



# SMAGGA

Le ruisseau du Cartelier à Thurins – Seuil du Villard (69)

## Etude de restauration de la continuité écologique

Rapport – Diagnostic et scénarios

Réf : CEAUCE161376 / REAUCE02214-01

TLT / JD /CM

15/10/2016



## SMAGGA

### Le ruisseau du Cartelier à Thurins – Seuil du Villard (69)

#### Etude de restauration de la continuité écologique

Ce rapport a été rédigé avec la collaboration de :

| Objet de l'indice | Date       | Indice | Rédaction  |           | Vérification |           | Validation |           |
|-------------------|------------|--------|------------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|
|                   |            |        | Nom        | Signature | Nom          | Signature | Nom        | Signature |
| REAUCE02214       | 15/10/2016 | 01     | T.LAMBERET |           | J.DELAYE     |           | C.MICHELOT |           |
|                   |            |        |            |           |              |           |            |           |
|                   |            |        |            |           |              |           |            |           |
|                   |            |        |            |           |              |           |            |           |

|                                  |                                                                                                                    |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Numéro de contrat / de rapport : | Réf : CEAUCE161376 / REAUCE02214-01                                                                                |
| Numéro d'affaire :               | A16302                                                                                                             |
| Domaine technique :              | BV07                                                                                                               |
| Mots clé du thésaurus            | DEVERSOIR, SEUIL, HYDRAULIQUE FLUVIALE, RIVIERE, PROFIL EN LONG, PROFIL EN TRAVERS, TRANSPORT SOLIDE PAR CHARRIAGE |

Agence Centre-Est • 19, rue de la Villette – 69425 Lyon CEDEX 03  
Tél : 04.37.91.20.50 • Fax : 04.37.91.20.69 • [agence.de.lyon@burgeap.fr](mailto:agence.de.lyon@burgeap.fr)

## SOMMAIRE

|           |                                                                                                 |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Présentation de l'étude .....</b>                                                            | <b>4</b>  |
| 1.1       | Contexte de l'étude .....                                                                       | 4         |
| 1.2       | Objectifs de l'étude .....                                                                      | 4         |
| 1.3       | Périmètre d'étude .....                                                                         | 4         |
| <b>2.</b> | <b>Diagnostic préliminaire .....</b>                                                            | <b>7</b>  |
| 2.1       | Référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE).....                                             | 7         |
| 2.2       | Règlement d'eau .....                                                                           | 7         |
| 2.3       | Situation foncière .....                                                                        | 7         |
| 2.4       | Milieus naturels .....                                                                          | 9         |
| 2.5       | Contexte géologique et hydrogéologique .....                                                    | 9         |
| 2.6       | Usages historiques .....                                                                        | 10        |
| <b>3.</b> | <b>Diagnostic hydrogéomorphologique .....</b>                                                   | <b>12</b> |
| 3.1       | Analyse hydrologique .....                                                                      | 12        |
| 3.1.1     | Station hydrométrique de Brignais .....                                                         | 12        |
| 3.1.2     | Evaluation des débits de référence au niveau du seuil de l'Aqueduc.....                         | 13        |
| 3.1.3     | Estimation de la courbe des débits classés.....                                                 | 15        |
| 3.2       | Analyse hydraulique .....                                                                       | 16        |
| 3.3       | Analyse morphodynamique .....                                                                   | 18        |
| 3.3.1     | Profil en long .....                                                                            | 18        |
| 3.3.2     | Grandeurs morphodynamiques.....                                                                 | 20        |
| 3.3.3     | Transport solide .....                                                                          | 23        |
| <b>4.</b> | <b>Qualité des habitats aquatiques .....</b>                                                    | <b>27</b> |
| 4.1       | Habitats aquatiques et frayères .....                                                           | 27        |
| 4.2       | Boisements de berge .....                                                                       | 29        |
| <b>5.</b> | <b>Usages .....</b>                                                                             | <b>31</b> |
| <b>6.</b> | <b>Analyse géotechnique sommaire .....</b>                                                      | <b>32</b> |
| 6.1       | Structure de l'ouvrage .....                                                                    | 32        |
| 6.2       | Risque sur les berges .....                                                                     | 33        |
| <b>7.</b> | <b>Etablissement des scénarios d'aménagement.....</b>                                           | <b>35</b> |
| 7.1       | Contexte des scénarios d'aménagement .....                                                      | 35        |
| 7.2       | Présentation des scénarios.....                                                                 | 36        |
| 7.2.1     | Scénario 1 : Dérasement de l'ouvrage .....                                                      | 36        |
| 7.2.2     | Scénario 2 : Arasement partiel de l'ouvrage et installation de pré-barrages .....               | 39        |
| 7.2.3     | Scénario 3 : Réalisation d'une échancrure et installation d'une passe à bassins successifs..... | 42        |
| 7.3       | Analyse comparative des scénarios .....                                                         | 45        |

## ANNEXES

Annexe 1. Atlas cartographique

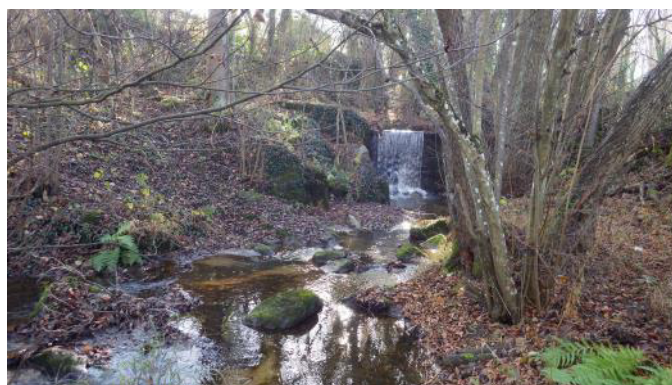
## 1. Présentation de l'étude

### 1.1 Contexte de l'étude

Suite au bilan du premier contrat de rivière du Garon, terminé en 2006, un second contrat du Garon (2013 – 2018) a été approuvé par le comité de bassin Rhône-Méditerranée en date du 18 décembre 2008.

L'un des objectifs du second contrat de rivière porté par le SMAGGA est la restauration de la continuité biologique sur le bassin versant amont du Garon. En effet, l'étude piscicole réalisée en 2006-2007 a démontré un besoin d'étendre l'aire de répartition des espèces piscicoles et de restaurer la libre circulation au sein du bassin versant, notamment à travers l'aménagement d'ouvrages prioritaires au regard de leur degré d'infranchissabilité.

Dans le cadre de cet objectif, le SMAGGA a souhaité réaliser une étude de faisabilité de la restauration écologique sur le seuil du Villard (ROE33311) situé sur le ruisseau du Cartelier sur la commune de Thurins (69).



*Seuil du Villard sur la commune de Thurins (69)*

### 1.2 Objectifs de l'étude

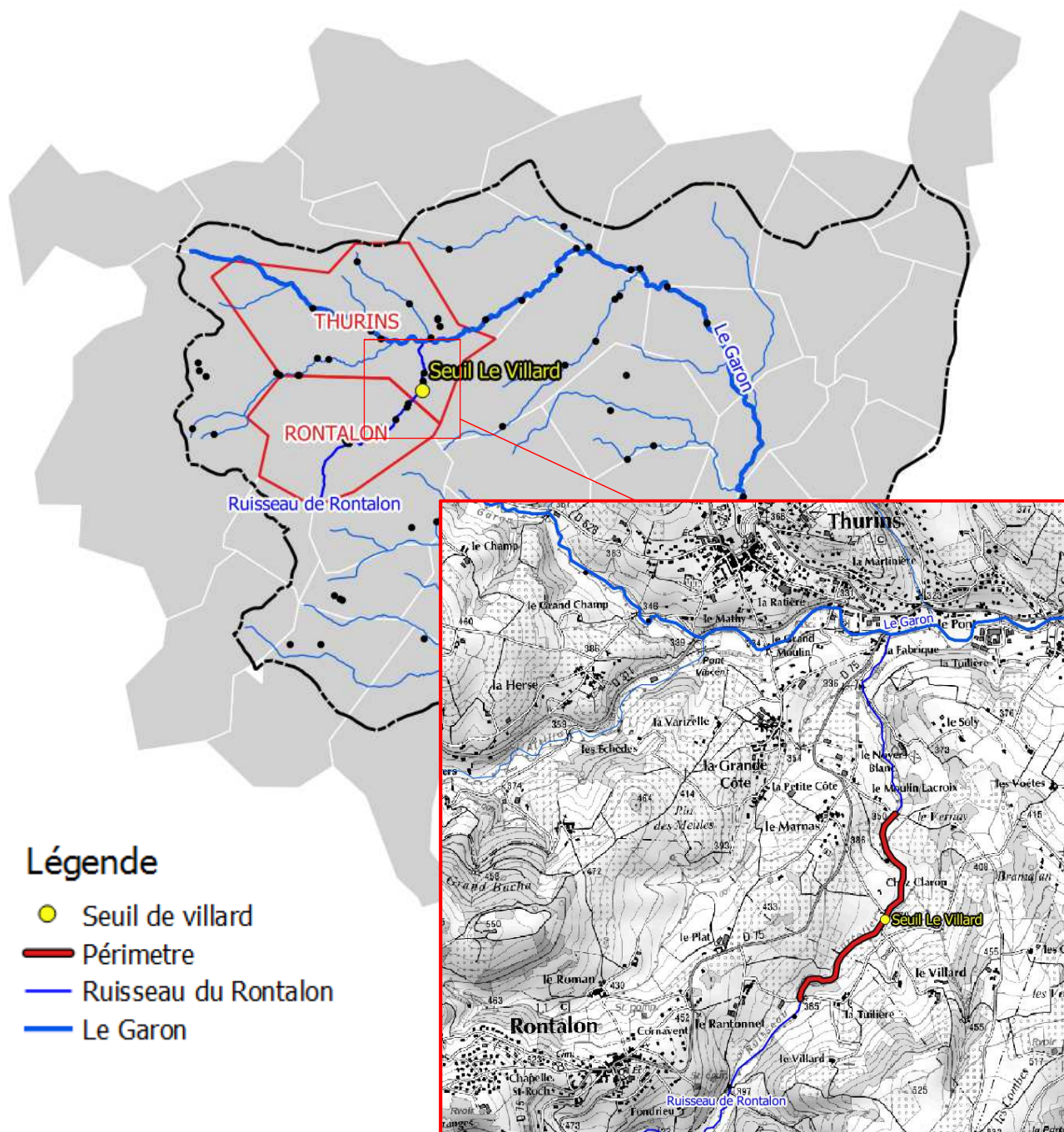
Les principaux objectifs de cette étude sont les suivants :

- réaliser un diagnostic ciblé de la continuité écologique dans les secteurs influencés par le seuil ;
- étudier les possibilités et contraintes de restauration de la continuité écologique ;
- proposer deux scénarios d'aménagement permettant de restaurer la continuité écologique au niveau des seuils et réaliser une analyse multicritères succincte :
  - scénario d'arasement de l'ouvrage avec réalisation d'un équipement en pied d'ouvrage ;
  - échancrure sur la crête de l'ouvrage et réalisation d'un équipement de franchissabilité piscicole en aval ;
  - un troisième scénario a été ajouté en considérant le dérasement total de l'ouvrage.

### 1.3 Périmètre d'étude

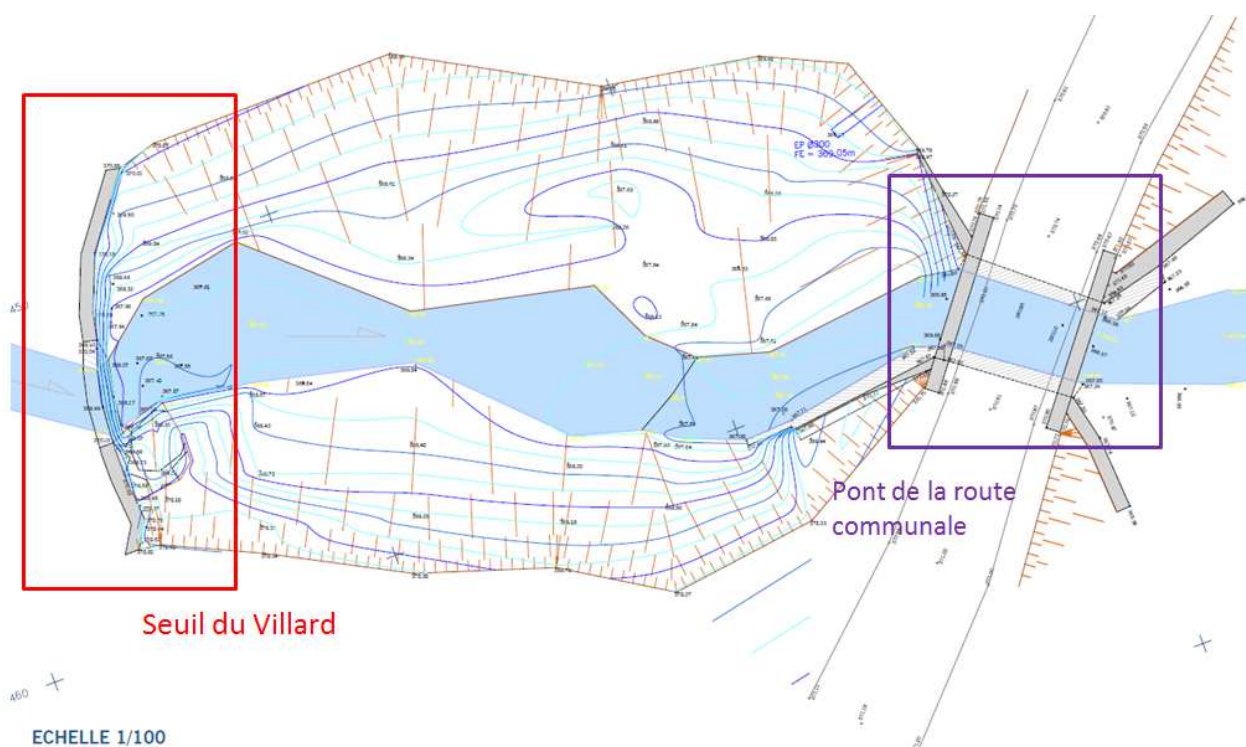
Le périmètre d'étude (cf. encadré ci-dessous) porte sur le ruisseau du Rontalon, en amont et en aval du seuil de Villard, entre le pont de la Tuillières à Rontalon et le pont du Vernay à Thurins sur un linéaire total de 1,2 km.





**Figure 1 : Localisation du seuil et du périmètre d'étude sur le bassin versant du Garon**

L'ouvrage est situé sur le ruisseau du Cartelier (ruisseau du Rontalon selon la BD Carthage), sur un tronçon de cours d'eau classé en Liste 1 et sur une masse d'eau (FRDR11479) classée en bon état écologique.



**Figure 2 : Plan masse de l'ouvrage issu des relevés topographiques réalisés le 08 septembre 2016 (ALTEA, BURGEAP)**

## 2. Diagnostic préliminaire

### 2.1 Référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE)

Le ROE recense l'ensemble des ouvrages inventoriés sur le territoire national en leur associant des informations restreintes (code national unique, localisation, typologie) mais communes à l'ensemble des acteurs de l'eau et de l'aménagement du territoire. Il assure aussi la gestion et la traçabilité des informations en provenance des différents partenaires.

L'ouvrage de l'étude est recensé au ROE sous le code ROE33311.

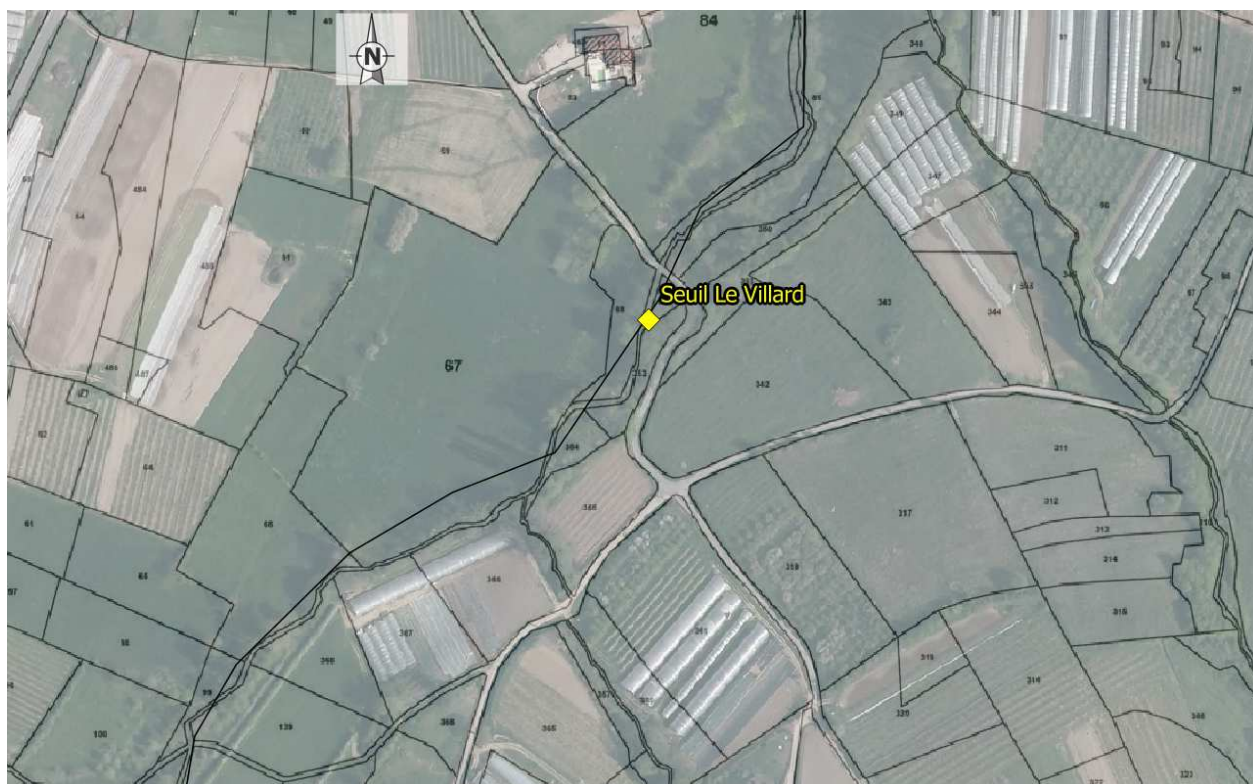
### 2.2 Règlement d'eau

Aucun document réglementaire propre au droit d'eau de l'ouvrage n'a été recensé.

Nous n'avons pas prévu, dans le cadre de l'étude, d'investigations supplémentaires aux archives départementales.

### 2.3 Situation foncière

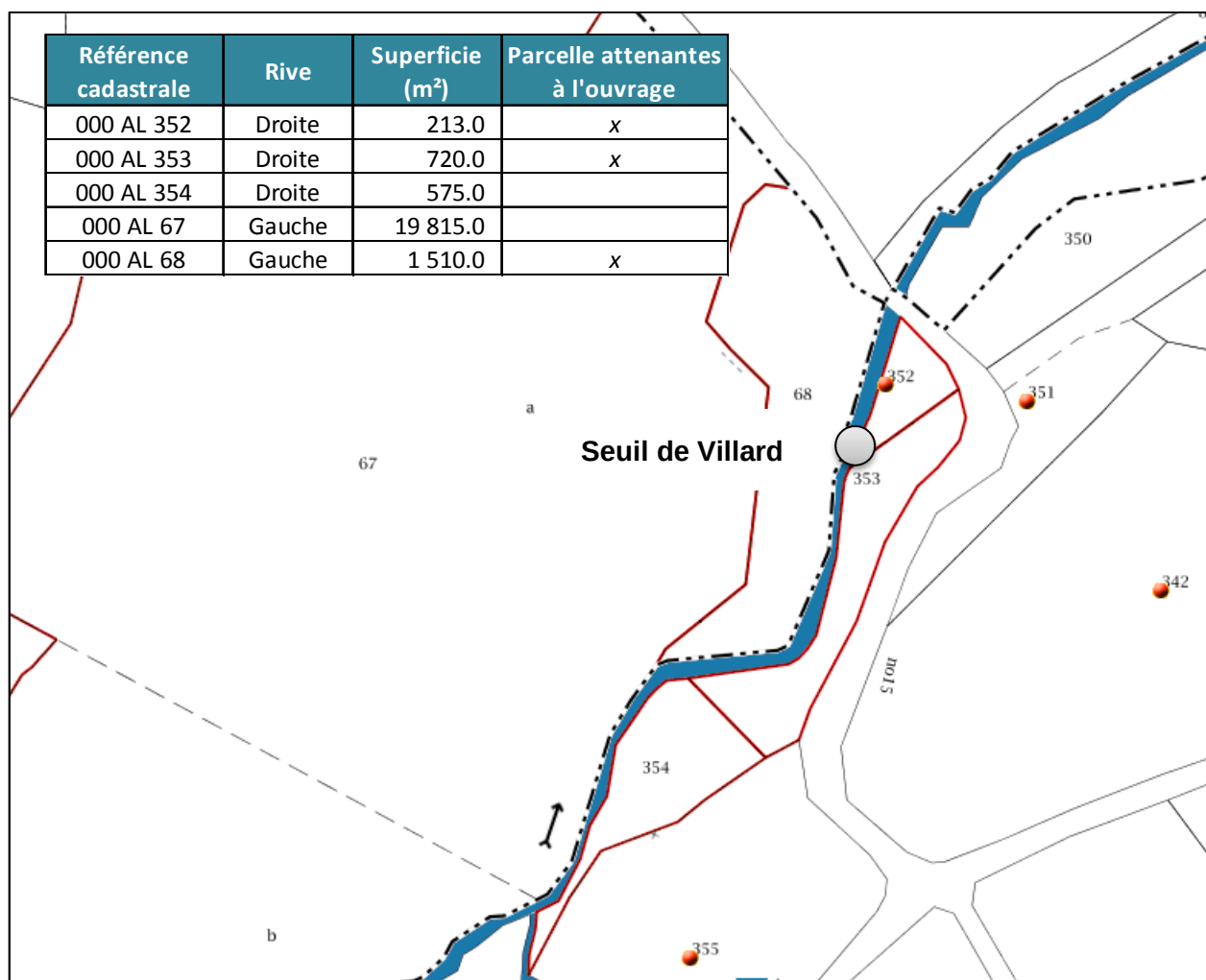
Les parcelles riveraines de l'ouvrage et leurs propriétaires ont été identifiés par le SMAGGA. L'ensemble des parcelles concernées sont privées et appartiennent à des particuliers.



**Figure 3 : Cadastre des parcelles attenantes à l'ouvrage (IGN)**

Les parcelles les plus susceptibles d'être concernées par un futur aménagement de l'ouvrage, sont les parcelles présentées dans la Figure 4.





**Figure 4 : Extrait du fond cadastral au droit du seuil de Villard (cadastre.gouv.fr)**

Au niveau de l'occupation du sol, en se référant aux données de Corinne Land Cover 2012 (CLC 2012), on constate que la majorité des parcelles riveraines sont concernées par un usage agricole (prairie, culture).



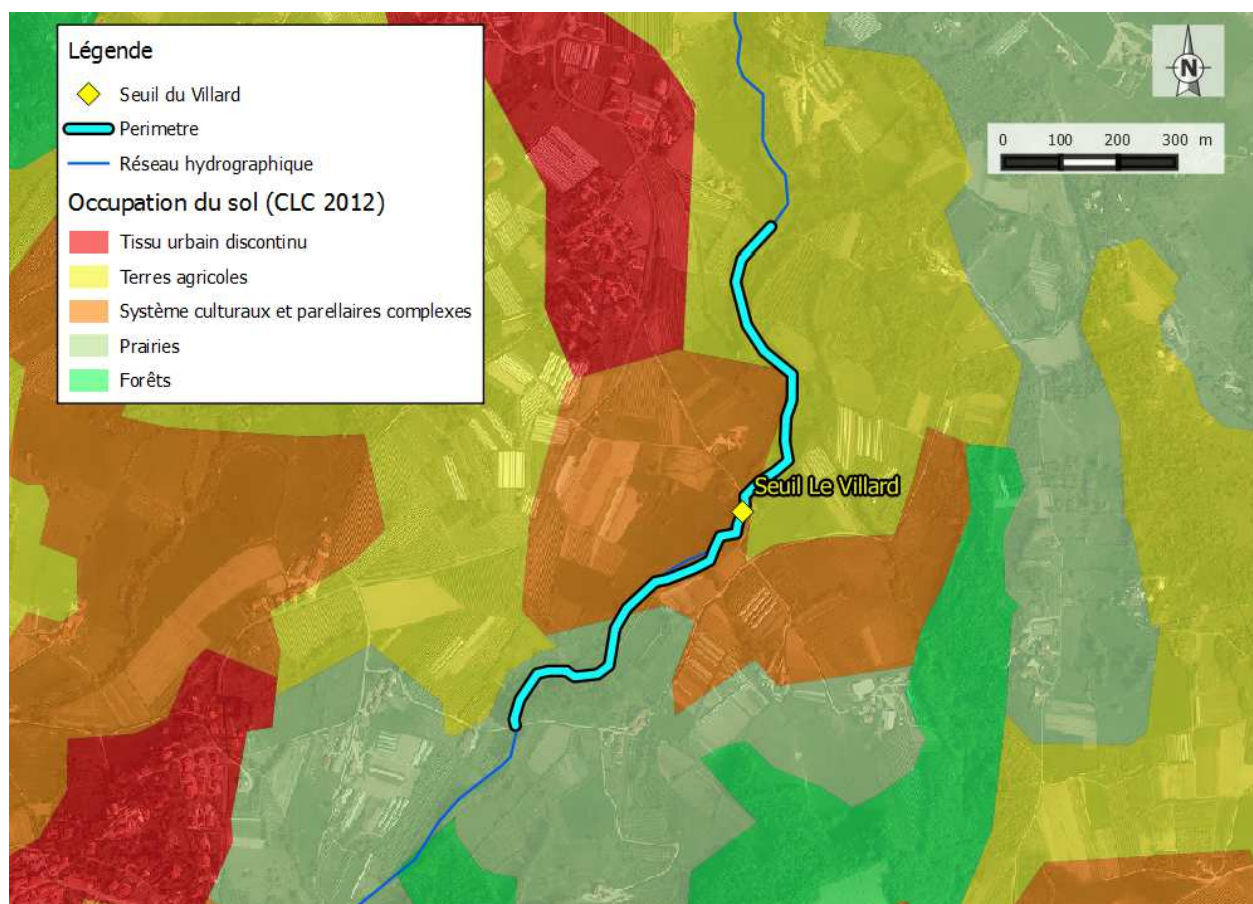


Figure 5 : Occupation du sol (Corinne Land Cover 2012)

## 2.4 Milieux naturels

L'analyse des zonages des milieux naturels remarquables (Natura 2000, ZNIEFF, SRCE, Inventaire départemental des zones humides), n'indique la présence d'aucun zonage de référence à proximité du seuil du Villard, si ce n'est le classement du cours d'eau en tant que cours d'eau à intérêt écologique dans le cadre du SRCE Rhône-Alpes.

## 2.5 Contexte géologique et hydrogéologique

Dans le secteur d'étude, le ruisseau du Cartelier est contraint par les versants abrupts de la vallée, composés de roches de leptynites polymorphes à biotite (quartz développé parfois en plaquettes, feldspath alcalin, oligoclase basique, biotite, grenat ou cordiérite sporadique), dont la présence est importante dans les Monts du Lyonnais. On note néanmoins en fond de vallée la présence d'alluvions modernes sur une largeur de 70 m à 100 m permettant une certaine mobilité latérale.

On recense un unique aquifère sur le secteur, la nappe profonde des socles du Lyonnais et du Beaujolais, qui ne doit pas être directement connecté aux écoulements du ruisseau du Cartelier. On suppose la présence d'une nappe alluviale d'accompagnement du cours d'eau associée à la présence d'alluvions moderne en fond de vallée.

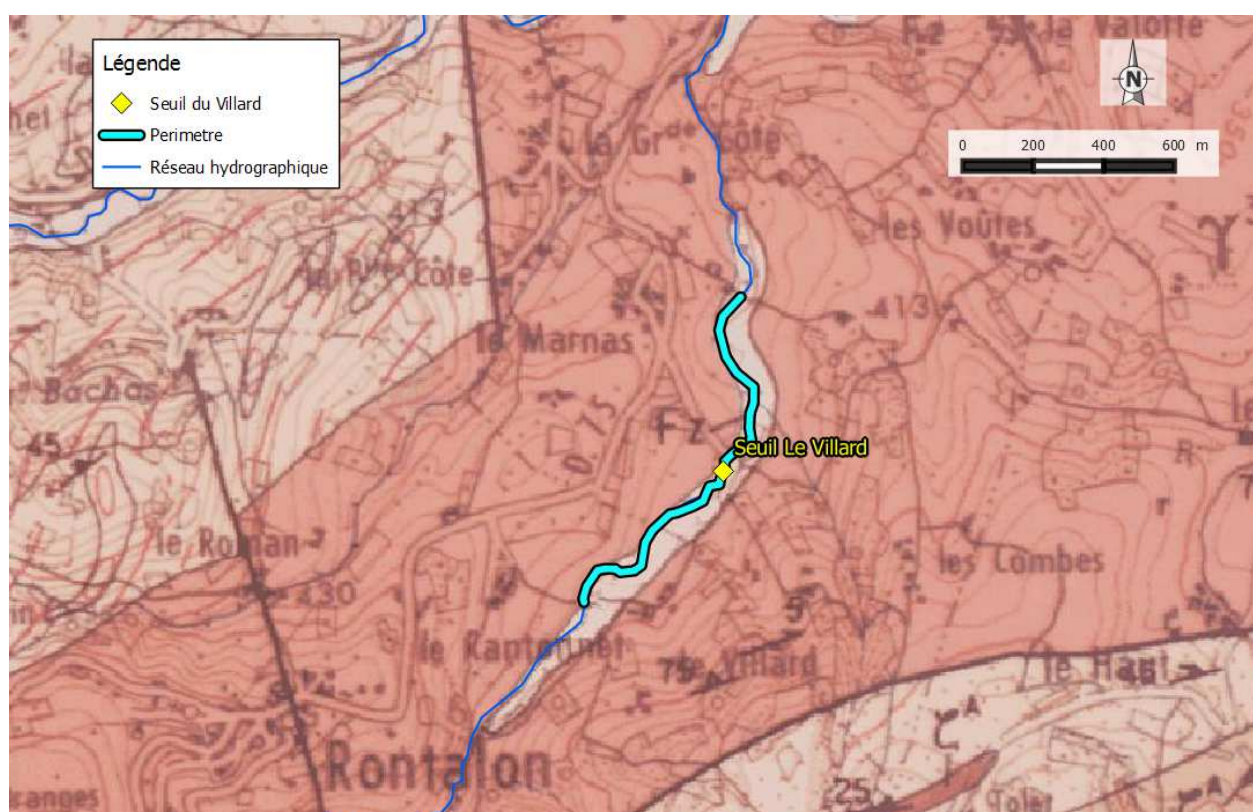
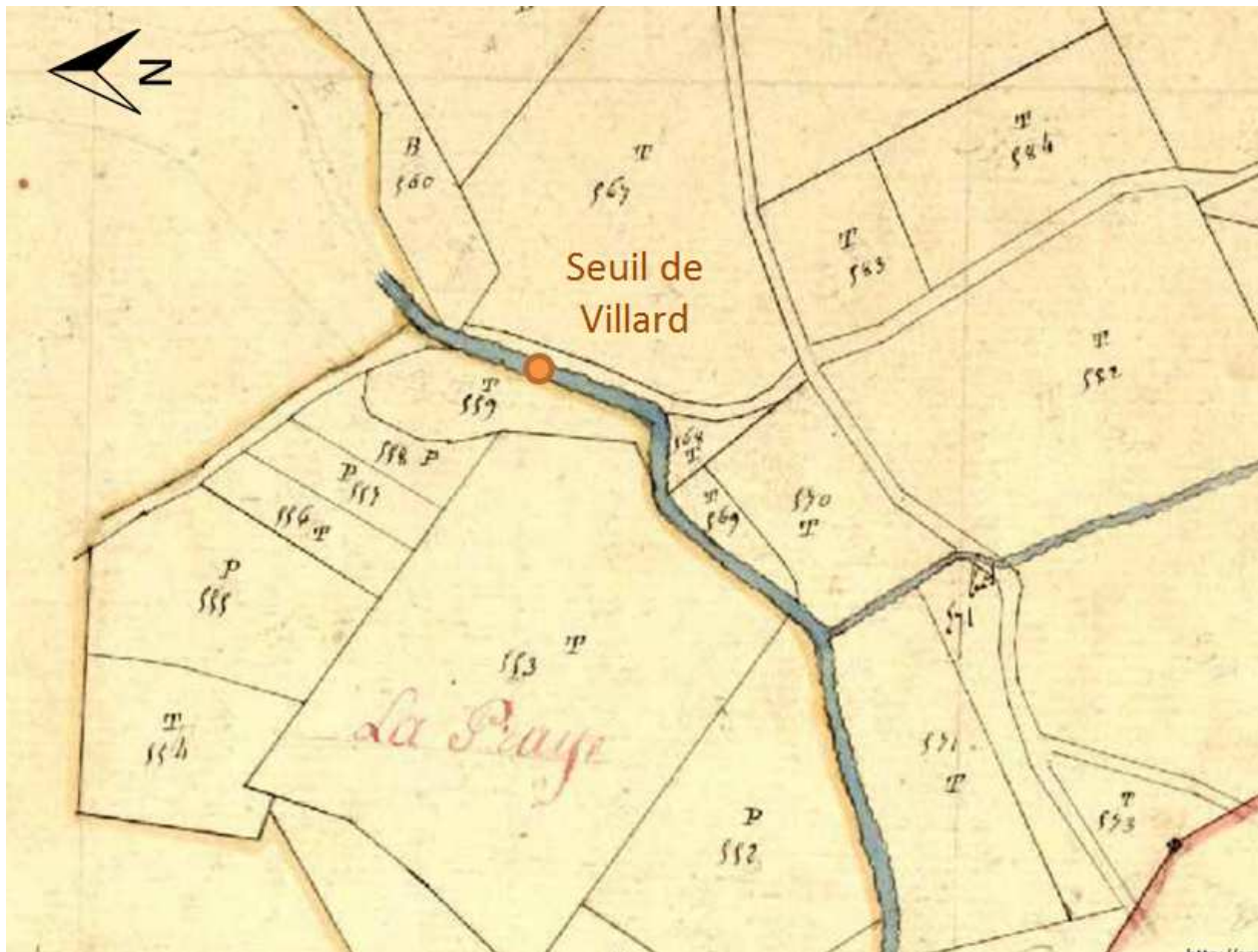


Figure 6 : Géologie sur le secteur d'étude (BRGM)

## 2.6 Usages historiques

Aucune donnée historique n'a pu être collectée sur le seuil du Villard. L'analyse des cartes historiques de l'Etat-major (1822-1860) et du Cadastre Napoléonien (1824), ne met pas en évidence la présence de l'ouvrage et aucun n'usage (prise d'eau, irrigation, meunerie, etc.) n'a pu être relié à la création et à l'exploitation de l'ouvrage.



**Figure 7 : Extrait du Cadastre Napoléonien – Section B2 de la commune de Thurins (Archives départementales du Rhône)**

La structure de l'ouvrage, avec une largeur de crête importante, peut néanmoins laisser supposer un rôle de stabilisation du profil en long, notamment pour la partie amont, ou pour la réalisation d'une prise d'eau historique en rive gauche. Les traces d'un bief historique (trace d'un ancien thalweg avec rangée d'arbres) dans la parcelle aval en rive gauche, vont dans le sens de cette dernière hypothèse.

En termes de stabilisation du profil en long, aucun enjeu prioritaire (habitations, infrastructure de transport, etc.) n'est recensé en amont. En aval, la présence du pont de la route communale constitue l'enjeu le plus sensible du périmètre d'étude.



### 3. Diagnostic hydrogéomorphologique

En préalable au diagnostic technique, des investigations préliminaires ont été mises en œuvre :

- investigations de terrain : relevés éco-géomorphologiques, granulométries, jaugeages ;
- levés topographiques : profils en travers, profil en long, plans masses.

Ces données seront intégrées aux différentes thématiques du diagnostic. La cartographie de l'état des lieux et des mesures physiques réalisés lors des investigations de terrain sont disponibles en Annexe aux planches 1 et 2.

Sur la base des investigations préliminaires, un état initial du cours d'eau a été établi dans le secteur de l'ouvrage à restaurer, concernant les thématiques suivantes :

- **hydrologie** : choix débits de référence du cours d'eau au droit des ouvrages ;
- **hydraulique** : étude des conditions d'écoulement pour les différents débits de référence, non seulement en crue, mais également en condition de moyennes eaux et d'étiage ;
- **morphodynamique** : évaluation du fonctionnement morphodynamique dans le secteur des différents ouvrages ;
- **géotechnique** : analyse des enjeux géotechniques associés à l'ouvrage ;
- **hydrobiologie et continuité biologique** : état des lieux des peuplements des espèces piscicoles et invertébrés et analyse des impacts des seuils sur la continuité biologique et les habitats aquatiques ;
- **boisement de berge** : connectivité de la ripisylve et espèces indésirables ;
- **usages associés** : zones humides, loisirs, pêche, agrément, AEP, irrigation, etc. ;

#### 3.1 Analyse hydrologique

##### 3.1.1 Station hydrométrique de Brignais

La seule station hydrométrique fournissant des données sur un temps relativement long sur le bassin versant du Garon se situe à Brignais et présente les caractéristiques suivantes (4 stations ont été installées en 2014 sur le bassin versant du Garon) :

**Tableau 1 : Station hydrométrique de Brignais**

| Station DIREN       | Code     | Bassin versant     | Durée de fonctionnement |
|---------------------|----------|--------------------|-------------------------|
| Le Garon à Brignais | V3035010 | 79 km <sup>2</sup> | 1970-1984 (14 ans)      |



Les débits de crue instantanés de référence au droit de la station sont les suivants :

| Occurrence du débit | Valeur du débit (QIX)  |
|---------------------|------------------------|
| QMNA5               | 12 l/s (2% du Module)  |
| Module              | 610 l/s                |
| Q2                  | 5.3 m <sup>3</sup> /s  |
| Q5                  | 8.4 m <sup>3</sup> /s  |
| Q10                 | 10.4 m <sup>3</sup> /s |

### 3.1.2 Evaluation des débits de référence au niveau du seuil de l'Aqueduc

Afin de déterminer les débits de référence au droit du seuil de Villard, nous avons caractérisé les dimensions physiques et hydrologiques du bassin d'alimentation topographique (longueur du plus long thalweg et superficie) et utilisé la méthode de transposition des débits à partir des chroniques existantes sur la station à Brignais. Cette méthode vise à déterminer le débit sur un autre point du bassin versant en se basant sur la formule suivante, où n est le coefficient de Myer :

$$\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right) = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^n \text{ avec } n \text{ le coefficient de Myer}$$

Le bassin versant au droit de l'ouvrage présente une superficie de 78,8 km<sup>2</sup>. Le coefficient de Myer n dépend des conditions hydrologiques considérées. Les valeurs théoriques suivantes ont été retenues :

- En condition d'étiage (QMNA5) : n=1,2 ;
- En condition de moyennes eaux (Module), la valeur du coefficient n=1,0 ;
- En condition de crue, la valeur du coefficient n=0,8.

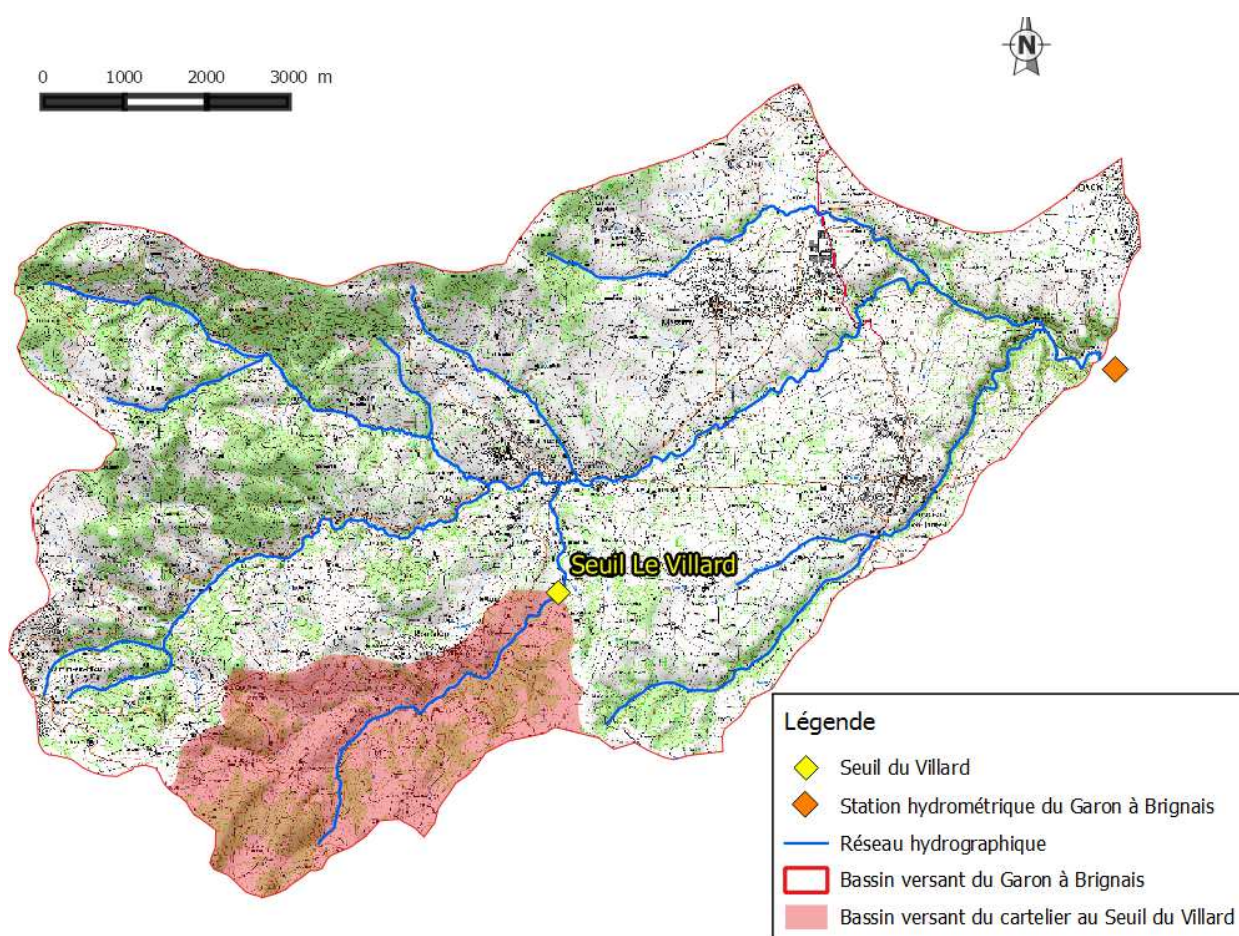
**Tableau 2 : Débits de référence retenus au droit de l'ouvrage de l'Aqueduc du Gier**

| Cours d'eau | Lieu             | S               | Module            | QMNA5             | Q2                | Q5                | Q10               |
|-------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             |                  | km <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| Garon       | Seuil de Villard | 9,8             | 0.076             | 0.001             | 1,00              | 1,58              | 1,96              |

Les données de référence utilisées ne sont pas actualisées (1970-1984), mais nous ne bénéficions pas de donnée plus précise sur le bassin versant.

Lors des investigations de terrain, un jaugeage a été réalisé en crête d'ouvrage pour un débit de 0,014 m<sup>3</sup>/s. Cette mesure semble cohérente avec les conditions de basses d'eaux propres aux investigations de terrain et avec les estimations réalisées par la formule de Myer, avec laquelle on évalue un module pour 0,076 m<sup>3</sup>/s.

Les résultats obtenus restent associés à de fortes incertitudes, car dépendantes des données disponibles. Néanmoins, à l'échelle de l'étude, le niveau de précision nous semble acceptable.



**Figure 8 : Bassin versant topographique du ruisseau du Cartelier au Seuil du Villard**

### 3.1.3 Estimation de la courbe des débits classés

A partir des données de débits journaliers enregistrés à la station de Brignais entre 1970 et 1985, nous avons déterminé la courbe des débits classés du Garon au droit de l'Ouvrage à partir du coefficient de Myer.

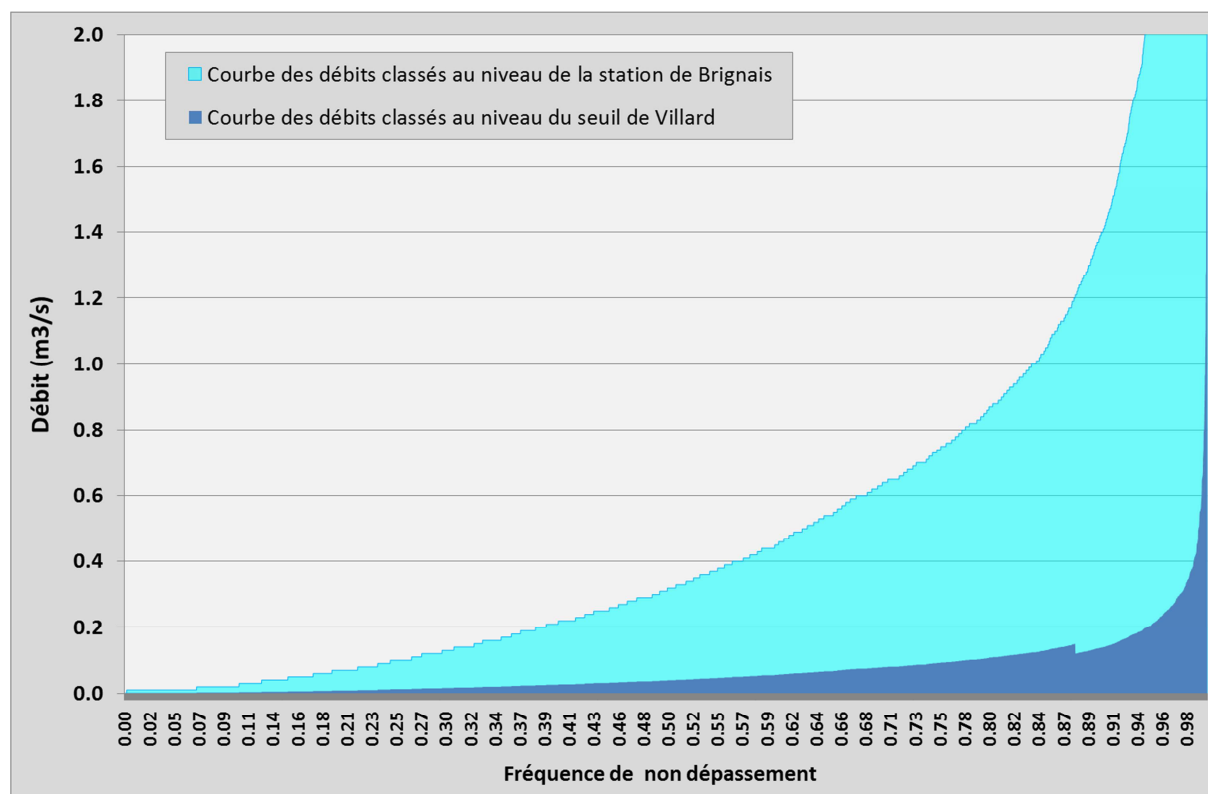


Figure 9 : Extrapolation de la courbe des débits classés au droit du seuil du Villard

Nous déterminerons les courbes de débits classés saisonnières, adaptées aux différentes espèces piscicoles cibles fixés sur le secteur (cf. Tableau 3) : la Truite fario et le Vairon.

Tableau 3 : Plage de débits fonctionnels des espèces cibles

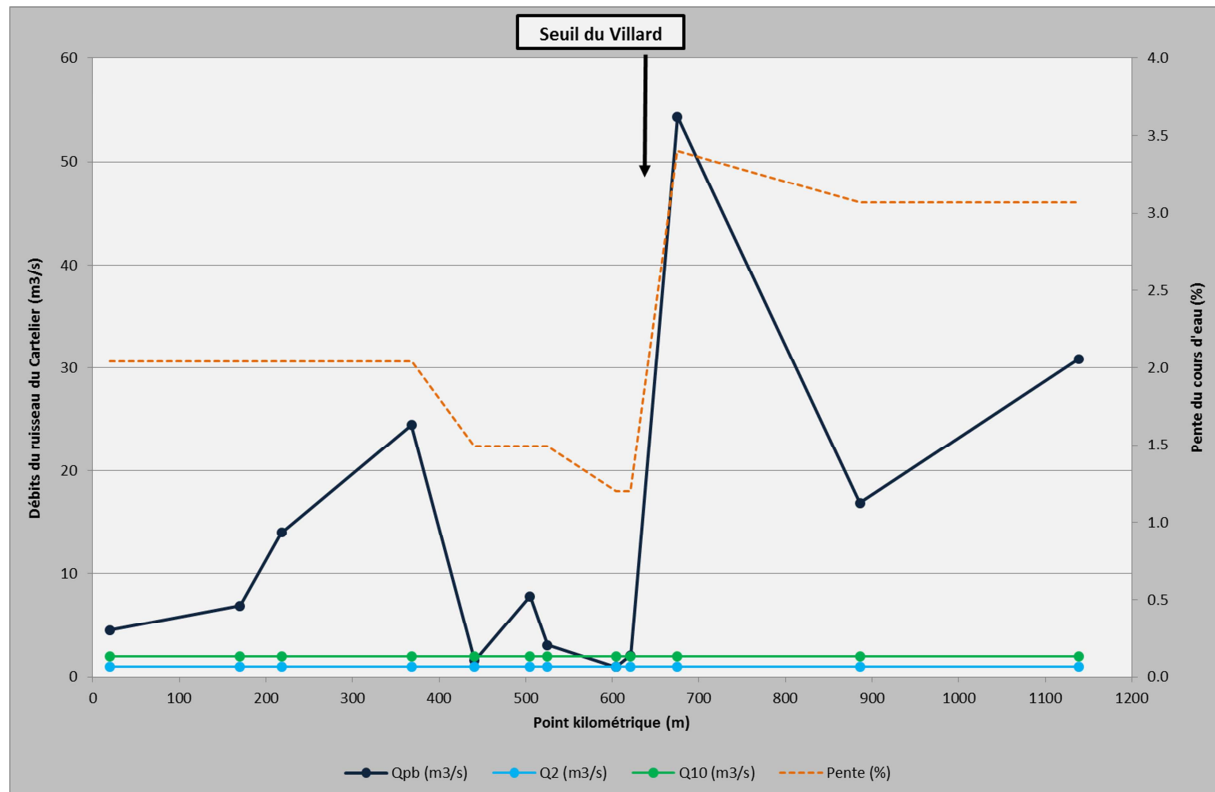
| Espèces               | Périodes       | Débit en l/s |       |      |      |      |
|-----------------------|----------------|--------------|-------|------|------|------|
|                       |                | Q90%         | Q75%  | Q50% | Q25% | Q10% |
| TRUITE (période frai) | novembre-avril | 342.7        | 184.5 | 73.2 | 37.2 | 16.1 |
| VAIRON                | mai-juin       | 231.6        | 109.2 | 32.3 | 17.4 | 9.9  |

Nous rappelons ici que l'analyse hydrologique se base sur des extrapolations propres à la station hydrométrique de Brignais et que dans le cadre d'un dimensionnement plus poussé de l'aménagement, une analyse hydrologique plus fine est conseillée.

### 3.2 Analyse hydraulique

Dans le cadre de la présente étude, aucune modélisation hydraulique n'est prévue. Nous analysons néanmoins, les éléments suivants :

- variation des capacités hydrauliques actuelles du lit mineur du cours d'eau sur le secteur d'étude, d'après les données topographiques disponibles (BURGEAP et ALTEA) ;
- cartes du PPRI du bassin versant du Garon, approuvé par l'arrêté préfectoral du 11 juin 2015.



**Figure 10 : Estimation des débits pleins bord du ruisseau du Cartelier sur le linéaire d'étude**

On constate qu'au vu des fortes pentes du ruisseau du Cartelier, variant de 1,0 % à 3,5%, les capacités hydrauliques du cours d'eau sont importantes, et permettent de transiter la crue décennale sur une grande majorité du périmètre d'étude. Cet état de fait devrait se traduire par des débordements très peu fréquents en lit majeur, ce qui nous semble cohérent avec les observations de terrain où les laisses de crue se situaient majoritairement dans le lit moyen du cours d'eau. On notera néanmoins des débordements ponctuels à partir de la crue décennale sur 250 m en amont du seuil du Villard, du fait de l'abaissement de la pente.

Les variations importantes des capacités hydrauliques du lit en amont (de 0,95 m³/s à 25 m³/s) sont dues aux fortes variations de la géométrie du lit (largeur et hauteur du lit plein bord) et à la diminution de pente à l'approche de l'ouvrage, du fait du remous solide dû à l'ouvrage.

Dans le cadre du PPRI du Garon, le fond de vallée alluvial est classé en aléa fort pour les inondations par crue torrentielle suite à la réalisation d'une analyse du risque par la méthode HGM<sup>1</sup> en 2012. Cette méthode cible le risque sur la structure géologique du fond de vallée et sur le passage de crues plus importantes ( $Q > Q_{100}$ ), et non sur le débordement du cours d'eau pour les crues régulières ( $Q < Q_{50}$ ). Les zones

<sup>1</sup> Les études HGM sont des approches géographiques qui étudient le fonctionnement naturel des cours d'eau en analysant la structure des vallées et en particulier les formes fluviales mises en place au fur et à mesure des crues successives (Observatoire Régional des Risques Majeurs)



inondables du PPRI sont ainsi exprimées à un niveau de risque inondation propre aux passages des crues importantes à exceptionnelles.

Par ailleurs, le risque d'érosion et d'avulsion du lit par érosion des berges semble important sur le secteur, du fait d'une énergie importante des crues et d'une érodabilité forte des berges.

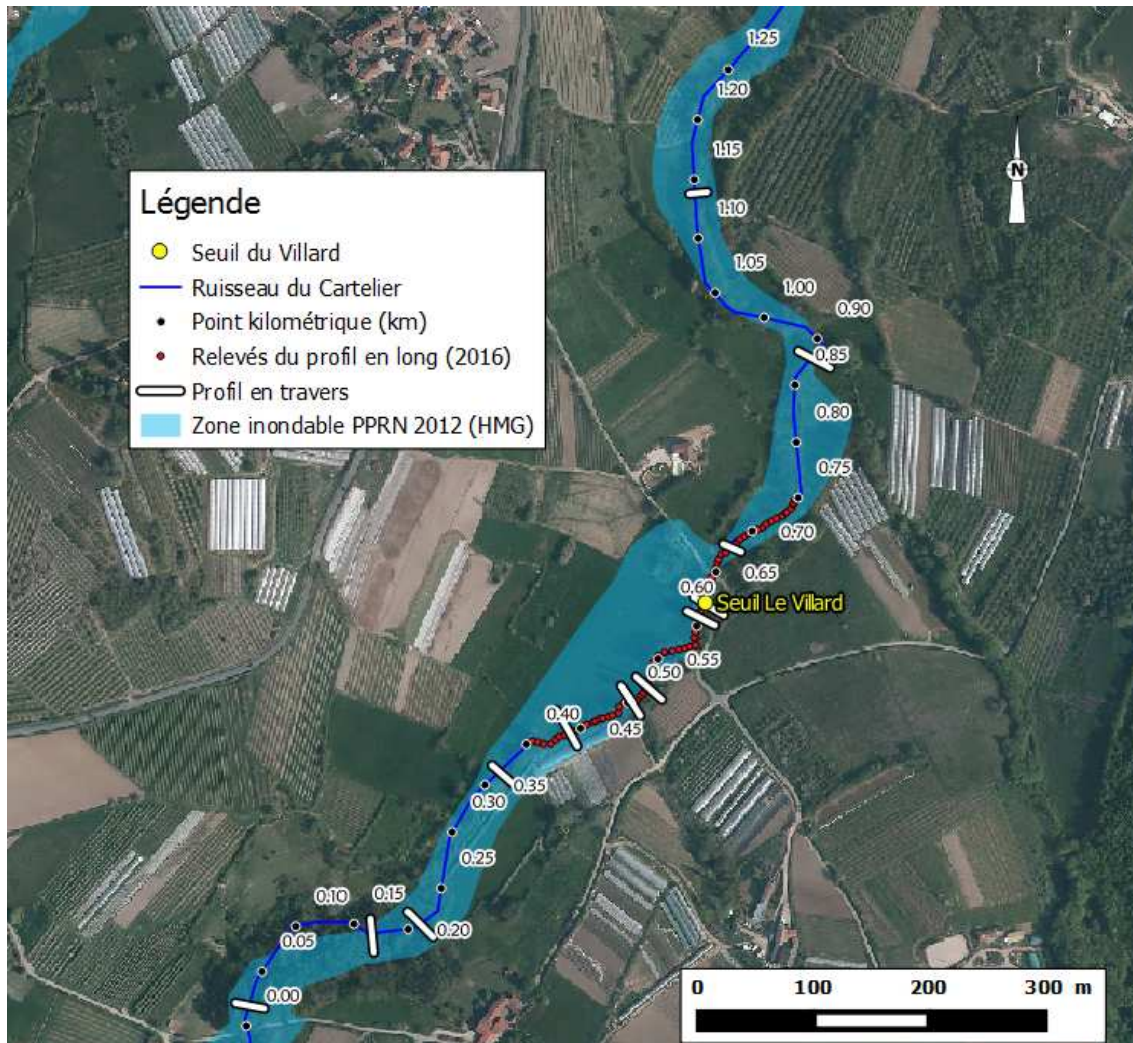


Figure 11 : Contexte hydraulique sur le ruisseau du Cartelier au niveau du Seuil de Villard

En aval, les capacités hydrauliques du lit sont plus élevées (de 15 m<sup>3</sup>/s à 60 m<sup>3</sup>/s) du fait d'une morphologie plus encaissée.



*Exemples de variation de la géométrie du lit et de laisses de crue dans le lit du ruisseau en amont du seuil de Villard*

### 3.3 Analyse morphodynamique

#### 3.3.1 Profil en long

Le profil a été constitué d'après les relevés topographiques réalisés par le Cabinet ALTEA en septembre 2016 et par des relevés IGN complémentaires.

Ainsi, d'après les caractéristiques de l'ouvrage, les données topographiques et nos relevés de terrain, nous estimons que le remous solide conditionné par l'ouvrage est approximativement de 190 m pour une pente d'équilibre du cours d'eau de 2,7% en l'absence de chute artificielle. Une modification de la morphologie du lit est en effet observée entre l'amont, où le lit du ruisseau présente un gabarit et une pente importante, en association à une forte activité géodynamique, et la zone estimée du remous, où le lit est plus stable et moins profond.

Cette hypothèse est confirmée par l'analyse de l'évolution du rapport  $L_{PB} / H_{PB}^2$ . Ce rapport est un indice de caractérisation du style morphologique des cours d'eau ; plus il est faible, plus le cours d'eau présente une morphologie encaissée. On constate ainsi sur la Figure 13, que l'indice présente les valeurs les plus fortes, dans les secteurs de diminution de la pente en amont du seuil du Villard. En amont du remous et en aval du seuil, on retrouve des gammes de valeurs assez faibles, traduisant un style plus encaissé.

L'analyse plus fine du profil en long, nous indique une diminution progressive de la pente entre l'amont du secteur d'étude et le remous de l'ouvrage, avec un passage de 2% à 1,2%. En aval de l'ouvrage, le lit est plus encaissé et présente une pente plus forte, variant de 3% à 3,5%.

<sup>2</sup> Largeur plein bord/Hauteur plein bord

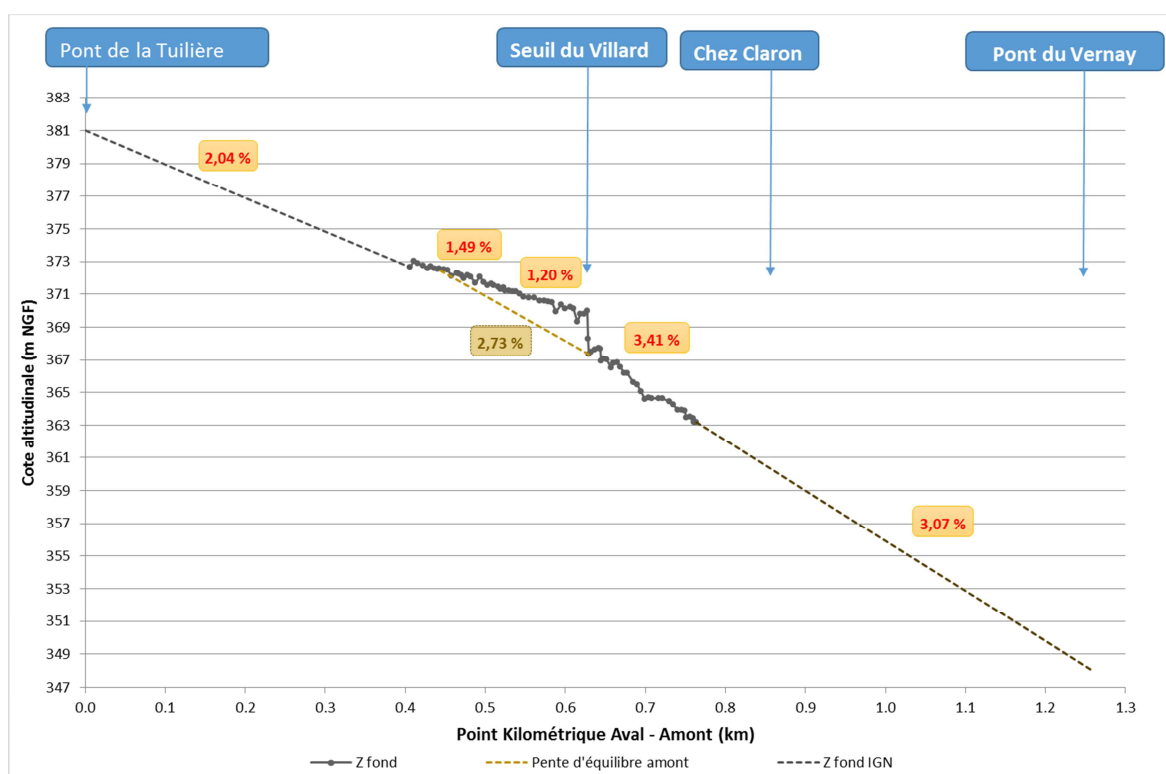


Figure 12 : Profil en long du ruisseau du Cartelier au droit du secteur d'étude

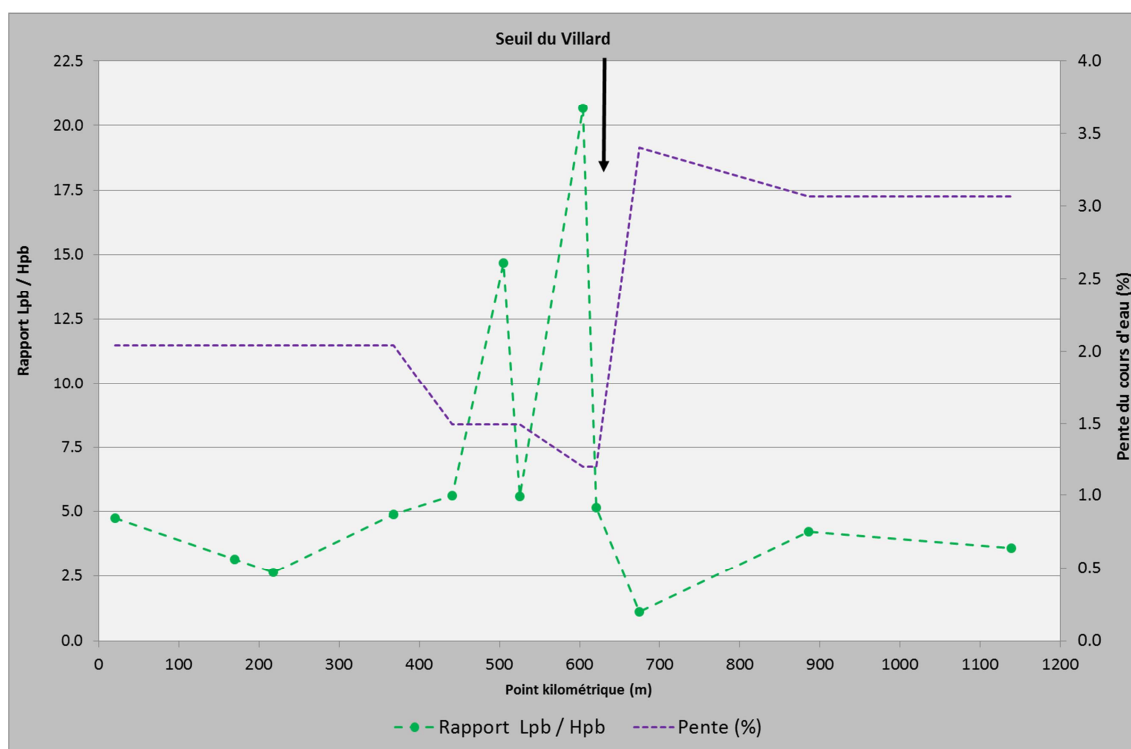
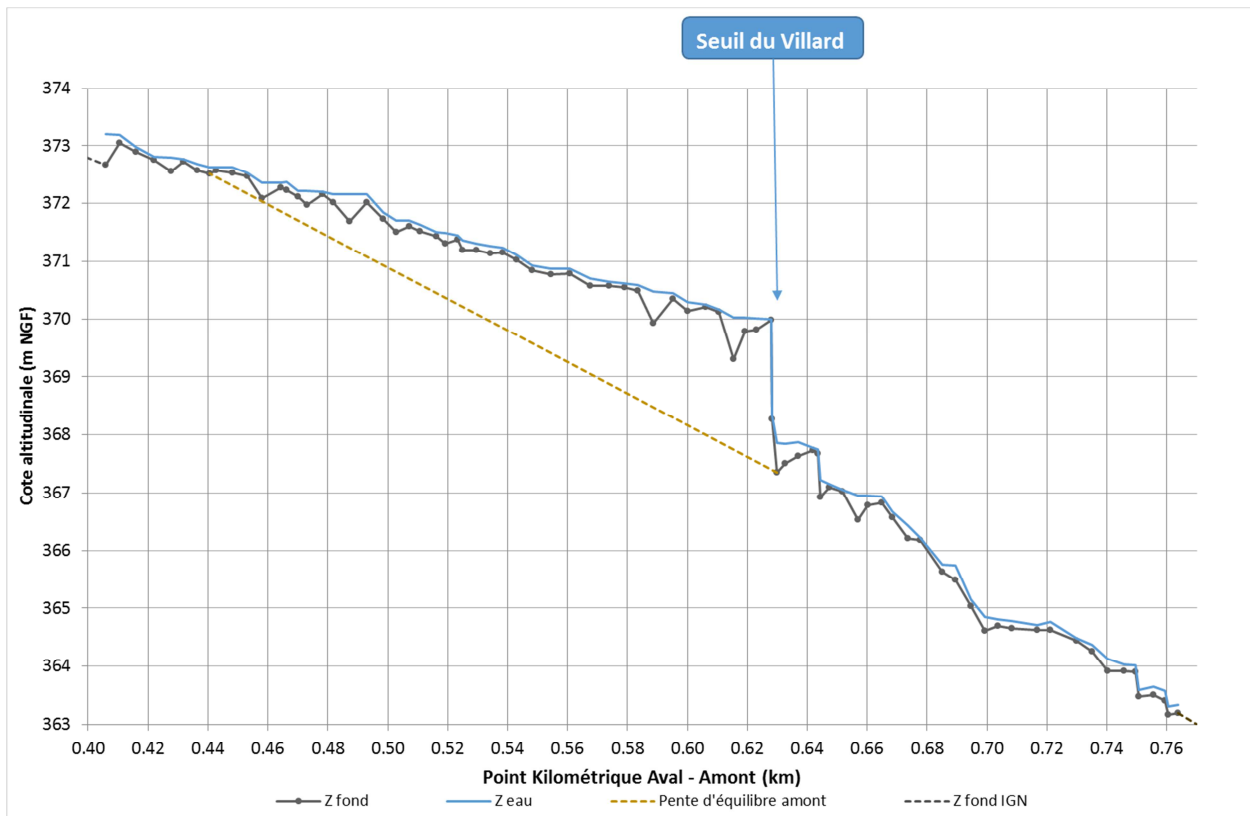


Figure 13 : Profil en long des rapports Lpb/Hpb





**Figure 14 : Profil en long du ruisseau du Cartelier – Zoom sur le seuil de Villard**

### 3.3.2 Grandeurs morphodynamiques

Plusieurs indices et grandeurs morphodynamiques ont été calculés afin de caractériser le fonctionnement morphodynamique du ruisseau du Cartelier dans le secteur d'étude.

**La puissance spécifique** traduit l'énergie globale que le cours d'eau est capable de fournir et traduit sa capacité à ajuster ses critères morphologiques (pente, sinuosité, transport solide, etc.). Elle a été calculée à partir des profils en travers topographiques disponibles en amont et en aval de l'ouvrage, du débit de la crue biennale et de la pente du lit.

Les valeurs de puissance spécifique sont à rapprocher des valeurs seuils déterminées par plusieurs publications de référence qui ont été synthétisées par Wasson (1998), BIOTEC & Malavoi (2006, 2007), Malavoi & Bravard (2010).

D'une manière synthétique, les résultats permettent d'identifier deux seuils de puissance spécifique :

- un seuil apparaît aux environs de  $35 \text{ W/m}^2$  en dessous duquel la résilience des cours d'eau est très incertaine ;
- un seuil situé aux environs de  $100 \text{ W/m}^2$  en dessous duquel la résilience du cours d'eau est dépendant des caractéristiques sédimentologiques des berges (érosabilité). Au-dessus de  $100 \text{ W/m}^2$ , il peut être considéré que la nature des berges n'est plus un paramètre discriminant et que la résilience du cours d'eau est forte.

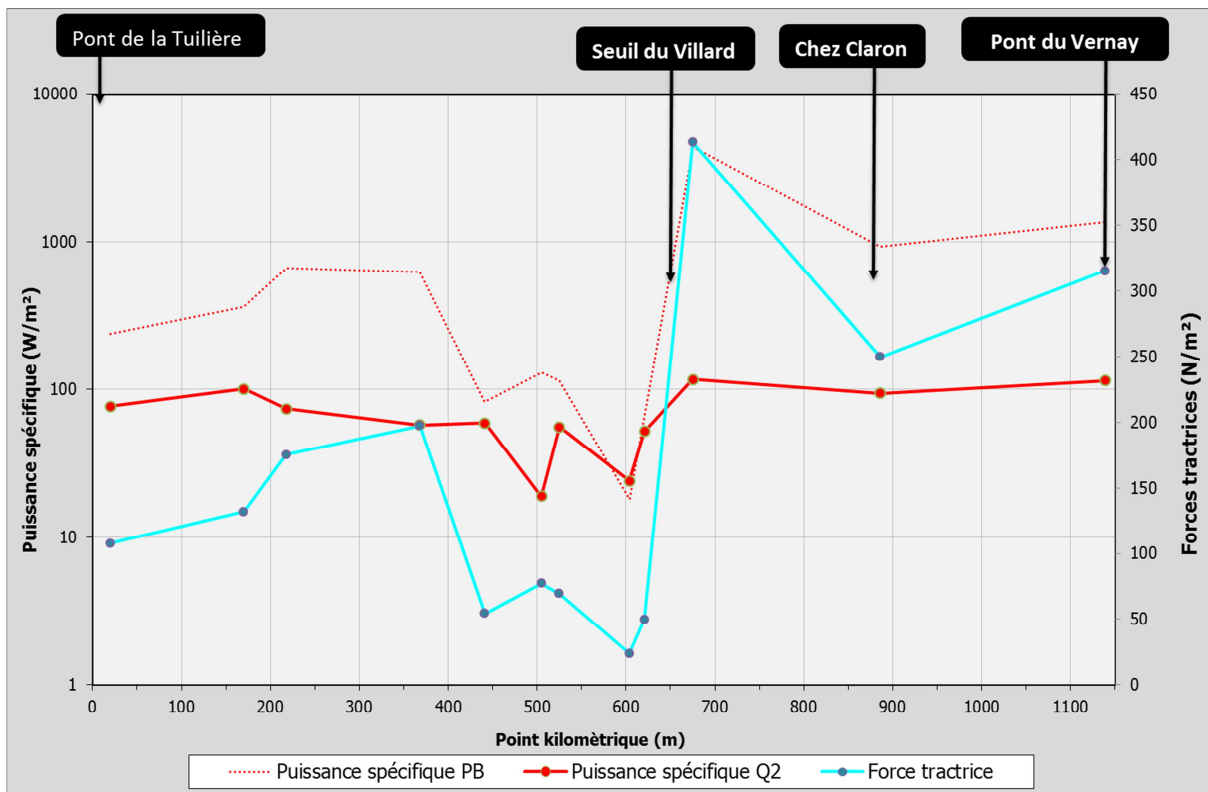
**Les forces tractrices** que subissent les matériaux du lit et des berges ont été calculées pour mettre en évidence les risques d'érosion des berges. Cette notion est assez proche de la puissance spécifique mais permet en complément de définir leur sensibilité érosive en lien avec leur végétalisation.

Les seuils de référence des forces tractrices sont les suivants :



- 100 N/m<sup>2</sup>, limite au-delà de laquelle les berges enherbées sont érodées ;
- 250 N/m<sup>2</sup>, limite au-delà de laquelle les berges boisées ou protégées par des techniques végétales sont érodées ;
- 350 N/m<sup>2</sup>, limite au-delà de laquelle les berges protégées par des enrochements peuvent être déstabilisés.

Il convient toutefois de manipuler ces seuils avec prudence dans la mesure où, selon les contextes, de grandes variations peuvent être observées.



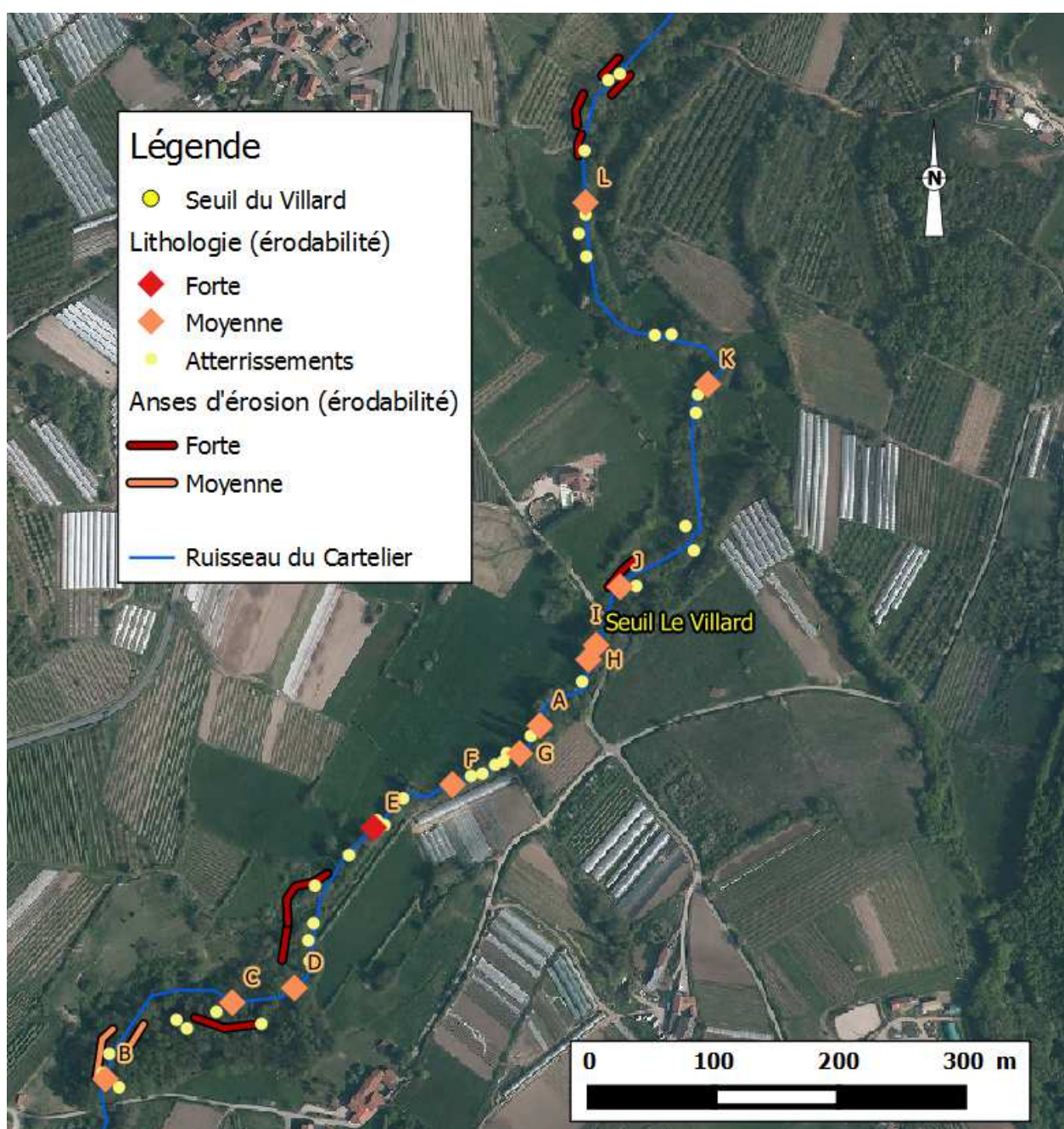
**Figure 15 : Profil en long des grandeurs morphodynamiques**

La Figure 15 permet de mettre en perspective la diminution progressive des puissances spécifiques et des forces tractrices entre la partie amont ([50 - 100 W/m<sup>2</sup>, [100-200 N/m<sup>2</sup>]) et le remous solide du seuil de Villard ([20 - 60 W/m<sup>2</sup>, [20-80 N/m<sup>2</sup>]) due à la diminution de la pente. En aval du seuil de Villard ([90 - 120 W/m<sup>2</sup>, [250-400 N/m<sup>2</sup>]), on retrouve des valeurs plus importantes du fait de l'augmentation de la pente et de la morphologie plus encaissée.

Mise à part dans le remous solide de l'ouvrage, les gammes de valeurs des puissances spécifiques associées au passage de la crue d'occurrence biennale restent relativement importantes sur le ruisseau du Cartelier, du fait des pentes élevées du cours d'eau. Cette évaluation est cohérente avec nos observations de terrain, laissant apparaître des capacités naturelles d'auto-ajustement relativement efficaces.

De plus, l'érodabilité variable des berges observée sur le terrain, permet par ailleurs la production d'apports solides significatifs et une mobilité latérale active du cours d'eau.

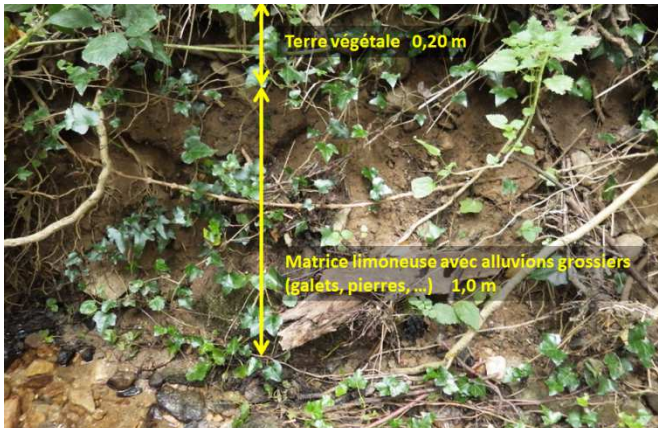
Sur ce dernier point, plusieurs analyses de la lithologie des berges ont été réalisées sur le secteur d'étude afin de caractériser l'érodabilité de ces dernières et leur participation à la production d'apports solides au ruisseau du Cartelier.



**Figure 16 : Localisation des stations de caractérisation de la lithologie des berges**

Ces analyses montrent que le cours d'eau se caractérise par des berges moyennement à fortement érodables permettant une production significative de matériaux pour le ruisseau, comme le montre la nature du substrat présent et la fréquence des atterrissements présents dans le lit du ruisseau.





*Lithologie des berges à la station C (pK 0,17)*



*Lithologie des berges à la station K (pK 0,89)*

On remarque par ailleurs, une activité érosive latérale forte sur l'amont du secteur d'étude qui se réduit ensuite à l'approche du remous solide de l'ouvrage.



*Exemples de production de matériaux par érosion des berges sur le ruisseau du Cartelier*

### 3.3.3 Transport solide

Dans le cadre de la caractérisation du transport solide sur le secteur d'étude, plusieurs types d'investigations ont été menés, à savoir :

- échantillonnage de la granulométrie du substrat et des atterrissements par le protocole de Wolman sur trois stations ;
- caractérisation de la granulométrie des atterrissements par une version allégée du protocole EVHA ;
- estimation du diamètre maximal transité des matériaux transités lors des différentes occurrences de crue (Q2, Q5 et Q10).

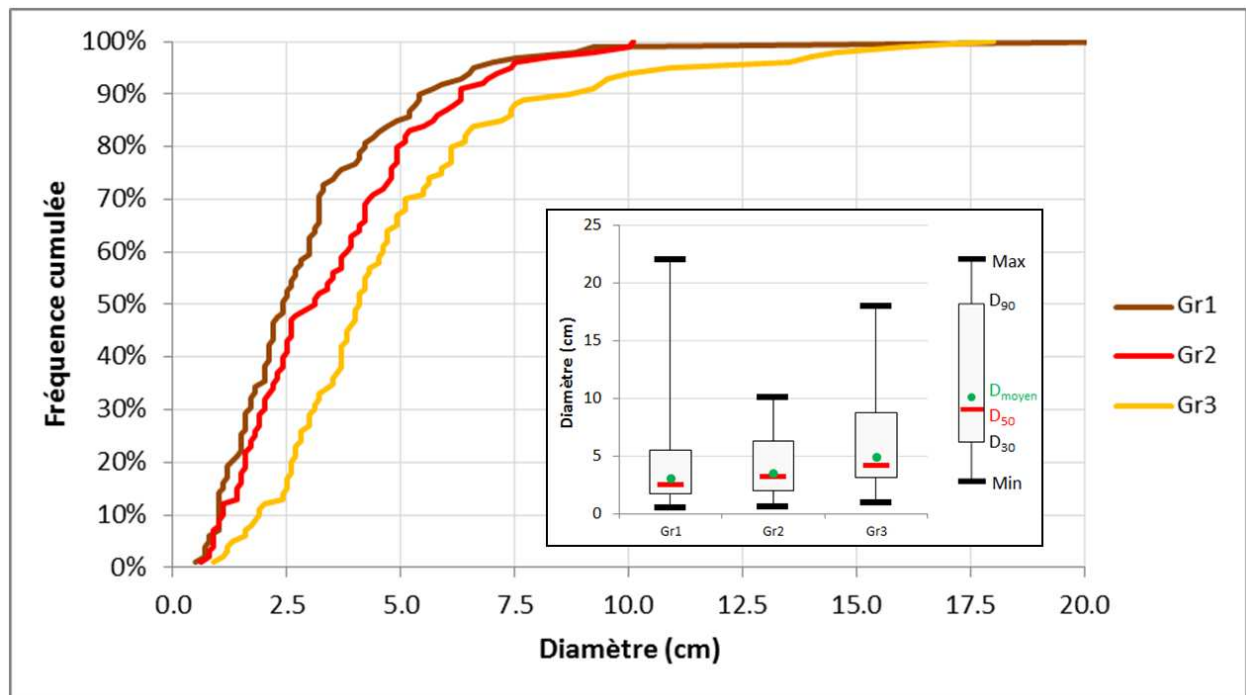
Les stations granulométrique ont été positionnées dans les secteurs suivants :

- **Station GR1** : en aval immédiat du seuil sur le substrat du ruisseau du Cartelier (pK 0,63) ;
- **Station GR 2** : dans le remous solide de l'ouvrage, 100 m en amont du seuil (pK 0,52)
- **Station GR 3** : en aval du périmètre d'étude (pK 1,13).





*Photographies des stations granulométriques GR2 et GR3*

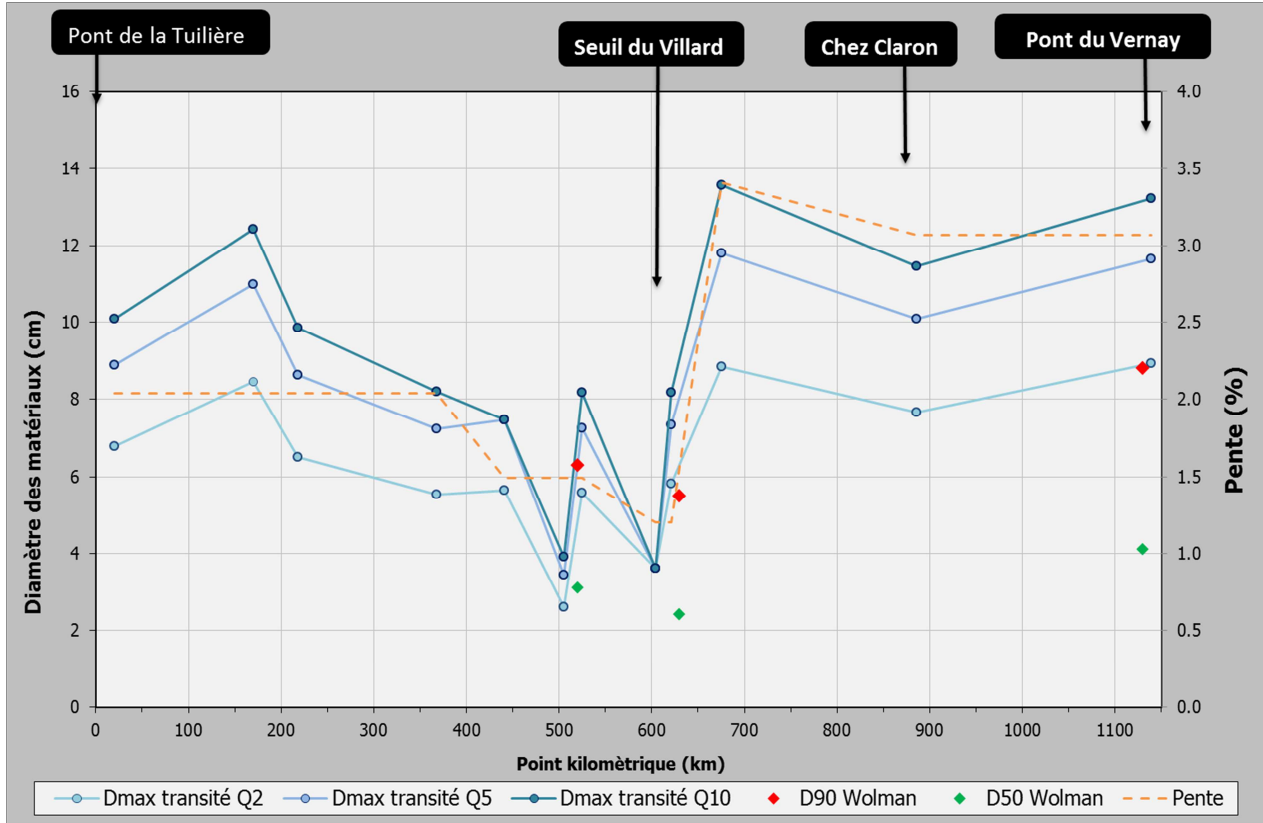


**Figure 17 : Résultats des analyses granulométriques par Wolman**

L'analyse des granulométries permet de mettre en évidence une granulométrie légèrement plus faible entre l'aval immédiat du seuil du Villard (GR1) et la granulométrie présente dans le remous solide de l'ouvrage (GR2). Ce phénomène peut s'expliquer par un effet de ralentissement du transit de la charge solide la plus grossière propre à des pentes plus faibles dans le remous solide. En aval du secteur d'étude, la granulométrie de la charge de fond mobile observée est encore plus faible (GR3) que sur l'amont, alors que la pente du lit, et donc les capacités de charriage sont plus importantes. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que l'érosion de berge en aval du périmètre d'étude, permet de compenser le ralentissement de la charge grossière depuis l'amont dû au seuil, en fournissant des gammes de matériaux diversifiées. Néanmoins, on observera que la fréquence des bancs (surface atterrie / linéaire de cours) est plus importante en amont du seuil (0,63 m<sup>2</sup>/m) qu'en aval (0,19 m<sup>2</sup>/m), du fait d'une pente d'écoulement et de capacités de charriage plus faibles.



En complément des relevés granulométriques, l'analyse des diamètres maximums des matériaux transités ont été estimés à partir de la formule de Shields. Les résultats sont présentés en Figure 18.



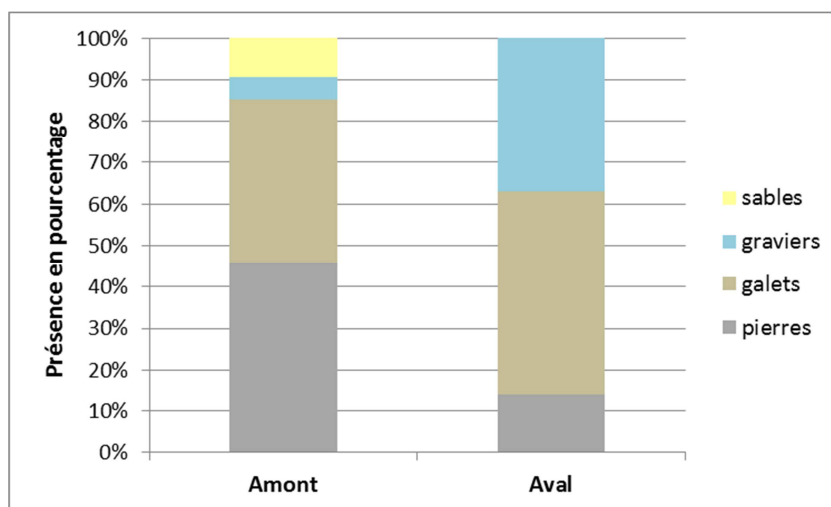
**Figure 18 : Profil en long des diamètres maximums des matériaux transités en crue**

Cette analyse permet de confirmer le constat réalisé au niveau de l'analyse des granulométries par le protocole Wolman. On observe que les capacités de transit diminuent à l'approche du remous solide en amont, ce qui explique une tendance plus importante à la sédimentation et un ralentissement des fractions grossière ( $D > 2,50$  cm), par rapport à l'aval où les capacités de transit augmentent.

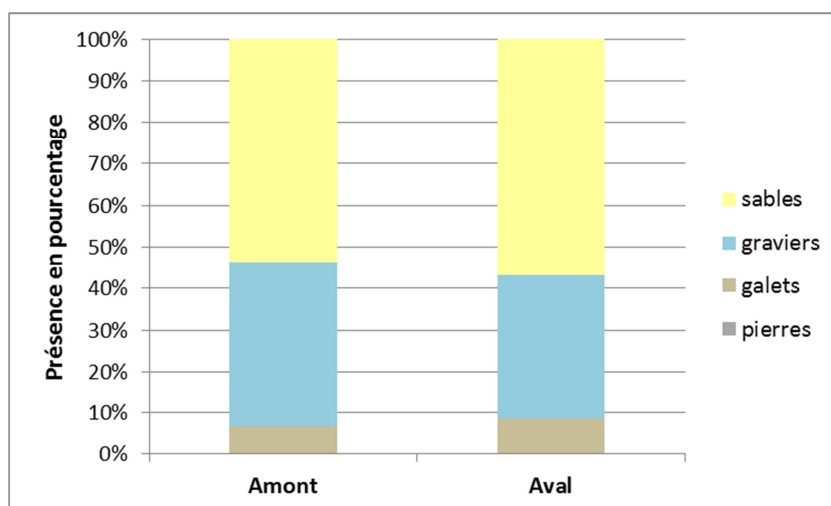
On constate par ailleurs qu'en moyenne, le D50 mesuré est inférieur aux diamètres maximums des matériaux charriés lors des crues d'occurrence biennale, ce qui se traduit par un transport solide actif pour, au moins la moitié du substrat, lors des crues biennales. Néanmoins, les capacités de charriage ne sont pas suffisantes pour le transport des matériaux les plus grossiers ( $D > D90$ ), pour la crue d'occurrence biennale, ce qui se traduit par une mobilité plus lente de la granulométrie la plus grossière ( $D > 6,30$  cm).

Enfin l'analyse de la granulométrie des matériaux constitutifs des bancs permet de montrer que l'ouvrage ne constitue pas un obstacle bloquant pour la majorité des matériaux du lit. En effet, l'analyse des matériaux dominants et des matériaux secondaires permet de mettre en évidence un ralentissement du transit de la charge la plus grossière entre l'amont et l'aval (pierres, galets) et une transparence pour les matériaux plus fins (graviers, sables) du fait d'une granulométrie des bancs quasiment identique entre l'amont et l'aval.

On ne constate pas en effet d'effet de tri granulométrique ou de rétention marquée dû à l'ouvrage.



**Figure 19 : Analyse de la composition granulométrique des bancs - Matériaux dominants**



**Figure 20 : Analyse de la composition granulométrique des bancs - Matériaux dominants secondaires**

En conclusion, l'ouvrage semble être transparent pour la continuité sédimentaire avec néanmoins un effet de ralentissement pour les fractions les plus grossières présentes.

## 4. Qualité des habitats aquatiques

### 4.1 Habitats aquatiques et frayères

Les relevés de terrain ont démontré une certaine attractivité du milieu pour les espèces piscicoles avec la présence de 4 zones potentielles de frayères dont la surface varie de 1 m<sup>2</sup> à 3 m<sup>2</sup> et la présence régulière de plusieurs caches piscicoles fonctionnelles de type sous-berge, branchage et systèmes racinaires.



*Exemple de caches piscicoles type sous-berge et systèmes racinaires*

Concernant le colmatage, plusieurs stations de détermination du colmatage superficiel par le protocole Archambault ont été réalisées. Les résultats sont plutôt satisfaisants avec un état jugé moyen à bon en amont et bon à très bon en aval, suivant le niveau de couverture et de colmatage du substrat imposé par les particules fines.

En termes d'hétérogénéité, les pentes fortes propres au ruisseau du Cartelier génèrent la présence de faciès d'écoulements lotiques de type radier ou plat lotique qui, bien qu'homogènes, restent adaptés au milieu. Par ailleurs, on peut constater une certaine variabilité des caractéristiques géométriques du lit (largeur mouillée, hauteur d'eau, section mouillée, etc.), ce qui permet de garantir une certaine mosaïque d'habitats.

En conclusion, au niveau des habitats aquatiques, le décloisonnement de la partie amont semble intéressant en termes de reconquête de caches piscicoles et de zone de reproduction pour la Truite fario et le Vairon.

Au niveau de la continuité biologique, le seuil du Villard est le seul ouvrage posant un problème de franchissabilité sur le secteur d'étude. Ce dernier est classé comme barrière total au titre du protocole ICE pour les espèces cibles considérées, à savoir la truite fario et le Vairon.



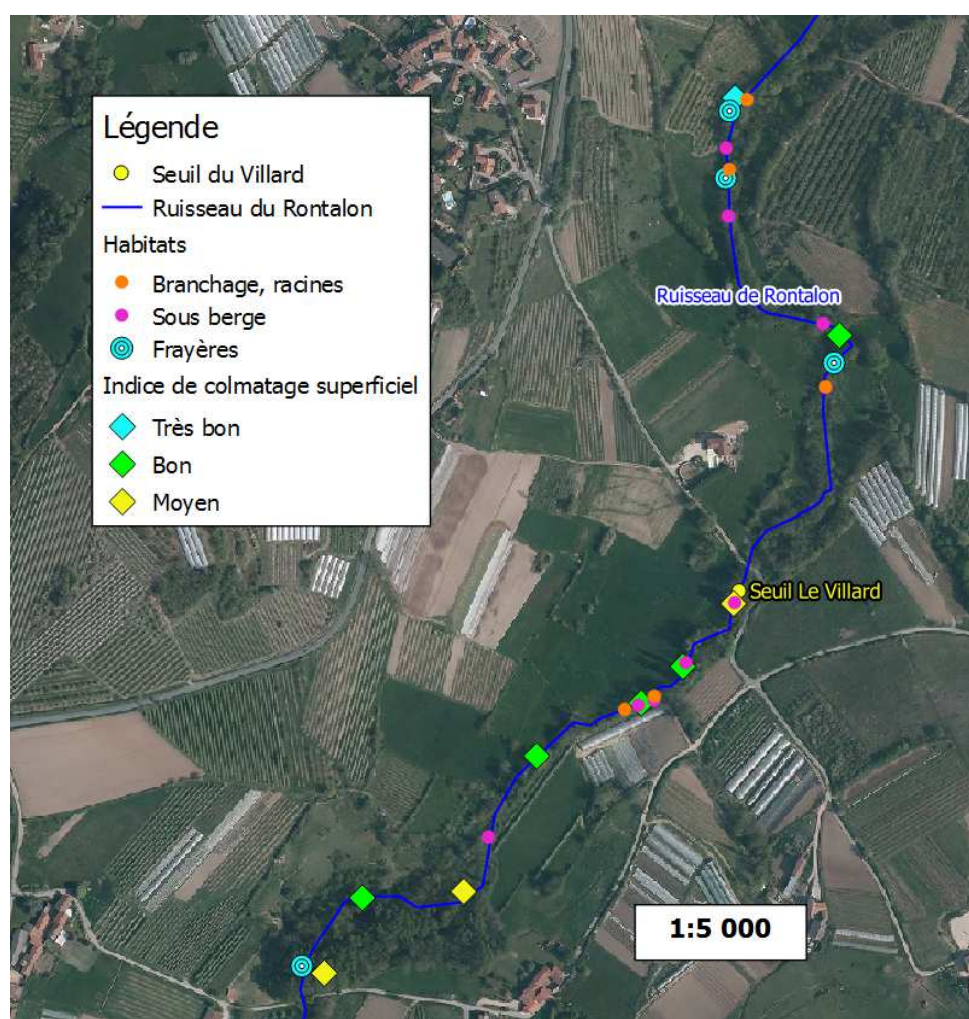
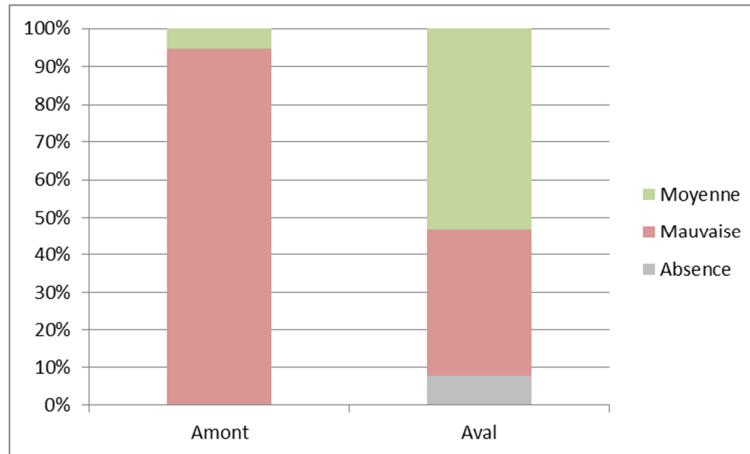


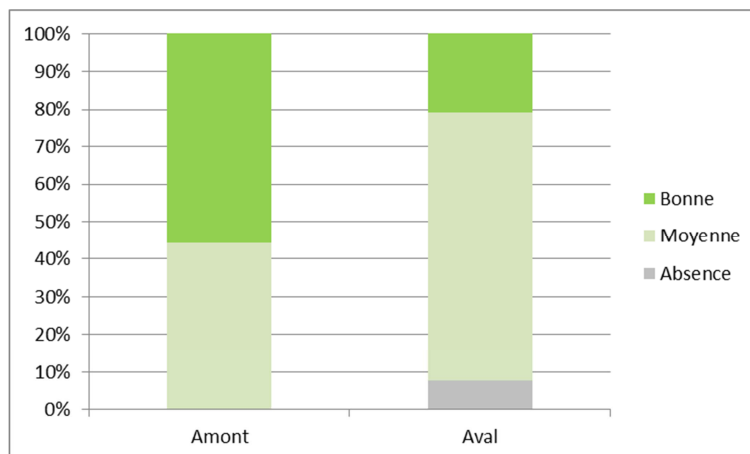
Figure 21 : Localisation des caches piscicoles et des frayères sur le secteur d'étude

## 4.2 Boisements de berge

Dans le cadre des investigations de terrain, une analyse de la qualité et de la connectivité de la ripisylve avec les écoulements a été réalisée, de même qu'un inventaire des embâcles présents dans le lit du cours d'eau.



**Figure 22 : Connectivité de la ripisylve avec les écoulements d'étiage sur le secteur d'étude**

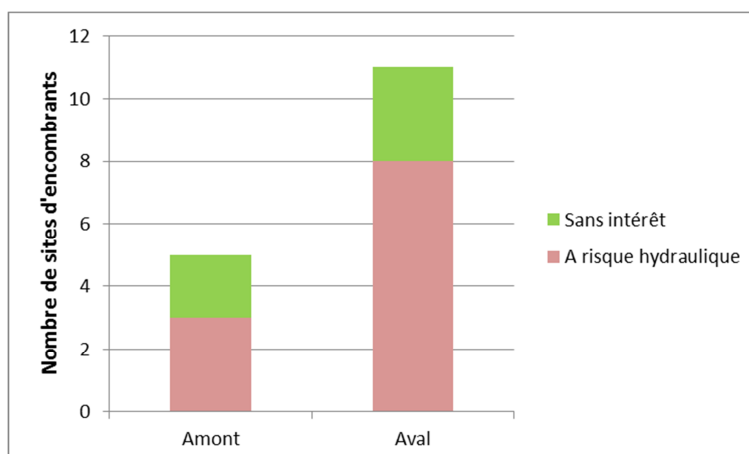


**Figure 23 : Qualité de la ripisylve sur le secteur d'étude**

Les Figure 22 et Figure 23 montrent qu'en période de basses eaux, les systèmes racinaires de la végétation de berge sont très peu connectés aux écoulements, en particulier sur le secteur amont du seuil du Villard. Ce phénomène s'explique par les niveaux d'eau assez bas observés lors des investigations de terrain, mais également par une activité géodynamique et une érodabilité des berges importantes créant une mise à nue fréquente des pieds des berges rendant l'implantation de la ripisylve plus difficile.

Concernant les embâcles, de nombreux encombrants ont été relevés sur le secteur d'étude, suite au passage des dernières crues. On observe ainsi une fréquence moyenne d'un embâcle tous les 120 m en amont du seuil d'un embâcle tous les 55 m en aval du seuil. Les plus fortes pentes en aval favorisent une instabilité des boisements de berges et une tendance plus importante à la formation d'embâcles.

Parmi, les embâcles recensés, plusieurs ont été caractérisés comme présentant un risque hydraulique du fait d'un volume important d'encombrants et d'un impact potentiel sur les ondes de crues en cas de rupture.



**Figure 24 : Inventaire des embâcles sur le secteur d'étude**

Concernant, les espèces exotiques envahissantes, sur le périmètre d'étude, un seul massif de Renouée du Japon, d'une superficie de près de 15 m<sup>2</sup>, a été localisé au niveau de la traversée de la route en aval du seuil du Villard.



*Exemple de déconnexion du système racinaire avec les écoulements en basses eaux*



*Exemple d'embâcle à risque hydraulique en aval du secteur d'étude*



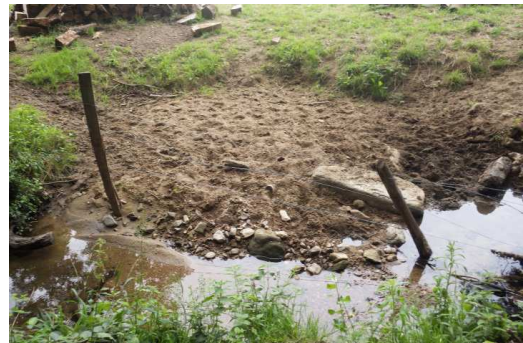
*Massif de Renouée du Japon en rive droite en aval de la traversée routière*



## 5. Usages

Les principaux usages recensés sur le secteur d'étude et associés à l'ouvrage sont les suivants :

- **Usages fonciers** : sur le secteur d'études les parcelles attenantes au Garon sont principalement utilisées pour le pâturage, que ce soit en aval ou en amont de l'ouvrage. On ne note pas la présence d'enjeu majeur sur le secteur ;
- **Pêche** : Contrairement au Garon et au ruisseau du Rontalon, le ruisseau du Cartelier n'est pas sous gestion de l'AAPPMA 69. Aucune information sur les pratiques de pêches n'a pu être collectée.
- **Abreuvement du bétail** : Sur le secteur d'étude, 3 sites d'abreuvement du bétail dans le ruisseau du Cartelier ont été recensés.



*Abreuvoirs présents en rive gauche en amont du seuil du Villard*

- **Stabilisation et hydraulique** : En termes de stabilisation du profil en long, comme vu précédemment, le seuil de Villard impose un point dur important du profil en long. En effet, dans le cadre d'une suppression de l'ouvrage, une érosion régressive est possible sur près de 200 m en amont, engendrant un glissement des berges en rive gauche du ruisseau du Cartelier.

Au droit de l'ouvrage, le profil en long semble assez stable du fait de la réalisation de l'ouvrage sur un socle granitique propre à l'affleurement du substratum local.

En aval, le rôle de stabilisation ne semble pas poser de problème spécifique dans le cadre de la suppression de l'ouvrage. Les culées du pont de la route communal semblent assez stables, malgré la présence d'un léger affouillement au niveau des berges. Une consolidation des culées semble avoir été réalisée de manière postérieure à l'installation du pont, signe d'un problème possible d'incision et d'affouillement de la structure de l'ouvrage d'art. La suppression de l'ouvrage du seuil du Villard devrait permettre le retour d'un matelas alluvionnaire au droit du pont, ce qui favoriserait une moindre sollicitation de la base des culées lors des crues.

Au niveau hydraulique, la capacité du pont de la route communale est estimée à 20 m<sup>3</sup>/s, soit une capacité de transit largement supérieure au transit de la crue décennale estimée dans le cadre de cette étude (Q10 estimé à 1,96 m<sup>3</sup>/s). L'évolution potentielle du matelas alluvial au droit du pont suite à la suppression du seuil ne devrait pas avoir d'incidence sur les inondations locales.

## 6. Analyse géotechnique sommaire

### 6.1 Structure de l'ouvrage

La structure de l'ouvrage du seuil de Villard est en béton sur sa partie centrale et en pierres maçonnées sur les rives. La partie centrale en béton présente une largeur de près de 2,9 m pour une largeur totale déversante de 10,9 m à l'échelle du lit moyen. La longueur de la crête déversante est de 0,40 m. La hauteur de chute de l'ouvrage mesure entre 1,72 m et 1,99 m (de la crête au pied de l'ouvrage) et le socle granitique en aval immédiat. Si on considère le dénivelé entre la crête de l'ouvrage et au point bas de la fosse de dissipation située 2,0 m en aval de la chute, on mesure alors une hauteur de 2,92 m.

Les fondations de l'ouvrage sont disposées au droit d'un affleurement du substratum granitique propre au versant de la rive droite, avec la présence de plusieurs rochers. Du fait de la présence de ce socle, les fondations de l'ouvrage semblent stables et ne présentent pas de désordres particuliers.

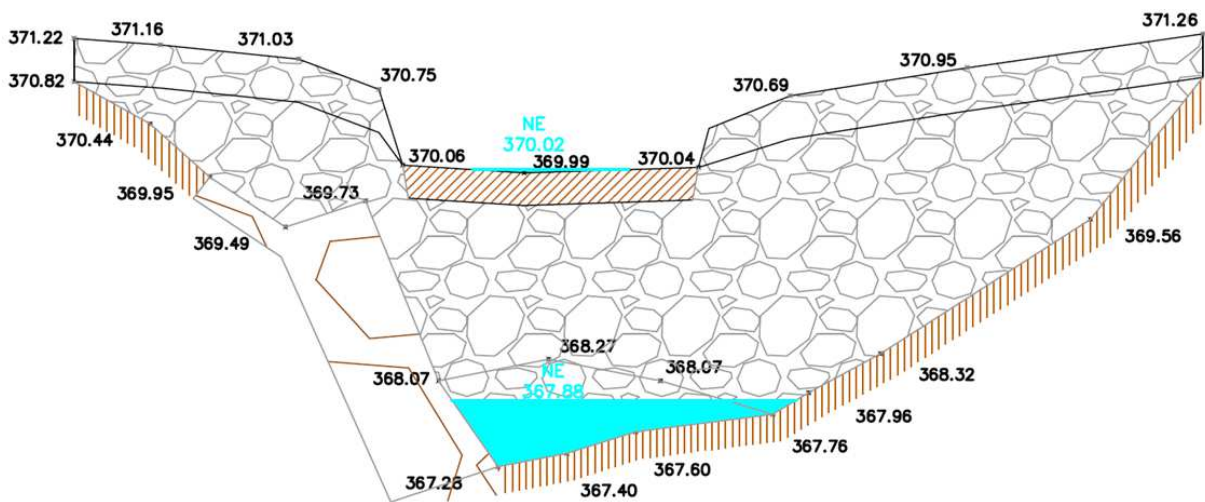


Figure 25 : Vue aval de la structure de l'ouvrage (ALTEA 2016)

## 6.2 Risque sur les berges

Dans le cadre des investigations de terrain, une qualification des risques géotechniques en fonction de l'aléa, de la vulnérabilité des enjeux présents et du type des berges, a été réalisée d'après les grilles typologiques décrites aux Figure 26 et Figure 27.

| ALÉA POTENTIEL ÉROSION DE BERGES NATURELLES |                                                         |                                              |                                                                                          |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             | Faible                                                  | Moyen                                        | Fort                                                                                     |
| CARACTÉRISTIQUES DES BERGES NATURELLES      |                                                         |                                              |                                                                                          |
| Pente du talus de berge                     | faible ( $<15^\circ$ )                                  | moyenne ( $15^\circ \leq <45^\circ$ )        | forte ( $\geq 45^\circ$ )                                                                |
| Hauteur de berge                            | faible ( $<1\text{m}$ )                                 | moyenne ( $1\text{m} \leq <2\text{m}$ )      | élevée ( $\geq 2\text{m}$ ) et/ou existence d'une pente amont ou singularité défavorable |
| Matériau constitutif des berges             | Granulaire propre (sables, graviers, cailloux, pierres) | Éléments granulaires dans une matrice fine   | Uniquement composé de fines (limons, argiles)                                            |
| État des berges                             | Absence d'indices de mouvements                         | Glissements pelliculaires et érosion locales | Glissements et érosions fréquentes                                                       |
| CARACTÉRISTIQUES DU SEUIL                   |                                                         |                                              |                                                                                          |
| Abaissement du seuil                        | faible ( $<1\text{m}$ )                                 | moyenne ( $1 \leq <3\text{m}$ )              | élevée ( $\geq 3\text{m}$ )                                                              |

Figure 26 : Définition des facteurs pouvant conduire à un aléa d'érosion ou d'affouillement

|                |        | Vulnérabilité potentielle |       |      |
|----------------|--------|---------------------------|-------|------|
|                |        | Faible                    | Moyen | Fort |
| Aléa potentiel | Faible |                           |       |      |
|                | Moyen  |                           |       |      |
|                | Fort   |                           |       |      |

risque potentiel faible ; risque potentiel moyen ; risque potentiel fort

Figure 27 : Grille de caractérisation du risque potentiel d'érosion

Cette caractérisation a été réalisée à l'amont et à l'aval du seuil du Villard et sur les rives gauche et droite du ruisseau du Cartelier, soit au niveau de 4 secteurs d'étude. La Figure 28 illustre les résultats de cette analyse.



|                                    | Amont RG (1) | Amont RD (2) | Aval RD (3) | Aval RG (4) |
|------------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| <b>Caractéristiques des berges</b> |              |              |             |             |
| Pente du talus                     |              |              |             |             |
| Hauteur de berge                   |              |              |             |             |
| Matériaux constitutif des berges   |              |              |             |             |
| Etat des berges                    |              |              |             |             |
| <b>Caractéristiques du seuil</b>   |              |              |             |             |
| Abaissement du seuil               |              |              |             |             |
| <b>Aléa érosion</b>                |              |              |             |             |
| Etat actuel                        |              |              |             |             |
| Arasement de l'ouvrage             |              |              |             |             |
| <b>Vulnérabilité potentiel</b>     |              |              |             |             |
| Prorité des enjeux présents        |              |              |             |             |
| <b>Risque potentiel d'érosion</b>  |              |              |             |             |
| Etat actuel                        |              |              |             |             |
| Arasement de l'ouvrage             |              |              |             |             |

**Figure 28 : Caractérisation du risque potentiel d'érosion dans le secteur du seuil du Villard**

En conclusion, les risques d'aléa érosion, suite à une suppression de l'ouvrage, concernent principalement prioritaire la rive gauche du ruisseau du Cartelier, du fait de la forte érodabilité des berges et de la présence d'un usage d'abreuvement du bétail. Sur la rive droite en amont de l'ouvrage, il existe quelques enjeux plus significatifs (cultures et maraîchage sous serre), mais l'affleurement du substratum granitique relativise le risque d'érosion et de stabilité du versant.

Sur la partie aval, la présence d'enjeux faibles et la configuration actuelle de gorges du ruisseau du Cartelier ne devraient pas subir d'impacts significatifs en cas de suppression de l'ouvrage.

Ces résultats sont néanmoins à prendre avec un degré d'incertitude du fait de l'absence de données quantitative sur la nature et la stabilité des sols.

## 7. Etablissement des scénarios d'aménagement

### 7.1 Contexte des scénarios d'aménagement

Les objectifs d'aménagement du seuil du Villard sont aujourd'hui les suivants :

- Rétablir la continuité biologique pour la Truite fario et le Vairon et favoriser la continuité sédimentaire au droit de l'ouvrage ;
- Assurer le compromis avec l'usage du propriétaire du site (abreuvement, etc.).

Dans ce contexte, 3 scénarios sont développés au niveau faisabilité dans le cadre de cette étude :

- Scénario 1 : Dérasement total de l'ouvrage ;
- Scénario 2 : Arasement partiel de l'ouvrage et installation de pré-barrages ;
- Scénario 3 : Réalisation d'une échancrure et installation d'une passe à poissons à bassins successifs.

Afin de répondre à ces objectifs, deux variables seront analysés avec plus de précision dans le cadre de l'établissement des scénarios :

- d'une part le respect des capacités de nage et de saut des espèces cible dans le cadre du dimensionnement des aménagements ;

**Tableau 4 : Capacité de franchissement des espèces cible (Protocole ICE, ONEMA 2014)**

| Espèce cible            | Groupe ICE | Espèce sauteuse | V. Sprint max (m/s) | Hauteur de saut max associée (m) | Charge minimal sur obstacle (m) | Hauteur de chute verticale extrême (m) |
|-------------------------|------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| Truite fario (25-55 cm) | 4a         | Oui             | 5,0                 | 1,40                             | 0,10                            | 2,00                                   |
| Truite fario (15-30 cm) | 4b         | Oui             | 3,5                 | 0,80                             | 0,05                            | 1,50                                   |
| Vairon                  | 10         | Non             | 2,0                 | -                                | 0,05                            | 1,00                                   |

- d'autre part l'évaluation de la potentielle nouvelle pente d'équilibre du cours d'eau et son impact sur la stabilité des berges en amont ;

## 7.2 Présentation des scénarios

### 7.2.1 Scénario 1 : Dérasement de l'ouvrage

- Principe de l'aménagement

Nous proposons ici de supprimer complètement la structure de l'ouvrage afin d'atteindre le socle granitique, dont la cote altitudinale est estimée à 368,27 m NGF d'après les relevés topographiques de 2016.

L'intégralité de la structure de l'ouvrage en béton et en pierres maçonnées sera détruite ; les gravats et matériaux de démolition seront évacués de la zone.

Afin d'accompagner l'ajustement naturel de la pente du ruisseau suite à la suppression de la chute, un reprofilage du fond du lit sera réalisé sur un linéaire de 72 m de la manière suivante :

- Déblais des matériaux du remous solide sur un linéaire de 40 m en amont du seuil avec une pente de près de 4,2 %. Le volume de matériaux à déblayer est estimé à 320 m<sup>3</sup> en amont de l'ouvrage ;
- Remblais et régalinge des matériaux déblayés sur la zone aval sur un linéaire de 32 m, allant des bases du seuil détruit jusqu'à l'aval immédiat du pont selon une pente de 4,6 %. Les matériaux seront ainsi directement réinjectés dans le lit du ruisseau.

La réalisation de ces travaux de déblais / remblais évitera un phénomène trop abrupt d'érosion régressive et de re-mobilisation des matériaux du remous solide de l'ouvrage. Néanmoins, le phénomène pourra s'amorcer progressivement du fait de la recherche par le ruisseau d'une nouvelle pente d'équilibre. Un suivi du profil en long et de la stabilité des berges en rive droite sera ainsi à mettre en place. Une première étape de retalutage des berges sur les 40 m en aval du seuil sera proposée.

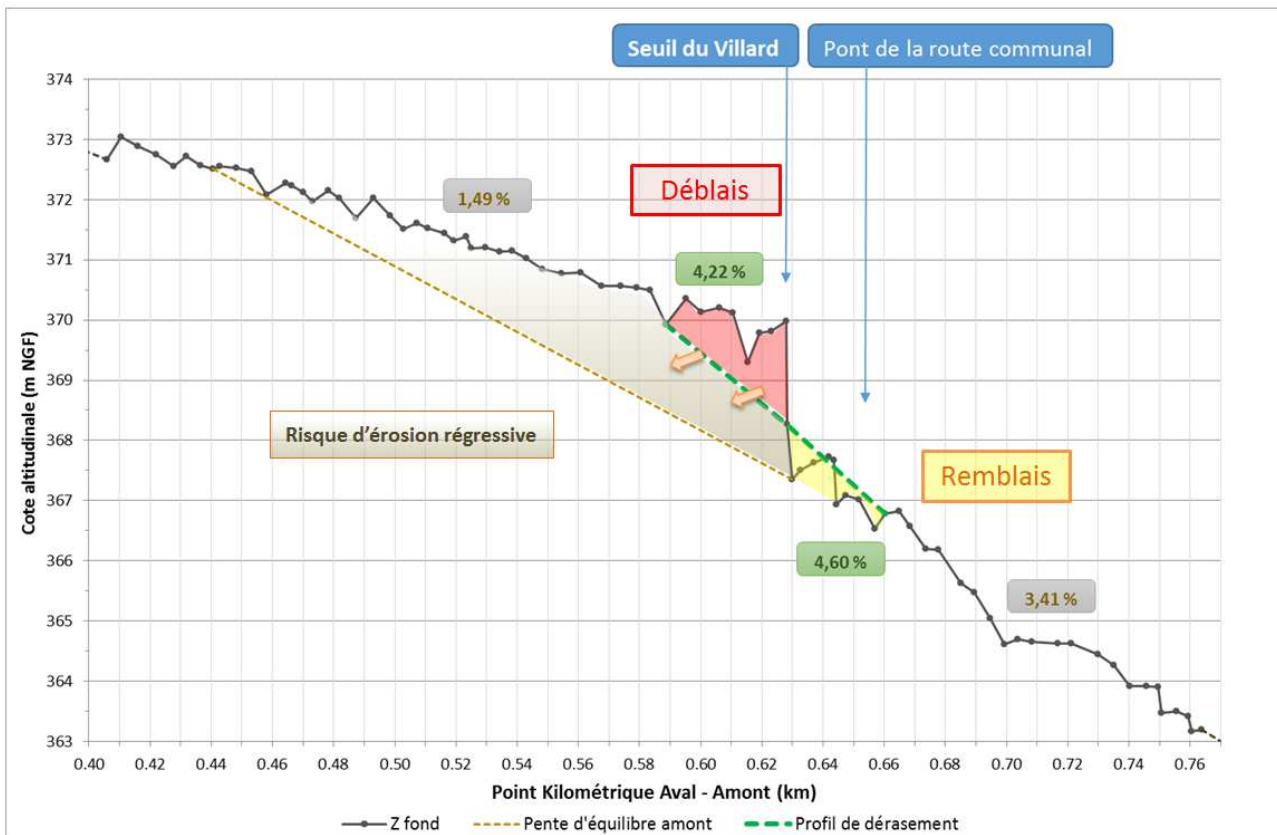


Figure 29 : Scénario 1 – Profil en long du dérasement



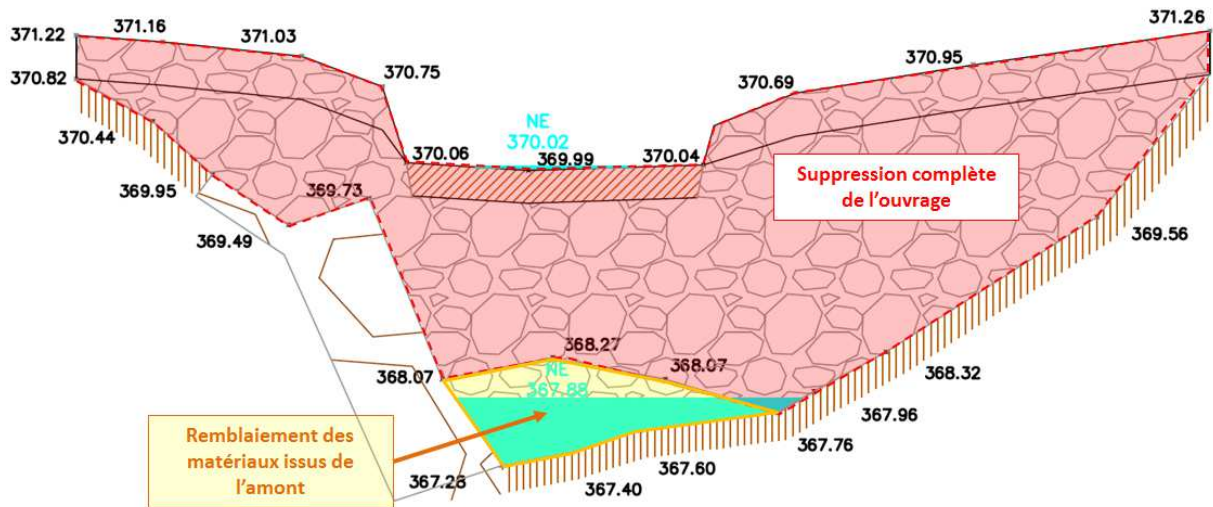


Figure 30 : Scénario 1 – Vue aval du projet de dérasement de l'ouvrage

- Etudes et investigations complémentaires

Ce scénario demandera la réalisation d'études préalables spécifiques et de travaux complémentaires :

- ⇒ Prélèvements et analyse de la qualité des sédiments sur remous solide ;
- ⇒ Investigations géotechnique des fondations de l'ouvrage ;
- ⇒ Etudes AVP/PRO ;
- ⇒ Réalisation d'un DLE ;
- ⇒ Animation foncière auprès du propriétaire / exploitant en rive droite amont ;
- ⇒ Retalutage et restauration de la berge sur 40 m en amont rive droite de l'ouvrage ;
- ⇒ Maîtrise d'œuvre au niveau ACT/VISA/DET/AOR ;
- ⇒ Suivi du profil en long.

- Conditions d'exécution

Les travaux devront se dérouler d'avril à octobre, en dehors de la période sensible pour la vie et la reproduction du poisson. L'accès se fera depuis la parcelle en rive gauche du ruisseau, nécessitant l'accord du propriétaire.

Une attention particulière sera donnée à la non-prolifération de la Renouée du Japon présente sur le site en niveau aval du pont côté rive droite.

- Estimation financière

L'estimation financière se base sur des coûts unitaires. A ce stade de définition des scénarios, les montants proposés restent approximatifs et à sont à prendre avec une incertitude allant de 10% à 30%.

Le devis est basé sur la réutilisation et la réinjection des matériaux déblayés et sur le fait que le site ne présente pas de difficulté géotechnique particulière.

### Scénario 1 - Dérasement du seuil

| <b>0 - Etudes prélaables et dossiers administratifs</b> | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|---------------------------------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Prélèvement et analyse de sédiments                     | U     | 750        | 2        | 1 500.00        |
| Investigations géotechnique (sondages)                  | F     | 1250       | 1        | 1 250.00        |
| Réalisation du Dossier Loi sur l'Eau                    | F     | 4000       | 1        | 4 000.00        |
| Maitrise d'œuvre (AVP/PRO/ACT/DET/VISA/AOR)             | F     | 3000       | 1        | 3 000.00        |
| <b>SOUS TOTAL 0</b>                                     |       |            |          | <b>9 750.00</b> |

|                         |  |  |  |                  |
|-------------------------|--|--|--|------------------|
| <b>TOTAL ETUDE HT</b>   |  |  |  | <b>9 750.00</b>  |
| <b>IMPREVUS (15%)</b>   |  |  |  | <b>1 462.50</b>  |
| <b>TOTAL GENERAL HT</b> |  |  |  | <b>11 212.50</b> |

| <b>1 - Travaux généraux</b>      | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|----------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Installation / repli de chantier | F     | 2000       | 1        | 2 000.00        |
| Mise hors d'eau                  | F     | 2000       | 1        | 2 000.00        |
| Remise en état                   | F     | 1000       | 1        | 1 000.00        |
| <b>SOUS TOTAL 1</b>              |       |            |          | <b>5 000.00</b> |

| <b>2 - Dérasement du seuil</b>  | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|---------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Démolition génie civil          | F     | 1500       | 1        | 1 500.00        |
| Déblais mis en dépôt provisoire | m3    | 20         | 10       | 200.00          |
| <b>SOUS TOTAL 2</b>             |       |            |          | <b>1 700.00</b> |

| <b>3 - Reprise du lit amont</b>              | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|----------------------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Déblais de matériaux meubles                 | m3    | 7.5        | 320      | 2 400.00        |
| Profilage / talutage soigné                  | m²    | 2.5        | 120      | 300.00          |
| Fourniture et pose de géotextile synthétique | m²    | 5          | 120      | 600.00          |
| Treillis pour renforcement enherbement       | m²    | 15         | 60       | 900.00          |
| Ensemencement (20 g/m²)                      | m²    | 1          | 120      | 120.00          |
| <b>SOUS TOTAL 3</b>                          |       |            |          | <b>4 320.00</b> |

|                         |  |  |  |                  |
|-------------------------|--|--|--|------------------|
| <b>TOTAL TRAVAUX HT</b> |  |  |  | <b>11 020.00</b> |
| <b>IMPREVUS (15%)</b>   |  |  |  | <b>1 653.00</b>  |
| <b>TOTAL GENERAL HT</b> |  |  |  | <b>12 673.00</b> |

## 7.2.2 Scénario 2 : Arasement partiel de l'ouvrage et installation de pré-barrages

- Principe de l'aménagement

Ce scénario consiste à araser partiellement la structure de l'ouvrage afin de favoriser une meilleure activité morphodynamique en amont et de limiter la chute d'eau aval dans le cadre de la franchissabilité piscicole. La cote d'arasement du seuil proposée est de 368,45 m NGF, soit une hauteur d'abaissement de la crête de l'ouvrage de 1,53 m sur la partie centrale de l'ouvrage uniquement.

Afin de compenser la chute aval résultante, l'installation de 3 pré-barrages semble suffisante pour assurer la franchissabilité piscicole de la Truite fario et du Vairon. La crête de l'échancrure du seuil arasé et des pré-barrages présentera un profil en dévers afin de favoriser une charge suffisante sur la lame d'eau déversante et des chutes interbassins à jet de surface afin d'assurer un fonctionnement noyé.

Le pré-dimensionnement des équipements piscicoles prévus dans les figures suivantes a été calé sur les niveaux d'eau observés lors de la campagne topographique de septembre 2016, correspondant à des conditions de basses eaux. Etant donné le contexte torrentiel du ruisseau du Cartelier et les capacités de nage et de saut des espèces cibles, nous proposons des hauteurs de chute de 0,20 m entre les bassins.

Au vu du de la géologie locale, en particulier la présence du versant granitique en rive droite du ruisseau, les pré-barrages seront constitués en enrochements de diamètre Ø300-500 avec un ancrage sur les berges en lit mineur. En effet, la choix de matériaux en bois ne paraît pas adapté au contexte géotechnique du site, en particulier au niveau de l'ancrage de la structure des pré-barrages dans les berges.

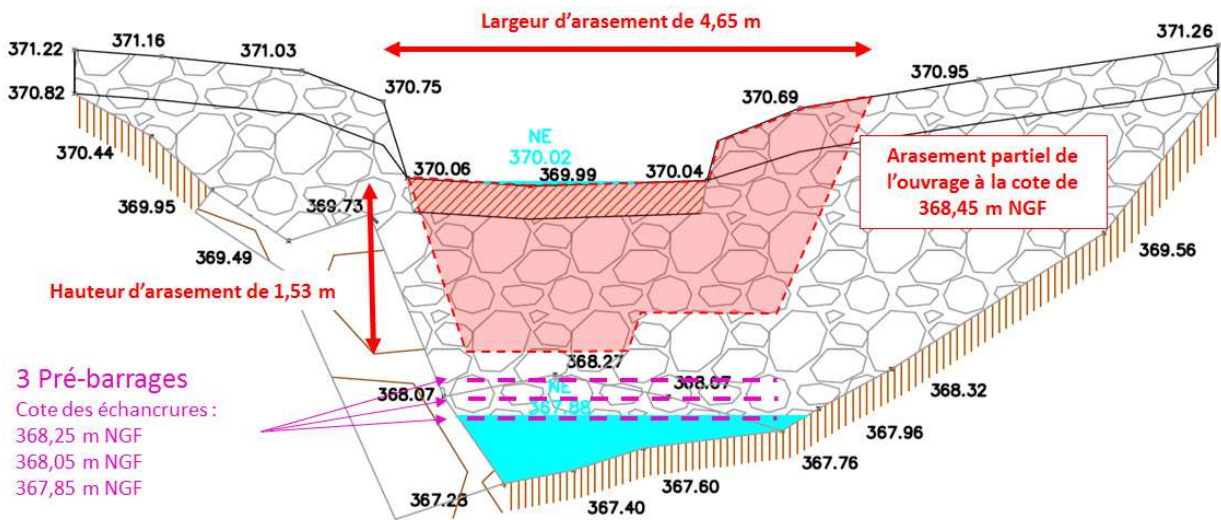
Concernant le contexte amont de l'ouvrage, l'abaissement de l'ouvrage conduira à un phénomène d'érosion régressive significatif dans le remous solide de l'ouvrage. Afin de compenser partiellement la remobilisation des matériaux, nous proposons un reprofilage du lit du cours d'eau sur 40 m afin de respecter une pente de 3,8 %. Le volume de matériaux à déblayer est estimé à 280 m<sup>3</sup>. Ces matériaux seront injectés et régalez en aval des pré-barrages jusqu'à l'aval du radier du pont de la route communale afin de favoriser une continuité du profil en long.



Figure 31 : Scénario 2 – Profil en long de l'arasement de l'ouvrage

Un risque d'érosion régressive potentiel dans le remous solide sera néanmoins encore existant et un suivi du profil en long et de la stabilité des berges sera nécessaire. Par ailleurs, du fait de la remobilisation probable de nombreux matériaux lors des crues, la longueur entre les pré-barrages sera limitée à 5 m afin de favoriser des conditions d'évacuation des sédiments les plus fins lors des crues et d'éviter le colmatage des bassins.

Un suivi régulier de l'état de colmatage des bassins sera nécessaire lors des premières années de vie de l'aménagement.



**Figure 32 : Scénario 2 – Vue aval du projet d'arasement de l'ouvrage**

- Etudes et investigations complémentaires

Ce scénario demandera la réalisation d'études préalables spécifiques et de travaux complémentaires :

- ⇒ Prélèvements et analyse de la qualité des sédiments su remous solide ;
- ⇒ Investigations géotechnique pour la fondation des pré-barrages ;
- ⇒ Etudes au niveau AVP/PRO ;
- ⇒ Réalisation d'un DLE ;
- ⇒ Animation foncière auprès du propriétaire / exploitant en rive gauche amont ;
- ⇒ Retalutage et restauration de la berge sur 40,0 m en amont rive droite de l'ouvrage ;
- ⇒ Maîtrise d'œuvre au niveau ACT/VISA/DET/AOR ;
- ⇒ Suivi du profil en long et du colmatage des bassins.

- Conditions d'exécution

Les travaux devront se dérouler durant la période du 1er avril au 31 octobre, hors de la période sensible pour la vie et la reproduction du poisson. L'accès se fera depuis la parcelle en rive gauche du ruisseau, nécessitant l'accord du propriétaire.

Une attention particulière sera donnée à la non-prolifération de la Renouée du Japon présente sur le site au niveau aval du pont en rive droite.



- Estimation financière

L'estimation financière se base sur des coûts unitaires. A ce stade de définition des scénarios, les montants proposés restent approximatifs et à sont à prendre avec une incertitude allant de 10% à 30 %.

Le devis est basé sur la réutilisation et la réinjection des matériaux déblayés et sur le fait que le site ne présente pas de difficultés géotechniques particulières.

## Scénario 2 -Arasement partiel de l'ouvrage et installation de pré-barrages

| 0 - Etudes prélaables et dossiers administratifs | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)    |
|--------------------------------------------------|-------|------------|----------|------------------|
| Prélèvement et analyse de sédiments              | U     | 750        | 1        | 750.00           |
| Investigations géotechnique (sondages)           | F     | 1750       | 1        | 1 750.00         |
| Réalisation du Dossier Loi sur l'Eau             | F     | 4000       | 1        | 4 000.00         |
| Maitrise d'œuvre (AVP/PRO/ACT/DET/VISA/AOR)      | F     | 4500       | 1        | 4 500.00         |
| <b>SOUS TOTAL 0</b>                              |       |            |          | <b>11 000.00</b> |

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| <b>TOTAL ETUDE HT</b>   | <b>11 000.00</b> |
| <b>IMPREVUS (15%)</b>   | <b>1 650.00</b>  |
| <b>TOTAL GENERAL HT</b> | <b>12 650.00</b> |

| 1 - Travaux généraux             | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|----------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Installation / repli de chantier | F     | 5000       | 1        | 5 000.00        |
| Mise hors d'eau                  | F     | 2500       | 1        | 2 500.00        |
| Remise en état                   | F     | 1000       | 1        | 1 000.00        |
| <b>SOUS TOTAL 1</b>              |       |            |          | <b>8 500.00</b> |

| 2 - Arasement du seuil           | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|----------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Arasement partiel seuil existant | F     | 2500       | 1        | 2 500.00        |
| Déblais mis en dépôt provisoire  | m3    | 20         | 5        | 100.00          |
| <b>SOUS TOTAL 2</b>              |       |            |          | <b>2 600.00</b> |

| 3 - Construction des pré-barrages                       | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)    |
|---------------------------------------------------------|-------|------------|----------|------------------|
| Fourniture et pose de géotextile synthétique            | m²    | 5          | 75       | 375.00           |
| Fourniture et mise en oeuvre d'enrochements (Ø 400-600) | m3    | 120        | 7.5      | 900.00           |
| Fourniture et pose d'enrochements (Ø 200-400)           | m3    | 100        | 4        | 400.00           |
| Fourniture et coulage de béton percolé                  | m3    | 200        | 10       | 2 000.00         |
| Coffrage                                                | m²    | 50         | 20       | 1 000.00         |
| Ragrément des pré-barrages au parement des berges       | F     | 6000       | 1        | 6 000.00         |
| <b>SOUS TOTAL 3</b>                                     |       |            |          | <b>10 675.00</b> |

| 4 - Reprise du lit amont                     | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|----------------------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Déblais et réinjection des matériaux meubles | m3    | 7.5        | 280      | 2 100.00        |
| Profilage / talutage soigné                  | m²    | 2.5        | 120      | 300.00          |
| Fourniture et pose de géotextile synthétique | m²    | 5          | 120      | 600.00          |
| Treillis pour renforcement enherbement       | m²    | 15         | 60       | 900.00          |
| Ensemencement (20 g/m²)                      | m²    | 1          | 120      | 120.00          |
| <b>SOUS TOTAL 4</b>                          |       |            |          | <b>4 020.00</b> |

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| <b>TOTAL TRAVAUX HT</b> | <b>25 795.00</b> |
| <b>IMPREVUS (15%)</b>   | <b>3 869.25</b>  |
| <b>TOTAL GENERAL HT</b> | <b>29 664.25</b> |

### 7.2.3 Scénario 3 : Réalisation d'une échancrure et installation d'une passe à bassins successifs

- Principe de l'aménagement

L'objectif de ce scénario est de conserver la majeure partie de la structure de l'ouvrage afin de conserver la hauteur de chute actuelle. Cela permettra de limiter le risque d'érosion régressive sur la partie amont, associé au transit progressif des matériaux du remous solide de l'ouvrage. Dans le cadre de ce scénario, les perturbations liées à la perte de terres en rive gauche du ruisseau devraient être limitées suite à la réalisation de l'aménagement, contrairement aux deux scénarios précédents.

Etant donné le contexte associé à l'ouvrage (affleurements granitiques en rive droite, faibles débits du ruisseau, hauteur de chute significative de près 2 m de l'ouvrage, absence de maîtrise foncière sur le site), la solution qui nous semble la plus adaptée est la réalisation d'une passe à bassin successifs en aval de l'ouvrage côté rive gauche. Les solutions de rampe, de rivière de contournement et de pré-barrages ont été écartées car moins adaptées au contexte évoqué ci-dessus.

Afin d'assurer l'alimentation en eau de la passe à bassins, le lit en amont immédiat de l'ouvrage devra être repris avec le dessouchage de la végétation qui borde le cours d'eau et une échancrure de près de 0,50 m de large pour une hauteur d'arasement de 0,30 m devra être réalisée sur le déversoir de l'ouvrage. Cette échancrure servira à l'alimentation de la passe à bassins. Cette échancrure sera réalisée sur la partie centrale de l'ouvrage avec un léger décalage côté rive gauche afin d'assurer la conservation d'un déversoir central pour le passage des crues et une dérivation en rive gauche pour l'alimentation permanente de la passe à poissons.

Afin de compenser la hauteur de chute avec l'aval, nous proposons la réalisation de 9 bassins avec des chutes de 20cm. Leur disposition est proposée de telle manière à ce que le dernier bassin revienne vers la chute de l'ouvrage afin de favoriser l'attractivité piscicole à la montaison. De ce fait, des sondages préalables et des travaux de terrassements et de mise en forme de la berge aval en rive gauche de l'ouvrage seront nécessaires.

En accord avec les capacités de nage et de saut des espèces cibles, nous proposons la réalisation de 9 échancrures profondes proposant une hauteur de chute interbassin de 20 cm, permettant la formation de jets de surface et la montaison des cyprinidés d'eaux vives (Vairon). En première approche, le volume en eau des bassins devra être de 2 m<sup>3</sup> afin d'assurer une puissance dissipée inférieure à 150 W/m<sup>3</sup> pour le transit d'un débit propre à 2 fois la valeur du module.

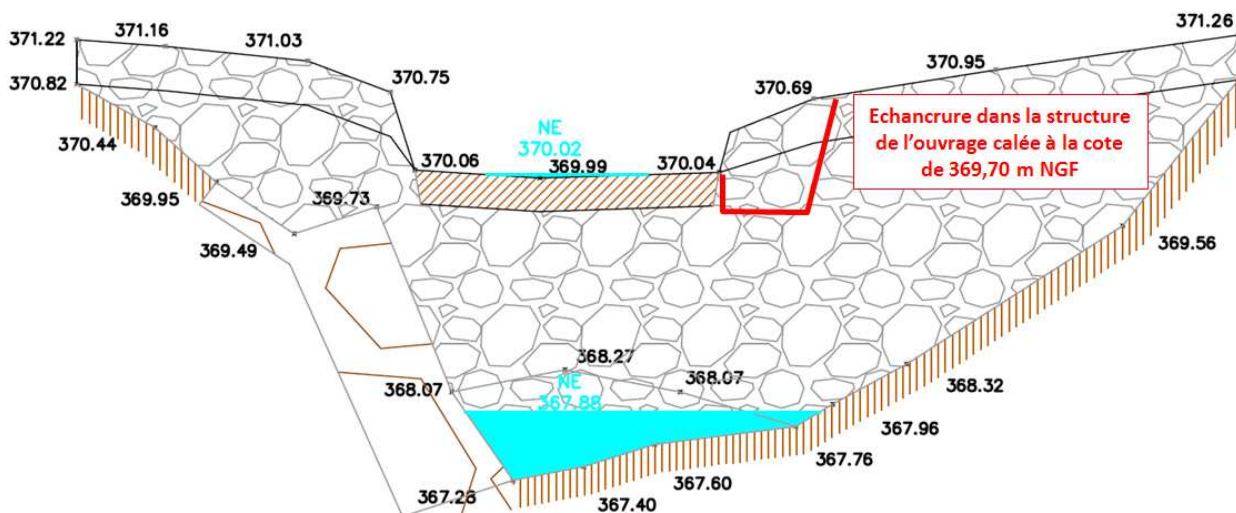
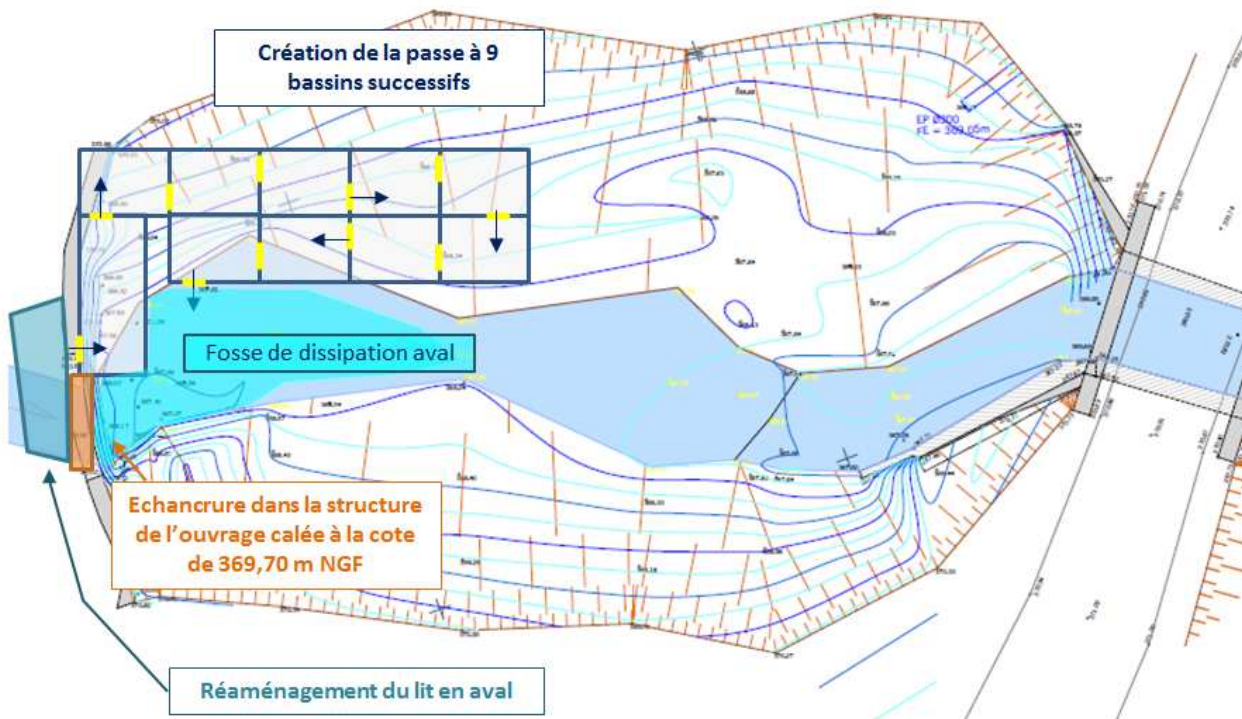


Figure 33 : Scénario 3 – Vue aval du projet de passe à bassins successifs



**Figure 34 : Scénario 3 – Vue en plan de la passe à bassins**

- Etudes et investigations complémentaires

Ce scénario demandera la réalisation d'études préalables spécifiques et de travaux complémentaires :

- ⇒ Investigations géotechnique en rive gauche aval ;
- ⇒ Etude de dimensionnement de la passe à bassins
- ⇒ Etudes au niveau AVP/PRO ;
- ⇒ Réalisation d'un DLE ;
- ⇒ Animation foncière auprès du propriétaire / exploitant en rive gauche aval ;
- ⇒ Maîtrise d'œuvre au niveau ACT/VISA/DET/AOR.

- Estimation financière

L'estimation financière se base sur des coûts unitaires. A ce stade de définition des scénarios, les montants proposés restent approximatifs et à sont à prendre avec une incertitude allant de 10% à 30 %.

Le devis est basé sur le fait que le site ne présente pas de difficulté géotechnique particulière.

### Scénario 3 -Réalisation d'une échancrure et installation d'une passe à poissons à bassins successifs

| 0 - Etudes prélaables et dossiers administratifs | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)    |
|--------------------------------------------------|-------|------------|----------|------------------|
| Etude de dimensionnement de la passe à bassins   | F     | 4500       | 1        | 4 500.00         |
| Investigations géotechnique (sondages)           | F     | 2500       | 1        | 2 500.00         |
| Réalisation du Dossier Loi sur l'Eau             | F     | 4000       | 1        | 4 000.00         |
| Maitrise d'œuvre (AVP/PRO/ACT/DET/VISA/AOR)      | F     | 7000       | 1        | 7 000.00         |
| <b>SOUS TOTAL 0</b>                              |       |            |          | <b>18 000.00</b> |

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| <b>TOTAL ETUDE HT</b>   | <b>18 000.00</b> |
| <b>IMPREVUS (15%)</b>   | <b>2 700.00</b>  |
| <b>TOTAL GENERAL HT</b> | <b>20 700.00</b> |

| 1 - Travaux généraux             | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)    |
|----------------------------------|-------|------------|----------|------------------|
| Installation / repli de chantier | F     | 10000      | 1        | 10 000.00        |
| Mise hors d'eau                  | F     | 2500       | 1        | 2 500.00         |
| Remise en état                   | F     | 2000       | 1        | 2 000.00         |
| <b>SOUS TOTAL 1</b>              |       |            |          | <b>14 500.00</b> |

| 2 - Prise d'eau                                  | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)    |
|--------------------------------------------------|-------|------------|----------|------------------|
| Découpage d'un échancrure dans l'ouvrage         | F     | 3500       | 1        | 3 500.00         |
| Déblais mis en dépôt provisoire                  | m3    | 25         | 3        | 75.00            |
| Fourniture et pose de batardeaux                 | U     | 200        | 4        | 800.00           |
| Vantellerie vanne de tête                        | F     | 7500       | 1        | 7 500.00         |
| Fourniture et pose grille (protection flottants) | F     | 3000       | 1        | 3 000.00         |
| <b>SOUS TOTAL 2</b>                              |       |            |          | <b>14 875.00</b> |

| 3 - Construction de la passe à bassins          | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)    |
|-------------------------------------------------|-------|------------|----------|------------------|
| Déblais                                         | m3    | 15         | 40       | 600.00           |
| Remblais et compactage                          | m3    | 10         | 50       | 500.00           |
| Profilage /fonde forme                          | m²    | 30         | 120      | 3 600.00         |
| Implantation et piquetage                       | F     | 1          | 800      | 800.00           |
| Fourniture et coulage de béton                  | m3    | 350        | 35       | 12 250.00        |
| Coffrage                                        | m²    | 75         | 60       | 4 500.00         |
| Fourniture et pose de ferailage pour béton armé | m²    | 120        | 110      | 13 200.00        |
| <b>SOUS TOTAL 3</b>                             |       |            |          | <b>35 450.00</b> |

| 4 - Reprise du lit amont                     | Unité | Coût Unit. | Quantité | Montant (€HT)   |
|----------------------------------------------|-------|------------|----------|-----------------|
| Déblais et réinjection des matériaux meubles | m3    | 7.5        | 10       | 75.00           |
| Déssouchage et élimination (Ø ~ 60 cm)       | U     | 5          | 100      | 500.00          |
| Profilage / talutage soigné                  | m²    | 10         | 35       | 350.00          |
| Fourniture et pose de géotextile synthétique | m²    | 5          | 35       | 175.00          |
| Treillis pour renforcement enherbement       | m²    | 15         | 35       | 525.00          |
| Ensemencement (20 g/m²)                      | m²    | 1          | 35       | 35.00           |
| <b>SOUS TOTAL 4</b>                          |       |            |          | <b>1 660.00</b> |

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| <b>TOTAL TRAVAUX HT</b> | <b>66 485.00</b> |
| <b>IMPREVUS (15%)</b>   | <b>9 972.75</b>  |
| <b>TOTAL GENERAL HT</b> | <b>76 457.75</b> |



### 7.3 Analyse comparative des scénarios

Nous avons comparé les différents scénarios par rapport aux différentes fonctionnalités du cours d'eau, aux contraintes et aux différents objectifs attendus. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

|    |                                        |
|----|----------------------------------------|
| ++ | Gain ou bénéfice important             |
| +  | Gain ou bénéfice                       |
| 0  | Gain ou bénéfice faible ou pas de gain |
| -  | Impact négatif                         |
| -- | Impact très négatif                    |

|      |                |
|------|----------------|
| ++++ | Intérêt fort   |
| +++  | Intérêt fort   |
| +    | Intérêt moyen  |
| +    | Intérêt faible |

| Paramètres                                                | Solution d'aménagement de l'ouvrage |                   |                 |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------|
|                                                           | Scénario 1                          | Scénario 2        | Scénario 3      |
|                                                           | Dérasement                          | Arasement partiel | Passe à bassins |
| <b>Fonctionnalités du cours d'eau</b>                     |                                     |                   |                 |
| Continuité biologique                                     | ++                                  | ++                | ++              |
| Continuité sédimentaire                                   | ++                                  | +                 | 0               |
| Espace de mobilité                                        | ++                                  | ++                | 0               |
| Qualité des habitats                                      | ++                                  | +                 | 0               |
| Connectivité aux corridors rivulaires                     | 0                                   | 0                 | 0               |
| Abaissement de la nappe                                   | -                                   | 0                 | 0               |
| Dissipation des crues                                     | -                                   | 0                 | 0               |
| Abaissement de la ligne d'eau en crue                     | +                                   | +                 | 0               |
| Zones humides                                             | 0                                   | 0                 | 0               |
| <b>Paysage et patrimoine</b>                              |                                     |                   |                 |
| Degré de modification du paysage                          | -                                   | -                 | --              |
| Bénéfices écologiques hors migration piscicole            | +                                   | +                 | 0               |
| <b>Contraintes techniques et administratives</b>          |                                     |                   |                 |
| Niveau des investigations géotechniques                   | -                                   | -                 | --              |
| Contraintes sur les usages fonciers (érosion, etc.)       | --                                  | -                 | 0               |
| Usage de la pêche                                         | 0                                   | 0                 | 0               |
| Emprise foncière                                          | -                                   | -                 | --              |
| Mesures géotechniques compensatoires                      | -                                   | -                 | 0               |
| Dossiers réglementaires propres au fonctionnement naturel | -                                   | -                 | -               |
| <b>Objectifs</b>                                          |                                     |                   |                 |
| Assurer le franchissement piscicole                       | ++                                  | ++                | ++              |
| Assurer la recolonisation amont                           | ++                                  | ++                | +               |
| Favoriser la continuité sédimentaire                      | ++                                  | +                 | 0               |
| <b>Coûts estimatifs</b>                                   |                                     |                   |                 |
| Niveau d'études complémentaires                           | -                                   | -                 | --              |
| Fourchette estimative basse des travaux (€HT)             | 8 000.00 €                          | 19 000.00 €       | 57 000.00 €     |
| Fourchette estimative haute des travaux (€HT)             | 14 000.00 €                         | 32 000.00 €       | 90 000.00 €     |
| <b>Coûts estimatifs</b>                                   |                                     |                   |                 |
| Synthèse Gains techniques                                 | +++                                 | +++               | ++              |
| Synthèse Coût                                             | ++++                                | ++                | +               |
| Synthèse global                                           | +++                                 | ++                | +               |

Tableau 5 : Synthèse de l'analyse comparative des scénarios

En conclusion, l'analyse technico-financière des scénarios met en avant le scénario de dérasement car ce dernier propose le gain écologique le plus intéressant pour un investissement moins élevé. Néanmoins, une contrainte de faisabilité forte persiste en termes d'acceptabilité des travaux par le propriétaire du site. Cette crainte s'associe au risque significatif de pertes en terres agricoles associées à l'érosion régressive suite à la suppression de la chute. Quelques mesures compensatoires permettent de réduire le risque, ou tout du moins d'anticiper les perturbations liées à l'érosion latérale, par l'aménagement du lit amont et par un travail d'animation foncière.

Le scénario d'arasement partiel associé à la pose de 3 pré-barrages présente également un gain écologique significatif. Néanmoins, les bénéfices associés à la continuité écologique restent plus limités par rapport au scénario de dérasement du fait de l'intégration des pré-barrages sur le profil en long. Les investissements nécessaires sont plus élevés (rapport de 2,3), du fait des travaux associés à la réalisation des pré-barrages. L'arasement de l'ouvrage aura également des incidences sur le profil amont du cours d'eau avec un risque d'augmentation de l'érosion latérale sur la rive gauche et de creusement du lit suite au transit vers l'aval, des matériaux anciennement stockés dans le remous solide de l'ouvrage. Des mesures compensatoires seront mises en place pour limiter ou anticiper les risques.

Le scénario d'installation d'une passe à poissons est de loin le plus coûteux (rapport de 6,0 par rapport au scénario de dérasement) du fait de la complexité de l'ouvrage à réaliser. De plus, des contraintes géotechniques et un dimensionnement préalable seront nécessaires afin d'assurer la viabilité du projet. Ce scénario présente l'avantage de limiter considérablement les risques d'érosion amont, mais demande une emprise spécifique sur le site et un entretien et un suivi dans le temps plus important.

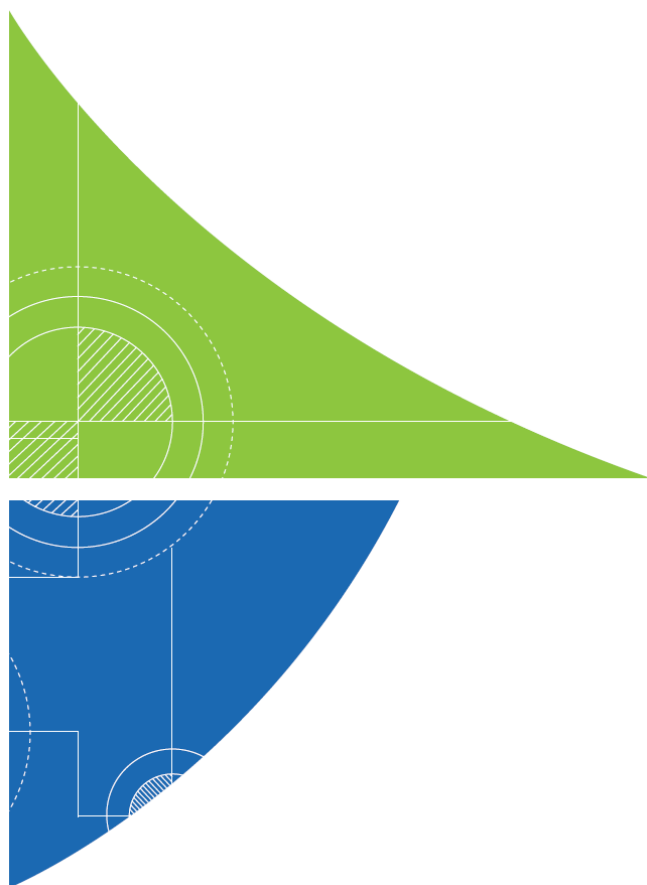
## Index des Tableaux

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Station hydrométrique de Brignais .....                                        | 12 |
| Tableau 2 : Débits de référence retenus au droit de l'ouvrage de l'Aqueduc du Gier .....   | 13 |
| Tableau 3 : Plage de débits fonctionnels des espèces cibles .....                          | 15 |
| Tableau 4 : Capacité de franchissement des espèces cible (Protocole ICE, ONEMA 2014) ..... | 35 |
| Tableau 5 : Synthèse de l'analyse comparative des scénarios.....                           | 45 |

## Index des Figures

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Localisation du seuil et du périmètre d'étude sur le bassin versant du Garon .....                              | 5  |
| Figure 2 : Plan masse de l'ouvrage issu des relevés topographiques réalisés le 08 septembre 2016 (ALTEA, BURGEAP) .....    | 6  |
| Figure 3 : Cadastre des parcelles attenantes à l'ouvrage (IGN) .....                                                       | 7  |
| Figure 4 : Extrait du fond cadastral au droit du seuil de Villard (cadastre.gouv.fr).....                                  | 8  |
| Figure 5 : Occupation du sol (Corinne Land Cover 2012).....                                                                | 9  |
| Figure 6 : Géologie sur le secteur d'étude (BRGM) .....                                                                    | 10 |
| Figure 7 : Extrait du Cadastre Napoléonien – Section B2 de la commune de Thurins (Archives départementales du Rhône) ..... | 11 |
| Figure 8 : Bassin versant topographique du ruisseau du Cartelier au Seuil du Villard .....                                 | 14 |
| Figure 9 : Extrapolation de la courbe des débits classés au droit du seuil du Villard .....                                | 15 |
| Figure 10 : Estimation des débits pleins bord du ruisseau du Cartelier sur le linéaire d'étude.....                        | 16 |
| Figure 11 : Contexte hydraulique sur le ruisseau du Cartelier au niveau du Seuil de Villard .....                          | 17 |
| Figure 12 : Profil en long du ruisseau du Cartelier au droit du secteur d'étude .....                                      | 19 |
| Figure 13 : Profil en long des rapports Lpb/Hpb.....                                                                       | 19 |
| Figure 14 : Profil en long du ruisseau du Cartelier – Zoom sur le seuil de Villard .....                                   | 20 |
| Figure 15 : Profil en long des grandeurs morphodynamiques.....                                                             | 21 |
| Figure 16 : Localisation des stations de caractérisation de la lithologie des berges.....                                  | 22 |
| Figure 17 : Résultats des analyses granulométriques par Wolman.....                                                        | 24 |
| Figure 18 : Profil en long des diamètres maximaux des matériaux transités en crue.....                                     | 25 |
| Figure 19 : Analyse de la composition granulométrique des bancs - Matériaux dominants .....                                | 26 |
| Figure 20 : Analyse de la composition granulométrique des bancs - Matériaux dominants secondaires .....                    | 26 |
| Figure 21 : Localisation des caches piscicoles et des frayères sur le secteur d'étude .....                                | 28 |
| Figure 22 : Connectivité de la ripisylve avec les écoulements d'étiage sur le secteur d'étude.....                         | 29 |
| Figure 23 : Qualité de la ripisylve sur le secteur d'étude.....                                                            | 29 |
| Figure 24 : Inventaire des embâcles sur le secteur d'étude.....                                                            | 30 |
| Figure 25 : Vue aval de la structure de l'ouvrage (ALTEA 2016).....                                                        | 32 |
| Figure 26 : Définition des facteurs pouvant conduire à un aléa d'érosion ou d'affouillement .....                          | 33 |
| Figure 27 : Grille de caractérisation du risque potentiel d'érosion .....                                                  | 33 |
| Figure 28 : Caractérisation du risque potentiel d'érosion dans le secteur du seuil du Villard.....                         | 34 |
| Figure 29 : Scénario 1 – Profil en long du dérasement.....                                                                 | 36 |
| Figure 30 : Scénario 1 – Vue aval du projet de dérasement de l'ouvrage .....                                               | 37 |
| Figure 31 : Scénario 2 – Profil en long de l'arasement de l'ouvrage.....                                                   | 39 |
| Figure 32 : Scénario 2 – Vue aval du projet d'arasement de l'ouvrage .....                                                 | 40 |
| Figure 33 : Scénario 3 – Vue aval du projet de passe à bassins successifs .....                                            | 42 |
| Figure 34 : Scénario 3 – Vue en plan de la passe à bassins .....                                                           | 43 |

## ANNEXES





## **Annexe 1. Atlas cartographique**

Cette annexe contient 3 pages.