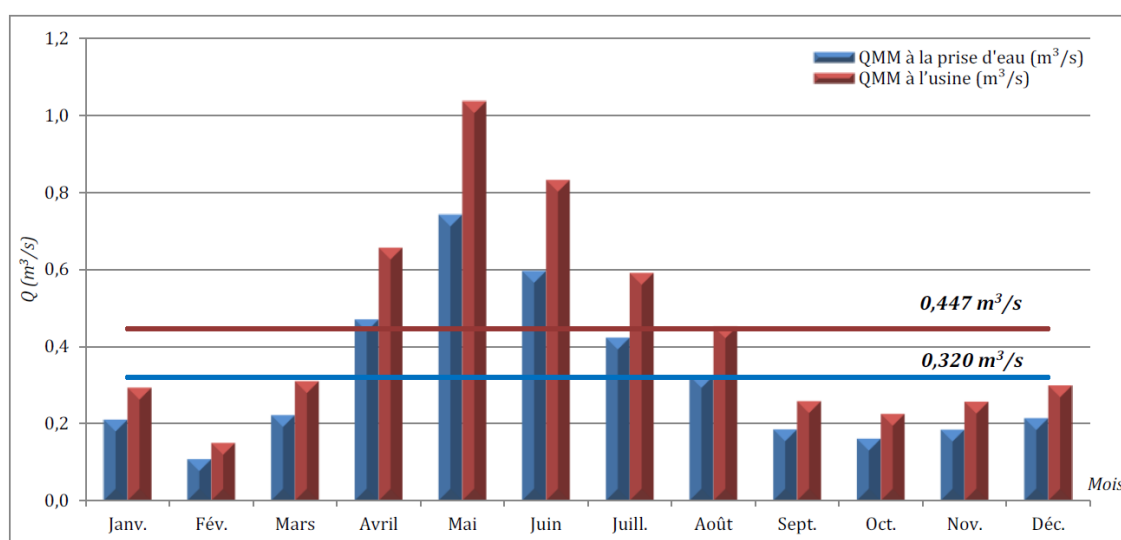


Figure 3 : Répartition des débits moyens mensuels au droit de la prise d'eau (cote 1 406 m NGF) et de l'usine (904 m) (GAY Environnement, 2015)

### 3. Proposition d'aménagements

Chaque proposition d'aménagement a été décrite comme suit.

- Objectif de l'aménagement ;
- Description de l'aménagement au stade scénario (Esquisse) et des variantes possibles si celles-ci s'avèrent pertinentes. Présentation d'illustrations sous forme de schéma de principe.
- Identification des contraintes techniques et réglementaires ;
- Investigations complémentaires nécessaires ;
- Estimatif financier au stade scénario ;
- Avantages et inconvénients ;
- Intérêt de l'aménagement au regard du rapport cout / bénéfice.

#### 3.1 A. Restauration de la continuité biologique

**Objectif :** Restaurer la continuité biologique sur le secteur de classement Liste II

**Périmètre :** Le Bonrieu entre la confluence et le pont de la RD 915 (OH5)

##### Stratégie générale d'aménagement

Le classement Liste II relatif à l'Article L.214-17 du Code de l'Environnement couvre le cours du Bonrieu situé entre la confluence et le pont de la RD 915. Si on se bornait strictement à ce périmètre, les ouvrages concernés sont OH1, OH2, OH3 et OH4. Toutefois, par souci de cohérence, nous intégrons également l'ouvrage OH5 en complément.

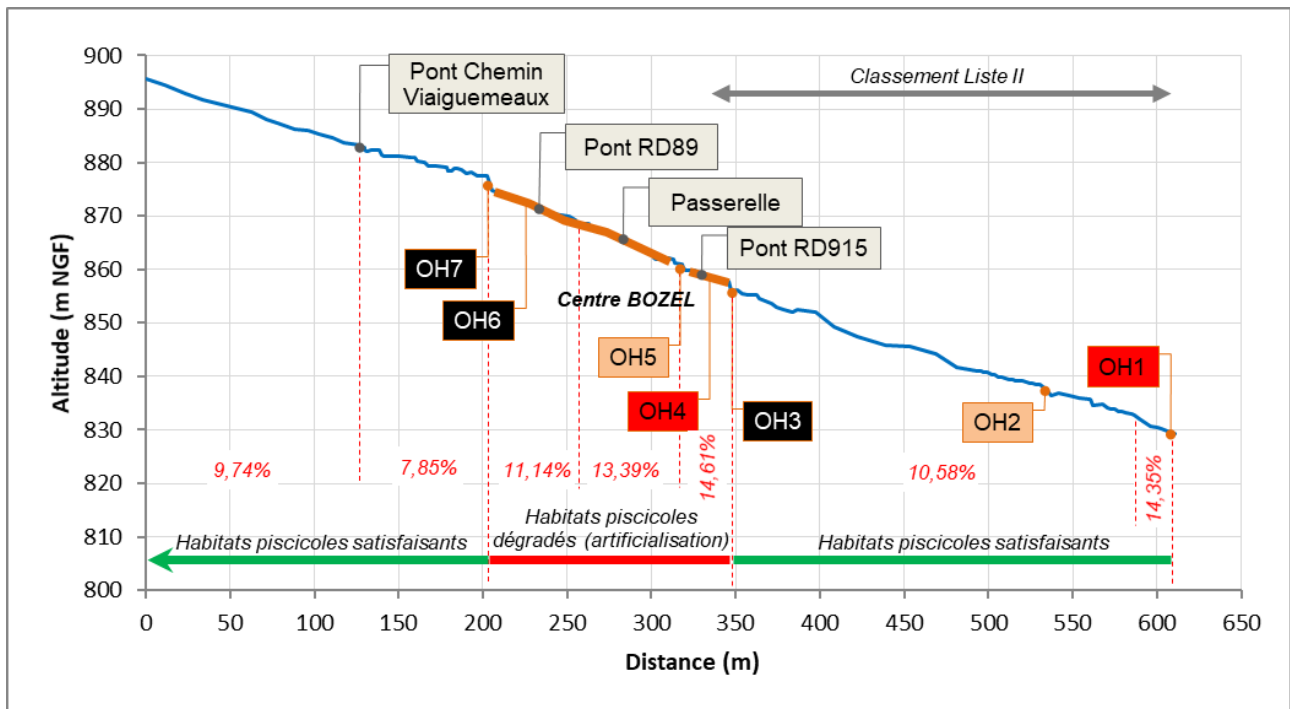
Le Bonrieu est un torrent dont la pente moyenne sur ce périmètre est de 10,5 %. La Figure 4 présente le profil en long du Bonrieu sur lequel ont été reportés les ouvrages ainsi que leur classe de franchissabilité piscicole, et la valeur des habitats aquatiques associés.

La restauration / amélioration de la continuité biologique de la confluence et du seuil OH2 ne sont pas discutables. Ces opérations permettront d'améliorer significativement l'accessibilité des poissons (exclusivement truite fario vu le contexte morphologique) sur le Bonrieu. Sur sa partie aval, la qualité des habitats aquatiques est satisfaisante malgré une capacité d'accueil réduite (450 m<sup>2</sup> à 500 m<sup>2</sup> de surface piscicole habitable) du fait de la faible dimension du cours d'eau et de son contexte très lotique (courant).

La restauration de la continuité biologique des ouvrages OH3, OH4 et OH5 appelle a davantage de réflexions.

Si ces trois ouvrages devaient être rendus franchissables, il faudrait envisager à terme d'aménager également les ouvrages OH6 et OH7 de manière à reconnecter les tronçons favorables en terme d'habitat piscicole. Dans ce cas, l'accès au tronçon situé en amont de OH7 (240 m linéaire, soit environ 300 m<sup>2</sup> à 400 m<sup>2</sup> de surface piscicole habitable) est écologiquement intéressant et justifié.

Néanmoins, les travaux à envisager pour la restauration de la continuité biologique dans ce contexte sont difficiles à mettre en œuvre pour plusieurs raisons.



■ Absence d'obstacle, ■ Ouvrage ruiné, effacé, sans impacts, ■ Obstacle franchissable mais risque de retard ou sélectif pour les petites tailles, ■ Obstacle difficilement franchissable, ■ Obstacle très difficilement franchissable, ■ Obstacle totalement infranchissable

**Figure 4 : Profil en long du Bonrieu et continuité biologique**

Les aménagements doivent être compatibles avec le transport solide. Seules des rampes en enrochements jointifs liaisonnés au béton ou un arasement<sup>3</sup> seraient envisageables. Le dérasement est définitivement à proscrire compte tenu des forts enjeux géotechniques riverains (bâtiments, ponts, digues) qui nécessiteraient des travaux en sous œuvre irréalistes d'un point de vue technico-financier. Un arasement pourrait toutefois être proposé sur certains ouvrages sous réserves de conditions bien précises. La rampe en enrochements est donc la solution préférentielle la plus adaptée au contexte, compatible avec les enjeux hydrauliques (charriage et abrasion).

La pente naturelle du lit entre OH3 et OH7 évolue entre 11,1 % et 14,6 %. Ces valeurs de pentes sont très élevées et nettement supérieures aux valeurs maximales admises pour la conception de rampes franchissables (8 à 10 %). La conception d'ouvrages de franchissement nécessiterait donc de concevoir au sein des rampes des passages préférentiels pour les poissons (micro-hydraulique, petits bassins de repos, petites chutes, etc.) complexes à dimensionner, à justifier et très incertains en terme de fonctionnalité à long terme (colmatage pour le transport solide et abrasion des enrochements) qui pourraient poser préjudices en terme de fonctionnement hydraulique (fortes contraintes hydrauliques, accroissement des capacités d'affouillement, déjointoiement, etc.).

La restauration de la continuité biologique sur l'ensemble de ces ouvrages impliquerait de démanteler la quasi-totalité du pavage actuel (a minima sur tout le linéaire - soit 150 m - et sur tout ou partie de la largeur du lit) pour reconstituer un ouvrage quelque peu fonctionnel pour un coût d'investissement très élevé.

<sup>3</sup> Le dérasement est la suppression complète de l'ouvrage jusqu'au retrait des fondations. Un arasement est un retrait partiel de l'ouvrage avec conservation au minimum des fondations pour la stabilisation du lit.

Pour ces valeurs de pentes observées, les vitesses seront très importantes, proches ou supérieures aux capacités de nage de la truite fario (2 m/s) qui seront très vite dépassées avec l'augmentation des débits.

Aussi, un aménagement exclusivement centré sur les trois ouvrages OH3, OH4 et OH5 n'est pas pertinent compte tenu de la nature des habitats en amont immédiat de OH5 (pavage artificiel).

Ces éléments démontrent que les choix dont nous disposons sont :

- Ne restaurer la continuité biologique sur aucun de ces trois ouvrages ;
- Rétablir la continuité sur la totalité des ouvrages en considérant un rapport cout / bénéfice très défavorable, une fonctionnalité d'ouvrage incertaine après travaux et une fonctionnalité quasi-nulle après le passage de quelques crues (colmatage).

Par conséquent, nous proposons de ne rétablir la continuité biologique sur aucun des trois ouvrages suivants : OH3, OH4 et OH5. Ils seront uniquement restaurés pour un objectif hydraulique. **La continuité biologique sera donc restaurée uniquement à la confluence (OH1) et au droit de OH2.** L'espèce cible est la truite fario.

## A1. RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ BIOLOGIQUE – SEUIL OH2

Cet ouvrage assure la stabilité du lit et protège le franchissement de deux lignes électriques HTA. Il est constitué d'une crête horizontale en béton et d'un parement en enrochements liaisonnés au béton. Il présente un état général bon à l'exception du pied d'ouvrage affouillé (formation d'une fosse). Il est difficilement franchissable en raison de la chute verticale en pied de seuil.

Compte tenu de la nature des aménagements de protection hydraulique envisagés sur ce secteur (Cf. aménagement n°**B4**), deux scénarios d'aménagements se dessinent :

- Scénario 1 - Suppression du seuil et réaménagement du franchissement des réseaux ;
- Scénario 2 - Suppression du seuil et réaménagement d'un nouvel ouvrage de stabilisation.

### ► Description de l'aménagement

L'élargissement du lit et la protection des berges nécessaires pour la protection contre le risque hydraulique (submersion par une lave torrentielle et/ou érosion par une crue torrentielle) contraint à détruire l'ouvrage OH2 et réaménager le franchissement des réseaux (électricité mais également eaux usées et fibre optique).

- **Le scénario 1** consiste à supprimer totalement le seuil sans reconstruction. Les travaux de protections de berges vont considérablement modifier le lit du Bonrieu (passage de 2 / 3 m de largeur à 8 m de largeur). Dans cette configuration, l'ouvrage peut être retiré car les risques d'enfoncement du lit seront réduits (étalement de la lame d'eau en crue). Le profil en long sera intégralement restauré. Les sabots des protections de berges aménagés face à face sur certains secteurs précis constitueront la protection ultime contre l'érosion du lit. Ce sabot sera positionné 2 m sous le fond du lit actuel.

Les matériaux qui constitueront le nouveau lit devront être grossiers (jusqu'à des blocs supra métriques) de manière à constituer un pavage naturel peu mobile (voire non mobile pour une crue centennale).

Les trois réseaux seront rassemblés et franchiront le lit au même point, soit sous le sabot des protections de berges.

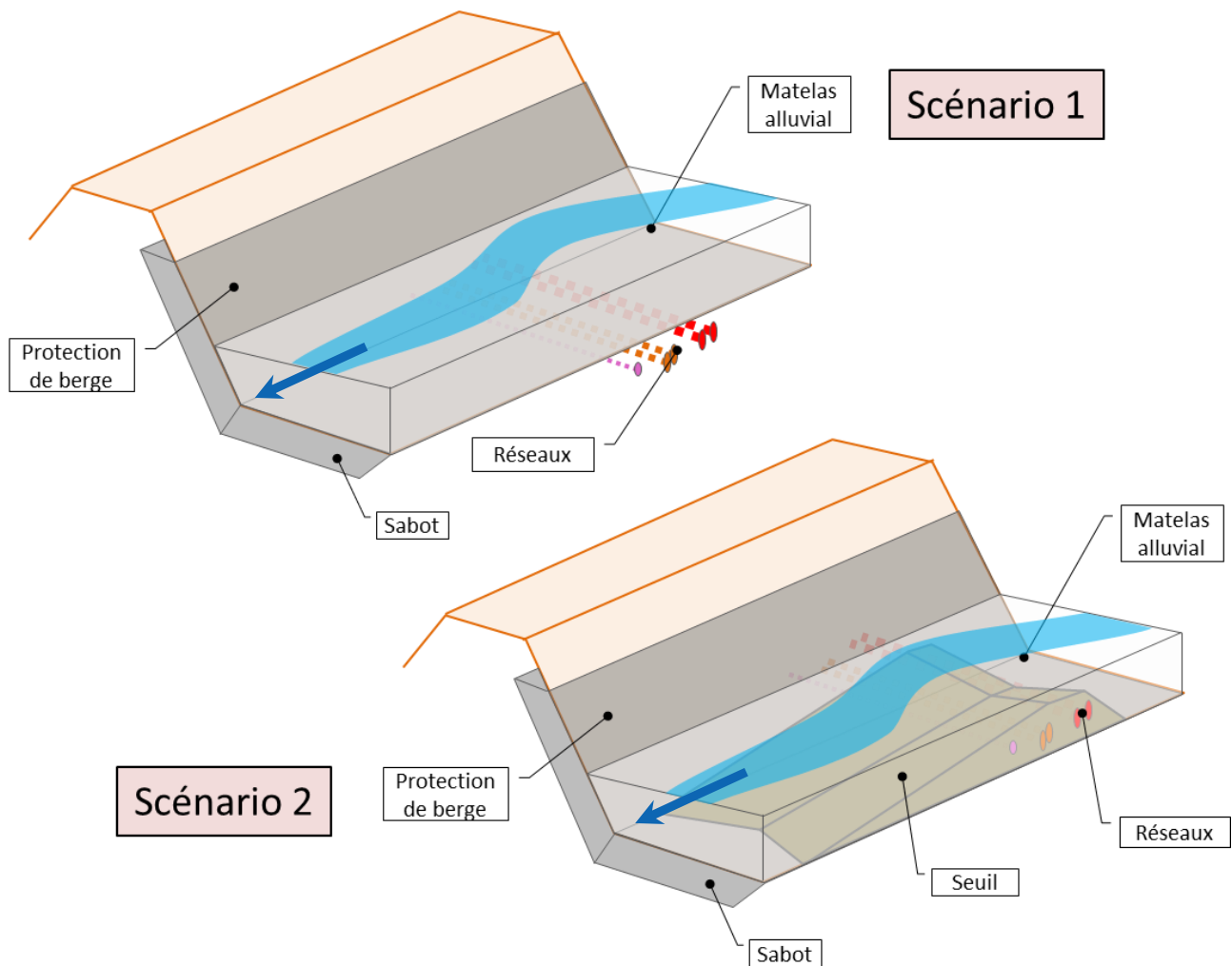
**Le scénario 2** consiste à supprimer totalement le seuil et à le reconstruire sur une hauteur de 1,50 m au-dessus du sabot des protections de berges. Ce seuil sera remblayé par les matériaux du lit mais apportera une protection supplémentaire en cas de potentiel enfoncement du lit du Bonrieu. Ce seuil sera aménagé comme une rampe en enrochements (1 à 5 tonnes de poids unitaire). Afin de permettre la franchissabilité piscicole en cas de nécessité (enfoncement du lit), cette rampe devrait avoir au maximum une pente longitudinale de 10 % sur une courte distance (quelques mètres). Or dans cette condition, il sera impossible de rattraper le sabot des protections de berges (pente moyenne du lit d'environ 10 %). A 12 % de pente, il faudrait une longueur de 75 m, à 15%, 30 m. A ces valeurs de

pentente la franchissabilité ne pourra être assurée. Nous proposons donc d'aménager un ouvrage (de longueur raisonnable de 30 m à 19 m) qui aura une pente soutenue (15 à 18 %) à très forte rugosité de surface qui permette de réduire les vitesses d'écoulements. Les enrochements seront percolés au béton (jusqu'à mi ou  $\frac{3}{4}$  de leur hauteur) afin d'assurer leur stabilité en crue ou en cas de lave. La rampe présentera un profil en V (pentes latérales convergentes de 8 à 10 %) pour concentrer les écoulements en son centre et accroître la lame d'eau à bas débits.

La base du seuil sera raccordée aux sabots des protections de berges.

Les trois réseaux seront rassemblés et franchiront le lit dans le seuil. Ils seront donc positionnés altimétriquement plus haut que dans le scénario 1.

La Figure 5 suivante illustre le principe de ces deux scénarios.



**Figure 5 : Principe de restauration de la continuité biologique au droit du seuil OH2**

### Contraintes techniques et réglementaires

Très fortes contraintes techniques associées au déplacement des réseaux

Emprise foncière nécessaire pouvant affecter des propriétés privées

La destruction et reconstruction stricte du seuil serait soumise Code de l'Environnement (dossier loi sur l'eau au régime déclaratif). Toutefois en toute pertinence, ces travaux seraient réalisés en concomitance avec les protections de berges sur ce même périmètre. Le projet général serait donc soumis aux procédures listées dans l'aménagement n° **B4**.

### Investigations complémentaires

Conformément aux investigations complémentaires de l'aménagement n° **B4** :

- Etude de sensibilité écologique
- Inventaires faune / flore 4 saisons
- Etude géotechnique
- Etudes de faisabilité technico-financière de déplacement des réseaux

Avantages	Inconvénients
<b>Scénario 1</b>	
Restauration durable de la continuité biologique	Pas de stabilisation du profil en long du lit du Bonrieu => risque potentiel d'enfoncement en cas de crue torrentielle
Protection durable des réseaux	Abaissement conséquent des réseaux pouvant s'avérer complexe à la mise en œuvre
<b>Scénario 2</b>	
Restauration durable de la continuité biologique	Possibilité d'apparition du seuil avec un potentiel enfoncement du lit => ouvrage sélectif compte tenu de sa pente longitudinale élevée
Protection durable des réseaux. Approfondissement moindre impliquant moins de contraintes lors de la réalisation	

### ► Estimatif financier

Ces travaux étant très liés aux aménagements de berges (**B4**), nous n'avons chiffré ici que la plus-value relative aux travaux de destruction du seuil et/ou de reconstruction de l'ouvrage. Les études complémentaires, maîtrise d'œuvre, dossier réglementaire loi sur l'eau et déplacement des réseaux étant estimées dans l'aménagement **B4**.

#### Scénario 1 :

Travaux (destruction du seuil évacuation des matériaux) : \_\_\_\_\_ 6 000 €

#### Scénario 2 :

Travaux (destruction et reconstruction du seuil) : \_\_\_\_\_ 42 000 €

**Rapport Coût / Bénéfice** : Le **scénario 2** apporte davantage de garanties sur (1) la stabilité du lit à long terme et (2) moins de contraintes relatives à l'enfouissement des réseaux. Nous préconisons donc cette solution d'aménagement.

## A2. RESTAURATION DE LA CONTINUITE BIOLOGIQUE – CONFLUENCE (OH1)

La confluence Bonrieu / Doron est difficilement franchissable par les poissons compte tenu de la configuration morphologique « perchée » héritée de l'incision historique du lit du Doron. Afin de rendre la partie aval du Bonrieu accessible pour la truite fario, la confluence doit être rendue franchissable.

Dans la configuration actuelle, la pente du lit au droit de la confluence est particulièrement élevée (> 14 %) et laisse très peu (voire pas) de possibilité d'aménagement pour atteindre l'objectif souhaité sans avoir recours à un conséquent reprofilage du lit en amont.

Dans le cadre des aménagements envisagés, il est toutefois possible de considérer cette problématique de continuité de façon plus intégrée. Elle nécessite néanmoins des travaux ambitieux. Une seule solution d'aménagement apparait pertinente compte tenu des contraintes qui pèsent sur ce secteur et qui réduisent considérablement le champ des possibilités :

- Contraintes hydrauliques fortes en crue nécessitant un ouvrage stable ;
- Contraintes morphologiques très fortes en cas de charriage torrentiel voire de lave torrentielle.

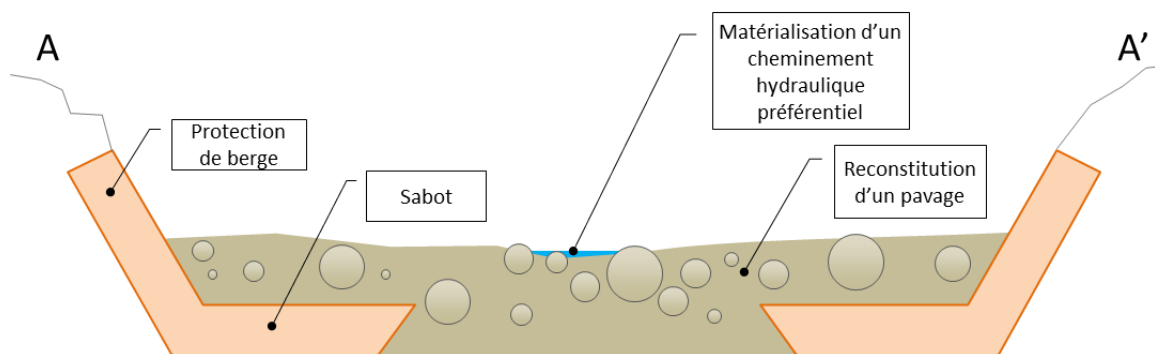
Par conséquent, il apparait indispensable d'avoir recours à un aménagement rustique et robuste.

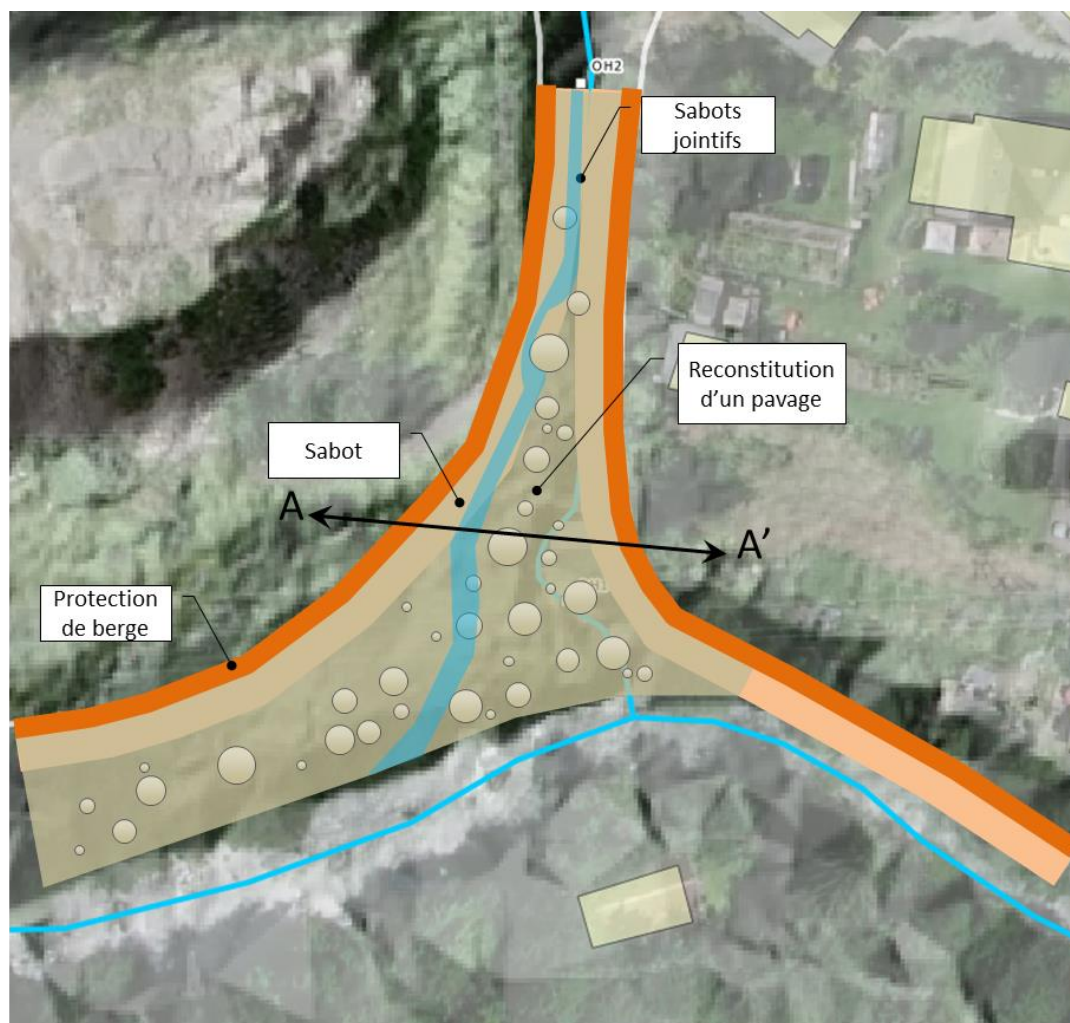
### ► Description de l'aménagement

L'aménagement de continuité biologique doit s'adapter aux aménagements envisagés pour la protection des risques hydrauliques. Au droit de la confluence, il est prévu un élargissement progressif du lit du Bonrieu ainsi qu'une protection massive de ses berges dimensionnées pour une lave torrentielle (Cf. aménagement n° **B4**).

Dans le cadre de ces travaux, la confluence va être totalement remaniée. Il conviendra de la restaurer de manière à ce qu'elle puisse être franchissable par la truite fario. Nous attirons néanmoins toute l'attention du Maître d'Ouvrage sur la possibilité que ces aménagements ne soient pas fonctionnels aux périodes de reproduction comme défini conventionnellement. La confluence sera une zone de respiration sédimentaire dont la morphologie va s'ajuster au gré des crues / laves du Bonrieu et du Doron. Dans cette configuration il s'avère techniquement complexe de garantir une fonctionnalité optimale et permanente de l'aménagement.

Au niveau de la confluence, le lit du Bonrieu sera stabilisé par des protections de berges. La largeur du lit augmentera progressivement entre la position du seuil OH2 (8 m) et la confluence (40 à 45 m). Sur la partie la plus amont de la confluence, la garantie ultime de la stabilité (verticale) du lit sera assurée par les sabots jointifs des protections de berges. Comme les protections de berges, les sabots vont s'écarter l'un de l'autre progressivement. L'espace ainsi formé entre les sabots et les berges devra être constitué de matériaux sédimentaires grossiers. Un pavage naturel sera donc reconstruit, garant de la stabilité verticale de la confluence. Les matériaux de décaissement pourront être réutilisés dans ce but. Un cheminement en dépression sera aménagé pour initier les écoulements en basses eaux (pérennité à la garantie très incertaine).





**Figure 6 : Schéma de principe du réaménagement de la confluence**

### Contraintes techniques et réglementaires

Les contraintes techniques sont liées au volume conséquent de terrassement et de la destination des matériaux excédentaires associée.

Cet aménagement sera soumis au Code de l'Environnement. Compte tenu de la nature et de l'envergure des travaux à réaliser, les procédures seraient les suivantes :

- Etude au cas par cas afin de déterminer le type de dossier réglementaire. Cette étude au cas par cas nécessitera une étude de sensibilité écologique.
- Etude d'impacts (très probable) avec besoin d'inventaires faunistiques et floristiques sur 4 saisons

*En toute pertinence, ces travaux seraient réalisés en concomitance avec les protections de berges sur ce Bonrieu. Le projet général serait donc soumis à cette même et unique procédure.*

### Investigations complémentaires

Identiques aux investigations complémentaires de l'aménagement n° **B4** :

- Etude de sensibilité écologique

- Inventaires faune / flore 4 saisons
- Etude géotechnique
- Etudes de faisabilité technico-financière de déplacement des réseaux

Avantages	Inconvénients
Restauration d'une zone de respiration sédimentaire « naturelle » propice au stockage des matériaux charriés.	Conditions de franchissabilité potentiellement altérées en cas de fort charriage sédimentaire (lave)
Substrat naturel et mobile, favorable à la continuité biologique contrairement à un aménagement figé (rampe)	Risque élevé de colonisation par la Renouée du Japon

### ► Estimatif financier

Ces travaux étant très liés aux aménagements de berges (**B4**), nous n'avons chiffré ici que la plus-value relative aux travaux de restauration de la continuité biologique (reconstitution d'un pavage). Les études complémentaires, maîtrise d'œuvre, dossier réglementaire loi sur l'eau étant estimées dans l'aménagement **B4**.

Travaux (reconstitution d'un pavage de fond sur toute la confluence, 4800 m<sup>3</sup>) : \_\_\_\_\_ 150 000 €

### 3.2 B. Aménagement du Bonrieu

Par souci de cohérence et de logique amont / aval, nous proposons également des solutions d'aménagements en amont du périmètre défini dans le cadre de l'étude. Nous ne prévoyons toutefois pas de restitution avant-projet sur ce périmètre (aménagement B1).

#### B1. RESTAURATION DES SECTIONS HYDRAULIQUES ENTRE LE PONT DE BELLEGARDE ET L'ANCIENNE PRISE D'EAU (OH7)

**Objectif :** Réduire le risque d'obstruction des ponts et de débordement dans les sections limitantes en cas de lave torrentielle

**Périmètre :** Le Bonrieu entre le pont de Bellegarde et l'ancienne prise d'eau (OH7) – *hors périmètre d'étude*

##### ► Description de l'aménagement

L'amélioration des conditions hydrauliques au droit du pont et de la passerelle de Bellegarde peut être réalisée par les solutions suivantes :

- Pont de Bellegarde. Seule une reconstruction - ou une suppression - serait envisageable, l'ouvrage actuel étant trop étroit.
- Passerelle de Bellegarde. La faible hauteur de cet ouvrage le rend sensible au risque hydraulique. Deux solutions pourraient être envisageables et peuvent être combinées :
  - La remontée du tablier, qui ne nécessite pas forcément une reconstruction du pont ;
  - L'abaissement du lit sous cette passerelle.

Le seuil de l'ancienne prise d'eau (OH7) n'est plus fonctionnel et remonte les niveaux du lit en amont. Il peut conduire à des débordements sous le double effet :

- De la réduction de la profondeur du lit ;
- De la réduction de la pente amont.

Compte tenu de ces éléments, il s'avère plus pertinent de traiter la problématique de rehaussement de lit généré par l'ancienne prise d'eau qui pourra être bénéfique à la restauration des sections hydrauliques des ponts situés en amont.

**Le dérasement du seuil OH7** permettrait - comme le montre le profil en long suivant - de résoudre les deux problèmes identifiés précédemment. Deux variantes sont proposées (Figure 7) :

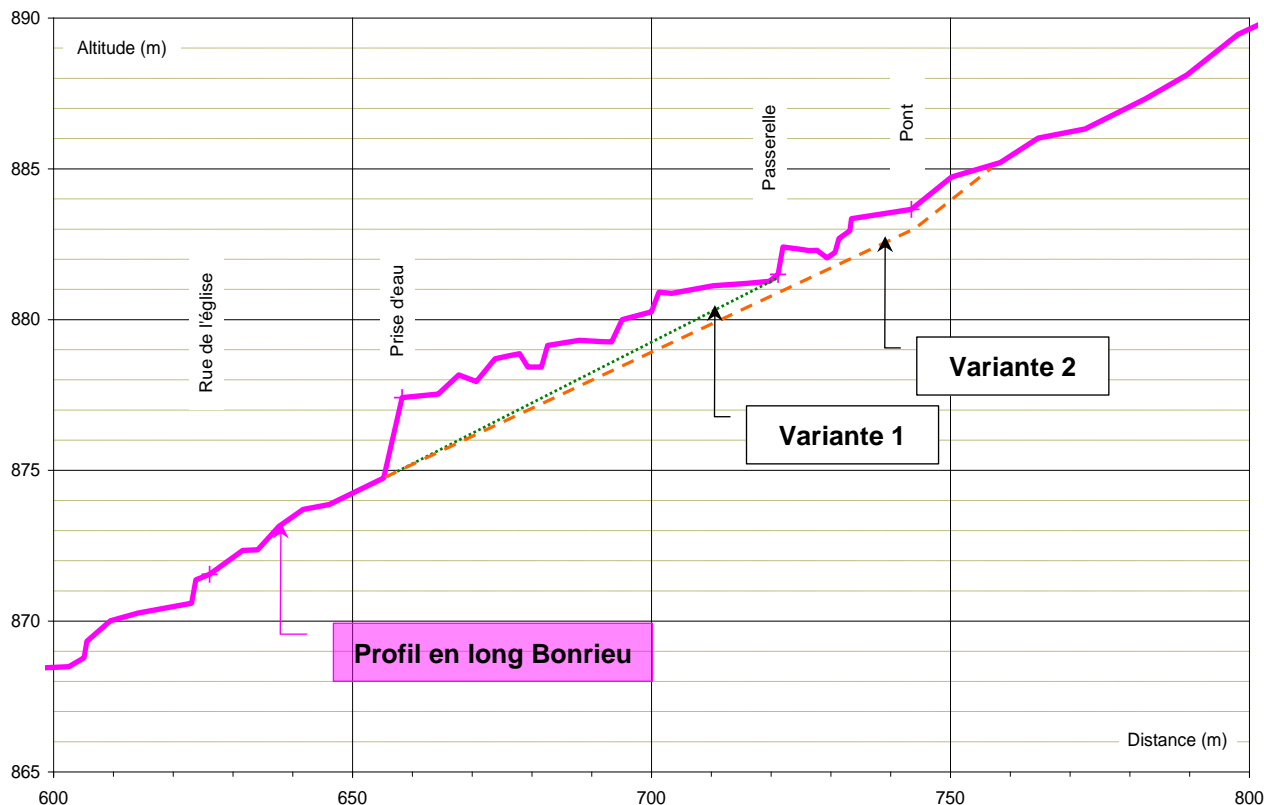
1. **Variante 1** - Celle correspondant au lissage de la pente - qui est la solution la plus efficace.
2. **Variante 2** - Une variante permettant un abaissement sensible sous les ponts en amont, au prix d'une faible réduction de la pente.

Ces aménagements sont conditionnés à l'existence d'un ancien pavage et/ou des fondations de digues calées à un niveau au moins inférieur au pavage. Il semblerait que la prise d'eau soit postérieure à l'aménagement du lit. Il est donc possible qu'il existe un pavage de fond en amont de la prise d'eau. Sans éléments de diagnostic précis, nous proposons :

► Investigations géotechniques pour préciser la nature du fond et le fondement des digues.

- Si le fond est pavé et les digues fondées → arasement du seuil OH7 + retrait des matériaux en amont de OH7 + contrôle visuel de l'état du pavage et restauration si nécessaire selon la variante retenue (1 ou 2).

- Si le fond n'est pas pavé et/ou que les digues ne sont pas fondées → reprise totale du fond du lit : réalisation d'un pavage avec des blocs liaisonnés - encaissés dans le lit - sur l'ensemble du linéaire en s'efforçant de présenter un aspect naturel. Reprise des digues et/ou fondations de pont nécessaires en sous œuvre en fonction de la variante retenue (1 ou 2).



**Figure 7 : Illustration de la modification du profil en long permise par la suppression du seuil de prise d'eau (OH7)**

### Contraintes techniques et réglementaires

Dans l'hypothèse où un pavage de fond existe et que les digues sont fondées, l'arasement de OH7 + variante 1 sont peu complexes à mettre en œuvre.

La variante 2 + arasement de OH7, avec ou sans pavage de fond est significativement plus complexe car elle nécessite des travaux en sous œuvre (digues et ponts) très lourds techniquement, dans un espace contraint.

Pour les deux variantes, une demande d'autorisation loi sur l'eau (régime autorisation<sup>4</sup>) devra être réalisée compte tenu de la nature sensible des travaux.

### Investigations complémentaires

- Investigations géotechniques
- Etude de sensibilité écologique pour le dossier réglementaire

<sup>4</sup> Conformément aux rubriques 3.1.5.0 et 3.1.2.0. de l'Article R214 du Code de l'Environnement.

Avantages	Inconvénients
Réduction significative du risque hydraulique  Traitement combiné de plusieurs problématiques liées (arasement, sections de ponts limitantes)  Logique amont / aval	Lourdeur technique des travaux  Montant potentiellement très élevé de l'opération si absence de pavage et de fondement des digues est avéré

### ► Estimatif financier

Cet aménagement est proposé hors périmètre d'étude. Nous ne proposons pas d'estimatif financier compte tenu de l'absence de données d'entrées suffisantes au chiffrage. Toutefois à titre indicatif et sous toute réserve, le montant des travaux<sup>5</sup> pressentis serait :

- Arasement + variante 1 considérant l'existence d'un pavage de fond et des fondements suffisants des pieds de digues → 250 000 € (fourchette basse) ;
- Arasement + variante 2 considérant l'absence d'un pavage de fond et des fondements insuffisants des pieds de digues → >> 500 000 € (fourchette haute).

**Rapport Coût / Bénéfice** : La première hypothèse est pertinente au regard des bénéfices hydrauliques qu'elle apporterait. Nous pouvons conseiller le Maître d'ouvrage de faire réaliser des investigations géotechniques complémentaires pour identifier la faisabilité de cette opération.

La seconde hypothèse (majorante) est onéreuse, techniquement lourde et impactante pour le milieu.

## B2. PONT DE L'ÉGLISE (RD89)

<b>Objectif</b> : Réduire le risque d'obstruction du pont de l'Église et les débordements associés en cas de lave torrentielle	<b>Périmètre</b> : Le pont de l'Église (RD 89)
--	--

### ► Description de l'aménagement

Le pont de l'Église (RD 89) est trop bas pour faire transiter sans dommages une lave torrentielle et présente une capacité inférieure au reste du chenal. Les solutions de redimensionnement sont très réduites (voire impossible) compte tenu des contraintes suivantes :

- Un élargissement paraît exclu en rive droite comme en rive gauche ;
- Un approfondissement du lit paraît très délicat ici car d'une part il impose la reprise du radier et des protections de berge et surtout la pente est ici régulière et un abaissement conduirait en aval à une réduction de pente et une augmentation des risques de débordement. Pour la même raison, une mise en vitesse paraît inadaptée.
- Une remontée du tablier paraît très délicate étant donnée les fortes pentes actuelles observées au droit du franchissement.

<sup>5</sup> Hors toute études complémentaires et études de maîtrise d'œuvre.

Si le redimensionnement de la section du pont n'est pas possible, d'autres solutions peuvent être envisagées :

1. **Variante 1** - Ne rien faire et accepter le risque compte tenu de la faible fréquence de ces évènements (dernier observé datant de 1904) ;
2. **Variante 2** - La suppression pure et simple de ce franchissement et l'organisation par ailleurs de la circulation automobile. Compte tenu de la dimension du réseau routier dans le bourg de Bozel (faible largeur), cette solution apparaît difficilement réalisable et peu pertinente.
3. **Variante 3** - La mise en place d'un nouvel ouvrage de franchissement dont la hauteur du tablier serait significativement réduite. Par conséquent, cet ouvrage ne pourrait admettre qu'un tonnage limité, la circulation des véhicules lourds (>3,5 t) serait organisée par ailleurs. Si cette solution apparaît plus pertinente que la précédente (car elle permet au moins le franchissement des véhicules légers), la problématique associée à la circulation des poids lourds reste complexe à organiser.
4. **Variante 4** - Conserver l'ouvrage en l'état et aménager un itinéraire de moindres dommages en cas de débordements sur la voirie. Compte tenu du contexte (centre bourg), cette solution est particulièrement contraignante à mettre en œuvre et s'avèrera in fine peu efficace. Pour ces raisons, nous ne la retenons pas.
5. **Variante 5** - La mise en place d'un ouvrage mobile, qui peut être remontée en cas de crue. La taille réduite de cet ouvrage rend cette solution accessible. De tels ouvrages - de plus grande ampleur - ont notamment été réalisés à Pontamafrey pour la route comme pour la voie ferrée.

**Parmi ce lot de solutions il semble que les variantes 1 et 5 soient les plus réalistes. Les variantes 2 et 3 étant peu réalisables compte tenu de l'impossibilité de dévier par un autre itinéraire la circulation des véhicules lourds. La variante 4 n'est pas applicable en centre bourg.**



*Pont de l'Eglise (RD89)*



*Exemple de pont mobile sur la Ravoire de Pontamafrey (solution 5)*

### Contraintes techniques et réglementaires

La variante 1 ne présente évidemment aucune contrainte technique.

La variante 5 nécessite la reconstruction complète du tablier de l'ouvrage et implique des lourdes contraintes géotechniques en terme de réalisation.

La variante 5 est soumise au Code de l'Environnement (dossier loi sur l'eau au régime déclaratif<sup>6</sup>).

<sup>6</sup> Conformément à la rubrique 3.1.5.0 de l'Article R214 du Code de l'Environnement.

Investigations complémentaires	
► Investigations géotechniques	
Avantages	Inconvénients
<b>Variante 1</b>	
Aucun aménagement à mettre en œuvre	Risque résiduel persistant en cas d'évènement et de débordement
<b>Variante 5</b>	
Effacement total de l'ouvrage et de son incidence vis-à-vis de la lave torrentielle Pas de modification du centre-bourg	Travaux lourds (technique et financier) au regard du rapport enjeux / fréquence de l'évènement

### ► Estimatif financier

Le chiffrage d'un tel ouvrage est complexe et incertain à ce stade de l'étude car il nécessite une étude technique, un dimensionnement spécifique et adapté au contexte. De prime abord, l'enveloppe de ce type d'infrastructure pourrait être supérieure à 500 000 € (hors maîtrise d'œuvre et géotechnique).

**Rapport Coût / Bénéfice** : Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, le choix de la variante la plus adaptée est complexe car elle fait intervenir une notion de coût non négligeable au regard d'une occurrence d'évènement rare. Compte tenu de la faible fréquence événementielle, nous proposons le maintien de l'ouvrage en état (variante 1). La variante 5 est une solution de second ordre envisageable dans le cas où le Maître d'Ouvrage n'accepte pas le risque de débordement.

## B3. PAVAGE DU LIT DU BONRIEU

<b>Objectif</b> : Améliorer les conditions d'écoulements en crue et pérenniser la stabilité des ouvrages (pavage et infrastructures riveraines)	<b>Périmètre</b> : Le Bonrieu entre l'ancienne prise d'eau (OH7) et le seuil aval de la RD915 (OH3) soit 145 m
---	--

### ► Description de l'aménagement

Comme identifié dans le diagnostic de phase 1, le radier est localement dégradé dans la traversée du bourg (voir rapport du service RTM en Annexe 1).

Deux variantes techniques sont envisageables sur ce périmètre (Figure 8) :

- **Variante 1** - Reprise totale des dégradations du pavage et réparation des affouillements mis en évidence. Cette opération consisterait alors à combler toutes les fosses d'affouillement constatées et à restaurer les seuils existants, partiellement démantelés. Ces travaux seraient réalisés en enrochements liés au béton en considérant le moins de surface de béton possible entre les blocs afin de limiter l'abrasion et de déjointement à long terme.

Une modification de la géométrie du lit n'étant pas nécessaire dans cette zone et ne serait de toute manière pas possible.

Dans cette variante, la totalité des dépôts de sédiments serait retirée.

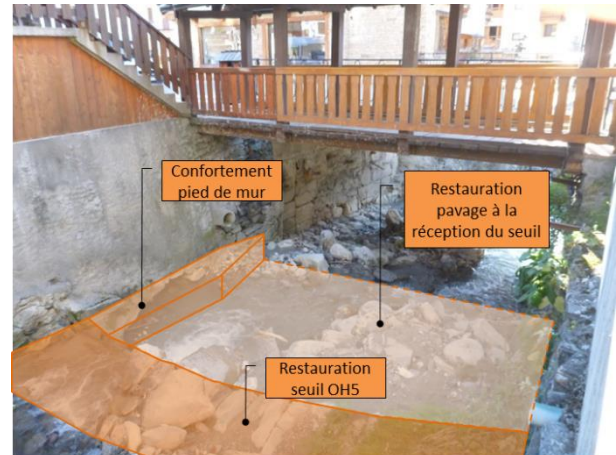
- **Variante 2** – Cette variante consisterait à globalement garder le lit dans son état actuel, tout en réalisant des travaux ponctuels de renforcement de pieds de digues, en gardant le profil en long actuel

du cours d'eau. Ces renforcements seraient réalisés en béton armé ou en enrochements liés au béton. Les murs latéraux dégradés pourraient être rejointoyés ou confortés par des barres d'ancrage. Les affouillements au centre du lit ne seraient pas concernés sauf s'ils génèrent des affouillements critiques sur les pieds de digues / murs. Les seuils ne seraient pas non plus concernés à l'exception du seuil OH5 qui génère un affouillement du mur rive gauche et qui pourrait générer à court terme une érosion amont.

Les plus gros blocs (peu mobiles) déposés dans le lit (sous le pont de la RD 915 notamment) seront retirés car ils peuvent contribuer à la concentration des écoulements et aux affouillements localisés.



*Variante 1 – Reprise de tous les désordres du pavage*



*Variante 2 – Reprises localisées des désordres - exemple de l'affouillement en aval rive gauche du seuil OH5 (BURGEAP)*



*Variante 2 – Reprises localisées des désordres - exemple de l'affouillement d'un mur en amont rive gauche du seuil OH5 (RTM)*

**Figure 8 : Illustrations des principes de reprise du pavage**

Les aménagements proposés à ces deux variantes ne prennent pas en compte la problématique de continuité biologique argumentée précédemment (Cf. § 3.1) sur les ouvrages OH3, OH4, OH5 et OH6.

### Contraintes techniques et réglementaires

Pas de contraintes techniques particulières si ce ne sont les conditions de chantiers techniques et complexes compte tenu de l'enclavement du lit entre les digues et bâtiments.

Les variantes sont soumises au Code de l'Environnement. Compte tenu de la longueur stricte cumulée des travaux à réaliser, les régimes<sup>7</sup> seraient :

- Variante 1 – Autorisation
- Variante 2 – Déclaration

### Investigations complémentaires

► Néant

Avantages	Inconvénients
<b>Variante 1</b>	
Restauration homogène et continue du pavage entre OH7 et OH3	Impact écologique fort par destruction des fosses (abris piscicoles)
<b>Variante 2</b>	
Impact écologique limité (maintien d'abris piscicoles)	Pas de prise en compte de la totalité de l'ouvrage Nouvelles interventions possibles à moyen terme

### ► Estimatif financier

<b>Variante 1 :</b>	<b>548 000 €</b>
Maitrise d'œuvre : _____	58 000 €
Dossier réglementaire (loi sur l'eau) : _____	10 000 €
Travaux : _____	480 000 €
 <b>Variante 2 :</b>	 <b>368 000 €</b>
Maitrise d'œuvre : _____	42 000 €
Dossier réglementaire (loi sur l'eau) : _____	6 000 €
Travaux : _____	320 000 €

**Rapport Coût / Bénéfice** : Compte tenu des incidences écologiques fortes de la première solution, nous préconisons la variante 2 en accord avec les services du RTM.

<sup>7</sup> Conformément aux rubriques 3.1.5.0 et 3.1.2.0. de l'article R214 du Code de l'Environnement.

## B4. PROTECTION DES BERGES DU BONRIEU ENTRE LE PONT DE LA RD 915 ET LA CONFLUENCE

**Objectif :** Protéger durablement les enjeux, des crues et laves torrentielles

**Périmètre :** Le Bonrieu entre le seuil OH3 et la confluence avec le Doron, soit 250 m

Les érosions de berge constituent une cause majeure des dégâts liés aux crues torrentielles. Cependant, deux cas doivent être distingués :

- Pour les écoulements d'eau - avec charriage torrentiel - les risques d'érosions sont importants, surtout avec des berges alluvionnaires. Avec un débit centennal de 19 m<sup>3</sup>/s et une pente de 9 % dans le cours inférieur, le Bonrieu présente une forte capacité d'érosion. Il est étonnant que les crues récentes n'aient pas causées d'érosions significatives. Ce type de crue paraît - de loin - le plus probable sur le Bonrieu. Les hauteurs sont faibles. Ainsi, la hauteur de charge centennale pour un écoulement critique est de 1,5 mètres.
- Pour les laves torrentielles, l'érosion est beaucoup plus rare et toujours d'ampleur limitée mais avec - par ailleurs - une abrasion qui peut être beaucoup plus intense, notamment en cas de réduction de la section d'écoulement. Une autre caractéristique des laves torrentielles est d'arracher facilement les enrochements. Cela conduit à privilégier les protections en enrochements liaisonnés.

Évidemment, les protections ne sont nécessaires que lorsque les enjeux sont suffisamment importants en berge pour nécessiter des travaux importants.

Dans le cas du Bonrieu aval, les enjeux sont modérés et - surtout - construits en retrait de la berge.

Le plan ci-contre montre les principaux enjeux avec :

- Des habitations directement en contact avec le lit mais apparemment protégées en rive gauche. Ces bâtiments ne nécessitent pas une protection sous réserve d'une fondation en bon état ;
- Des habitations en retrait de la berge mais visiblement sans aucune protection ;
- Un transformateur électrique et son alimentation qui longe le Bonrieu en rive droite (Figure 2) ;
- Des jardins (et éventuellement les cabanes associées), essentiellement en rive gauche en aval de l'urbanisation. Ces enjeux sont trop faibles pour être repérées ci-contre.
- Seuil de stabilisation du lit pour la protection du réseau électrique (OH2). L'implantation des réseaux dans la digue du Bonrieu entre C et E (75 m).



### ► Stratégie générale d'aménagement

Dans l'état actuel, la totalité des berges du Bonrieu n'est pas protégée. Il est d'ailleurs surprenant de ne pas observer davantage de dommages sur les berges et les terrains riverains. Au vu de la forte pente du lit, il n'est pas exclu que des érosions – potentiellement très importantes – se produisent en cas de crue centennale. Ce phénomène pourrait alors avoir des conséquences majeures sur les enjeux identifiés précédemment (habitations). Et tout particulièrement au niveau de la digue rive droite (entre C et E) qui accueille les réseaux d'assainissement, la fibre optique, le réseau électrique et le parking le cas échéant.

Aussi il convient en priorité de concevoir ces ouvrages en respect de l'espace de bon fonctionnement « pré-concerté » (EBF) dont la délimitation a été réalisée en phase 1 (REAUCE03674-2). Les aménagements proposés considèrent donc ces limites en priorité. Si des différences apparaissent néanmoins en terme d'affichage sur les cartes présentées dans le présent document, nous précisons deux points :

- La délimitation des EBF considère **le haut de berge ou de talus** et non le pied de berge ou de talus. Dans le présent contexte morphologique (fortes hauteurs de berges et de talus) les différences peuvent être importantes.
- L'implantation des protections de berges proposées ici considèrent au contraire **le pied de la protection**. A ce stade de l'étude (scénario) il n'a pas encore été représenté les sommets de protection de berge qui doivent faire l'objet d'un traitement topographique préalable conséquent.

Par conséquent, l'implantation des protections de berges décrites dans le présent aménagement respectent les limites de l'EBF « pré-concerté » minimum (pointillés verts de la Figure 9).

Par conséquent, compte tenu de ces forts enjeux, nous proposons sur ce secteur deux scénarios de protections :

- **Le premier scénario** qui constitue une protection généralisée de tout le périmètre aval entre le pont de la RD 915 et la confluence. Il s'agit d'un projet ambitieux dont l'objectif est la protection de tous les enjeux selon une logique amont / aval respectée.
- **Le second scénario** qui constitue une protection des principaux sites à enjeux : les réseaux et le parking projeté.

### ► Description de l'aménagement

**La nature des protections de berges est identique dans les deux scénarios. La différence entre les deux, réside uniquement dans leur emprise d'aménagement.**

Seule une protection - bien fondée - en enrochements liaisonnés sur une hauteur de 5 mètres apporterait une protection complète de la berge. Un tel ouvrage est très coûteux.

Ainsi, étant données les caractéristiques du Bonrieu et notamment le faible risque de lave torrentielle, il apparaît que le meilleur compromis consiste à mettre en place une protection de berge présentant les caractéristiques suivantes :

- Un sabot de 3 à 4 mètres de largeur constitué de 2 couches de blocs de 1 à 5 tonnes de poids unitaire, soit une épaisseur de 1,8 mètres. En cas de protection des deux berges, un radier unique sera construit.
- Un perré en enrochements liaisonnés au béton présentant une hauteur de 1,5 à 2 m par rapport au lit. Il descendra aussi 2 mètres sous le niveau de ce lit. Cette hauteur correspond à la hauteur de charge d'un écoulement d'eau d'une crue centennale. Il permet aussi de "guider" un écoulement de lave. Ce perré présentera un fruit de 3H/2V.

- Dans la partie supérieure (au-dessus de 2 mètres) les contraintes correspondent essentiellement aux laves torrentielles. Il n'est alors pas nécessaire de mettre en place une protection si un recul de la berge est accepté. Ainsi, dans la partie supérieure, la berge, avec un fruit de 3H/2V, sera constituée en tout venant et pourra être végétalisée. Il convient cependant d'éviter les arbres qui pourraient constituer des embâcles. Si un recul modéré de la berge n'est pas acceptable, cette partie supérieure sera aussi constituée en enrochements liaisonnés jusqu'à 5 mètres au-dessus du lit.



### ***Protection de berges eau / lave (ETRM)***

Une telle protection doit permettre d'aménager un lit d'au moins 8 mètres en base, ce qui est sensiblement plus large que le lit actuel. Dans ce cas, il est plus facile - et cohérent - que la protection soit continue depuis l'amont jusqu'à la confluence (**scénario 1**) ou que cet élargissement se produise uniquement sur la partie médiane et/ou aval (**scénario 2**). En effet, un élargissement brutal ne pose aucun problème alors qu'une contraction doit être très progressive.

La Figure 9 montre le tracé indicatif de l'ensemble des protections envisageables (y compris celles du Doron développée dans l'aménagement C).

#### **Rive droite**

- A. En toute rigueur la protection de berge doit correspondre à l'ensemble du linéaire, soit depuis l'aval immédiat de la RD 915, au droit du parking. En effet, aucune protection n'est ici visible. Longueur = 20 m.
- B. La première habitation est peu exposée car relativement éloignée. Par contre, la cabane en sommet de berge pourrait être facilement détruite. Cette dernière ne justifie pas - au contraire du bâtiment en retrait - la mise en place d'une protection. Longueur = 45 m.
- C. La route est exposée à une érosion de berge. Il s'agit cependant d'une route très secondaire et accessible par l'amont et par l'aval. Une érosion n'aurait pas de conséquences importantes. Longueur = 50 m.
- D. Un bâtiment et surtout un transformateur peuvent être détruits par les divagations du Bonrieu. Le croisement de l'aléa et des enjeux justifie ici la mise en place d'une protection, d'autant plus que le câble haute tension est ensuite implanté juste en retrait de la berge. Longueur = 40 m.
- E. D'autre bâtiment, juste en aval du transformateur sont aussi exposés au risque d'érosion de berge. Longueur = 45 m

Notons qu'en aval du franchissement de la ligne électrique sous le seuil OH2, l'absence d'enjeux permet de s'abstenir de la mise en place d'une protection. Par contre, la berge devra être reculée avec la même géométrie (largeur en base de 8 m minimum) afin de faciliter le transit des laves.

#### **Rive gauche**

- F. Dans la partie amont, les bâtiments semblent fondés profondément. Ce point reste à vérifier par la réalisation de sondages. En aval, le bâti est situé très en retrait et ne justifie pas de protection de berge.
- G. Une habitation est ici implantée peu en retrait du sommet de berge. Elle est donc exposée et justifie alors la mise en place d'une protection. Celle-ci devra être ancrée dans la berge pour ne pas être contournée. Cette protection pourrait ici être ponctuelle et ne pas se prolonger en aval mais s'arrêter au niveau du franchissement de la ligne haute tension afin de prolonger cette dernière. Longueur = 145 m.

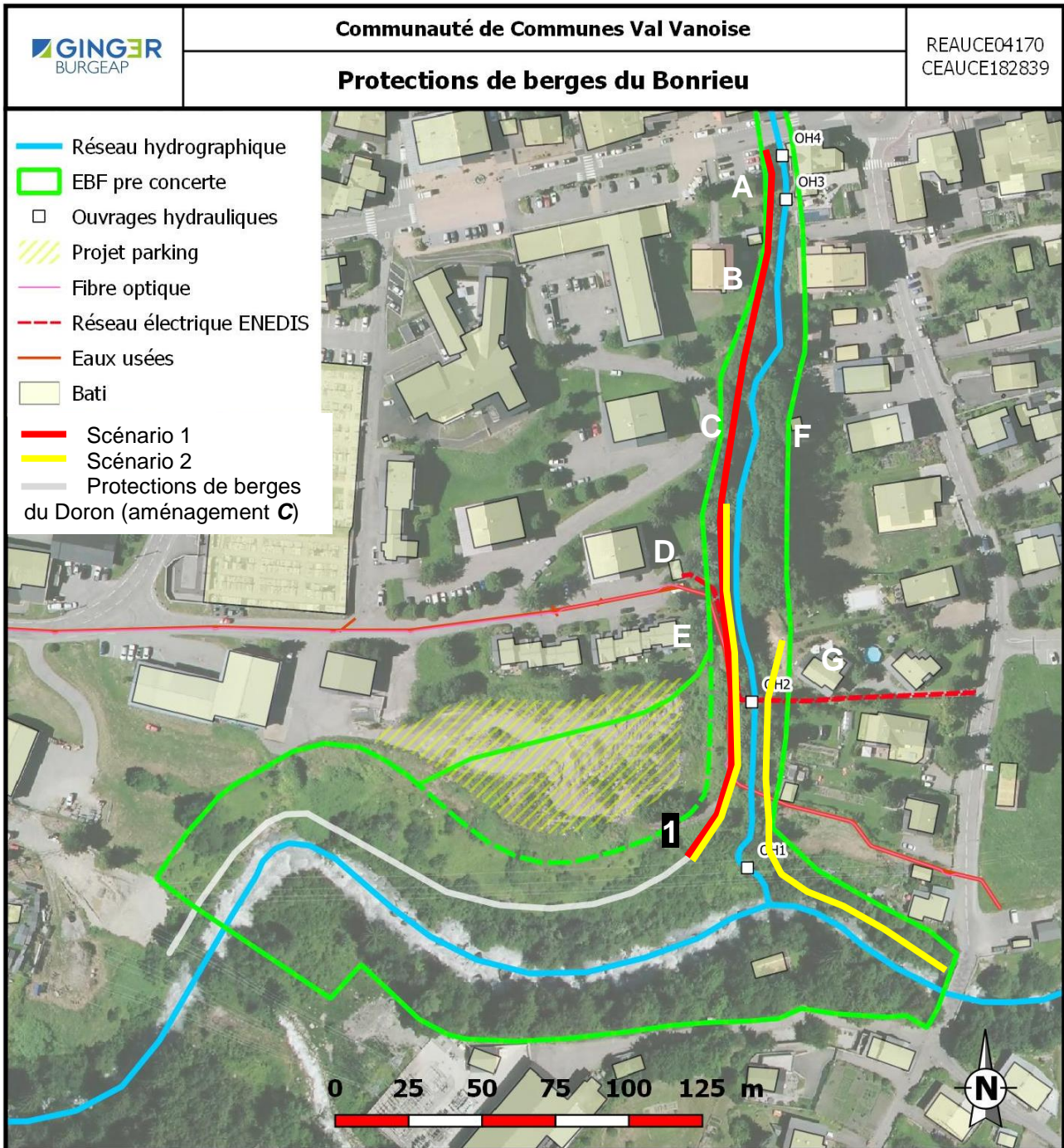


Figure 9 : Vue d'ensemble de l'implantation des protections de berges (ETRM)

**Pour la zone de confluence**, il est essentiel de favoriser le dépôt de matériaux et surtout l'écoulement des laves vers le Doron. En effet, la pente est ici suffisante pour permettre l'écoulement des laves dans le Bonrieu sous réserve d'une hauteur de lave de 6 mètres.

Le projet d'aménagement au droit de la confluence se caractérise par deux principes :

- Un élargissement très progressif vers l'aval afin de favoriser le transit des laves et permettre l'arrêt de très gros blocs.
- Une majoration très importante des contraintes hydrauliques par l'apport des débits liquides élevés du Doron. La hauteur de protection le long du Doron doit alors être de 8 mètres (6 m minimum si une érosion ponctuelle de la berge au-dessus de la protection est acceptable) afin de prendre en compte l'écoulement d'une crue centennale du Doron sur le dépôt d'une lave du Bonrieu.

Le point **1** sur la Figure 9 précédente montre la limite de la zone pouvant être atteinte par les écoulements majeurs du Bonrieu :

- À ce niveau et en aval, la protection sera du type "Doron" (Figure 13) notamment avec une hauteur de 8 mètres par rapport au niveau du Doron.
- En amont, le niveau du sommet de la protection sera prolongé à l'horizontal jusqu'à rejoindre le niveau des protections "Bonrieu". Sur 10 mètres linéaires, le sabot "Doron" avec trois couches sera prolongé en remontant dans le lit du Bonrieu.

Les Figures suivantes illustrent ces principes d'aménagements.



**Figure 10 : Confluence Malfosse / Durance en amont de Briançon (ETRM)**



**Figure 11 : Vue en plan de la confluence Malfosse / Durance en amont de Briançon (ETRM)**

Dans le cas des deux scénarios, le déplacement des trois réseaux est indispensable (approfondissement + protection) car la largeur du lit nécessaire est un paramètre dimensionnant. Compte tenu des volumes de terrassement nécessaires à la mise en place des protections de berges et de leurs sabots d'ancrage le seuil OH2 et la confluence seront intégralement repris.

#### Contraintes techniques et réglementaires

Ces deux scénarios de protection présentent des contraintes techniques majeures mais incontournables au vu du besoin de protection (1) des habitations les plus sensibles (E et G), (2) des réseaux, et (3) du parking projeté.

Emprise foncière nécessaire pouvant affecter des propriétés privées

Les deux scénarios seront soumis au Code de l'Environnement. Compte tenu de la nature et de la longueur stricte cumulée des travaux à réaliser, les procédures seraient les suivantes :

- Etude au cas par cas afin de déterminer le type de dossier réglementaire. Cette étude au cas par cas nécessitera une étude de sensibilité écologique.
- Etude d'impacts (très probable) avec besoin d'inventaires faunistiques et floristiques sur 4 saisons

#### Investigations complémentaires

- Etude de sensibilité écologique
- Inventaires faune / flore 4 saisons

- Etude géotechnique
- Etudes de faisabilité technico-financière de déplacement des réseaux

Avantages	Inconvénients
<b>Scénario 1</b>	
Protection durable de tous les enjeux aval au pont de la RD915	Artificialisation majeure de la berge rive droite (250 m) et de la rive gauche du Bonrieu et du Doron (145 m)
Possibilité de réalisation du parking dans son intégralité	Contraintes techniques lourdes
Traitement en commun de la continuité biologique du seuil OH2 et de la confluence	Ouverture de la confluence favorable au développement des espèces invasives
<b>Scénario 2</b>	
Protection durable des enjeux en aval du poste électrique	Artificialisation majeure de la berge rive droite (135 m) et de la rive gauche du Bonrieu et du Doron (145 m)
Possibilité de réalisation du parking dans son intégralité	Impacts moindres que le scénario 1
Traitement en commun de la continuité biologique du seuil OH2 et de la confluence	Contraintes techniques lourdes (identiques au scénario 1)
	Ouverture de la confluence favorable au développement des espèces invasives

### ► Estimatif financier

<b>Scénario 1 :</b>	<b>2 646 000 €</b>
Etudes complémentaires : _____	46 000 €
Maitrise d'œuvre : _____	210 000 €
Dossier réglementaire (loi sur l'eau) : _____	20 000 €
Travaux (terrassements, protection des berges (395 m), déplacement des réseaux) : _____	2 370 000 €
 <b>Scénario 2 :</b>	 <b>2 181 000 €</b>
Etudes complémentaires : _____	46 000 €
Maitrise d'œuvre : _____	175 000 €
Dossier réglementaire (loi sur l'eau) : _____	20 000 €
Travaux (terrassements, protection des berges (280 m), déplacement des réseaux) : _____	1 940 000 €

**Rapport Coût / Bénéfice** : Compte tenu du niveau de protection des enjeux et du coût associé à ces scénarios, nous proposons de retenir le scénario 2

### 3.3 C. Aménagement des berges du Doron

#### C. PROTECTION DES BERGES DU DORON EN AVAL DE LA CONFLUENCE

**Objectif :** Protéger durablement les enjeux, des crues et laves torrentielles

**Périmètre :** Le Doron entre la confluence et la confluence avec la Rosière, soit 220 m

##### ► Description de l'aménagement

Les berges le long du Doron sont particulièrement sollicitées :

- Les laves torrentielles du Bonrieu peuvent s'y écouler et s'y stocker, pouvant conduire à un engravement de près de 6 mètres.
- Les eaux du Doron s'y écoulent dans un lit étroit à forte pente. La hauteur d'eau critique est de 2 mètres et la hauteur de charge de 3 mètres.

Ainsi, une hauteur de berge théorique de 10 mètres est nécessaire en retenant - seulement - une revanche d'un mètre.

En considérant qu'une crue du Doron permettrait une reprise au moins partielle des laves torrentielles, une hauteur de protection de 8 mètres paraît nécessaire (6 mètres minimum si une érosion ponctuelle de la berge au-dessus de la protection est acceptable). Dans tous les cas une végétalisation du sommet de berge est conseillée au moins jusqu'à 9 mètres au-dessus du niveau du lit.

Étant données les fortes contraintes hydrauliques, la mise en place d'une protection en enrochements liaisonnés est inévitable ici (voir schéma page suivante).

Un sabot est essentiel. Il sera constitué de blocs de 2 à 5 tonnes sur trois couches et sur une largeur de 5 mètres. Le sommet du sabot sera calé au niveau du fil d'eau d'étiage du lit prévu. Les très gros blocs du lit seront intégrés à la protection.

Les terrassements liés au projet devraient dégager des très gros blocs. Ces matériaux - indispensables à la stabilité du lit - seront encaissés dans le lit en place.

**En aucun cas les blocs en place ne seront exportés ou utilisés pour la constitution des protections, que ce soit sur le Bonrieu ou le Doron.**

Le linéaire de cette protection est indiqué sur la vue d'ensemble en Figure 12.

Cette protection débutera à la confluence - au point **1** - et se prolongera en aval, au moins jusqu'en limite de la zone d'étude à la confluence avec le torrent de la Rosière (**3**).

Deux variantes distinctes peuvent être établies :

- **Variante 1** – linéaire d'ouvrage protégeant la berge rive droite remblayée du Doron qui peut constituer un volume de matériaux conséquent en cas de glissement de terrain provoqué par une crue centennale du Doron (**2** à **3**, soit 100 m). Ce scénario est pertinent si le parking n'est pas réalisé (et que l'espace considéré reste sans enjeux).
- **Variante 2** – linéaire d'ouvrage protégeant la ZA et le parking s'il est aménagé. Dans cette condition, sa réalisation est indispensable entre **1** à **3** soit 215 m).

Étant donnée la forte pente des talus, un avis géotechnique paraît nécessaire pour s'assurer la stabilité des terrains. L'implantation des protections de berges décrites dans le présent aménagement respectent les limites de l'EBF « pré-concert » minimum (pointillés verts de la Figure 12).

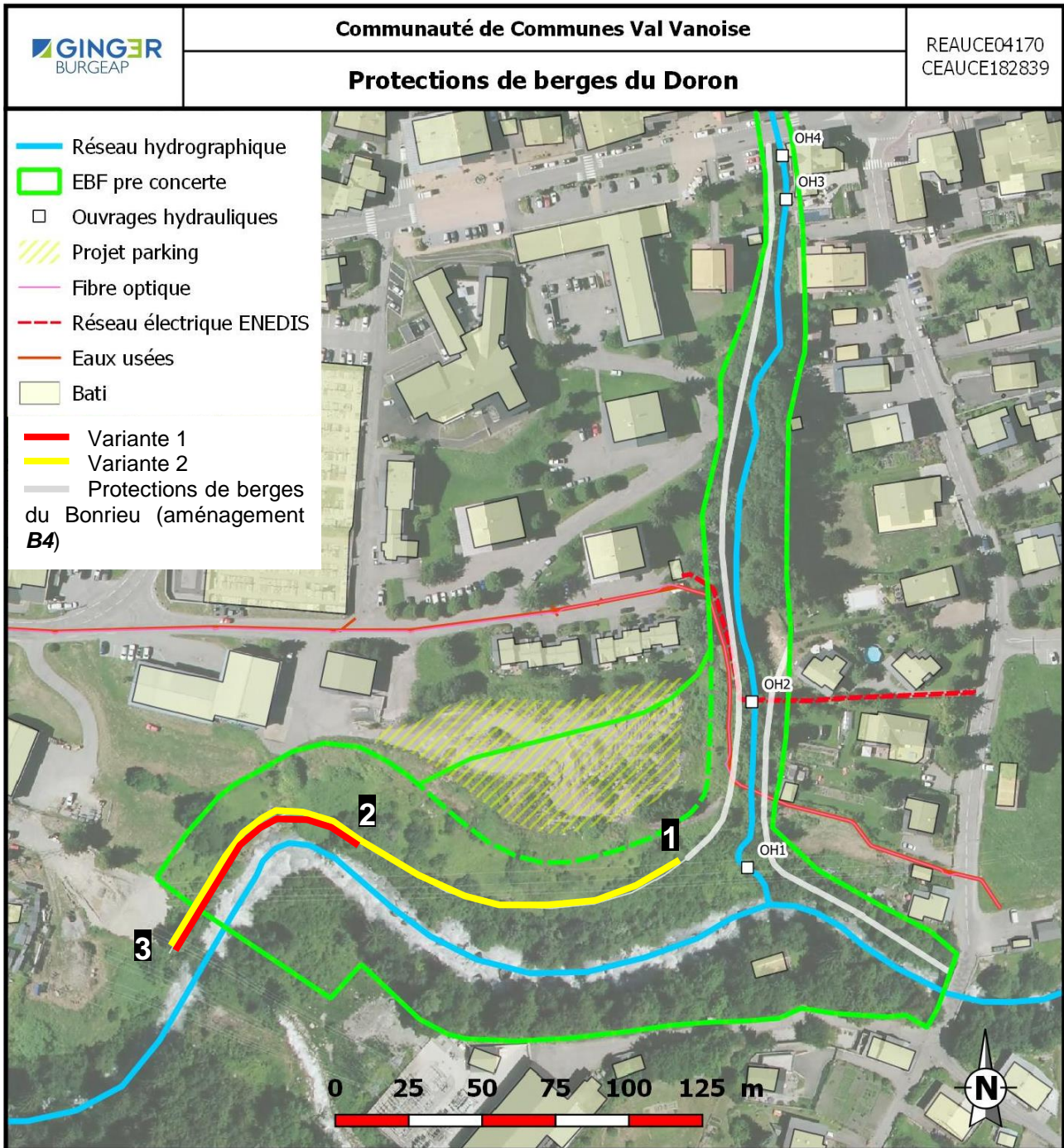
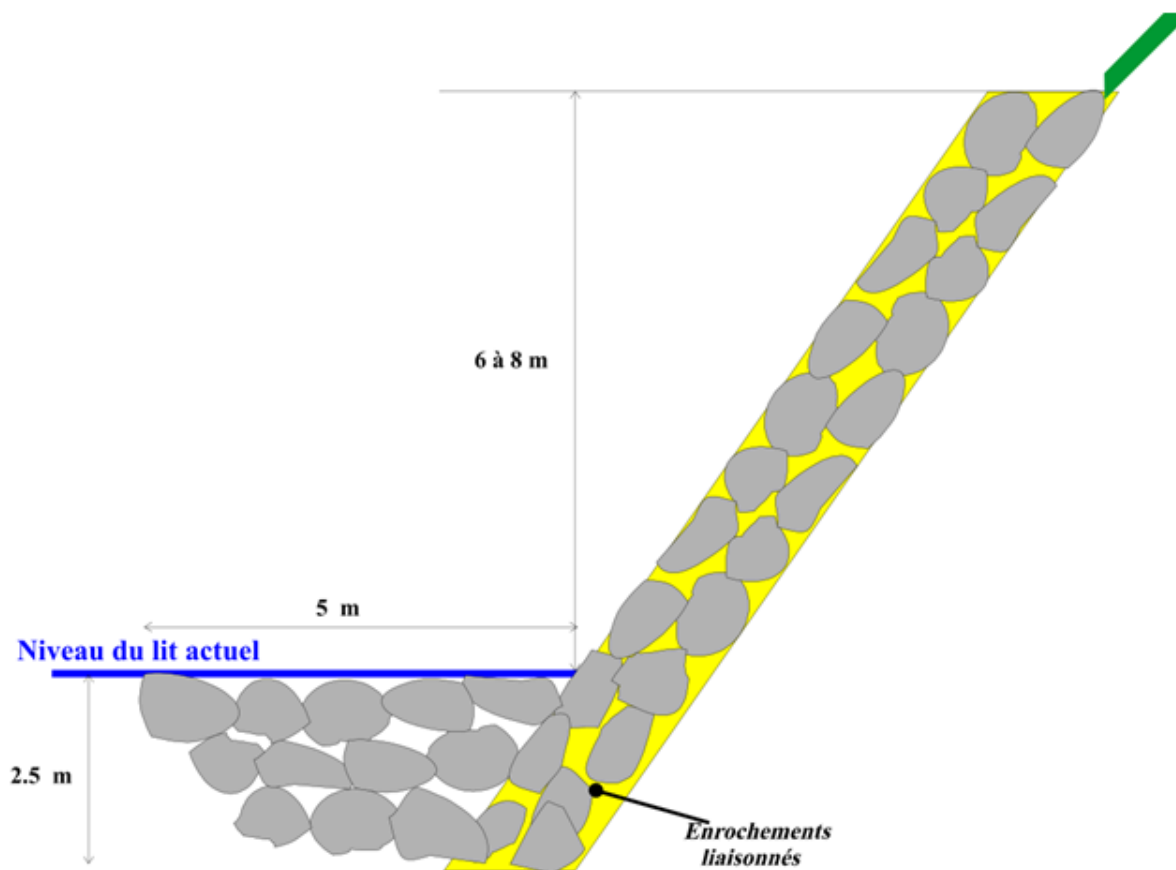


Figure 12 : Localisation des protections de berges du Doron en aval de la confluence



**Figure 13 : Coupe type de la protection le long du Doron (ETRM)**

#### Contraintes techniques et réglementaires

Ces deux variantes de protection présentent des contraintes techniques liées à la dimension conséquente des travaux à réaliser sur des terrains à fortes pentes et peu stables (remblais).

La gestion préalable de la Renouée du Japon doit être considérée sérieusement compte tenu de son très fort recouvrement sur cette zone.

Emprise foncière nécessaire pouvant affecter des propriétés privées

Les deux variantes seront soumises au Code de l'Environnement. Compte tenu de la nature et de la longueur stricte cumulée des travaux à réaliser, les procédures seraient les suivantes :

- Etude au cas par cas afin de déterminer le type de dossier réglementaire. Cette étude au cas par cas nécessitera une étude de sensibilité écologique.
- Etude d'impacts (très probable) avec besoin d'inventaires faunistiques et floristiques sur 4 saisons

#### Investigations complémentaires

- Etude de sensibilité écologique
- Inventaires faune / flore 4 saisons
- Etude géotechnique

Avantages	Inconvénients
<b>Variante 1</b>	
Protection durable du risque de glissement de terrain de la ZA (partie amont uniquement) Protection / stabilisation de la confluence Doron / Rosière	Artificialisation de la berge rive droite (100 m) du Doron Contraintes techniques lourdes (terrassment, gestion des invasives)
<b>Variante 2</b>	
Protection durable de tous les enjeux (y compris du parking) Protection / stabilisation de la confluence Doron / Rosière	Artificialisation majeure de la berge rive droite (215 m) du Doron Contraintes techniques lourdes (terrassment, gestion des invasives)

### ► Estimatif financier

<b>Variante 1 :</b>	<b>1 037 000 €</b>
Etudes complémentaires : _____	27 000 €
Maitrise d'œuvre : _____	80 000 €
Dossier réglementaire (loi sur l'eau) : _____	20 000 €
Travaux (terrassments, protection des berges (215m)) : _____	910 000 €
 <b>Variante 2 :</b>	 <b>2 162 000 €</b>
Etudes complémentaires : _____	30 000 €
Maitrise d'œuvre : _____	160 000 €
Dossier réglementaire (loi sur l'eau) : _____	20 000 €
Travaux (terrassments, protection des berges (215m)) : _____	1 952 000 €

**Rapport Coût / Bénéfice** : Si le parking est réalisé, il sera nécessaire de retenir la variante 1.

### 3.4 D. Aménagement d'une connexion piétonne

**Objectif :** Créer une liaison douce, directe et pertinente entre le stationnement et la remontée mécanique

**Périmètre :** Confluence Bonrieu / Doron

#### D. AMENAGEMENT D'UNE PASSERELLE SUR LE DORON

Une remontée mécanique est projetée entre le village de Bozel et la station de Courchevel. La gare est prévue d'être aménagée à proximité de la centrale hydroélectrique en rive gauche du Doron (Figure 14). Il convient donc d'aménager une connexion piétonne la plus directe possible entre le parking et la gare.

Deux tracés peuvent être envisagés :

- **Un premier tracé** dont l'itinéraire franchit le Bonrieu en amont immédiat de la confluence et rejoint la route des Moulins (RD 91c). L'itinéraire franchit ensuite le Doron sur le pont existant, emprunte la Montée de l'Epine et rejoint la gare du téléporté. Soit une distance d'environ 300 m. Suite aux échanges téléphoniques avec la Directrice Générale des Services de Bozel, il s'avère que cet itinéraire n'est pas acceptable du fait de la distance à parcourir à pied. Il n'est donc pas retenu.
- **Un second tracé** – plus direct – qui franchit le lit du Doron entre le parking et la gare du téléporté. La distance à parcourir est d'environ 120 m. Seul cet itinéraire est admis.

#### ► Description de l'aménagement

Le dimensionnement de la structure de cet ouvrage dépasse le cadre de la présente étude. Nous présentons uniquement les contraintes qui doivent permettre de dimensionner l'ouvrage plus finement par un bureau d'études spécialisé (*Tech fun* par exemple : <http://www.tech-fun.com/fr/>).

Pour le dimensionnement de cet ouvrage les contraintes suivantes doivent être prise en compte :

- La passerelle doit reposer sur la berge du Doron en rive gauche (très pentue, 116 %, soit 1.00H/1.16V) et sur la berge rive droite du Doron en retrait du projet de protection de berge.
- Considérer un dépôt de lave torrentielle à la confluence de 6 m de hauteur depuis le lit du Doron à laquelle il faut rajouter un mètre minimum de revanche de sécurité. La cote minimale de l'installation est donc de 835,50 m NGF.
- Considérer le passage des lignes à haute tension au-dessus du Doron dont la cote minimale au droit du positionnement de la passerelle est de 848,00 m NGF.

Dans ces conditions, l'ouvrage doit mesurer entre 60 m et 65 m de longueur et serait situé à environ 11 m de hauteur au-dessus du lit du Doron.

Ces contraintes réduisent significativement le champ de possibles en terme de typologie de passerelle. La réalisation d'une travée unique (sans pile) serait possible mais la faisabilité nécessite une confirmation de la part d'une entreprise spécialisée.

L'ouvrage le plus adapté serait une passerelle suspendue de type himalayenne. La pose de pylônes de reports de charges est à étudier mais elle serait probablement complexe à mettre en œuvre et/ou non recommandée compte tenu de la proximité de la ligne électrique haute tension.

Les modalités de réalisation des travaux sont également à préciser au regard de la proximité de la ligne haute tension.

Cet aménagement nécessitera des ancrages profonds en berge dans un massif béton. Si ces travaux peuvent être facilement réalisables en rive droite, ils seront plus complexes en rive gauche du fait de la forte pente du talus qui va probablement contraindre à réaliser une plateforme puis un cheminement piétonnier. La route privée (EDF) pourrait également constituer une contrainte de réalisation en terme d'emprise.

Tous ces éléments seront à préciser dans le cadre d'une étude spécifique qui aura pour objet de dimensionner les ancrages et la structure de l'ouvrage au regard des éléments topographiques fins du terrain et des données géotechniques.

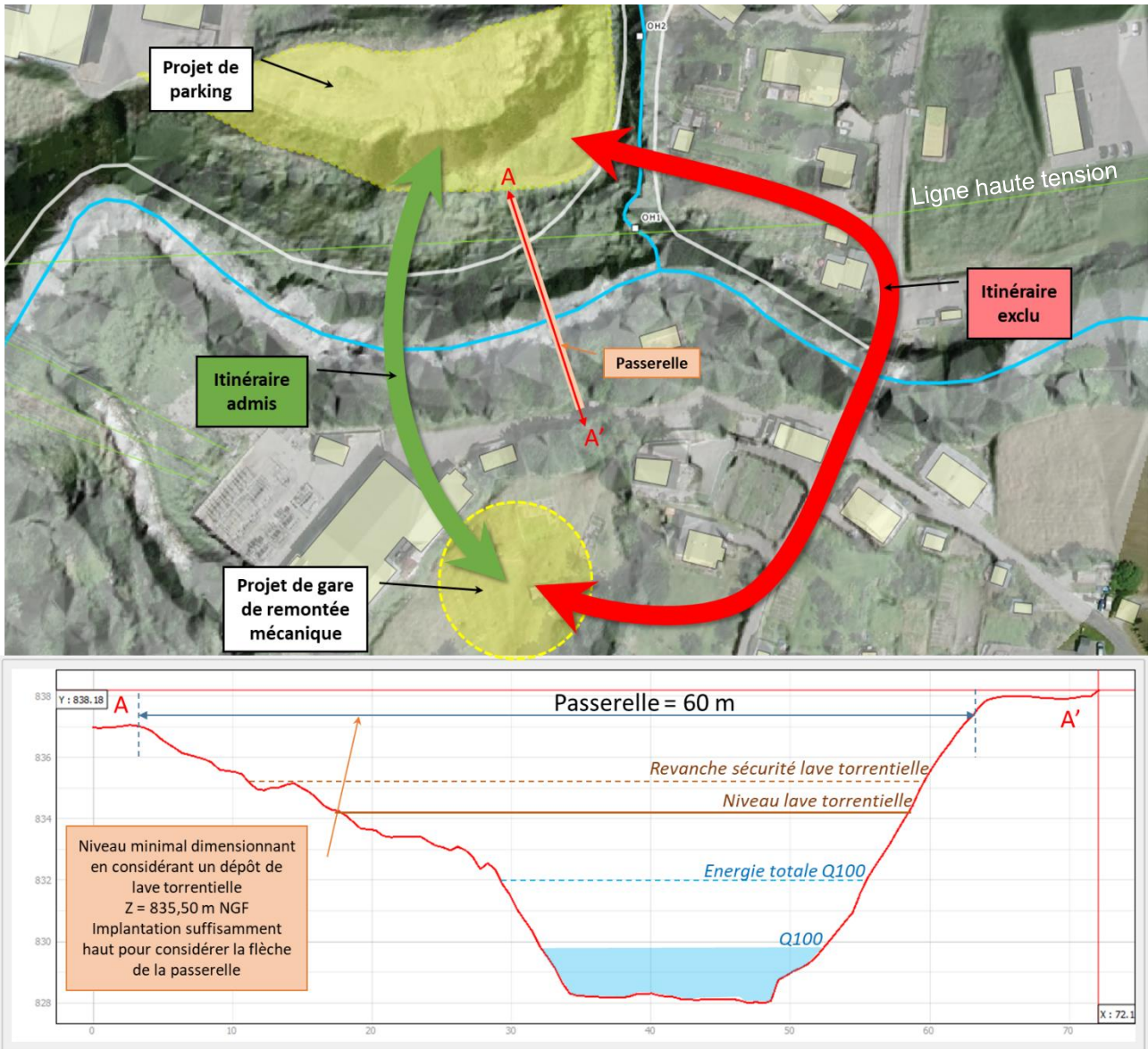


Figure 14 : Localisation du projet de passerelle



Figure 15 : Exemple de passerelle himalayenne sur la Romanche à Livet et Gavet (SYMBHI)



**Figure 16 : Exemple de passerelle himalayenne sur la Romanche à Livet et Gavet (SYMBHI)**

**Contraintes techniques et réglementaires**

Aménagement de l'ouvrage dans une zone de forte pente (rive gauche du Doron) conditionnant la faisabilité du son implantation

Proximité de la ligne haute tension pouvant conditionner la faisabilité de l'ouvrage

Emprise et modalités foncières nécessaires (terrain et chemin privé EDF en rive gauche)

Les deux scénarios seront soumis au Code de l'Environnement. Compte tenu de la nature des travaux, un régime déclaratif pour uniquement cet aménagement serait nécessaire (pas d'intervention dans le lit mineur du cours d'eau).

Le projet sera également soumis au Code de l'Urbanisme.

**Investigations complémentaires**

- Mission topographique fine des berges au droit des appuis (résolution du LIDAR sur la berge rive gauche insuffisant)
- Etude géotechnique de type G2 (AVP)
- Etude de dimensionnement (non incluse dans le présent marché)

Avantages	Inconvénients
<p>Liaison directe la plus courte entre parking et gare de téléporté</p> <p>En dehors de l'usage franchissement, cet aménagement apporte également un intérêt touristique supplémentaire non négligeable par sa dimension spectaculaire</p>	<p>Faisabilité d'aménagement / dimensionnement de l'appui rive gauche du fait de la forte pente du talus et de la propriété foncière / présence lignes électriques</p>

► **Estimatif financier**

<b>Aménagement d'une passerelle suspendue :</b>	<b>541 000 €</b>
Etudes complémentaires : _____	23 000 €
Maitrise d'œuvre : _____	58 000 €
Dossier réglementaire (loi sur l'eau) : _____	5 000 €
Travaux : _____	455 000 €

## 4. Synthèse

Le dimensionnement des travaux pour la protection des enjeux (habitations, réseaux, parking) implique des montants de travaux particulièrement élevés. Cette ambition est directement liée à l'occurrence de l'évènement dimensionnant (crue centennale) et surtout de la nature de l'évènement (lave torrentielle).

La délimitation de l'EBF est localement dépendante de l'emprise de l'espace hydraulique traduite ici sous deux formes (ou ambitions) :

- L'EBF « pré-concerté » maximum considérant la délimitation du PIZ faisant référence en terme de réglementation en Savoie ;
- L'EBF « pré-concerté » minimum considérant l'emprise de l'aléa hydraulique diagnostiqué dans l'étude SOGREAHE (2008), ne faisant pas référence sur le plan réglementaire.

Nous rappelons que les propositions d'implantation des protections de berges respectent la délimitation de l'EBF « pré-concerté » minimum.

A delà de l'EBF, la faisabilité d'aménagement du parking est directement liée aux contraintes réglementaires de ce périmètre. Ainsi, la considération du PIZ (EBF « pré-concerté » maximum) permettrait de dégager une surface constructible de parking d'environ 1 300 m<sup>2</sup>.

La considération de l'aléa de SOGREAHE (2008) (EBF « pré-concerté » minimum) permettrait de dégager une surface constructible de parking d'environ 4 800 m<sup>2</sup>.

En 2020, l'Etat (DDT 73) doit lancer une étude pour l'élaboration du Plan de Prévention des Risques naturels (PPRn) qui deviendra le document de référence à terme en matière de risques, en remplacement du PIZ (échanges lors de la réunion en Comité de pilotage du 13 novembre 2019). Les résultats de cette étude – qui conditionneraient la faisabilité du parking – ne sauraient être disponibles à court terme.

Sur le périmètre situé en aval du pont de la RD915, il se dessine alors deux orientations :

- La première qui consiste à restaurer la continuité écologique du Bonrieu (aménagements A1 (*scénario 2*) et A2) tout en protégeant et pérennisant les enjeux actuels vis-à-vis des risques hydrauliques (crue et lave torrentielle). Cela se traduit par l'aménagement de protections de berges suivantes (*scénario 2* de l'aménagement B4) :
  - Sur le Bonrieu en rive droite entre le poste électrique et la confluence. Ces aménagements sont entièrement cohérents avec SOGREAHE (2008) qui a diagnostiqué de forts risques d'érosions de berges sur ce périmètre.
  - Sur le Bonrieu en rive gauche entre OH2 et la confluence ;
  - Sur le Doron en rive droite entre le pont et la confluence. Ces aménagements sont entièrement cohérents avec SOGREAHE (2008) qui a diagnostiqué de forts risques d'érosions de berges sur ce périmètre.

Ces aménagements respectent la délimitation de l'EBF « pré-concerté » minimum. Ils sont compatibles avec les risques hydrauliques (transit de la lave jusqu'au Doron) et avec les fonctionnalités écologiques affectées aux EBF. Ces aménagements sont indépendants du projet de parking et devraient être réalisés en priorité compte tenu des enjeux prioritaires identifiés (risque lave torrentielle et continuité écologique).

La protection des bâtiments de la zone d'activité située sur la berge rive droite du Doron (entre les points 2 et 3) constitue aussi un enjeu pour la pérennité des infrastructures.

- La validation du projet de parking en arrière des protections de berges sera conditionnée par l'accord de l'Etat vis-à-vis de son positionnement relatif aux risques hydrauliques.
  - Dans l'état actuel, cet aménagement ne pourrait s'étendre qu'au-delà de l'emprise du PIZ, soit sur une surface de 1 300 m<sup>2</sup>, ce qui pourrait significativement réduire la pertinence du projet.
  - Au maximum, cet aménagement ne pourrait s'étendre que sur une surface de 4 800 m<sup>2</sup>.

Seule la révision du PIZ, prévue dans le cadre de l'élaboration du PPRn, permettra de définir distinctement les contraintes d'aménagement.

La conception du parking conduirait à une superposition des enjeux à proximité de la confluence : protection des habitations, des réseaux (assainissement, électricité haute tension, fibre optique), et du parking. Dans ce sens, il s'avèrera nécessaire de mettre en place ces aménagements de façon à protéger durablement ces enjeux.

Si un parking (bâtiment de plusieurs étages) est établi sur le site présumé, tous les aménagements mentionnés précédemment devront être réalisés. En complément, la protection de berge rive droite du Doron (entre 1 et 3) devra aussi être réalisée. Cette protection en enrochements liaisonnés devra être réalisée sur une hauteur de 5 mètres minimum le long du Bonrieu.

Le parking pourra alors être implanté sans contraintes supplémentaires (et sans descendre sous le niveau du sommet des protections) en retrait des protections proposées. Aucune ouverture ne serait acceptable à moins de :

- 6 mètres par rapport au lit du Bonrieu ;
- 10 mètres par rapport au lit du Doron.

Afin de conserver une bande de sécurité le long du Bonrieu, la limite du parking devra se situer à 10 m du sommet de berge nouvellement reconstruit.

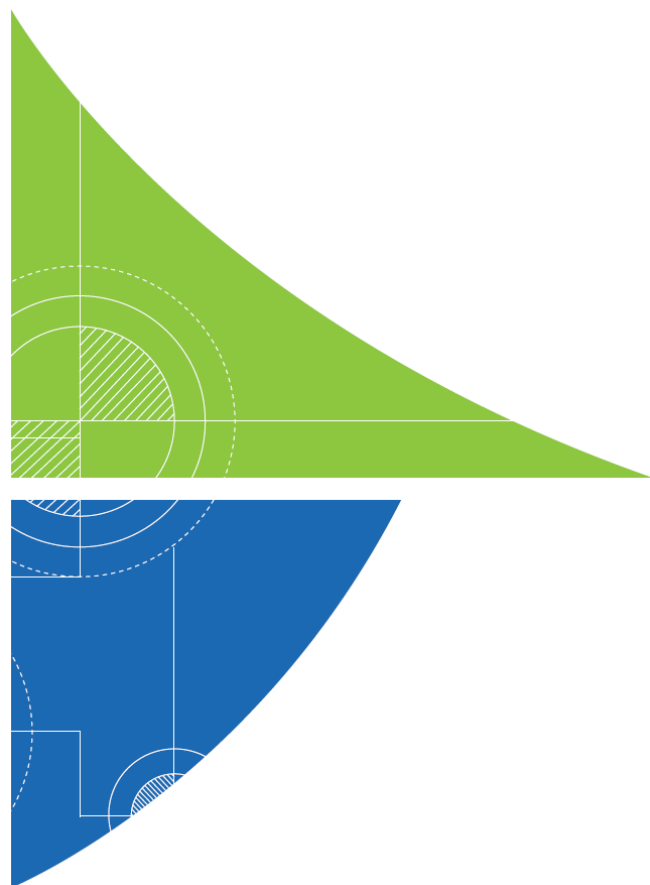
La synthèse des aménagements et variantes proposées est présentée dans le Tableau 1. Les aménagements que nous proposons de retenir dans le cadre du projet global sont identifiés par un point noir (●). Les aménagements C et D sont conditionnées par la validation de l'Etat au regard du projet de parking (●).

**Tableau 1 : Liste et montants des aménagements proposés**

Intitulé	Montant estimé (€ HT)	Proposition
<b>A Restauration de la continuité biologique</b>		
A1 Restauration de la continuité biologique – seuil OH2		
<i>Scénario 1 - Dérasement du seuil</i>	6 000 €	
<i>Scénario 2 - Dérasement et reconstruction d'une rampe</i>	42 000 €	●
A2 Restauration de la continuité biologique – Confluence (OH1)	150 000 €	●
<b>B Aménagement du Bonrieu</b>		
B1 Restauration des sections hydrauliques entre le pont de Bellegarde et l'ancienne prise d'eau (OH7)	non chiffré*	
B2 Pont de l'Eglise (RD89)		
<i>Variante 1 - Ne rien faire</i>	- €	●
<i>Variante 5 - Pont mobile</i>	> 500 000 €	
B3 Pavage du lit du Bonrieu		
<i>Variante 1 - Restauration complète des affouillements</i>	548 000 €	
<i>Variante 2 - Restauration ciblée des affouillements</i>	368 000 €	●
B4 Protection des berges du Bonrieu entre le pont de la RD 915 et la confluence		
<i>Scénario 1 - Elargissement du lit et protection intégrale des berges</i>	2 646 000 €	
<i>Scénario 2 - Elargissement du lit et protection minimale des berges</i>	2 181 000 €	●
<b>C Protection des berges du Doron en aval de la confluence</b>		
<i>Variante 1 - Protection minimale des berges amont de la ZA</i>	1 037 000 €	
<i>Variante 2 - Protection totale de la berge rive droite pour la protection de la ZA et du parking</i>	2 162 000 €	(●)
<b>D Aménagement d'une passerelle sur le Doron</b>	541 000 €	(●)

\*hors périmètre étude

# ANNEXES



## **Annexe 1. Expertise des ouvrages du lit dans la traversée du village de Bozel (RTM)**

Agence RTM Alpes du Nord  
Service RTM de la Savoie

42, quai Charles Roissard,  
73026 Chambéry cedex  
Tél. : 33 (0)4 79 69 96 05  
adél : rtm.chambery@onf.fr

Réf. : CB/DJ/101019/D9-04

**Objet : Commune de Bozel. Torrent du Bon Rieu de Bozel. Expertise des ouvrages du lit dans la traversée du village**

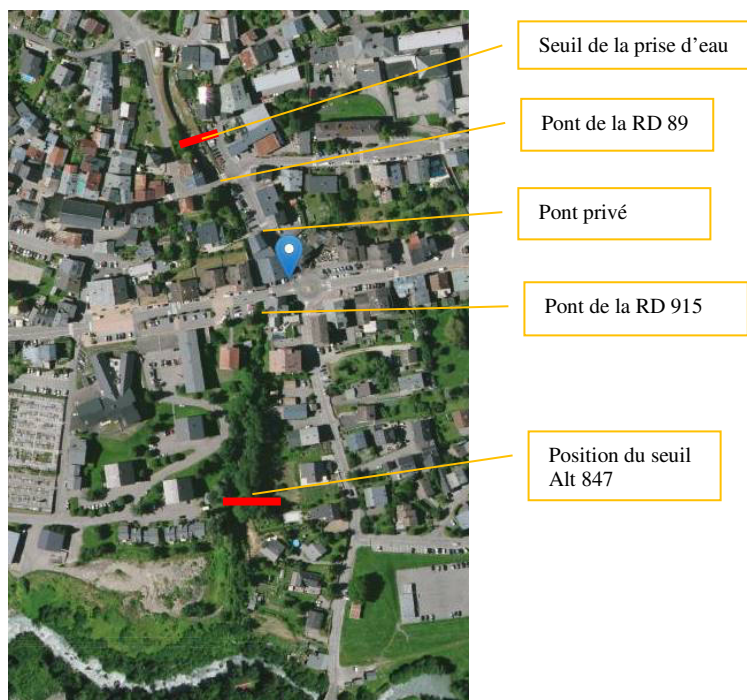
## PREAMBULE

*Dans le cadre d'une étude plus générale sur la confluence entre le Bon Rieu de Bozel et le Doron, la société Ginger-Burgeap a confié au service RTM, par commande en date du 21/06/2019, une expertise du lit du torrent du Bon Rieu dans la traversée du village, entre le seuil de la prise d'eau et les seuils en aval de la RD915.*

*Cette expertise, visuelle et à dire d'expert, porte essentiellement sur les ouvrages de génie civil rencontrés.*

*La visite de terrain a été faite le 07/10/2019 de l'aval vers l'amont par M. D. Jullien du service RTM.*

## SITUATION



**Figure 1 Plan de situation (extrait de Geoportail) Les traits rouges indiquent les limites des parties expertisées**

## CONTEXTE GENERAL

Le Bon Rieu de Bozel est un torrent qui draine un bassin versant d'un peu plus de 15 km<sup>2</sup>. Les débits de pointe sont de l'ordre de 10 et 20 m<sup>3</sup>/s en Q10 et Q100. La géologie particulière du bassin versant (gypse au niveau du bassin de réception puis schistes altérés plus en aval) favorise la formation de laves torrentielles.

Un évènement majeur a eu lieu en 1904. Une lave torrentielle issue du bassin de réception s'est alors rechargée sur la partie basse du torrent, entre les cotes 1130 à 900 mètres d'altitude, pour enfin largement déborder du lit au droit du village.

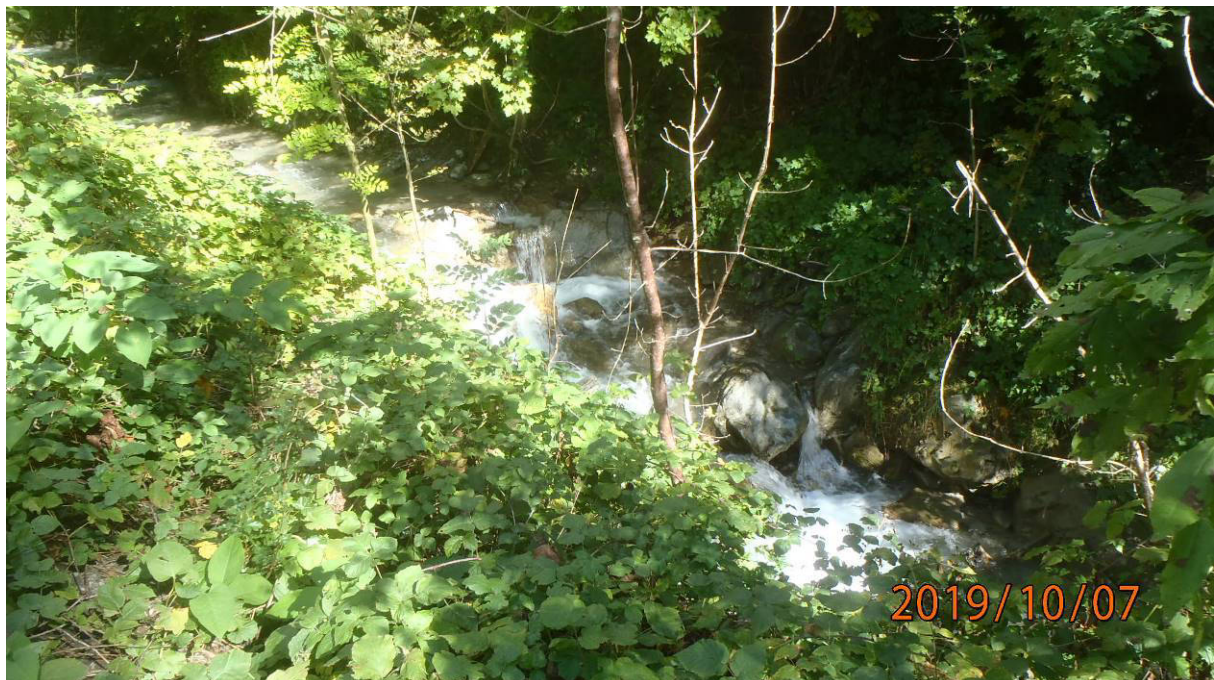
Des travaux conséquents ont été réalisés. À l'aide d'une série d'ouvrages de correction torrentielle, ils ont permis de fixer le lit au droit des zones sensibles à l'érosion (altitude de 1130 à 900 m), où les laves pouvaient se recharger en matériaux.

Plus en aval sur le cône de déjection, c'est-à-dire dans la traversée du village de Bozel, des travaux d'endiguement ont été réalisés. Dans un lit toujours profond et bien encaissé, ils ont consisté à construire des murs latéraux en maçonnerie cyclopéenne. Le fond du lit a été fixé par quelques seuils et, entre chaque ouvrage, par un long radier réalisé en pierres. L'objectif de ces aménagements était probablement de limiter les dépôts solides dans la traversée du village.

## LES POINTS RELEVES

### Le seuil vers la cote 847

Il s'agit d'un seuil probablement naturel constitué d'un amas de gros blocs. Il résulte à priori de l'arrêt d'un front de lave lors d'une grosse crue. Actuellement, il fixe parfaitement le fond du lit. Aucune action ne nous paraît nécessaire.



**Figure 2** Le seuil Alt 847

En amont du seuil, le fond de lit est parfaitement pavé de gros blocs, comme plus en aval, aucune action ne nous paraît utile.



**Figure 3** Le lit en amont du seuil naturel

### Jusqu'au seuil Alt 861 en aval de la route départementale



**Figure 4** Vue générale du lit en aval de la route départementale

Le lit est toujours très enfoncé. Au droit des habitations, des digues en maçonnerie cyclopéenne ont été construites. Au fil des décennies, des matériaux fins ont été déversés dans le lit du torrent par les riverains ; ils se retrouvent généralement en pied de ces digues et recentrent les écoulements à distance du pied des ouvrages. Les digues paraissent donc en bon état. Sur cette partie, aucune action ne paraît utile.

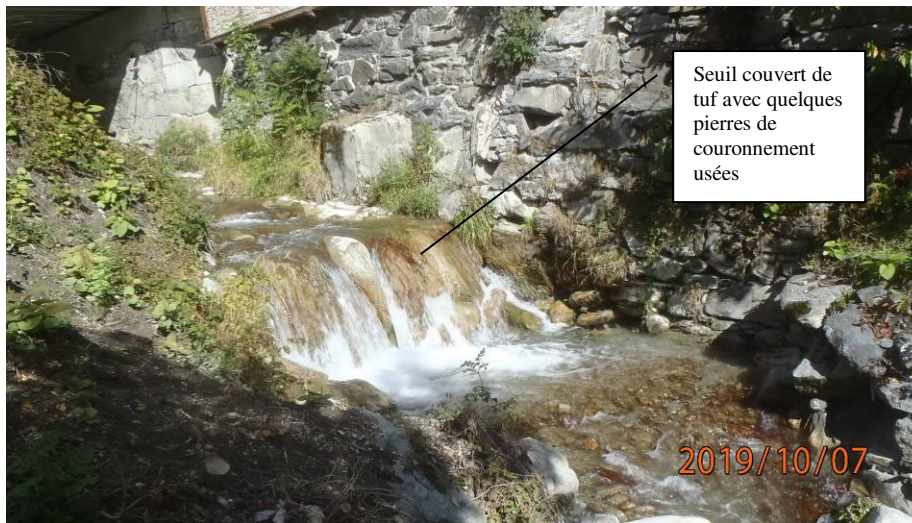


Figure 5 Les digues latérales en aval du seuil Alt 861 sous la RD

### Le seuil Alt 861 juste en aval de la route départementale 915

Il s'agit probablement du seuil de base du radier de pierres installé sur tout le linéaire de la traversée du village. Cet ouvrage, réalisé en pierres, a son couronnement largement usé par le passage des écoulements chargés en matériaux. Il est, d'autre part, majoritairement recouvert de dépôts calcaires (tuf). Il nous paraît en bon état et ne nécessite pas de travaux de réparation.





**Figure 6** Le seuil Alt 861 vue de l'aval



**Figure 7** Affouillement ponctuel de la digue juste en aval du seuil

### **Entre le seuil Alt 861 et le pont de la RD 89**

Cette partie de lit devait être protégée par un radier fixé de loin en loin par quelques seuils. Certains ouvrages sont encore visibles. Le radier, bien que réalisé à l'aide de pierres de forte épaisseur, est souvent détruit. Ponctuellement, nous avons donc affaire à des affouillements de pieds de berges. Ces digues sont intégralement réalisées en maçonnerie cyclopéenne et peu fondées (du fait de la présence du radier). Ces affouillements ne sont jamais très importants et, actuellement, ils ne mettent pas en périls la stabilité des murs.



**Figure 8** Le fond de lit entre le seuil et le pont de la RD 915. On remarque le pont et ses culées en parfait état, des dépôts terreux en rive droite, le radier détruit en milieu de lit ainsi que les murs latéraux de part et d'autre du pont qui sont en assez mauvais état.



**Figure 9** A l'aplomb de la passerelle piétonne. Le mur est assez dégradé avec un petit affouillement de pied et une maçonnerie qui demanderait à être rejointoyée.



**Figure 10** Les fers porteurs de la passerelle piétons. Ils sont très oxydés. Ils demanderaient à être contrôlés, protégés ou remplacés.



**Figure 11** Vue générale juste en amont du pont de la RD 915

Sur cette partie de lit, le radier a souvent été détruit par des gros blocs transportés lors des précédentes crues. Nombre d'entre eux sont encore sur place. Ils limitent donc une éventuelle tendance à l'affouillement en créant un bon pavage. Malheureusement, ils peuvent concentrer les écoulements sur une seule berge et donc engendrer des affouillements ponctuels.

Sur la photo ci-dessus, l'aile de rive gauche du seuil a été détruite. L'abaissement qui s'en est suivi a permis un léger affouillement de pied de digue.



**Figure 12** Détail de l'affouillement de rive gauche au droit de l'immeuble



**Figure 13** Détails du seuil



**Figure 14** Autre vue de l'affouillement de rive gauche au droit de l'immeuble



**Figure 15** Le pied de berge de rive gauche assez sérieusement affouillé en amont de l'immeuble de bord de route



**Figure 16** La berge de rive droite



**Figure 17** Le pont privé. La qualité du béton est très mauvaise. Elle a permis des infiltrations d'eau qui ont oxydé les aciers et donc fait éclater le béton. Une reprise en sous œuvre nous paraît indispensable.



**Figure 18** Restes d'un seuil de fixation du fond de lit (détruit sur la moitié de la largeur)



**Figure 19** Mur latéral en mauvais état



**Figure 20** Partie du lit où près de la moitié de la surface du radier a été emportée



**Figure 21** Vue générale entre la passerelle privée et celle en amont de la RD 915



**Figure 22** Juste en aval du pont routier sur la RD 89. Très gros affouillement du radier.



**Figure 23** Le pont de la RD 89 en parfait état

## ENTRE LE PONT DE LA RD 89 ET LE SEUIL DE LA PRISE D'EAU

Comme plus en aval, le fond du lit était couvert d'un radier en pierres. Bien que globalement en meilleur état qu'en aval du pont, il est souvent dégradé. Au niveau de la face amont du pont, un seuil cale le profil en long.



**Figure 24** Le seuil sous le pont de la RD 89



**Figure 25** Le radier entre le pont de la RD 89 et le seuil de prise d'eau. *Le radier est encore en bon état bien que légèrement dégradé en rive droite.*



**Figure 26** Le seuil de prise d'eau avec son couronnement dégradé



**Figure 27** Le lit en équilibre juste en amont du seuil de la prise d'eau

## SYNTHESE DE LA VISITE

Les aménagements de la traversée du village de Bozel font suite à la crue catastrophique de 1904. Un lit artificialisé a alors été installé. Il était constitué d'un épais radier en pierres, calé de loin en loin par quelques seuils de faible hauteur. Le rôle du radier était d'accélérer les écoulements, celui des seuils de caler le profil en long même en cas de dégradation ponctuelle du radier. Enfin, des murs latéraux subverticaux ont été construits.

Plus d'un siècle après ces travaux, force est de constater que ces aménagements étaient judicieux.

Actuellement, l'essentiel des ouvrages est en bon état. Nous pouvons simplement déplorer quelques dégradations ponctuelles au niveau du radier ou de la crête de certains seuils. Conséquence de ces désordres, quelques affouillements, actuellement mineurs, sont présents en pied de digue. Il serait néanmoins souhaitable de les traiter sur le moyen terme.

Deux solutions sont envisageables :

**La première consisterait à refaire le radier et les seuils à l'identique.** Les travaux seraient assez importants et ils « artificialiseraient » de nouveau le fond du lit, au détriment de la diversité biologique. D'un point de vue strictement hydraulique, et en lien avec le transport solide, la réalisation d'un radier n'est pas non plus indispensable. Comme expliqué plus avant, cet aménagement a été fait pour éviter les dépôts dans le village lors des grosses crues. Actuellement, le lit est très encaissé, la pente est forte. Ces paramètres permettent un bon transit des laves torrentielles qui ne devraient plus déborder dans le village même en l'absence d'un radier lisse dont le rôle est d'accélérer les vitesses d'écoulement des laves. Autre facteur positif, la série de barrages en amont du village a été récemment renforcée. Elle devrait résister à un événement exceptionnel et donc empêcher un rechargement de lave comme en 1904. Enfin, en temps habituel donc pour des crues liquides, le lit possède un bon pavage qui paraît solide. Il résulte d'une combinaison entre les parties encore en place du radier et des blocs transportés lors des crues qui sont dispersés sur tout le linéaire. Cet ensemble nous semble en équilibre (dynamique) et capable de résister sans dommage à des fortes crues. La dernière datant d'août 2018 a d'ailleurs transitée jusqu'au Doron sans encombre.

**La deuxième, qui a la préférence du service RTM,** consisterait à globalement garder le lit dans son état actuel, tout en réalisant des travaux ponctuels de renforcement de pieds de digues, en gardant le profil en long actuel du cours d'eau.



Figure 28 Principe de confortement de pied de digue

Ces renforcements seraient réalisés en béton ou en enrochements liés au béton. Quelques murs latéraux dégradés pourraient être rejointoyés ou confortés par des barres d'ancrage.

*Rédigé à Grand Aigueblanche, le 08/10/2019, par le cadre technique responsable du secteur Haute Tarentaise.*

*Daniel Jullien*

Transmis avec avis conforme à GINGER-BURGEAP le 10/10/19.

Pour le chef du Service R.T.M.



Caroline BROBECKER