



RESTAURATION PHYSIQUE SUR L'HERBASSE ET LE VALERE

Avant-Projet
Rapport provisoire
Août 2012



**Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Bassin
de l'Herbasse**
Site de Champos - B.P. 2
SAINT-DONAT-SUR-L'HERBASSE
Tél : 04 75 45 14 54 - Fax : 04 75 45 03 63

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	4
2. ETAT DES LIEUX	5
2.1. L'Herbasse.....	5
2.1.1. Situation.....	5
2.1.2. Dysfonctionnements observés.....	5
2.2. Le Valéré	9
2.2.1. Situation.....	9
2.2.2. Dysfonctionnements observés.....	9
3. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	11
3.1. Etude hydrologique	11
3.1.1. Analyse pluviométrique	11
3.1.2. Caractéristiques du bassin versant.....	11
3.1.3. Estimation des débits de crue	12
3.2. Conditions d'écoulement à l'état actuel	14
3.2.1. Simulation hydraulique.....	14
3.2.2. Résultat de la modélisation hydraulique.....	15
3.2.3. Analyse des capacités de transport solide	15
4. RESTAURATION DE L'HERBASSE.....	17
4.1. Seuil des Meuilles.....	17
4.1.1. Rampe de fond.....	17
4.1.2. Seuil à marches successives	19
4.1.3. Arasement progressif du seuil.....	21
4.1.4. Rivière de contournement	22
4.1.5. Franchissement par marches successives avec conservation du droit d'eau	24
4.1.6. Synthèse et comparaison des différentes solutions.....	26
4.2. Ouvrage en aval de la passerelle	27
4.2.1. Principes d'aménagement	27
4.2.2. Incidences hydraulique et morphodynamique	27
4.2.3. Estimatif du montant des travaux.....	27
4.3. Aménagement de la zone en « canyon »	28
4.4. Gains écologiques	30
4.5. Synthèse du coût des aménagements.....	31
5. RESTAURATION DU VALERE.....	33

5.1. Ouvrage de franchissement à l’aval du « pont Solage »	33
5.1.1. Rampe de fond.....	33
5.1.2. Ouvrages à marches successives.....	34
5.1.3. Synthèse et comparaison des solutions	36
5.2. Aménagement de la zone en « canyon »	37
5.2.1. Elargissement du lit mineur	37
5.2.1. Réduction de la pente	37
5.2.2. Reconstitution du matelas alluvial	37
5.2.3. Montant estimatif des travaux.....	38
5.3. Gains écologiques	39
5.4. Synthèse du coût des aménagements.....	40
6. ANNEXES	41
6.1. Carte des bassins versants.....	41
6.2. Topographie des tronçons d’étude	43

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

La grande majorité des milieux aquatiques a été profondément remaniée par l'homme. Afin de contrôler la morphologie des rivières, de protéger les biens et les personnes, d'utiliser une ressource disponible (eau et granulats notamment) de nombreux aménagements de cours d'eau ont été réalisés tels que la rectification, le recalibrage, la mise en place d'ouvrages transversaux au dépend du fonctionnement physique et écologique des milieux.

Les deux tronçons objets de l'étude sont caractérisés par une forte incision du lit mineur responsable de l'encaissement de la rivière et de la disparition du matelas alluvial. En effet, certains tronçons de l'Herbasse et du Valéré s'écoulent aujourd'hui sur un substrat molassique réduisant fortement les potentialités écologiques du milieu. Ces désordres morphologiques ont principalement été causés par des interventions directes sur le lit mineur au cours des dernières décennies : rectification du style fluvial, extraction de granulats, ouvrages de dérivation d'une partie des écoulements...

De plus ces impacts ont entraîné un véritable morcellement des rivières supprimant toute connexion amont/aval ainsi qu'avec les affluents. Les ouvrages transversaux en place sur la zone d'étude limitent les conditions de circulation de la faune piscicole. L'étude menée par la fédération de pêche de la Drôme sur le bassin versant de l'Herbasse a permis de mettre en évidence ce dysfonctionnement et de caractériser l'intérêt de supprimer ces obstacles.

L'objectif de cette étude est d'une part de favoriser l'apparition sur le lit mineur d'un milieu biogène mais également de rétablir la continuité hydraulique et écologique.

2. ETAT DES LIEUX

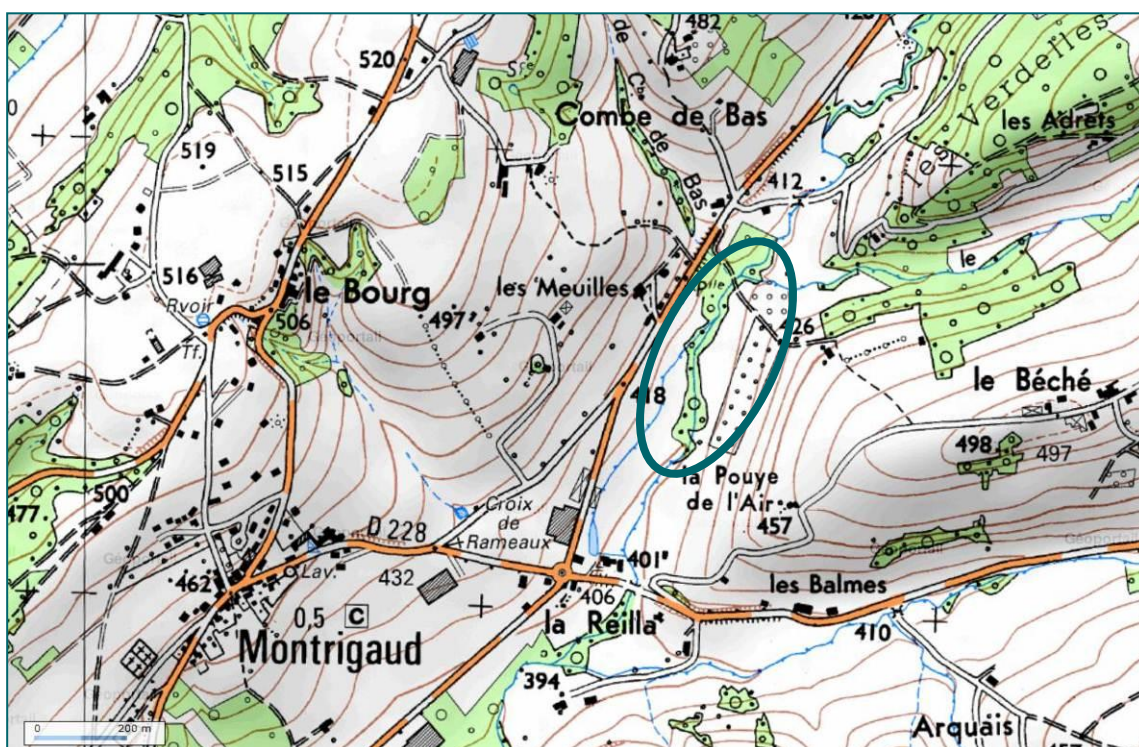
Il s'agit dans cette première partie de présenter les tronçons d'étude ainsi que les désordres observés. Les deux secteurs sont situés sur la commune de Montrigaud pour l'Herbasse et Saint-Bonnet de Valclérieux pour le Valéré. Les linéaires étudiés sont respectivement de 555 ml et de 382 ml.

2.1. L'HERBASSE

2.1.1. Situation

Le tronçon d'étude est situé sur la commune de Montrigaud au lieu-dit les Meuilles. Il s'étend sur un linéaire de 555 mètres.

Localisation du site d'étude (source Géoportail)



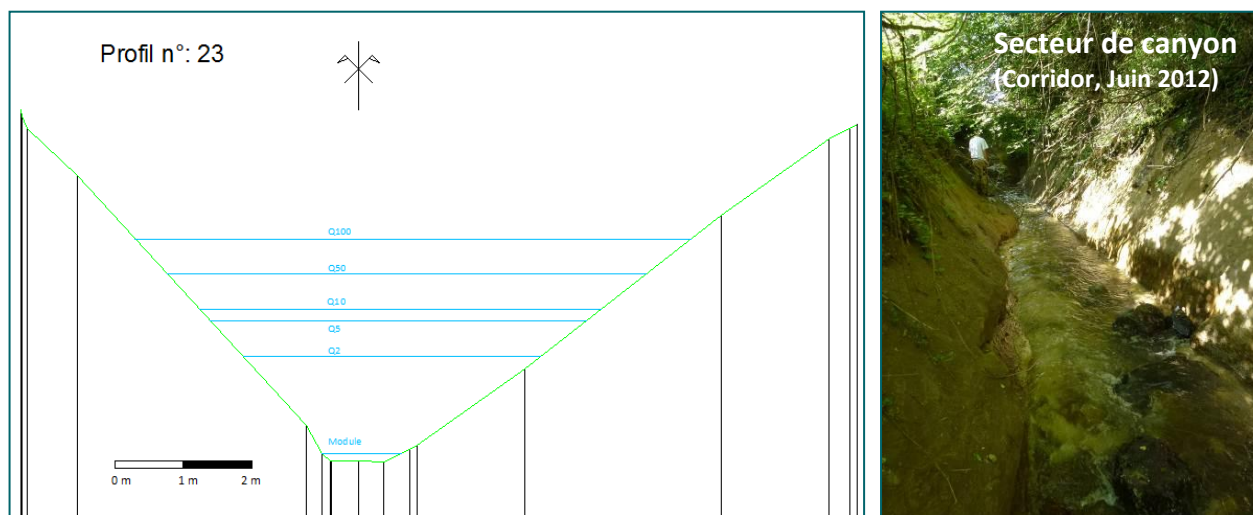
2.1.2. Dysfonctionnements observés

2.1.2.1. Déstabilisation du profil en long

Le linéaire est caractérisé par une forte incision du lit mineur à l'aval de la passerelle qui permet le franchissement de la rivière. Bien que le phénomène d'incision soit généralisé sur le bassin versant et le tronçon d'étude, il atteint des valeurs extrêmes comprises entre 4 et 6 mètres sur un linéaire de 150 mètres.

L'évolution altitudinale du profil en long a entraîné une véritable déconnexion entre le lit mineur et son lit majeur réduisant à néant les débordements de la rivière. L'absence de débordement favorise les fortes vitesses en période de crue et accentue d'autant plus l'incision du lit par des contraintes érosives élevées.

Profils caractéristiques de la zone de « canyon »

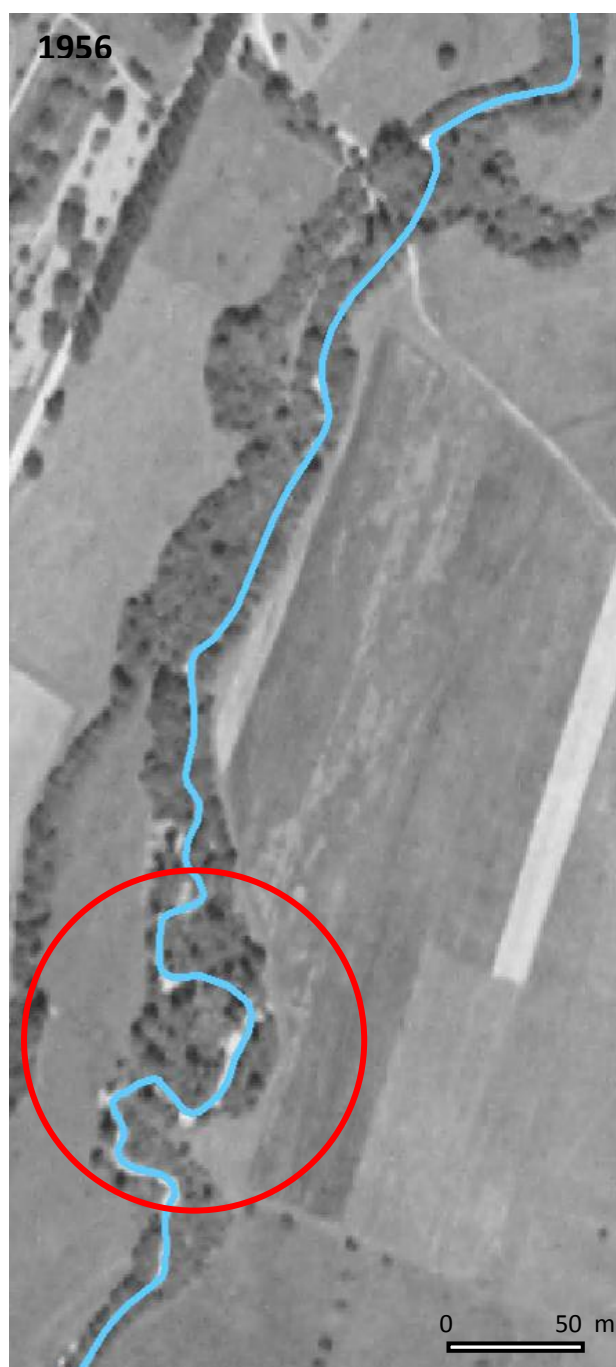


Cet enfouissement du lit mineur a entraîné l'évacuation des matériaux qui constituaient le fond du lit jusqu'à l'apparition de la roche mère. En effet, dans le secteur de « canyon » l'Herbasse s'écoule directement sur un substrat molassique offrant que très peu d'intérêts d'un point de vue hydrobiologique. Suite à la disparition du matelas alluvial, la qualité physique du milieu n'offre plus aucun support favorable à la vie aquatique et notamment au développement de la faune piscicole et benthique. La ripisylve est aujourd'hui totalement déconnectée de la rivière et plus aucun n'échange ne s'opère avec celle-ci, hormis lorsque les arbres dépérissant finissent par tomber dans le lit et forment des embâcles.

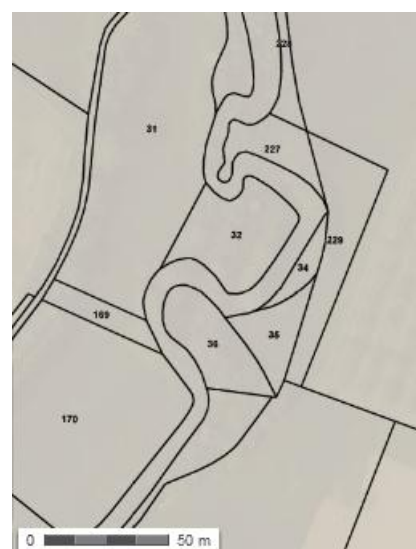
Si la présence du seuil des Meuilles a joué un rôle certain dans l'évolution altitudinale du lit mineur en privant la rivière d'une charge grossière nécessaire à son équilibre morphodynamique, l'analyse des photographies aériennes anciennes a permis de découvrir un événement essentiel responsable de cette évolution. A l'aval du seuil des Meuilles, 300 mètres environ, l'Herbasse dessinait jusqu'au début des années 1970 un enchaînement de méandres très prononcés qui ont été rectifiés par la suite. Ce type d'intervention, relativement fréquent sur le bassin versant, était réalisé dans un premier temps pour favoriser les écoulements en période de crue et d'autre part pour gagner des espaces agricoles en bordure de rivière. Un tronçon rectiligne a donc remplacé les sinuosités qui s'enchaînaient sur un linéaire d'environ 150 mètres.

La conséquence directe de cette modification du style fluvial est l'ajustement du lit du cours d'eau à de nouvelles conditions d'écoulement. La réduction de la sinuosité a entraîné une augmentation de la pente du profil en long et impulsé une vague d'érosion régressive d'autant plus immédiate et prononcée que l'Herbasse enregistre des crues puissantes capables d'entraîner un fort charriage. Ce processus d'érosion régressive se matérialise par un grignotage du talus amont jusqu'à l'obtention d'une nouvelle pente d'équilibre ou la rencontre avec un point dur (Malavoi J.R., Garnier C.C., Landon N., Recking A., Baran P., 2011). Dans le cas présent, l'existence de la passerelle, permettant l'accès aux parcelles agricole en rive gauche, située à l'aval du seuil des Meuilles a nécessité une intervention pour stopper le processus ce qui explique la présence de blocs rocheux au droit de la passerelle.

*Evolution du tracé de l'Herbasse suite aux travaux de rectification
(source ign.fr)*



L'observation des clichés permet de constater les modifications apportées au tracé en plan de l'Herbasse. Le plan d'eau actuellement présent en rive gauche est un ancien méandre perché. Ce constat permet d'estimer à partir de la campagne de levés topographiques réalisés, la hauteur de l'incision du lit depuis les années 70, soit entre 5 et 6 mètres pour les tronçons les plus touchés. Le cadastre illustre également le style méandriforme de la rivière avant les travaux de rectification.



2.1.2.2. Rupture de la continuité écologique

Deux obstacles faisant entrave à la notion de continuum fluvial sont présents sur le tronçon. Il s'agit d'amont en aval des ouvrages ROE 37358 et ROE 37859

- Le **seuil des Meuilles** avait pour objectif de dériver une partie des eaux de l'Herbasse pour un usage privé. L'usager a notamment utilisé l'eau acheminée pour faire fonctionner un moulin situé au lieu-dit le Reillat. Au cours des dernières décennies, le plan d'eau alimenté par le canal de dérivation pouvait être utilisé comme réserve en cas d'incendie et lui conférait un caractère de sécurité publique. La recherche bibliographique effectuée auprès de la Mairie de Montrigaud et des archives départementales n'a pas permis de prendre connaissance du droit d'eau en vigueur. Seule information issue de cette recherche, le propriétaire de l'ouvrage a entrepris des travaux de rehausse de l'ouvrage en 1988 afin de maintenir un débit suffisant dans le bief. D'autres travaux de restauration ont été réalisés au début des années 90 par le Syndicat à la demande du propriétaire suite à une crue ayant déplacée le lit de la rivière.



Seuil des Meuilles
(Corridor, Juin 2012)

Si cet ouvrage a créé une rupture du transit sédimentaire pendant plusieurs années à l'époque de sa construction et des modifications apportées, il est aujourd'hui « plein » et transparent vis-à-vis du transport solide. En revanche, d'un point de vue écologique, l'ouvrage est un véritable obstacle à la continuité. En effet, d'une hauteur supérieure à 2 mètres et d'une pente moyenne de 23 %, il empêche toute possibilité de franchissement piscicole créant ainsi une discontinuité entre la partie amont et aval de la rivière.

- Second obstacle à la continuité écologique, le **seuil mis en œuvre à l'aval de la passerelle** afin de limiter le processus d'érosion régressive. L'ouvrage est constitué de blocs d'importants diamètres pour résister aux puissantes crues de l'Herbasse. Fortement affouillé en pied, le seuil a une hauteur d'environ 2.10 m et une pente moyenne de 18 %, ce qui n'autorise pas la franchissabilité piscicole. Bien que très dégradé et déstabilisé par les crues, l'ouvrage a permis d'une part de protéger la passerelle d'accès aux terrains agricoles ainsi que le seuil des Meuilles et d'autre part de maintenir une connexion avec l'affluent de l'Herbasse le Chénard.



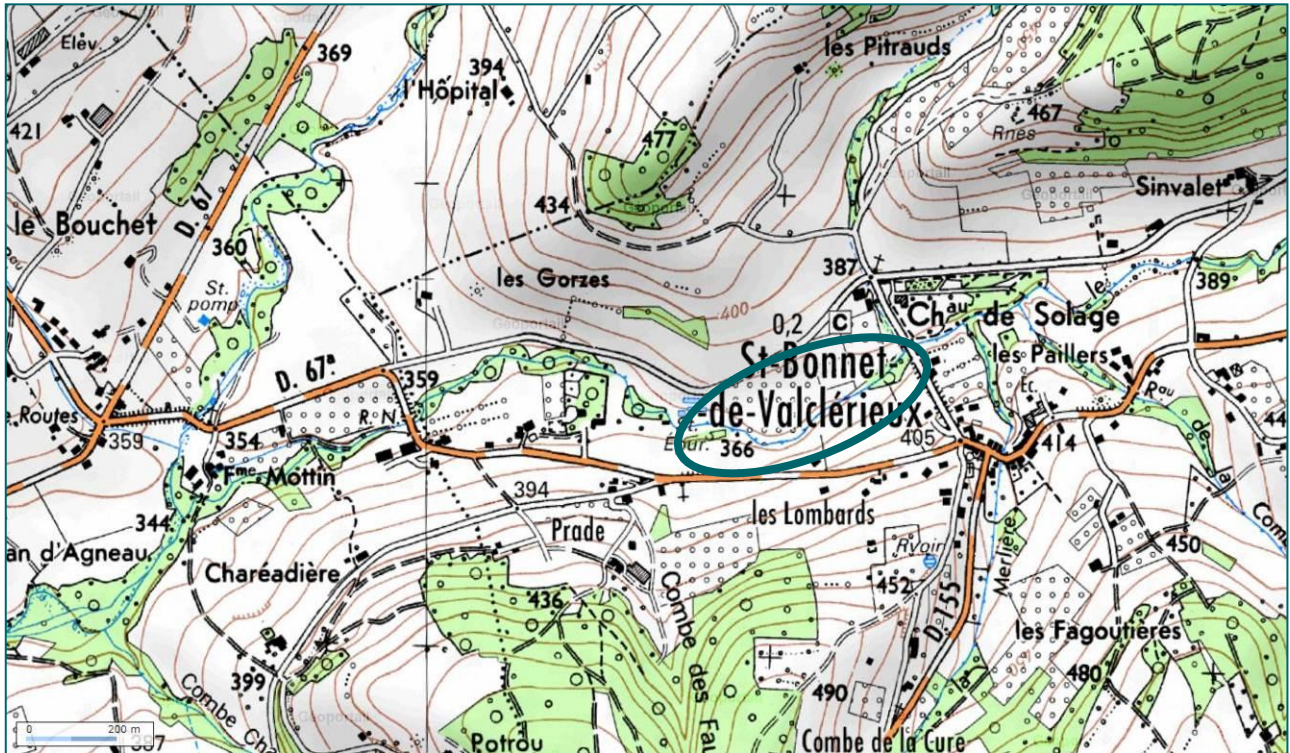
Seuil de calage
(Corridor, Juin 2012)

2.2. LE VALERE

2.2.1. Situation

Le linéaire étudié s'étend sur 382 mètres à l'aval du pont situé à proximité du Château de Solage localisé sur la commune de Saint-Bonnet-de-Valclérieux.

Localisation du site d'étude (source Géoportail)



2.2.2. Dysfonctionnements observés

Comme l'Herbasse, le Valéré se caractérise par des désordres qui concernent à la fois la morphologie du lit mineur et les potentialités écologiques du site.

2.2.2.1. Incision du lit mineur

A l'aval du pont, le Valéré enregistre une incision marquée de son lit sur plus de 350 mètres. La rivière s'écoule au milieu de berges fortement encaissées pouvant atteindre 5 mètres de hauteur. L'érosion verticale a entraîné l'apparition d'affleurements molassiques, le fond du lit n'est plus constitué que d'une fine couche de charge grossière sur une grande partie du tronçon. Le secteur le plus dégradé qui s'étend sur une centaine de mètres n'offre plus aucun support favorable pour la faune et la flore aquatique. Les écoulements s'effectuent dans des canyons étroits qui empêchent la reconstitution d'un matelas alluvial par l'importance des contraintes érosives qui s'exercent.



2.2.2.2. Obstacle à la franchissabilité piscicole

Afin de bloquer le phénomène d'incision du lit mineur et de prévenir les risques de déstabilisation du pont situé en amont, un seuil de fond a été mis en œuvre (ROE 37406). D'après les levés topographiques réalisés, l'ouvrage a une hauteur de 2.44 m sur une longueur de 10.50 m, soit une pente de 23.3 %. Si la conception de l'ouvrage et son état de dégradation autorise le transit sédimentaire, ses dimensions lui confèrent un caractère infranchissable pour la faune piscicole.



3. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

3.1. ETUDE HYDROLOGIQUE

Cette première partie a pour objet l'estimation des débits.

3.1.1. Analyse pluviométrique

3.1.1.1. Choix du poste de référence

Après interrogation des services de données météorologiques de Météo France, les postes d'observation en service actuellement assurant la mesure de la pluie journalière à proximité des sites d'étude (communes de Montrigaud et de Saint-Bonnet-de-Valclérieux) sont présents sur les communes suivantes : Montrigaud (indicatif 26210001), de Saint-Sorlin-en-Valloire (indicatif 26330001) et de Roybon (indicatif 38347001).

Nota : Météo France fait état également d'autres postes d'observation mais qui ne sont plus en service actuellement et dont la période d'observation ne permettrait pas un traitement statistique pertinent.

3.1.1.2. Traitement statistique des données

Les données pluviométriques disponibles à ces stations ont été acquises auprès de Météo-France. Les pluies journalières maximales annuelles en ont été ensuite extraites et l'échantillon ainsi constitué a été soumis à un traitement statistique permettant son ajustement à la loi de Gumbel (loi couramment utilisé pour la représentation des pluies journalières en France et en Europe).

L'ajustement statistique à la loi de Gumbel a été mené selon la méthode des moments pondérés.

3.1.1.3. Traitement statistique des données

Le tableau suivant présente les pluies journalières de référence retenues pour la zone d'étude selon une moyenne des lectures des ajustements statistiques précédemment obtenus.

Tableau 1 : Pluies journalières sur la zone d'étude

Pluie journalière	P ₁₀	P ₁₀₀
Saint-Sorlin-en-Valloire	112,2 mm	171,9 mm
Montrigaud	95,7 mm	144,3 mm
Roybon	100,9 mm	149,1 mm
Zone d'étude (moyenne)	102,9 mm	155,1 mm

3.1.2. Caractéristiques du bassin versant

3.1.2.1. Réseau hydrographique-bassin versant

Dans un premier temps, nous avons délimité le contour des bassins versants de l'Herbasse et du Valéré sur la base de notre enquête de terrain et de la carte IGN à l'échelle du 1/25 000.

Au niveau de la zone d'étude de Montrigaud, l'Herbasse reçoit un affluent en rive gauche nommé le Chénard. Nous avons donc distingué le bassin versant en amont et en aval de cette confluence.

Au niveau de la zone d'étude de Saint-Bonnet-de-Valclérieux, nous avons considéré le bassin versant du Valéré en aval de la zone d'étude.

Le tableau suivant présente les superficies de chaque bassin versant.

Tableau 2 : Superficies des bassins versants

Bassin versant	Surface
L'Herbasse en amont du Chénard	10,24 km ²
L'Herbasse en aval du Chénard	13,64 km ²
Le Valéré	15,56 km ²

3.1.3. Estimation des débits de crue

3.1.3.1. Application des méthodes synthétiques

Compte tenu de la taille du bassin versant supérieur à 10 km², la méthode synthétique pouvant s'appliquer pour l'estimation du débit de crue décennale est la formule CRUPEDIX.

Les calculs ont été effectués selon les méthodes décrites dans le Guide technique de l'Assainissement routier édité par le SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes) selon la formulation suivante :

- Formule CRUPEDIX

La formule de calcul s'écrit de la manière suivante :

$$Q_{10} = S^{0,8} \left(\frac{P_{10}}{80} \right)^2 \cdot R$$

Avec :

Q10 : débit décennal (m³/s)

P10 : Précipitation journalière de fréquence décennale : P10 = 44,3 mm

S : Aire du bassin versant (km²)

R : coefficient régional : R=1.0

Considérant la pluie journalière décennale préalablement estimée sur la zone d'étude, les débits décennaux estimés par la formule CRUPEDIX sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Débits de l'Herbasse à la station hydrométrique de Clérieux

	S	P10	Q10
L'Herbasse en amont du Chénard	10,24 km ²	102,9 mm	11 m³/s
L'Herbasse en aval du Chénard	13,64 km ²	102,9 mm	13 m³/s
Le Valéré	15,56 km ²	102,9 mm	15 m³/s

3.1.3.2. Approche par similitude régionale

Une recherche a été menée auprès des services hydrométriques de la DREAL Rhône-Alpes (banque HYDRO) pour connaître l'existence de stations de suivi des débits des cours d'eau environnant la zone d'étude. Notre recherche s'est portée sur le cours de l'Herbasse et sur les cours d'eau voisins dont la géologie du bassin versant est similaire et dont la superficie contrôlée est inférieure à 50 km².

Nous avons identifié une seule station à savoir celle suivant les débits de l'herbasse à Clérieux.

Le tableau ci-dessous rend compte les caractéristiques et les débits de références à cette station de mesure ; ces valeurs sont issues de la banque HYDRO (DIREN Rhône-Alpes).

Tableau 4 : Débits de l'Herbasse à la station hydrométrique de Clérieux

S	QMNA5	QMNA2	Module	Médiane	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀
23 km ²	0,4 m ³ /s	0,53 m ³ /s	1,42 m ³ /s	1,04 m ³ /s	75 m ³ /s	95 m ³ /s	110 m ³ /s	140 m ³ /s

Nous avons extrapolé ces valeurs de débit sur nos zones d'étude au moyen de la relation dite de Myer :

$$Q_{\text{Etude}} = Q_{\text{Station}} \cdot (S_{\text{Etude}}/S_{\text{Station}})^{\alpha}$$

En général, la valeur de α est comprise entre 0,75 et 1 en fonction des types de bassins versants et des différences de superficie entre le site d'étude et la station de mesure connue et la gamme de débit (étiage ou crue).

Concernant les débits d'étiage et de moyennes eaux, nous adopterons la valeur suivante : $\alpha = 1$

Pour les crues, considérant que le bassin versant est ruisselant à très ruisselant et que la superficie du bassin versant d'étude est petite par rapport aux points de mesure, nous adopterons la valeur suivante : $\alpha = 0,75$. Ce choix tend à hausser les valeurs de débits extrapolés.

Tableau 5 : Débits de crue extrapolés à partir des stations hydrométriques

S	QMNA5	QMNA2	Module	Médiane	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50
10,24 km ²	22 L/s	29 L/s	78 L/s	57 L/s	5 m ³ /s	8 m ³ /s	11 m ³ /s	12 m ³ /s	16 m ³ /s
13,64 km ²	29 L/s	39 L/s	104 L/s	76 L/s	6 m ³ /s	11 m ³ /s	13 m ³ /s	15 m ³ /s	20 m ³ /s
15,56 km ²	33 L/s	44 L/s	118 L/s	86 L/s	7 m ³ /s	12 m ³ /s	15 m ³ /s	17 m ³ /s	22 m ³ /s

Les valeurs pour la crue décennale se raccordent parfaitement avec les estimations obtenues par la formule CRUPEDIX. L'extrapolation est donc valide.

Nous utiliserons donc ces valeurs pour la suite de l'étude.

3.2. CONDITIONS D'ÉCOULEMENT A L'ÉTAT ACTUEL

3.2.1. Simulation hydraulique

3.2.1.1. Modèle utilisé

Nous utilisons pour la modélisation des écoulements en rivière le logiciel HEC-RAS développé par l'US Army Corps of Engineers. Ce modèle est utilisé avec succès sur un grand nombre de rivières et ruisseaux en France et à l'étranger.

C'est un standard utilisé dans le monde entier, en permanente amélioration grâce au "retour d'expérience" des nombreux utilisateurs.

Pour l'étude des crues de cours d'eau tels que ceux visés par l'étude, il présente les avantages suivants :

- **Description des écoulements dans les champs d'inondation**, permettant au besoin de prendre en compte le terme d'inertie. Cette condition est indispensable dans le cas de débordements en piémont sur des cônes d'alluvions, et pour permettre des calculs de remous au sein du lit mineur et dans les lit majeurs rive gauche et rive droite dans le cas de débordements par-dessus des endiguements jouxtant le lit mineur,
- **Modélisation filaire, mais qui permet de décrire de façon illimitée tous les déversements et toutes les vidanges se produisant d'un bief dans un autre** : ainsi, il est possible de décrire de façon dissociée les écoulements en lit mineur et en lit majeur, les remplissages et vidanges de zones annexes (de types casiers d'inondation), les déversements par-dessus des digues, les remplissages et vidanges à des moments différés d'un bief et d'un autre qui peuvent se mettre temporairement en relation, ...
- **Résolution complète des équations de Barré de St Venant en régime transitoire** (les crues ne pouvant être valablement étudiées qu'en régime transitoire, pour prendre en compte le phénomène de laminage des hydrogrammes dû aux débordements).

3.2.1.2. Topographie

La topographie des 2 zones d'étude a été relevée en juillet 2012 par le cabinet « ACTIF ».

A partir de ces relevés, un modèle numérique de terrain a été construit pour en extraire des profils en travers permettant de construire la modélisation numérique hydraulique. Les schémas de modélisation sont remis en annexe 1.

3.2.1.3. Conditions aux limites

Nous avons considéré aux limites de la modélisation un niveau d'eau en régime normal selon la pente du lit mineur.

3.2.1.4. Calage du Modèle

Le calage du modèle a été effectué sur la base des observations de terrain confrontées aux valeurs généralement publiées dans les catalogues de rugosités estimées par expérimentation.

Les valeurs retenues sont les suivantes :

- Lit mineur : $n = 0,04$ et $0,05$
- Lit majeur : $n =$ entre $0,05$ et $0,1$

3.2.2. Résultat de la modélisation hydraulique

3.2.2.1. L'Herbasse

■ **Etiage (QMNA5, QMNA2, Médiane)**

En amont de l'influence du seuil, l'Herbasse s'écoule dans le point bas du profil en travers avec une lame d'eau comprise entre 1 cm et 20 cm.

Sur le seuil et dans sa zone d'influence amont, la lame d'eau est déterminée par la crête du seuil, les fuites sous-jacente et le débit qui transite par la prise d'eau.

En aval, on rencontre une situation assez similaire à celle évoquée pour l'amont du seuil. A ceci près que lorsque le lit est incisé dans la molasse la hauteur d'eau devient plus conséquente.

En aval de la zone incisée, le lit présente une section assez plate qui favorise l'étalement de l'eau sur toute sa largeur. Ainsi, la hauteur d'eau s'amenuise à quelques centimètres seulement.

■ **Débit moyen (module)**

Au module, l'Herbasse remplit généralement toute la largeur de son lit mineur avec une hauteur d'eau allant de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres.

■ **Débit de crue**

En amont du seuil, la section du lit mineur de l'Herbasse permet un écoulement sans débordement jusqu'à la crue vicennale environ. Au-delà, il se produit des débordements tant en rive droite qu'en rive gauche au grès de la topographie.

En aval du seuil, l'Herbasse n'est plus débordante et ce quel que soit le débit de crue considéré. L'intégralité du débit et ce même pour la crue centennale transite par le lit mineur.

A noter qu'on admet généralement que le débit de plein bord d'une rivière naturelle et équilibré est de l'ordre de la crue biennale. On se trouve dans un contexte nettement défavorable avec une connexion hydraulique avec le lit majeur très peu fréquente en amont du seuil et inexistante en aval du seuil.

3.2.2.2. Le Valéré

Sur le tronçon étudié en aval du pont, le lit mineur du Valéré est encaissé.

■ **Etiage (QMNA5, QMNA2, Médiane)**

L'écoulement s'étale sur la largeur du profil en travers. La hauteur est de quelques centimètres.

■ **Hautes eaux et crues**

Quel que soit le débit, le Valéré s'écoule dans le lit mineur sans déborder.

Le débit de plein bord est supérieur à la crue centennale.

3.2.3. Analyse des capacités de transport solide

A partir des résultats de calculs hydrauliques, nous avons ensuite appliqué les méthodes de calculs habituels permettant l'approche et l'estimation des capacités de transport solide de ces 2 cours d'eau.

Afin de pouvoir établir une comparaison tout au long du profil en long mais aussi avec les projets d'aménagement, nous avons examiné en particulier le critère de Shields. Ce paramètre

adimensionnel correspond au ratio entre les forces motrices (contraintes exercées par l'eau sur la surface des granulats) et les forces stabilisatrices (poids des granulats). Il traduit finalement pour un débit donné la capacité de mise en mouvement des sédiments du lit.

$$\tau^* = \frac{\tau}{g((\rho_s - \rho)D)} \approx \frac{hJ}{1.65D}$$

La mise en mouvement apparaît lorsque ce critère atteint environ 0,1.

Les paragraphes suivants décrivent les résultats obtenus concernant le critère de Shields pour chacun des 2 cours d'eau étudiés.

3.2.3.1. L'Herbasse

L'analyse du critère de Shields pour différentes gammes de débit donne les résultats suivants :

- Le secteur en « canyon » (environ entre les profils P11 et P25) peut être considéré comme en incision quel que soit le débit, et ce même à l'étiage. Aujourd'hui, sur ce secteur, le matelas alluvial a disparu et l'Herbasse s'écoule sur la molasse dont la cohésion permet de limiter l'incision. Mais elle se poursuit indubitablement par arrachage progressif de plaquette de molasse.
- En aval de la zone de canyon, la mise en mouvement apparaît pour un débit équivalent à 20 fois le module (débit nettement inférieur à la crue biennale).
- En amont du seuil, il faut attendre le débit biennal (Q2) pour voir apparaître la mise en mouvement des matériaux ce qui correspond à une situation « normale » d'un point de vue morphodynamique puisqu'on admet généralement que le débit morphogène est proche de la crue de plein bord, c'est-à-dire la crue biennale. Ce constat inspire une certaine confiance quant à ce tronçon amont, bien que sur le terrain on aperçoive ici ou là le plancher mollassique qui n'est plus recouvert du matelas alluvial.

3.2.3.2. Le Valéré

L'analyse du critère de Shields pour différentes gammes de débit donne les résultats suivants :

- Au niveau de la zone en « canyon » (environ entre les profils P20 et P25), l'incision est permanente même à l'étiage sévère. Aujourd'hui, sur ce secteur, le matelas alluvial a disparu et la rivière s'écoule sur la molasse dont la cohésion permet de limiter l'incision. Mais elle se poursuit indubitablement par arrachage progressif de plaquette de molasse.
- En aval entre les profils P26 et P27, la mise en mouvement s'initie vers un débit équivalent à 5 fois le module.
- Entre les profils P28 et P34, la mise en mouvement débute pour un débit correspondant à 30 fois le module.
- En amont de P20, la mise en mouvement apparaît au-delà d'un débit entre 10 et 40 fois le module en fonction des sections.

4. RESTAURATION DE L'HERBASSE

Les propositions d'aménagement pour l'Herbasse doivent permettre de :

- Stabiliser le profil en long de la rivière,
- Autoriser la continuité hydraulique et écologique,
- Recréer un matelas alluvial.

Selon les tronçons et selon les problématiques, plusieurs solutions seront proposées. Les principes d'aménagement sont accompagnés d'un plan de principe et d'un estimatif du montant des travaux. Cet estimatif intègre une marge d'environ 15 %.

4.1. SEUIL DES MEUILLES

L'objectif prioritaire est de trouver un aménagement permettant d'effacer l'impact négatif de cet ouvrage sur la franchissabilité piscicole et de faciliter le transport solide sans pour autant déstabiliser le profil en long à l'amont de celui-ci. Il est à noter que ne possédant pas le droit d'eau détenu par le propriétaire du canal de dérivation, ces propositions ne tiennent pas compte d'un éventuel débit à maintenir dans le bief. Cependant, ce paramètre sera intégré à notre étude dès que nous en aurons connaissance.

4.1.1. Rampe de fond

4.1.1.1. Principes de l'aménagement

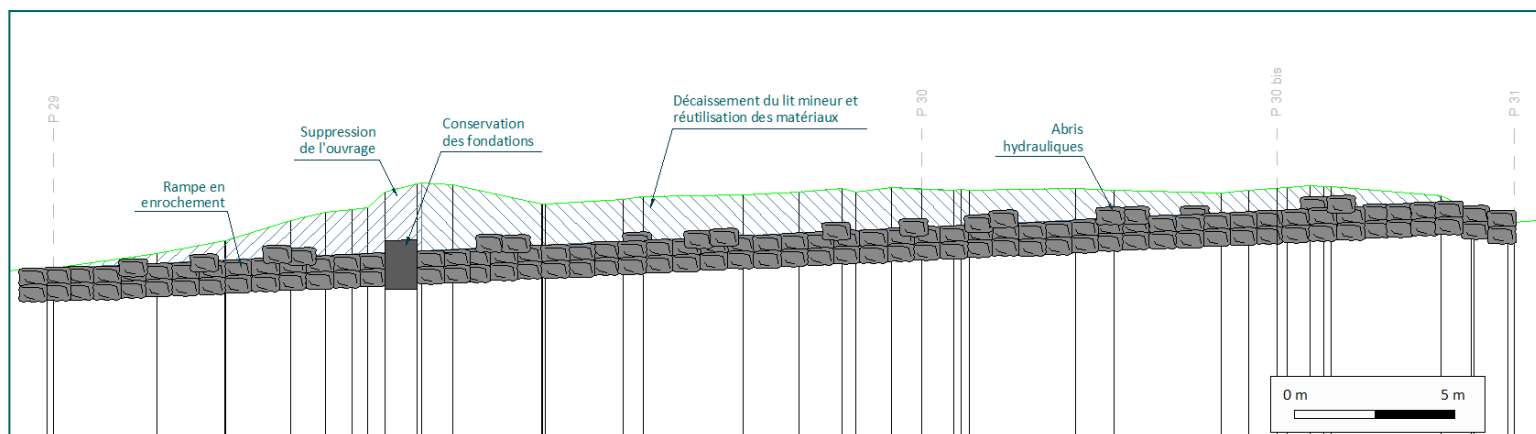
Le principe de cette solution repose sur le remplacement du seuil par la mise en place d'une rampe de fond en enrochement permettant d'assurer la stabilité du profil en long et de compenser la rupture de pente occasionnée par la présence du seuil.

Ce projet prévoit tout d'abord le démantèlement du seuil et l'évacuation de la maçonnerie. En fonction de leur altitude et de leur nature, les fondations de l'ouvrage pourront être conservées afin de renforcer la tenue de l'ouvrage créé. Etant donné le caractère torrentiel des écoulements en période de crue, l'ancrage et le dimensionnement des blocs seront conséquents avec un diamètre supérieur à 60 cm.

Pour permettre, le franchissement piscicole et notamment de la Truite Fario, la rampe a une pente de 5 %. Cette valeur représente un compromis entre les valeurs limites pour le franchissement de la Truite Fario décrites dans l'ouvrage « *Guide technique pour la conception des passes naturelles* » rédigés par M. LARINIER, D. COURRET et P. GOMES en 2006, et la longueur totale de la rampe. Le type d'ouvrage retenu étant dénommé « *enrochements régulièrement répartis* » par les auteurs du guide. Il s'agit de positionner sur la rampe de fond des blocs qui vont permettre d'une part de diversifier les écoulements et d'autre part de créer des zones d'abris et de repos pour les poissons.

La nécessité de permettre le franchissement piscicole entraîne la mise en œuvre d'un ouvrage conséquent qui s'étend sur 47 mètres linéaire. Les matériaux stockés à l'amont de l'ouvrage, dans la zone de remous solide, seront mis en dépôt dans un premier temps puis réutilisés afin de reconstituer un matelas alluvial sur l'ouvrage en question mais également dans la zone de canyon. Le volume de matériaux facilement mobilisable a été estimé à 500 m³.

Profil de principe de la rampe de fond



4.1.1.2. Incidences hydraulique et morphodynamique

Du point de vue hydraulique, le projet a peu de conséquence. Il n'entraîne pas de modification des inondations tant en amont qu'en aval. En effet, les lignes d'eau restent inchangées.

D'un point de vue morphodynamique, des mouvements vont s'opérer au niveau des profils P32 et P33 en allant en s'atténuant jusqu'au profil P34.

Les mouvements prévisibles de fond sont les suivants :

- Au profil P32 : abaissement du fond du lit de 10 cm environ,
- Au profil P33 : abaissement du fond du lit de 30 cm environ. On risque de voir apparaître le plancher molassique.
- A partir de P34 et plus en amont, aucun mouvement du fond du lit n'est à prévoir suite à l'aménagement du scénario 1.

L'incidence morphodynamique s'étend donc 33 m environ en amont de l'ouvrage projeté. Le risque étant de voir disparaître le matelas alluvial au dépend du substrat molassique et ainsi favoriser l'apparition d'un milieu peu biogène à l'image des zones de « canyon » situées en aval. En effet, la visite de terrain a permis d'observer une fine couche de charge grossière qui pourrait rapidement être évacuée.

4.1.1.3. Estimatif du montant des travaux

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	3 500,00 €	4 186,00 €
Travaux forestiers	9 000,00 €	10 764,00 €
Terrassements	20 182,00 €	24 137,67 €
Enrochement	34 560,00 €	41 333,76 €
Fournitures et travaux de protection des berges	8 073,00 €	9 655,31 €
	75 315,00 €	90 076,74 €

Le coût important de l'aménagement s'explique notamment par les travaux de terrassement et la fourniture et la mise en œuvre d'enrochements. En effet, pour réaliser cet aménagement il est nécessaire d'évacuer près de 300 m³ de matériaux ainsi que de fournir et mettre en place 250 m³ de blocs.

4.1.2. Seuil à marches successives

4.1.2.1. Principes de l'aménagement

Il s'agit de proposer un ouvrage qui nécessite un linéaire moins important que la solution précédente et des coûts de réalisation inférieurs. Pour cela, nous avons étudié la possibilité de mettre en place une succession de marches franchissables par la faune piscicole. La limite amont de l'ouvrage est matérialisée par le rebord béton du seuil actuel ce qui permet d'utiliser les fondations de l'ouvrage comme support. La longueur totale de l'ouvrage sera de 10 mètres.

Le principe repose sur celui des passes à poissons à bassins successifs puisqu'au pied de chaque marche, un bassin sera aménagé. Le fond de la marche supérieure correspondra au niveau d'eau dans le bassin inférieur afin de se situer dans une configuration d'une échancrure rectangulaire à déversoir dénoyé.

Dans ce cas le dimensionnement de l'échancrure est donné par la formule suivante :

$$Q = C_d b (2g)^{0.5} H_1^{1.5}$$

Q

où est le débit (m³/s)

b est la largeur de l'échancrure (m)

g est l'accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

H1 est la charge sur l'échancrure (m), c'est-à-dire la différence entre la cote du niveau d'eau à l'amont de l'échancrure et la cote de déversement de cette échancrure.

Cd est le coefficient de débit.

Le volume du bassin est donné par la formule suivante :

$$P_v = \rho g Q DH/V$$

où P_v : puissance dissipée volumique (watts/m³)

ρ : masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

Q : débit dans la passe (m³/s)

DH : chute entre deux bassins (m)

V : volume d'eau dans le bassin considéré (m³).

On dimensionne le volume V pour que P_v n'excède pas 200 W/m³.

(Source : Passe à bassins successifs, prébarrages et rivières artificielles, M. Larinier 1992, CEMAGREF)

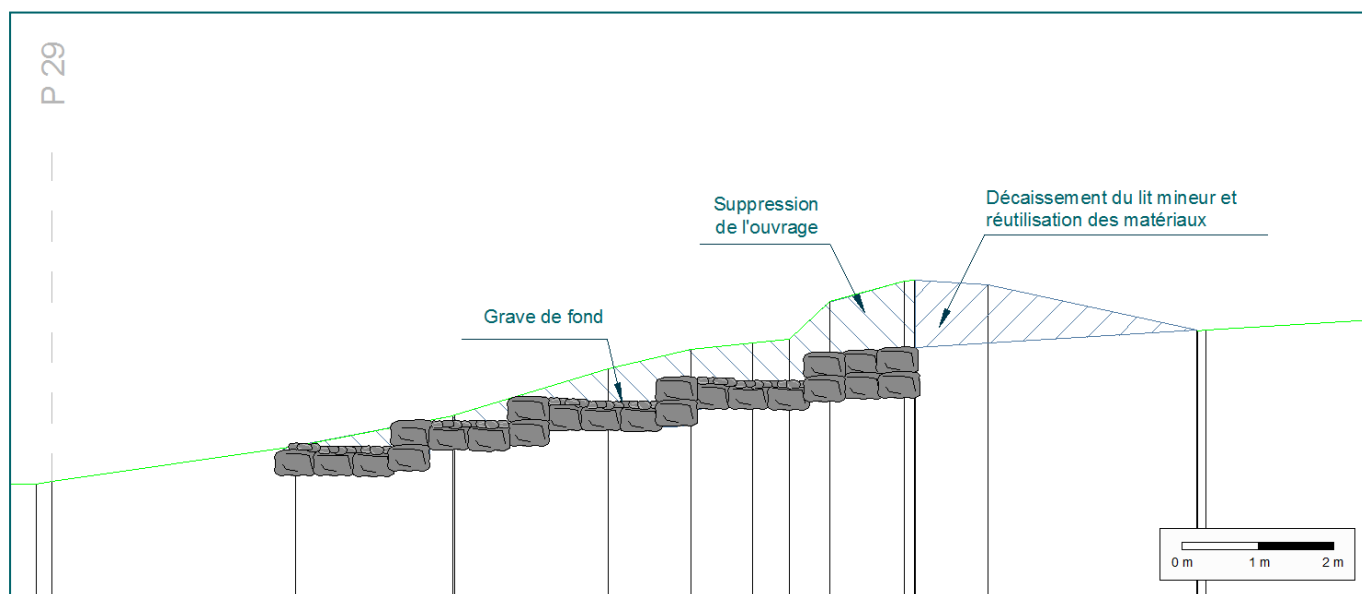
Le tableau suivant présente le dimensionnement en fonction du débit de projet. Nous avons admis une hauteur d'échancrure de 30 cm conformément aux recommandations habituelles pour ce type d'ouvrage.

La chute entre chaque bassin est de 35 cm maximum. La longueur des bassins est de 1,40 m

Tableau 6 : Dimensionnement de l'ouvrage

Débit de projet	Largeur de l'échancrure	Volume minimum des bassins (P _v < 200 W/m³)	Largeur minimale des bassins
Médiane 57 L/s	0,20 m	>1 m³	> 2,40 m
Module 78 L/s	0,27 m	>1,35 m³	> 3,21 m
2 x Module 156 L/s	0,54 m	>2,7 m³	> 6,43 m

Profil de principe de l'ouvrage de franchissement



4.1.2.2. Incidences hydraulique et morphodynamique

D'un point de vue du fonctionnement hydraulique, ce scénario abaisse les lignes d'eau en amont du seuil pour les débits d'étiage et les débits moyens. L'abaissement s'amortit très vite au niveau du profil P34 et P35.

En amont du seuil, on note une augmentation sensible des vitesses d'écoulement induisant les modifications morphodynamique suivantes.

Des mouvements morphodynamique vont s'opérer au niveau des profils P30 à P33 en allant en s'atténuant jusqu'au profil P34.

Les mouvements prévisibles de fond sont les suivants :

- Au profil P30 : abaissement du fond de lit de 40 cm environ,
- Au profil P31 : engraissement du fond du lit,
- Au profil P32 : pas de mouvement du fond du lit,
- Au profil P33 : abaissement du fond du lit de 25 cm environ. On risque de voir apparaître le plancher molassique,
- A partir de P34 et plus en amont, aucun mouvement du fond du lit n'est à prévoir.

Comme le projet précédent, l'incidence morphodynamique s'étend un peu plus de 30 m en amont de l'ouvrage projeté, avec le risque identique de voir disparaître le matelas alluvial.

4.1.2.3. Estimatif du montant des travaux

Nettement moins onéreuse que la solution précédente, la mise en place du dispositif de franchissement entraîne une destruction partielle de l'ouvrage et la mise en œuvre d'environ 50 m³ d'enrochements.

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	3 500,00 €	4 186,00 €
Travaux forestiers	3 000,00 €	3 588,00 €
Terrassements	4 898,90 €	5 859,08 €
Enrochement	5 538,40 €	6 623,93 €
Fournitures et travaux de protection des berges	2 392,50 €	2 861,43 €
	19 329,80 €	23 118,44 €

4.1.3. Arasement progressif du seuil

4.1.3.1. Principes de l'aménagement

Il s'agit d'abaisser progressivement l'influence du seuil sur la zone amont. Si la franchissabilité piscicole ne sera pas permise dans un premier temps ce scénario permet la remise en mouvement progressive des matériaux stockés en amont du seuil. Cette solution offre la possibilité de surveiller l'évolution de la rivière au fil des crues et d'évaluer les besoins ou non d'aménager le seuil pour contrôler l'ajustement du profil en long et permettre la franchissabilité piscicole. De plus, le coût de l'opération est dans un premier temps nettement inférieur aux propositions précédentes. A court et moyen terme, les conditions de franchissement ne seront pas optimales mais celles-ci vont s'accroître au fur et à mesure des interventions d'abaissement de la crête du seuil et des crues.

Trois phases d'arasement ont été simulées :

- Phase 1 : cote du seuil arasé 508,20 m
- Phase 2 : cote du seuil arasé 507,77 m
- Phase 3 (finale) : cote finale 507,14 m

4.1.3.2. Incidences hydraulique et morphodynamique

Ce scénario permet comme le montre les tableaux précédents une évolution progressive des conditions hydrauliques et morphodynamique. On constate finalement que les incidences hydrauliques et morphodynamique sont modérées.

Des mouvements morphodynamique vont s'opérer au niveau des profils P30 à P33 en allant en s'atténuant jusqu'au profil P34. Les mouvements prévisibles de fond sont les suivants :

Tableau 7 : Incidences morphodynamiques

Profils	Phase 1	Phase 2	Phase 3
P30	Pas de mouvement	-0,72 m / fond actuel	-0,46 m / phase 2
P31	Pas de mouvement	Engraissement	-0,30 m / phase 2
P32	Pas de mouvement	-0,09 m / fond actuel	-0,22 m / phase 2
P33	Pas de mouvement	-0,29 m / fond actuel	-0,08 m / phase 2
P34	Pas de mouvement	Pas de mouvement	Pas de mouvement

4.1.3.3. Estimatif du montant des travaux

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	3 500,00 €	4 186,00 €
Travaux forestiers	3 000,00 €	3 588,00 €
Terrassements	12 309,00 €	14 721,56 €
Enrochement	1 050,00 €	1 255,80 €
	19 859,00 €	23 751,36 €

Cette solution présente des coûts d'intervention réduits. L'opération consiste principalement à détruire partiellement et progressivement la maçonnerie de l'ouvrage actuel et prévoit une intervention en année zéro et deux interventions après crues.

4.1.4. Rivière de contournement

4.1.4.1. Principes de l'aménagement

Ce scénario consiste à créer un nouveau lit mineur en rive gauche pour faire écouler les débits d'étiage et les débits moyens. En période de crue, les débits pourront s'écouler également dans l'ancien lit qui sera conservé.

Cette dérivation se développe sur un linéaire de 54 m environ entre l'amont du seuil (pour la prise d'eau - Fond du lit à la cote 408,40 m) et la restitution au niveau de la confluence avec le Chénard (Fond du lit à la cote 406,07 m). Cela conduit à une pente moyenne de 4 %, une valeur autorisant la franchissabilité piscicole. Afin de maintenir le profil en long du lit, il est nécessaire de mettre en place des seuils de fond tous les 11 m environ y compris au niveau de la prise d'eau et de la restitution (environ 6 seuils de fonds). Ces seuils de fond seront aménagés afin de créer une petite chute de 0,20 m environ. Le fond du lit sera reconstitué avec des matériaux dont la granulométrie sera étendue (c'est-à-dire couvrant toute les tailles notamment en ce qui concerne les grains de petites tailles afin d'assurer un blocage des plus gros blocs) et présentant un D_{50} minimum de 200 mm. En parallèle, le seuil actuel sera conforté par la mise en place de blocs.

En termes de dimensionnement, nous proposons le calage suivant :

- Section de forme trapézoïdale avec un lit d'étiage dimensionné pour le module soit 78 l/s
- La section à plein bord sera dimensionnée pour le débit correspondant à 30 fois le module (proche du débit annuel) soit 2,3 m³/s :

Au-delà du débit correspondant à 30 fois le module, le débit de l'Herbasse transitera par le lit actuel.

Le tableau suivant rend compte des conditions d'écoulement du nouveau lit.

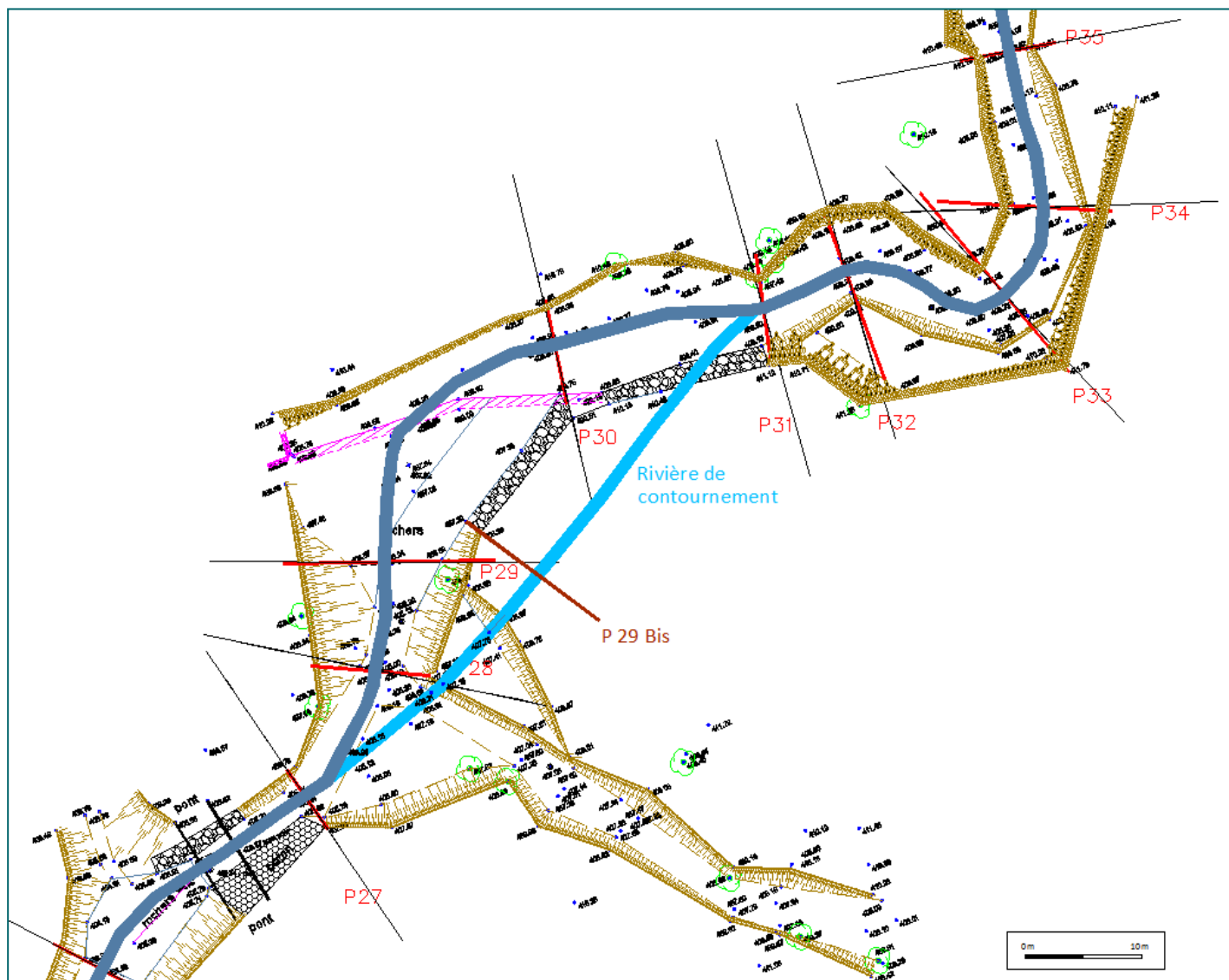
Tableau 8 : Comportement hydraulique et morphodynamique du lit dérivé

Débit	Hauteur d'eau	Vitesse	Critère de Shields
Module 78 L/s	0,25 m	0,69 m/s	0,012
30 x module : 2,3 m ³ /s	0,80 m	1,35 m/s	0,039

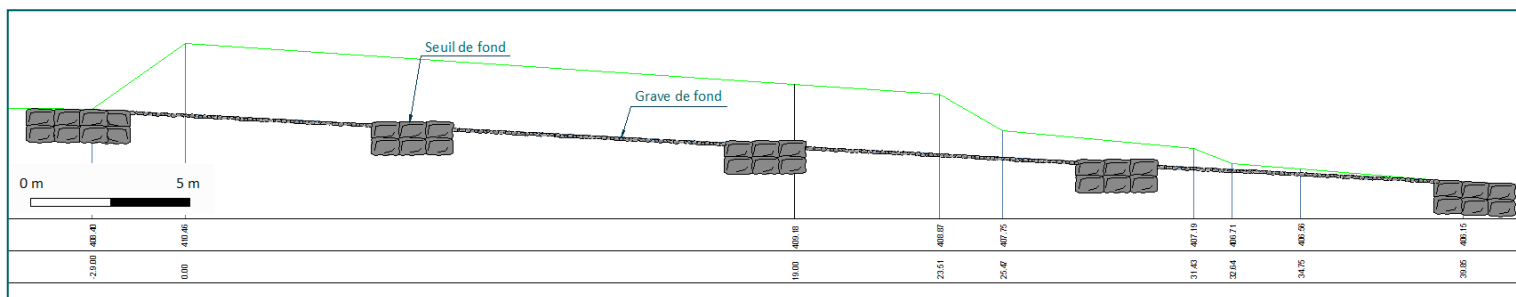
Le dimensionnement permet un comportement équilibré du lit d'un point de vue morphodynamique (pas de mise en mouvement des matériaux).

Ce scénario n'a pas d'incidence sur le fonctionnement hydraulique et morphodynamique tant en amont qu'en aval du seuil.

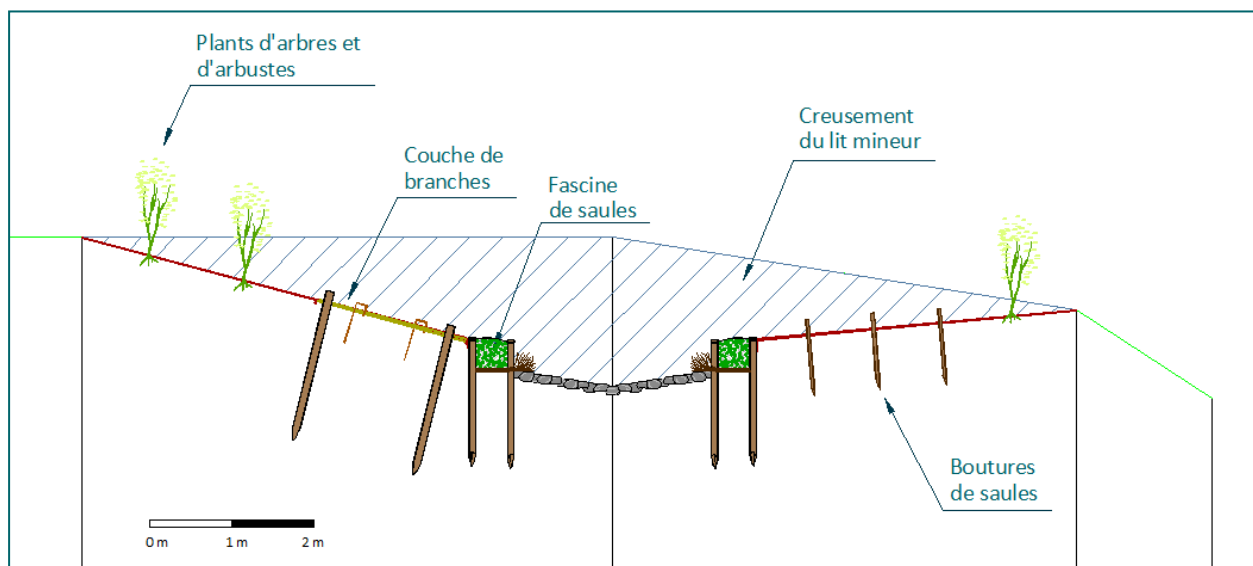
Vue en plan de principe de la rivière de contournement



Profil en long de principe



Profil en travers de principe



4.1.4.2. Estimatif du montant des travaux

Le projet de création d'une rivière de contournement entraîne des travaux relativement conséquents. Tout d'abord, la ripisylve est à ouvrir sur près de 800 m². La mise en mouvement de 700 m³ de matériaux est nécessaire pour mettre en forme le lit mineur. Des seuils transversaux en enrochement stabiliseront le profil en long. Enfin, des techniques végétales devront être mises en œuvre pour protéger les berges. Il est à noter qu'en

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	1 500,00 €	1 794,00 €
Travaux forestiers	8 400,00 €	10 046,40 €
Terrassements	14 269,73 €	17 066,59 €
Enrochement	6 952,50 €	8 315,19 €
Fournitures et travaux de protection des berges	22 812,75 €	27 284,05 €
	53 934,98 €	64 506,23 €

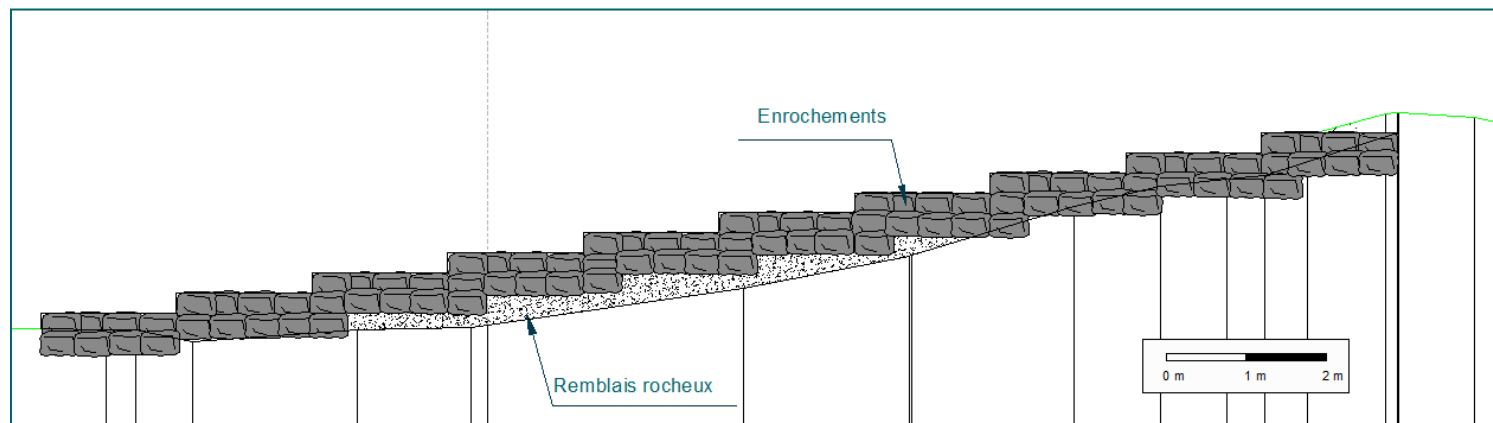
fonction du substrat rencontré en creusant le nouveau lit, les techniques pourraient être modifiées. En effet, la présence de molasse compromettrait l'enfoncement des pieux et les techniques végétales pourraient être remplacées par des techniques minérales. D'autre part, les levés topographiques devront être complétés pour réaliser un chiffrage plus précis.

4.1.5. **Franchissement par marches successives avec conservation du droit d'eau**

4.1.5.1. Principes de l'aménagement

Les aménagements proposés précédemment considéraient le droit d'eau, qui régit l'usage de la prise d'eau et du canal d'amenée, comme caduque. Afin d'étudier tous les cas de figure concernant la franchissabilité du seuil des Meuilles et de fournir aux décideurs et gestionnaires le maximum d'éléments pour prendre la meilleure décision, une solution a été étudiée en tenant compte du maintien de la prise d'eau. La crête du seuil étant conservée la hauteur de chute totale à franchir est de 2.20 m. Etant donné cette contrainte, l'aménagement doit permettre de compenser cette hauteur sur un linéaire réduit, c'est pourquoi le principe des marches successives a été retenu. Un aménagement avec une pente régulière de 5 % nécessiterait un linéaire supérieur à 100 mètres. Les paramètres pour la conception du dispositif sont identiques à ceux présentés dans la proposition numéro 2 : une hauteur de chute inférieure à 30 cm et une puissance dissipée inférieure à 200 w/m³.

Profil en long de principe



4.1.5.2. Incidences hydraulique et morphodynamique

La crête supérieure du seuil des Meuilles l'ouvrage n'aura pas d'incidence sur l'évolution du profil en long en amont.

4.1.5.3. Estimatif du montant des travaux

Le coût est relativement conséquent puisqu'il nécessite de travailler en remblais plutôt qu'en déblais contrairement aux propositions précédentes. En effet, près de 210 m³ d'enrochements seront nécessaires pour confectionner l'ouvrage.

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	3 500,00 €	4 186,00 €
Travaux forestiers	3 000,00 €	3 588,00 €
Terrassements	8 448,06 €	10 103,88 €
Enrochement	27 710,00 €	33 141,16 €
	42 658,06 €	51 019,04 €

4.1.6. Synthèse et comparaison des différentes solutions

Afin d'établir une comparaison des aménagements proposés deux tableaux ont été réalisés permettant de dresser la liste des avantages et inconvénients et d'évaluer chaque solution.

		Description	Avantages	Inconvénients	Coûts HT
Seuil des Meulles	Sc 1 - Rampe de fond	Ouvrage en enrochements en pente régulière avec des blocs de diversification	Stabilisation du profil en long Pente régulière Création d'abris hydrauliques Entretien réduit Transit sédimentaire	Emprise foncière importante (47 ml) Travaux complémentaires de protection des berges nécessaires Impacts morphologiques en amont (33 ml) Volumes de terrassements importants (500 m3)	75 315,00 €
	Sc 2 - Marches successives	Abaissement de la crête du seuil et franchissement de l'ouvrage par une succession de seuils en enrochement	Emprise foncière limitée (10 ml) Utilisation de l'ouvrage existant Coût réduit	Engrèvement des fosses par la charge en transit Entretien régulier Franchissement réservé aux populations piscicoles adultes	19 329,80 €
	Sc 3 - Arasement progressif	Abaissement progressif de la crête du seuil	Intervention minimale sur l'ouvrage et progressive Réajustement du profil en long progressif Coût réduit	Travaux complémentaires pour la franchissabilité Incidences sur le profil en long en amont (-37 cm au P33) Contrôle sur l'évolution du lit	19 859,00 €
	Sc 4 - Contournement	Contournement de l'ouvrage actuel par la création d'un nouveau lit en rive gauche	Absence d'intervention sur l'ouvrage Conditions de franchissement piscicole et de transit sédimentaire Entretien limité aux végétaux plantés Impacts morphologiques limités	Emprise foncière nécessaire Volumes de matériaux à enlever et à évacuer importants Confortement du seuil	53 934,98 €
	Sc 5 - Marches successives (conservation prise d'eau)	Maintien de la crête du seuil et franchissement de l'ouvrage par une succession de seuils en enrochement	Emprise foncière limitée (17 ml) Maintien de la prise d'eau Aucun impact hydraulique et morphologique sur le profil en long	Engrèvement des fosses par la charge en transit Entretien régulier Franchissement réservé aux populations piscicoles adultes Volume de matériaux conséquent	42 658,06 €

Seuls des critères techniques ont été retenus pour mettre en avant les aménagements les plus ambitieux et garantissant une meilleure restauration du fonctionnement hydro-écologique. La note relative aux impacts hydrauliques et morphologiques concerne le risque d'érosion régressive du profil en long.

Seuil des Meulles					
Note/5	Sc 1 - Rampe de fond	Sc 2 - Marches successives	Sc 3 - Arasement progressif	Sc 4 - Rivière de contournement	Sc 5 - Marches successives (conservation prise d'eau)
Franchissabilité piscicole	4	3	2	5	3
Impacts hydrauliques et morphologiques	3	4	2	5	5
Transit sédimentaire	4	3	4	3	2
Entretien	5	3	3	3	3
Note globale/20	16	13	11	16	13

4.2. OUVRAGE EN AVAL DE LA PASSERELLE

Il s'agit de proposer un aménagement assurant d'une part la stabilité du profil en long de la rivière et d'autre part la circulation piscicole.

4.2.1. Principes d'aménagement

La mise en place d'un ouvrage avec une pente franchissable par les populations piscicoles nécessiterait un aménagement sur une quarantaine de mètres linéaire et le comblement de la fosse existante avec près de 250 m³ de blocs et galets. C'est pourquoi, nous proposons de mettre en œuvre un système de marches successives dont le principe a été exposé précédemment sur un linéaire de 15 mètres.

Le tableau suivant présente le dimensionnement en fonction du débit de projet. Nous avons admis une hauteur d'échancrure de 30 cm conformément aux recommandations habituelles pour ce type d'ouvrage.

La chute entre chaque bassin est de 35 cm maximum. La longueur des bassins est de 1,40 m.

Tableau 9 : Dimensionnement de l'ouvrage aval

Débit de projet	Largeur de l'échancrure	Volume minimum des bassins (Pv < 200 W/m ³)	Largeur minimale des bassins
Médiane 76 L/s	0,26 m	>1,3 m ³	> 3,10 m
Module 104 L/s	0,36 m	>1,8 m ³	> 4,28 m
2 x Module 208 L/s	0,71 m	>3,55 m ³	> 8,45 m

4.2.2. Incidences hydraulique et morphodynamique

Ce projet ne présente pas d'incidence sur le fonctionnement hydraulique de l'Herbasse notamment en période de crue.

4.2.3. Estimatif du montant des travaux

Le coût des travaux est principalement déterminé par les volumes d'enrochement qu'il est nécessaire de mettre en œuvre. En effet, 120 m³ de blocs sont prévus pour confectionner l'ouvrage.

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	3 500,00 €	4 186,00 €
Travaux forestiers	3 050,00 €	3 647,80 €
Terrassements	3 068,40 €	3 669,81 €
Enrochement	13 530,40 €	16 182,36 €
Fournitures et travaux de protection des berges	4 063,50 €	4 859,95 €
	27 212,30 €	32 545,91 €

4.3. AMENAGEMENT DE LA ZONE EN « CANYON »

Le tronçon le plus dégradé d'un point de vue morphologique et biologique est sans aucun doute la zone de canyon qui s'étend sur environ 150 mètres. La section très étroite par endroit favorise en période de crue de fortes contraintes hydrauliques qui ne permettent pas à la charge solide en transit de se déposer. Un phénomène renforcé par l'absence de rugosité du substrat. L'objectif des aménagements proposés est donc de créer des conditions favorables à la reconstitution et au maintien du matelas alluvial afin d'obtenir une zone hyporhéique fonctionnelle.

4.3.1.1. Elargissement du lit mineur

La prospection du site et l'étude hydraulique ont permis d'observer le rôle de la géométrie de la rivière sur le transport solide. Sur la portion du linéaire où la largeur maximum est comprise entre 1.4 m et 2.5 m, la charge de fond est absente. En revanche, lorsque la largeur atteint 4 mètres, les sédiments grossiers tapissent le fond du lit. Ceci s'explique en partie par des contraintes hydrauliques fortes lorsque le lit mineur se réduit, à partir d'une crue de retour 2 ans, les vitesses maximum atteignent 3.4 m/s.

Le tableau ci-contre présente les vitesses sur différents tronçons de l'Herbasse : en aval (P1) et en amont (P37) de la zone d'étude ainsi que dans le tronçon de canyon (P22). La morphologie du lit mineur influence très nettement les vitesses d'écoulement. En amont et en aval, la largeur du lit permet l'étalement de la lame d'eau contrairement aux portions étroites du linéaire qui favorisent la concentration et l'accélération des écoulements.

	Vitesse moyenne en m/s		
	P 1	P 22	P 37
Q 2	1,47	2,87	1,77
Q 5	1,81	3,25	1,39
Q 10	1,91	3,36	1,46
Q 100	2,47	3,63	1,71

Illustration du mécanisme de sédimentation (Corridor, Juin 2012)



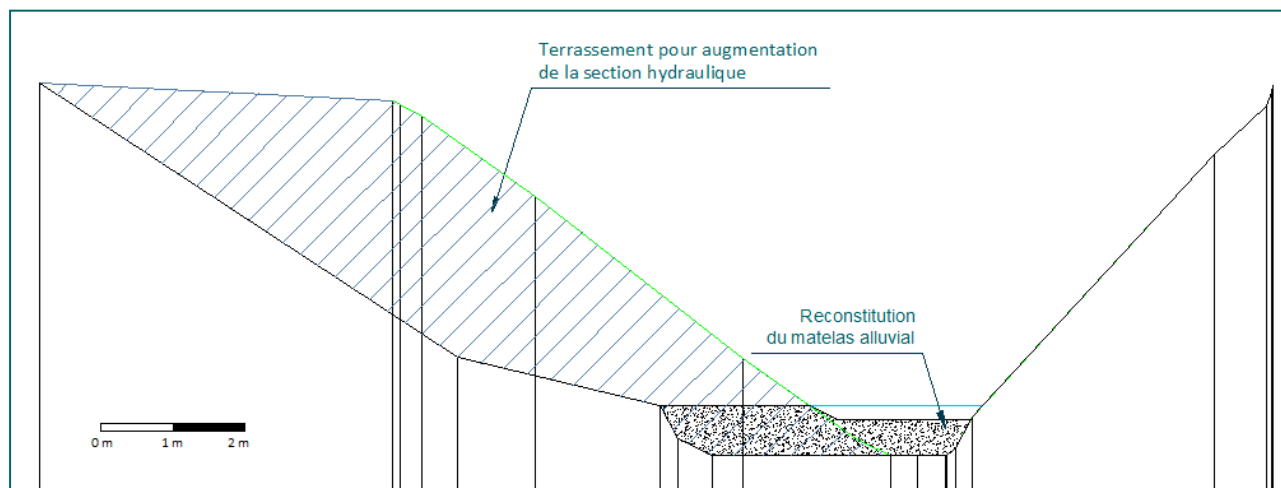
Il est donc proposé dans un premier temps d'intervenir sur le gabarit de la rivière dans les tronçons les plus étroits. Le profil ci-dessous illustre les opérations de terrassement qui sont suggérées et qui doivent permettre de réduire les capacités de mise mouvement des matériaux en période de crue. Un premier estimatif a permis d'évaluer à 3 000 m³ le volume de matériaux à déblayer.

Lors de la visite de terrain nous avons pu identifier sur site les anciens méandres qui ont été rectifiés dans les années 70. Afin de réinjecter dans le lit mineur les matériaux localisés dans les

terrasses alluviales et aujourd'hui perchés, il serait intéressant de réaliser les opérations de terrassement à la fois en rive gauche et en rive droite.

Ce type d'intervention nécessitera une emprise foncière relativement importante. En effet, une bande d'environ 10 m de large sera nécessaire en haut de berge pour réaliser l'opération.

Elargissement du lit mineur et reconstitution du matelas alluvial au droit du profil n°23



4.3.1.2. Réduction de la pente

L'élargissement de la section hydraulique doit s'accompagner de la réduction de la pente du profil en long pour réduire les contraintes hydrauliques. En termes de pente longitudinale, le tronçon présente une pente de 1,8 % contre 0,6 % en aval et 0,9 % en amont. Il est nécessaire de mettre en place des seuils permettant d'une part la stabilisation des fonds et d'autre part le rééquilibrage de la pente du profil en long en aménageant des chutes à chaque seuil (chute de l'ordre de 25 cm maximum).

Nous proposons de corriger la pente pour atteindre une valeur de 0,9 %. Pour cela, il est nécessaire de mettre en place 4 seuils en enrochement espacés de 45 m : 1 à chaque extrémité du tronçon et 2 intermédiaires.

4.3.1.3. Reconstitution du matelas alluvial

L'étude du transport solide effectuée en état projet a permis de compléter notre réflexion en indiquant que pour rétablir un équilibre morphodynamique, il est nécessaire de reconstituer le matelas alluvial de sorte que la mise en mouvement sédimentaire puisse s'opérer à partir du débit biennal.

A partir des calculs hydrauliques, nous avons examiné les dimensions de granulat permettant de satisfaire cette condition. Le diamètre des granulats (D_{50}) doit être de 180 mm avec une granulométrie étendue notamment pour les petites tailles afin d'assurer un blocage des plus gros blocs.

Pour recréer un matelas d'environ 50 cm d'épaisseur, nous évaluons à 450 m³ le besoin en matériaux. L'élargissement de la section en travers va permettre de disposer d'un volume important de matériaux. Si ces matériaux seront principalement composés de fragments molassiques, nous estimons que les sédiments qui composaient le lit de la rivière avant son enfoncement, et aujourd'hui déconnectés par l'incision, représentent un volume compris entre 200 et 300 m³ qu'il sera très facile d'injecter dans la rivière.

D'autre part, lors de la visite de terrain nous avons constaté que les blocs en place dans le lit de la rivière favorisaient les atterrissements comme illustré sur les photos ci-dessous.



C'est pourquoi, il est également proposé de positionner dans le lit de la rivière des blocs d'un diamètre moyen supérieure à 50 cm. De plus, ils permettront de créer des zones de diversification des écoulements indispensables pour la variété des habitats et obtenir des classes granulométriques variées.

4.3.1.4. Estimatif du montant des travaux

Les travaux forestiers estimés sur une surface de 1600 m² devront permettre aux engins d'accéder aux berges. Les opérations de terrassement sont conséquentes puisqu'elles prévoient de mobiliser 3000 m³ de matériaux. A ce propos, il convient de préciser que les travaux de déblais dans un substrat molassique nécessitent un matériel adapté. Enfin le post enrochement regroupe la fourniture et la mise en œuvre des seuils transversaux ainsi que la fourniture de matériaux et la mise en place du matelas alluvial.

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	1 500,00 €	1 794,00 €
Travaux forestiers	9 800,00 €	11 720,80 €
Terrassements	50 599,15 €	60 516,59 €
Enrochement	7 796,00 €	9 324,02 €
	69 695,15 €	83 355,40 €

4.4. GAINS ECOLOGIQUES

La fédération de pêche de la Drôme a réalisé récemment une étude sur les potentialités de recrutement de la Truite Fario sur le bassin versant de l'Herbasse. Cette étude qui s'appuie sur des relevés de terrain effectués au cours des hivers 2009/2010 et 2010/2011 avait pour objectif de déterminer les obstacles ayant une influence négative sur le cycle biologique de la Truite Fario. La méthodologie consiste à recenser les frayères effectives et les frayères potentielles.

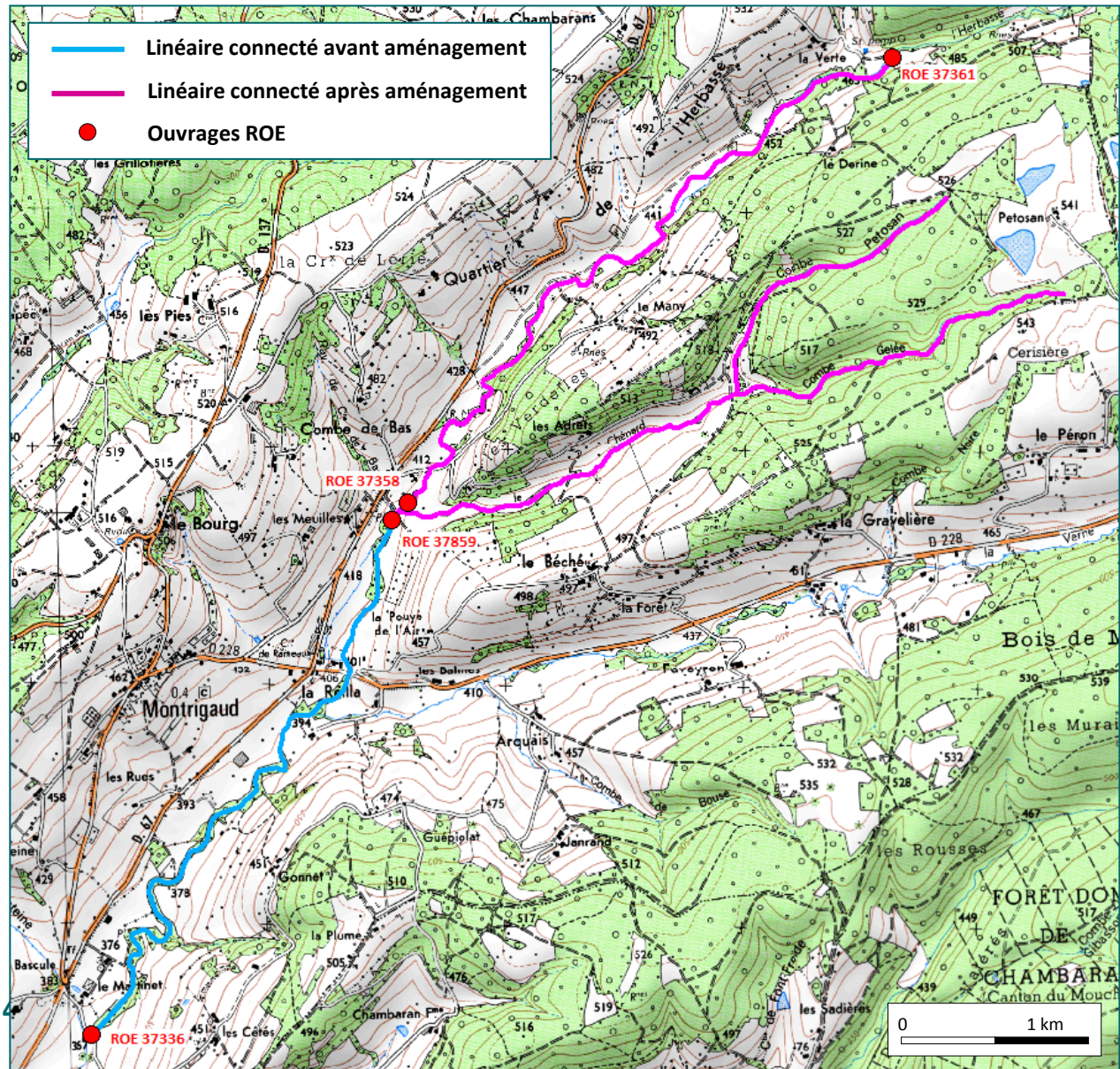
Une hiérarchisation des ouvrages a ensuite été établie afin de concentrer les efforts d'intervention sur des linéaires ayant un intérêt certain d'un point de vue piscicole. D'après les résultats de l'étude, le linéaire de cours d'eau situé en amont immédiat du seuil des Meuilles offre de fortes potentialités qui ne sont que partiellement exploitées pour la reproduction de la Truite Fario, ce qui confirme l'intérêt de sa franchissabilité.

La restauration de la continuité par l'aménagement des obstacles actuels permettrait de multiplier par trois le linéaire susceptible d'être colonisé par la faune piscicole. En effet, la reconnexion de l'Herbasse avec son cours amont permet de doubler le tronçon de rivière continu et de connecter le Chénard, affluent de rive gauche situé entre les deux seuils. Toutefois la continuité reste limitée en aval, par le « seuil Martinet » (ROE 37336) et par le « seuil gué de la Verte » (ROE 37361) en amont qui malgré sa faible hauteur de chute empêche la connexion avec la partie amont de la rivière. Il convient de préciser qu'il s'agit des conditions de continuité actuelles et après aménagements objets de notre étude. En effet, les projets en cours prévoient d'intervenir sur ces obstacles afin de les rendre franchissables.

	Linéaire connecté (km)		
	Herbasse	Chénard	Total
Avant aménagement	3,2	0	3,2
Après aménagement	6,6	4,6	11,1

De plus, la restauration du linéaire de canyons favorise la formation d'habitats adaptés à la faune piscicole et de nouvelles zones favorables à la reproduction.

La carte ci-dessous illustre le linéaire actuellement connecté les tronçons de rivière potentiellement accessibles.



En fonction de la solution retenue pour l'aménagement du seuil des Meuilles, l'estimatif varie pour l'Herbasse entre 116 000 € HT et 173 000 € HT. Le scénario 5 concerne la mise en place d'un dispositif de franchissement en maintenant la crête du seuil et donc l'alimentation de la prise d'eau du riverain.

	HERBASSE						
	Seuil des Meuilles					Ouvrage aval	Canyons
	Sc 1 - Rampe de fond	Sc 2 - Marches successives	Sc 3 - Arasement progressif	Sc 4 - Rivière de contournement	Sc 5 - Marches successives	Marches successives	Restauration matelas alluvial
Montant HT	75 315,00 €	19 329,80 €	19 859,00 €	53 934,98 €	42 658,06 €	27 212,30 €	69 695,15 €
Montant TTC	90 076,74 €	23 118,44 €	23 751,36 €	64 506,23 €	51 019,04 €	32 545,91 €	83 355,40 €

5. RESTAURATION DU VALERE

Les objectifs de restauration sont les suivants :

- Stabiliser le profil en long de la rivière,
- Autoriser la continuité hydraulique et écologique,
- Recréer un matelas alluvial dans les secteurs de « canyon ».

5.1. OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT A L'AVANT DU « PONT SOLAGE »

5.1.1. Rampe de fond

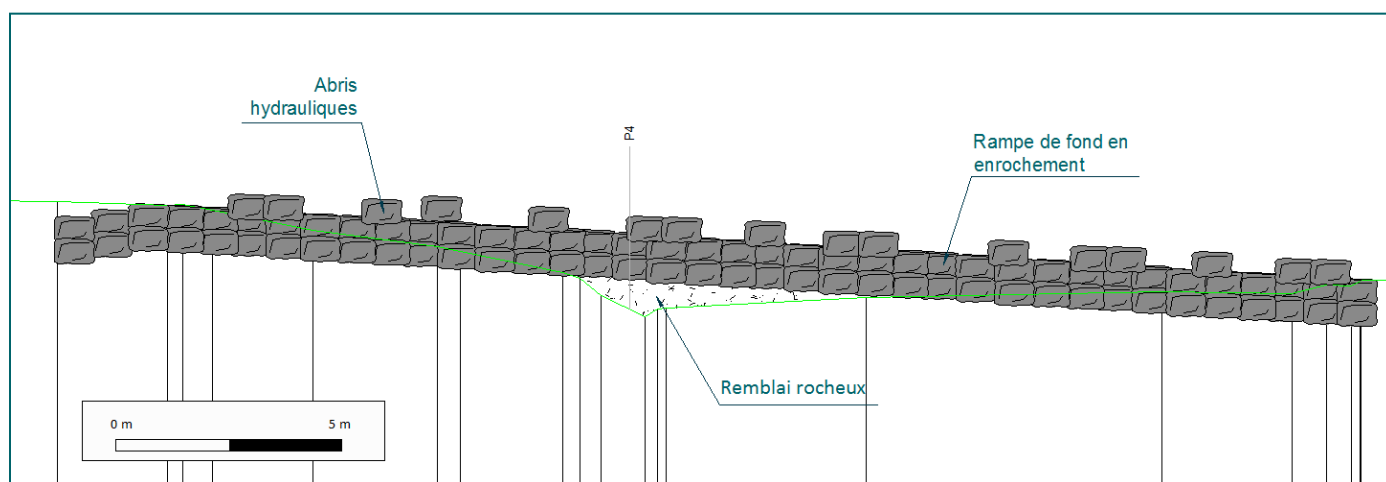
5.1.1.1. Principes de l'aménagement

Il s'agit de proposer un ouvrage à pente régulière permettant de remplacer le seuil actuel composé de blocs déstabilisés. Si cet ouvrage a donné satisfaction pour stopper l'érosion du Valéré, il n'autorise pas la remontée piscicole.

La topographie du site oriente notre choix pour une rampe en enrochements avec une pente de 6 % sur un linéaire de 30 mètres. Une pente inférieure nécessiterait un volume important de remblais pour remplir la fosse présente au pied de l'ouvrage actuel et une longueur plus importante.

Le système de franchissement proposé est issu du guide portant sur les passes naturelles publié en 2006. Il prévoit de positionner sur la rampe de fond des blocs qui vont permettre d'une part de diversifier les écoulements et d'autre part de créer des zones d'abris et de repos pour les poissons.

Profil en long de la rampe



5.1.1.2. Incidences hydraulique et morphodynamique

Le projet induit une légère variation des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sans conséquence sur le fonctionnement hydraulique et le fonctionnement morphodynamique.

5.1.1.3. Estimatif du montant des travaux

L'importance du coût des travaux s'explique notamment par la quantité de blocs à mettre en place pour réaliser la rampe de fond puisque 300 m³ d'enrochements sont nécessaires.

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	2 350,00 €	2 810,60 €
Travaux forestiers	6 100,00 €	7 295,60 €
Terrassements	3 247,68 €	3 884,23 €
Enrochement	43 108,00 €	51 557,17 €
Fournitures et travaux de protection des berges	8 070,00 €	9 651,72 €
	62 875,68 €	75 199,31 €

5.1.2. Ouvrages à marches successives

5.1.2.1. Principes de l'aménagement

Il s'agit ici d'aménager une succession de marche afin de rétablir la continuité écologique.

Le dimensionnement procède des mêmes méthodes que celles présentées pour l'aménagement de l'Herbasse.

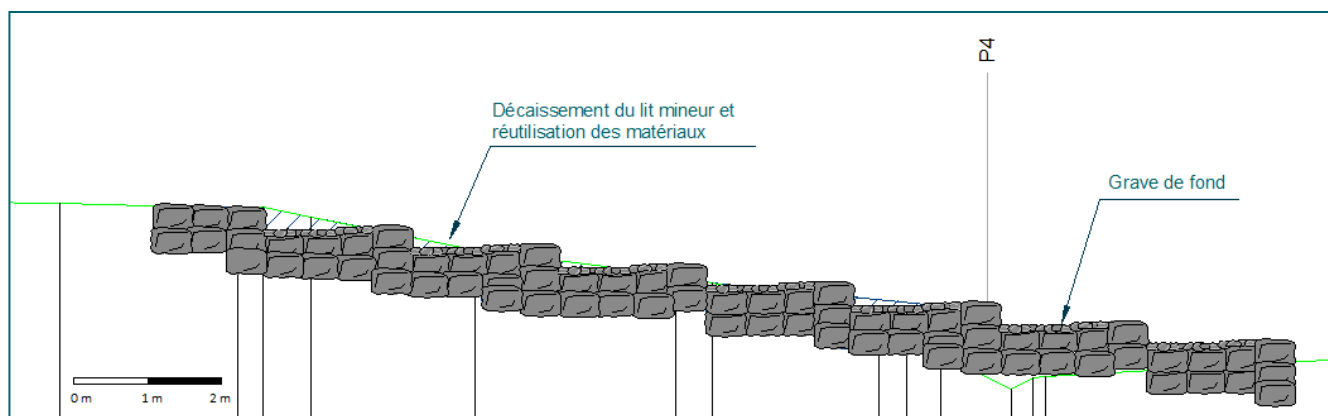
Le tableau suivant présente le dimensionnement en fonction du débit de projet. Nous avons admis une hauteur d'échancrure de 30 cm conformément aux recommandations habituelles pour ce type d'ouvrage.

La chute entre chaque bassin est de 35 cm maximum. La longueur des bassins est de 1,40 m

Tableau 10 : Dimensionnement de l'ouvrage

Débit de projet	Largeur de l'échancrure	Volume minimum des bassins (Pv < 200 W/m³)	Largeur minimale des bassins
Médiane 86 L/s	0,30 m	>1,5 m³	> 3,6 m
Module 118 L/s	0,41 m	>2,05 m³	> 4,9 m
2 x Module 236 L/s	0,81 m	>4,05 m³	> 9,65 m

Profil en long de l'aménagement



5.1.2.2. Incidences hydraulique et morphodynamique

Ce projet ne présente pas d'incidence sur le fonctionnement hydraulique du Valéré notamment en période de crue.

5.1.2.3. Estimatif du montant des travaux

Si cette solution a une emprise foncière réduite par rapport à la précédente, elle nécessite la mise en œuvre de 120 m³ d'enrochement dont une partie déjà en place sera réutilisée.

	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	2 350,00 €	2 810,60 €
Travaux forestiers	6 900,00 €	8 252,40 €
Terrassements	3 939,84 €	4 712,05 €
Enrochement	13 019,20 €	15 570,96 €
Fournitures et travaux de protection des berges	4 707,50 €	5 630,17 €
	30 916,54 €	36 976,18 €

5.1.3. Synthèse et comparaison des solutions

Afin d'établir une comparaison des aménagements proposés deux tableaux ont été réalisés permettant de dresser la liste des avantages et inconvénients et d'évaluer chaque solution.

		Description	Avantages	Inconvénients	Coûts HT
Seuil de calage	Rampe de fond	Ouvrage en enrochements en pente régulière avec des blocs de diversification	Pente régulière Création d'abris hydrauliques Entretien réduit Transit sédimentaire	Emprise foncière importante (30 ml) Pente 6 % Travaux conséquents (300 m3 enrochement) Travail en remblais	62 875,68 €
	Marches successives	Succession de seuils en enrochement	Emprise foncière moins importante (17 ml) Coût réduit	Comblement des fosses par la charge en transit Entretien régulier Franchissement réservé aux populations piscicoles adultes	30 916,54 €

Seuls des critères techniques ont été retenus pour mettre en avant les aménagements les plus ambitieux et garantissant une meilleure restauration du fonctionnement hydro-écologique.

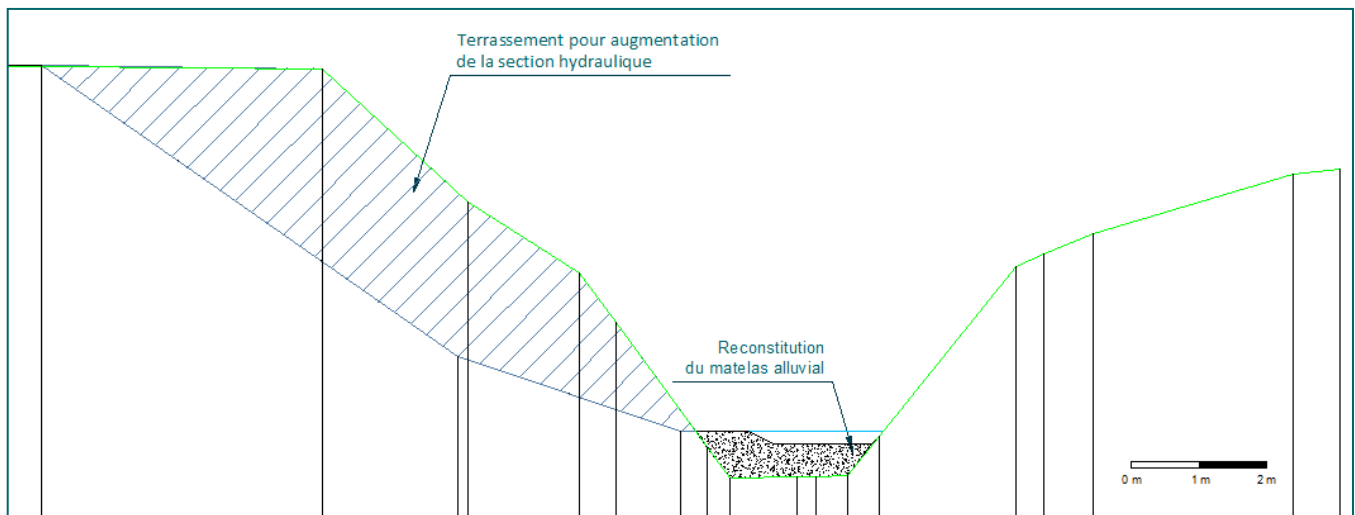
Note/5	Seuil de calage	
	Rampe de fond	Marches successives
Franchissabilité piscicole	4	3
Impacts hydrauliques et morphologiques	3	4
Transit sédimentaire	4	2
Entretien	4	2
Note globale/20	15	11

5.2. AMENAGEMENT DE LA ZONE EN « CANYON »

5.2.1. Elargissement du lit mineur

Sur le Valéré le constat est identique à celui effectué sur l'Herbasse. A savoir que les faibles largeurs mesurées sur le tronçon en « canyon » empêchent la sédimentation par des contraintes hydrauliques trop importantes. L'objectif est donc de réduire ces contraintes, ce qui se traduit dans un premier temps par la modification de la section en travers.

Profil de principe d'augmentation de la section hydraulique



Les opérations de terrassement concernent un volume de matériaux d'environ 1 000 m³. Sur cette quantité disponible environ 10 % présentent un intérêt pour la charge de fond et peuvent être réinjectés dans le lit du cours d'eau.

L'élargissement de la section hydraulique n'influe pas sur les paramètres jusqu'à 5 à 10 le modules. Au-delà, l'aménagement tend à réduire les vitesses d'écoulement assez efficacement. Cependant, la capacité de mise en mouvement des matériaux n'est que peu modifiée si on ne reconstitue pas un matelas alluvial.

5.2.1. Réduction de la pente

Comme sur l'Herbasse, la pente est bien plus forte dans le tronçon de canyons : 2 % contre 0,3 % en aval et 0,6 % en amont. Il est nécessaire de mettre en place des seuils permettant d'une part une stabilisation des fonds et d'autre part un rééquilibrage de la pente du profil en long en aménageant des chutes à chaque seuil (chute de l'ordre de 25 cm maximum).

Nous proposons de corriger la pente pour atteindre une valeur de 0,6 %. Pour cela sur les 160 m entre les profils P11 et P28, 4 seuils espacés de 57 m pourront être mis en place : 1 à chaque extrémité du tronçon et 2 intermédiaires.

5.2.2. Reconstitution du matelas alluvial

Afin de rétablir un équilibre morphodynamique, il est nécessaire de reconstituer le matelas alluvial de sorte que la mise en mouvement sédimentaire puisse s'opérer à partir du débit biennal. Pour cela, 500 m³ de matériaux sont nécessaires si l'on inclut le linéaire en amont de la zone de canyon.

A partir des calculs hydrauliques, nous avons examiné les dimensions de granulat permettant de satisfaire cette condition. Le diamètre des granulats (D_{50}) doit être de 140 mm avec une granulométrie étendue notamment pour les petites tailles afin d'assurer un blocage des plus gros blocs.

Enfin, le rôle joué par les blocs en place dans le lit mineur sur la formation de macroformes nous conduit à proposer comme sur l'Herbasse de mettre en place des blocs sur le lit du Valéré. Ces éléments grossiers présentent également un intérêt d'un point de vue écologique en créant des zones de diversification et d'habitat.

Bancs d'alluvions favorisés par le bloc en aval



5.2.3. Montant estimatif des travaux

Une grande part du montant des travaux est attribuée aux opérations de terrassement. L'élargissement de la section hydraulique prévoit 1 000 m³ de déblais. Seulement une partie (environ 10 %) pourra être réutilisée et injectée dans la rivière alors que le reste sera évacuée.

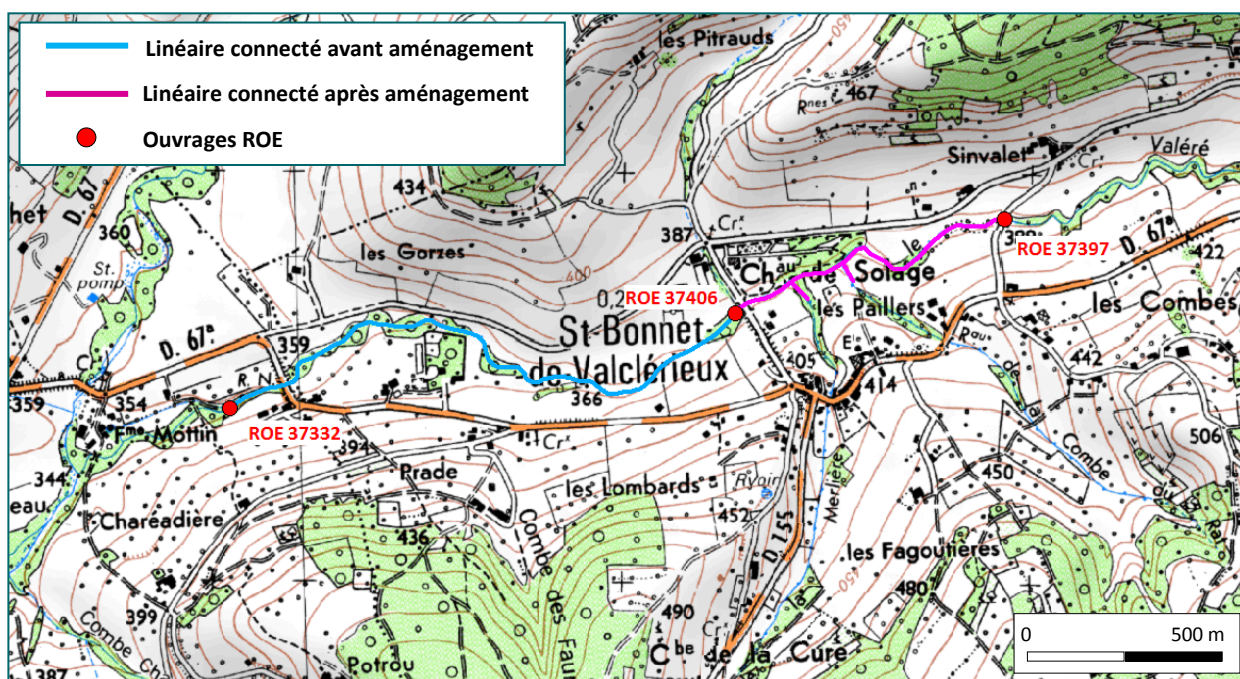
	Coût HT	Coût TTC
Installation chantier	1 500,00 €	1 794,00 €
Travaux forestiers	7 800,00 €	9 328,80 €
Terrassements	31 987,08 €	38 256,55 €
Enrochements	6 902,40 €	8 255,27 €
	48 189,48 €	57 634,62 €

5.3. GAINS ECOLOGIQUES

Contrairement aux résultats obtenus sur l'Herbasse les gains escomptés en matière de surfaces de frayère sont plus réduits. Cependant l'ouvrage a été classé parmi les 13 ouvrages sur lesquels une intervention présente un intérêt pour la continuité écologique.

En effet, l'aménagement du seuil de calage (ROE 37406) permet de tripler le linéaire de cours d'eau rendu accessible. Un linéaire de 2.2 km sera continu sur le Valéré auquel il faut ajouter la reconnexion avec la confluence de deux affluents que sont le ruisseau de la Merlière et le ruisseau de la Combe. Le gain en linéaire sera réduit sur ces affluents puisque ces derniers souffrent également d'une forte incision. De plus, la restauration du linéaire de canyons favorise la formation d'habitats adaptés à la faune piscicole et de nouvelles zones favorables à la reproduction. Il convient de préciser qu'il s'agit des conditions de continuité actuelles. En effet, des travaux sont prévus dans un horizon proche sur l'ouvrage ROE 37332, ce qui permettra notamment de connecter le tronçon à l'Herbasse. A l'horizon 2016/2017, quatre autres ouvrages devraient être rendus franchissables ce qui permettrait de créer d'ajouter entre 5 et 10 km de linéaire continus.

	Linéaire connecté (km)		
	Valéré	Affluents	Total
Avant aménagement	1,5	0	1,5
Après aménagement	2,2	0,1	2,3



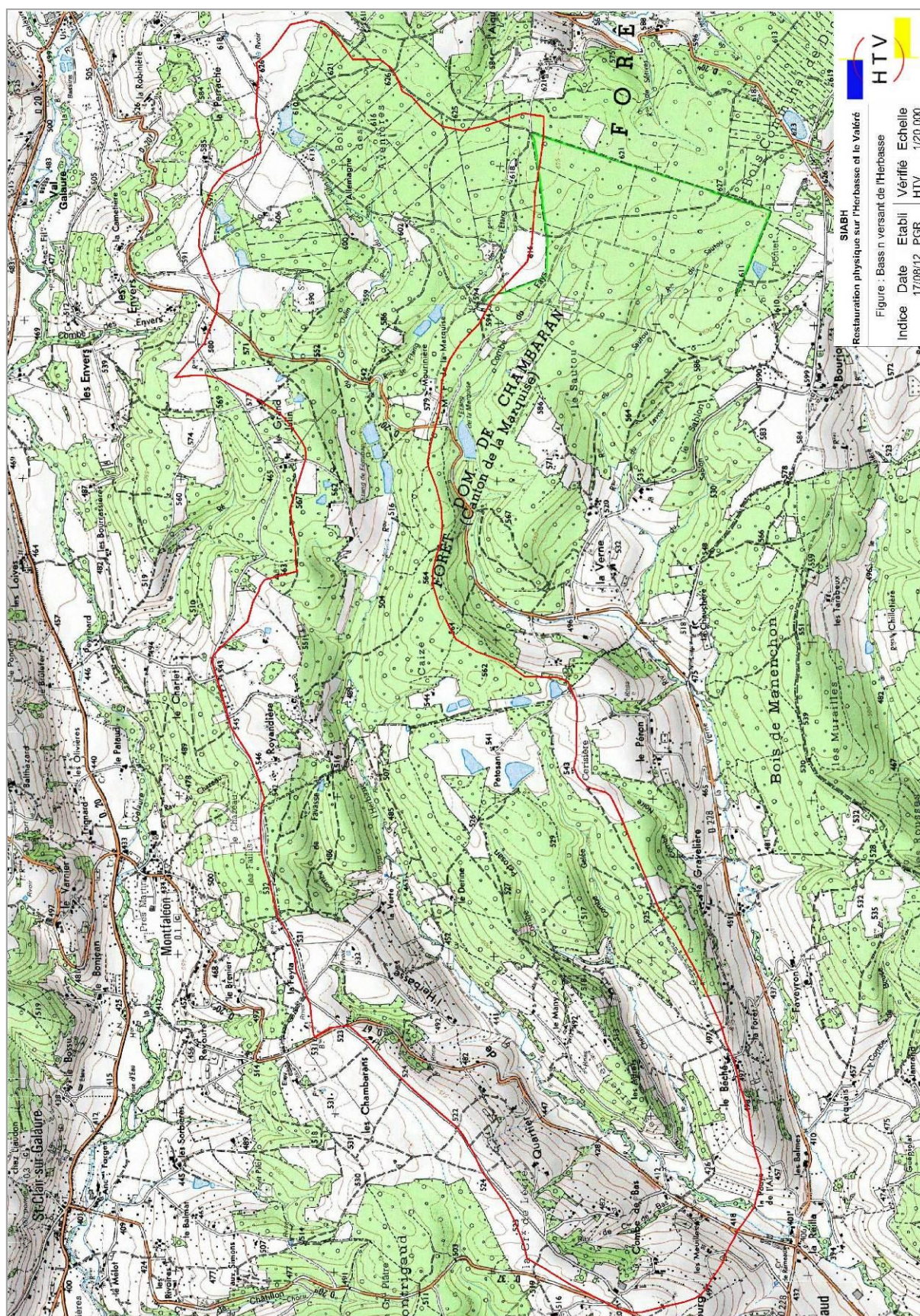
5.4. SYNTHESE DU COUT DES AMENAGEMENTS

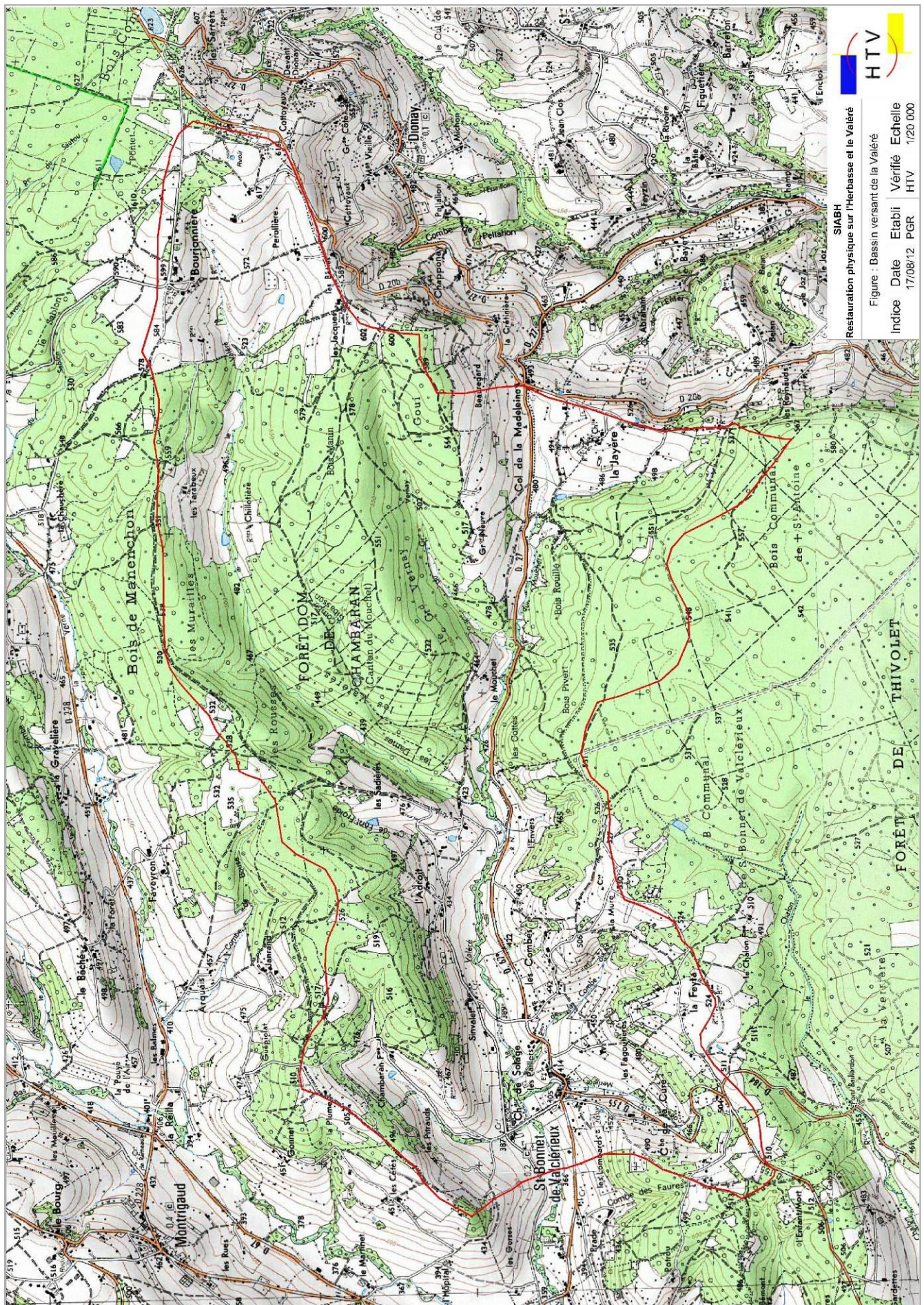
En fonction de la solution retenue pour l'aménagement du seuil des Meuilles, l'estimatif varie entre 79 000 € HT et 111 000 € HT.

	VALERE		
	Ouvrage de franchissement		Canyons
	Rampe de fond	Marches successives	Restauration matelas alluvial
Montant HT	62 875,68 €	30 916,54 €	48 189,48 €
Montant TTC	75 199,31 €	36 976,18 €	57 634,62 €

6. ANNEXES

6.1. CARTE DES BASSINS VERSANTS





6.2. TOPOGRAPHIE DES TRONÇONS D'ETUDE



SIABH Restauration physique sur l'Herbasse et le Valéré				
Figure : Schéma de modélisation de l'Herbasse				
Indice	Date	Etabli	Vérifié	Echelle
	17/08/12	PGR	HTV	1/1250

