



DEPARTEMENT DU LOT

Etude technique
d'avant travaux
d'effacement du seuil
et d'aménagement du
gué de Gabanelle sur
le ruisseau du
Bervezou



RAPPORT

Octobre 2011



Depuis 2006, SCE et GROUPE SCE se sont engagés dans le «Défi pour la Terre» et ont établi une charte de 25 engagements pour le Développement Durable.

Pour limiter les impressions, nos documents d'études sont ainsi fournis en impression recto/verso.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	8
<i>I.1. Contexte et objectifs de l'étude</i>	8
<i>I.2. Déroulement de l'étude</i>	9
II. ETAT DES LIEUX / DIAGNOSTIC	10
<i>II.1. Méthodologie pour établir l'état des lieux</i>	10
A. Synthèse bibliographique	10
B. Enquête de terrain	11
C. Prélèvements, analyses de sédiments, IBGN	11
D. Levés topographiques	12
<i>II.2. Contexte physique général</i>	13
A. Contexte climatique	13
1) Données générales	13
2) Pluviométrie	13
B. Contexte topographique et géomorphologique	13
C. Contexte géologique et pédologique	14
<i>II.3. Contexte hydrographique et hydrologique</i>	15
A. Description du réseau hydrographique et du bassin versant	15
1) Caractérisation du bassin versant	15
B. Débits caractéristiques	19
1) Stations hydrométriques.....	19
2) Débits d'étiage.....	20
3) Débits de crue.....	20
<i>II.4. Contexte hydraulique</i>	26
A. Description générale de l'état actuel	26
1) Ouvrages hydrauliques	26
2) Fonctionnement hydraulique général	27
B. Analyse du fonctionnement hydraulique actuel et de l'impact des ouvrages hydrauliques	28
1) Description du modèle.....	28
2) Calage du modèle	29
3) Simulations dans l'état actuel.....	32
C. Synthèse sur le contexte hydraulique : ce qu'il faut retenir	35
<i>II.5. Contexte hydromorphologique</i>	36
A. Découpage de la zone d'étude	36
1) Découpage de la zone d'étude en tronçons	36
2) Découpage de la zone d'étude en segments	38
B. Caractérisation du cours d'eau	41
1) Morphologie	41
2) Flux liquides / Ecoulements	44
3) Transport solide.....	46
C. Diagnostic hydromorphologique : analyse des altérations sur la zone d'étude	58
1) Définition de l'état de référence	58
2) Les perturbations sur la zone d'étude et leurs conséquences	58
D. Synthèse sur le contexte hydromorphologique : ce qu'il faut retenir	64
<i>II.6. Contexte écologique</i>	65
A. Etat actuel	65
1) Objectifs de qualité : Directive Cadre Européenne	65

2) Qualité des eaux du Bervezou	66
3) Qualité des sédiments dans la retenue du seuil de Gabanelle	69
4) Qualité hydrobiologique	71
5) Qualité piscicole	73
6) Milieux naturels remarquables	75
B. Analyse du fonctionnement écologique et des impacts des ouvrages sur l'hydrosystème	76
1) Impact sur la franchissabilité piscicole	76
2) Impact sur les conditions d'habitat	77
3) Impact sur la macrofaune benthique	77
C. Synthèse sur le contexte écologique : ce qu'il faut retenir	80
II.7. Contexte socio-économique	81
A. Contexte général	81
1) Activités et usages liés à l'eau	81
2) Occupation des sols	84
3) Activités économiques	84
B. Analyse du contexte socio-économique lié au site de Gabanelle	86
C. Synthèse sur le contexte socio-économique : ce qu'il faut retenir	87
III. DEFINITION ET COMPARAISON DE SCENARII D'AMENAGEMENTS	88
III.1. Définition des scénarii d'aménagement	88
A. Arasement complet du seuil et du passage à gué	88
B. Mise en place d'un busage sous le passage à gué	90
C. Réhabilitation de la passe à poissons	90
III.2. Impacts des scénarii d'aménagement	92
A. Impact de l'arasement des ouvrages (Scénario 1)	92
1) Impact sur le comportement hydraulique	92
2) Impact sur le transport solide et les phénomènes érosifs	92
B. Impact des autres solutions	97
III.3. Comparaison et choix d'un scénario d'aménagement	98
A. Comparaison des scénarii d'aménagement – Eléments de faisabilité	98
1) Pour le seuil de Gabanelle :	98
2) Pour le passage à gué :	99
3) Comparaison des solutions	99
IV. DEFINITION D'UN PROJET DE REHABILITATION DU SITE DE GABANELLE	100
IV.1. Consistance des travaux	100
IV.2. Mode opératoire et décomposition des travaux	100
A. Travaux préparatoires	100
B. Travaux de démolition du seuil et de reprofilage du Bervezou	101
C. Travaux de démolition du passage à gué et protection du lit du Bervezou contre les phénomènes érosifs	101
D. Réfection des protections de berge à l'aval du ponceau	101
E. Aménagement de points d'abreuvement	101
IV.3. Estimation du coût des travaux	102
IV.4. Situation vis de la Loi sur l'Eau	103

FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.....	8
Figure 2 : Localisation des levés topographiques	12
Figure 3 : Géologie du secteur d'étude (extrait de la carte géologique BRGM n°834 de Lacapelle-Marival au 1:50 000).....	14
Figure 4 : Calage de la loi de Myer.....	21
Figure 5 : Seuil de Gabanelle (rive droite et rive gauche)	26
Figure 6 : Passage à gué et ponceau	27
Figure 7 : Exemple d'hydrogramme de crue.....	29
Figure 8 : Exemples de zone de remous (seuil), radier et plat courant (de gauche à droite)	44
Figures 9.1 et 6.2 : Axes de mesure de la granulométrie des éléments prélevés ; Représentation schématique de la répartition des prélèvements granulométriques sur un faciès (ici exemple d'un radier)	46
Figure 10 : Courbe granulométrique après mesure sur les trois différents faciès dominants de la zone d'étude.....	47
Figure 11 : Principe de l'équilibre dynamique et de la balance morphodynamique d'après Lane 1955 (ici phénomène d'érosion)	59
Figure 12.1 et 12.2 : <i>Illustration du principe d'ajustement du tracé en plan par migration latérale des méandres (source : Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, G. Degoutte, 2006) ; illustration du phénomène sur la zone d'étude</i>	59
Figure 13 : <i>Illustration du principe de l'érosion progressive (source : Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, G. Degoutte, 2006)</i>	60
Figure 14 : <i>Illustration du principe de l'exhaussement régressif (source : Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, G. Degoutte, 2006)</i>	61
Figure 15 : <i>Illustration de la déformation des berges provoquée par l'incision du cours d'eau</i>	61
Figure 16 : Illustration du phénomène de pavage	61
Figure 17 : Illustration du sous-cavage (les racines sont mises à nu)	62
Figure 18 : Mise en mouvement des enrochements et affouillement des culées du pont à l'aval du passage à gué.....	63
Figure 19.1 et 20.2 : Protections de berge (poteaux électrique et ensemble pieux / branches)	63
Figure 20 : Aval de la passe à poissons	76
Figure 21 : Chute en aval du passage à gué.....	77

TABLEAUX

Tableau 1 : Données pluviométriques pour la station de Maurs	13
Tableau 2 : Coefficients de ruissellement retenus pour les différents types de sols	17
Tableau 3 : Formules de temps de concentration pour des bassins versants ruraux.....	18
Tableau 4 : Temps de concentration calculés	19
Tableau 5 : Débits des crues caractéristiques par extrapolation des stations de référence	21
Tableau 6 : Débits des crues caractéristiques par la formule de Crupédix jaugée.....	22
Tableau 7 : Débit de crue décennale par la méthode Socose	22
Tableau 8 : Calcul du débit décennal avec la méthode rationnelle prenant en compte les différents temps de concentration	24
Tableau 9 : Coefficients pour la détermination des débits de crue (non décennale)	24
Tableau 10 : Débits caractéristiques de crues estimés par application des formules empiriques	24
Tableau 11 : Synthèse des calculs des débits de crue	25
Tableau 12 : Calage du coefficient de Strickler sur le lit mineur	30
Tableau 13 : Calage du coefficient de Strickler sur le lit majeur	30
Tableau 14 : Résultats de la simulation de calage	30
Tableau 15 : Résultats de la simulation dans l'état actuel à l'étiage.....	32
Tableau 16 : Répartition des faciès d'écoulement par tronçon	44
Tableau 17 : Echelle granulométrique de Wentworth modifiée utilisée dans le protocole ICE	46
Tableau 18 : Répartition granulométrique sur différents faciès de la zone d'étude	47
Tableau 19 : Diamètres caractéristiques pour différents faciès	48
Tableau 20 : Calcul de la contrainte critique d'entraînement	50
Tableau 21 : Evaluation de la capacité de transport sédimentaire sur le fond du cours d'eau.....	52
Tableau 22 : Evaluation des contraintes critiques d'entraînement des matériaux des berges.....	54
Tableau 23 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges	55
Tableau 24 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges en prenant en compte la végétation.....	56
Tableau 25 : Etat actuel et objectifs d'état de la masse d'eau Bervezou	65
Tableau 26 : Evolution de la qualité physico-chimique des eaux du Bervezou selon le référentiel SEQ Eau (1998à 2009).....	67
Tableau 27 : Evolution de la qualité bactériologique des eaux du Bervezou (2000 à 2005)	68
Tableau 28 : Résultats des IQBG sur le Bervezou (2001).....	71
Tableau 29 : Résultats des IBGN sur le Bervezou (2001).....	72
Tableau 30 : Caractérisation piscicole du Bervezou	73
Tableau 31 : Consommation AEP annuelle sur le Bervezou en 2004	81
Tableau 32 : Consommation journalière des prises d'eau de Longuecoste et Gabanelle	81
Tableau 33a, b et c : Caractéristiques de l'assainissement sur les communes du bassin versant	82
Tableau 34 : Répartition de la superficie agricole utilisée sur le bassin versant du Bervezou en 2000 (source : Agreste)	84
Tableau 35: Evaluation de la capacité de transport sédimentaire sur le fond après suppression des ouvrages hydrauliques	94
Tableau 36 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges.....	95
Tableau 37 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges en tenant compte de la végétation	96
Tableau 38 : Comparaison des différentes propositions d'aménagement	99
Tableau 39 : Coût estimatif du programme de réhabilitation du site de Gabanelle.....	102
Tableau 40 : Situation du programme de réhabilitation du site de Gabanelle vis-à-vis de la Loi sur l'Eau	104

I. INTRODUCTION

I.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

La zone d'étude s'étend sur un court tronçon du Bervezou de 1500 mètres linéaires, affluent du Célé, sur les communes de Prendeignes (en rive droite), St-Cirgues et Linac (en rive gauche) dans le département du Lot.

Cette zone est concernée par deux ouvrages hydrauliques : le seuil et le passage à gué de Gabanelle.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le seuil de Gabanelle appartient à la commune de Figeac (situé à environ 10 km au sud-ouest). Il permettait jusqu'en 2006 de maintenir un niveau d'eau suffisant pour alimenter la prise d'eau potable de la ville (environ un tiers de la consommation).

Aujourd'hui, cette prise d'eau n'est plus utilisée, la ville de Figeac souhaitant sécuriser son alimentation depuis le Lot. Mais le seuil est toujours en place et pose des problèmes du fait qu'il n'est plus ou très difficilement franchissable par la faune piscicole, et ce malgré la présence d'une passe à poissons. Cette infraction a été pénalisée par l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) et engage la responsabilité de la ville de Figeac.

D'autre part, le passage à gué en aval de ce seuil de pompage est devenu difficilement franchissable.

Il importe donc de remédier à cette situation. Pour cela, le Syndicat mixte du bassin de la Rance et du Célé en collaboration avec la ville de Figeac ont décidé d'engager la présente étude afin de définir des mesures concrètes visant à réparer ces infractions tout en mesurant les conséquences induites d'un point de vue environnemental, social et économique.

I.2. DEROULEMENT DE L'ETUDE

L'étude se décompose en quatre phases :

- Phase 1 :
Elle consiste d'une part à établir un **état des lieux précis** basé sur le recueil, l'analyse, et la mise en forme des données existantes ainsi que sur l'examen du terrain et une démarche participative associant les acteurs du bassin versant.
Elle comprend d'autre part un **diagnostic** qui porte sur :
 - la morphologie du cours d'eau, les écoulements et le transport solide,
 - l'impact de la présence des ouvrages hydrauliques sur l'écoulement,
 - la continuité, l'habitat et le potentiel écologiqueElle intègre notamment des études hydrologique, hydraulique (modélisation) et hydromorphologique qui consistent à approcher et à quantifier le transport solide ainsi que l'impact du seuil et du passage à gué. Elle comprend également la réalisation de deux IGBN permettant de caractériser la qualité hydrobiologique du Bervezou.
- Phase 2 :
Elle a pour buts de dégager un **panel de solutions** organisées en **scénarii d'aménagements** en évaluant leur faisabilité de mise en œuvre d'un point de vue écologique, technique et financier.
- Phase 3 :
Sur la base du scénario qui aura été retenu, la phase 3 a pour buts d'établir le projet final de réhabilitation du site.

Le présent document concerne les phases 1 et 2 de l'étude.

Une première partie est consacrée à l'Etat des lieux / Diagnostic :

- Elle présente le contexte de la zone d'étude prenant en compte les caractéristiques physiques (topographie, hydrographie, géologie, ...), elle fait la synthèse des connaissances sur les écoulements, le transport solide et l'impact des infrastructures (seuil et passage à gué), elle décrit la qualité des milieux naturels et le potentiel écologique du site et enfin elle présente le contexte socio-économique et les aspects réglementaires et institutionnels.
- Elle analyse les informations et données collectées pour expliquer les perturbations observées et identifier les enjeux de la zone d'étude.

La deuxième partie présente l'étude de faisabilité des différents scénarii d'aménagements. :

II. ETAT DES LIEUX/DIAGNOSTIC

II.1. METHODOLOGIE POUR ETABLIR L'ETAT DES LIEUX

L'état des lieux a pour objet de présenter sous forme synthétique les données existantes sur le Bervezou, objet de l'étude, qui portent sur les aspects physiques (climatologie, géologie, pédologie,...), hydrologiques, hydrauliques et hydromorphologiques ainsi que sur les activités et les usages du bassin versant.

Nous rappelons également le cadre réglementaire de cette étude, notamment la Directive Cadre sur l'Eau, le SDAGE Adour Garonne et la loi sur l'Eau qui impliquent un certain nombre de contraintes réglementaires en matière de gestion de la ressource en eau.

La démarche suivie pour recueillir l'ensemble de ces données s'appuie sur :

- Le recueil de données existantes et une synthèse bibliographique ;
- Des reconnaissances de terrain et des questionnements de riverains ;
- Des prélèvements de sédiments analysés en laboratoire et des IBGN ;
- Des levés topographiques.

A. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Les données recueillies sont les suivantes :

- Etat des lieux, règlement, mesures du SAGE Célé (www.valleeducele.com) ;
- Plan de gestion des milieux aquatiques et alluviaux du bassin du Célé pour le ruisseau du Bervezou ;
- Plan départemental de gestion piscicole du Lot ;
- Résultats des pêches électriques de 2002 et 2009 en aval immédiat du passage à gué de Gabanelle ;
- Suivi hydrobiologique réalisé sur le Bervezou en 2001 (Longuecoste et amont confluence Célé) ;
- Suivi hydrobiologique et Piscicole de 1994 à 2009 entre l'aval du seuil de Gabanelle et l'amont du passage à gué ;
- Dossier de réalisation de la passe à poissons sur le seuil de Gabanelle (2000) ;
- Dossier du périmètre de protection de captage ;
- Règlement d'eau du seuil de Gabanelle ;
- Documents d'urbanisme des communes de Predeignes et St Cirgues ;
- Plan de gestion des étiages du Lot ;
- Schéma de prévention des inondations du bassin du Lot ;
- Suivi de la qualité physico chimique des eaux brutes (station AEP de Gabanelle) jusqu'en novembre 2006 ;
- Données limnimétriques de la station hydrométrique de Longuecoste située en amont de Gabanelle gérée et entretenue par la DDT du Lot (jusqu'au 1^{er} janvier 2011) ;
- Les planches SCAN25 du bassin versant du Bervezou au droit de la zone

d'étude, le cadastre numérisé et les photos aériennes sur la zone d'étude ;

- Les données pluviométriques issues de Météo France : ces données sont constituées par les coefficients de Montana, de la pluie journalière décennale et de la pluie moyenne interannuelle de la station de Maurs ;
- Le recensement agricole Agreste de 2000 ;
- Les données hydrologiques de cinq stations de jaugeage à proximité du bassin versant du Bervezou (à savoir Frayssinhes, Conques, Figeac, Orniac et Viviez).

B. ENQUETE DE TERRAIN

Une visite de terrain a été effectuée le 17 juin 2011 afin de déterminer :

- les faciès d'écoulement et les zones préférentielles d'érosion ou d'atterrissements (embâcles, remblais, zones de stockage, endiguements, ...)
- les caractéristiques des berges et du lit du Bervezou :
 - pente, hauteur, section d'écoulement
 - structure (matériaux naturels, granulométrie, ouvrages végétaux, enrochement, béton),
 - zones stables ou érodées avec le type d'érosion (effondrement, affouillement, tassement, mitage,...).
- les caractéristiques de la végétation rivulaire :
 - les strates présentes (arborée, arbustive, héliophytique),
 - sa densité,
 - son état (stabilité, sénescence, état sanitaire).
- les repères de crue susceptibles d'exister sur le site, en particulier les Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) ;
- la définition du déroulement des inondations, la fréquence des crues, la vitesse d'écoulement et la durée de submersion ;
- la description et la localisation des usages (sites de pêche, sentiers, sites de loisirs...),
- les caractéristiques du milieu naturel (intérêt piscicole, zone humide,...)
- la description des aménagements existants au niveau des berges et du lit (clôtures, accès, ouvrages ...),
- l'occupation des sols à proximité (habitations, parcelle agricole,...),
- le paysage (contexte paysager général, unités et composantes paysagères, perceptions).

C. PRELEVEMENTS, ANALYSES DE SEDIMENTS, IBGN

Des prélèvements et analyses ont été effectués sur les sédiments accumulés dans la retenue située en amont du seuil de Gabanelle. Les prélèvements ont été réalisés par l'équipe de SCE le 17 juin 2011 et les analyses ont ensuite été réalisées par le laboratoire départemental de l'eau de Haute Garonne.

De même, de façon à évaluer l'impact du seuil de Gabanelle sur la qualité biologique du cours d'eau, des IBGN ont été effectués par l'équipe de SCE. Les prélèvements effectués sont les suivants :

- 1 en amont de la retenue,
- 1 en aval de la retenue.

D. LEVES TOPOGRAPHIQUES

Des travaux topographiques ont été réalisés par le cabinet de géomètres FIT TOPO afin d'obtenir :

- Un levé du seuil de Gabanelle:
 - Profil en long de la crête, des pieds amont et aval du seuil, coupe transversale.
 - Un semis de points sur la retenue en amont du seuil permettant d'apprécier le volume de matériaux sédimentés.
- Un levé du passage à gué et du ponceau situé à l'aval.
- Un profil en long du Bervezou afin de déterminer sa pente d'équilibre et d'appréhender son transport solide.
- Des profils en travers du Bervezou depuis l'amont du seuil jusqu'à l'aval du ponceau, soit environ 9 profils en travers.

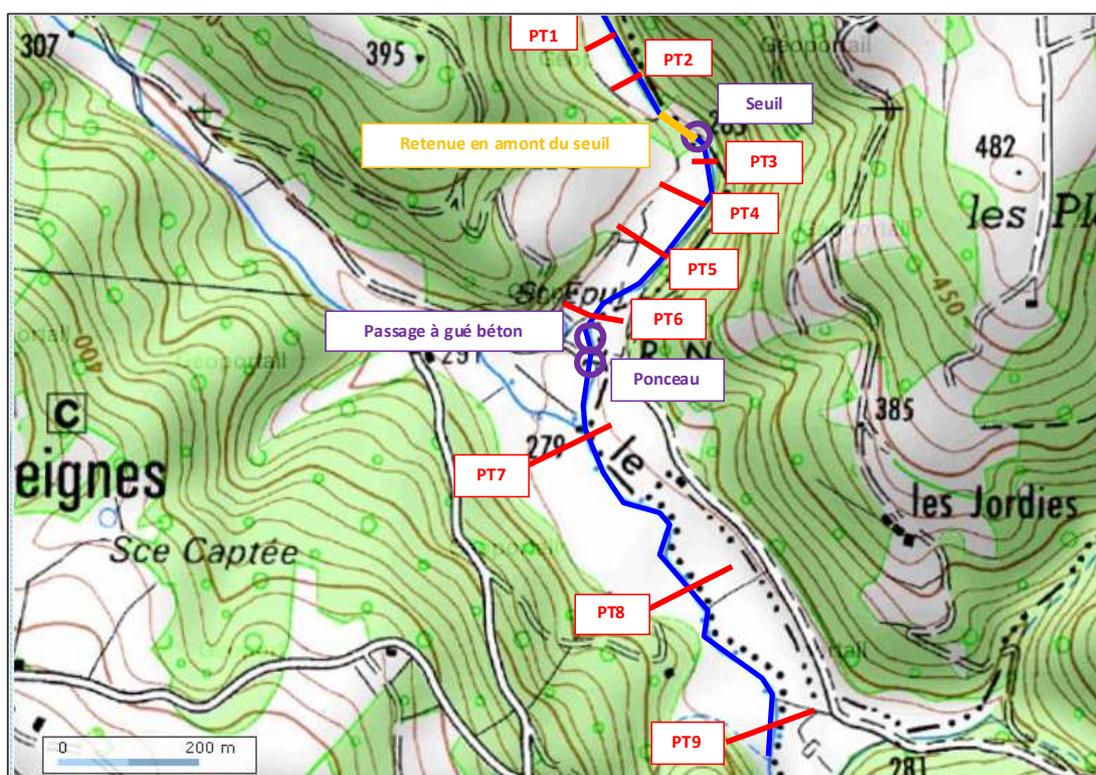


Figure 2 : Localisation des levés topographiques

II.2. CONTEXTE PHYSIQUE GENERAL

A. CONTEXTE CLIMATIQUE

1) DONNEES GENERALES

Le climat de la zone d'étude est typique de la région du Ségala lotois : il s'agit d'un **climat semi-montagnard**, lié à la proximité du Massif Central, avec des précipitations abondantes (la moyenne annuelle des précipitations dépasse souvent les 1000mm/m² et un nombre moyen de jours de neige supérieur à 8) et des températures froides (température moyenne annuelle de 12° avec des moyennes annuelles des températures maximales et minimales les plus froides respectivement de moins de seize degrés et de moins de cinq degrés).

2) PLUVIOMETRIE

Compte tenu de ce qui est écrit précédemment, la **station météorologique de référence** pour l'étude des données pluviométriques est celle de **Maur**s dans le Cantal qui représente le plus fidèlement à proximité de la zone de la zone d'étude l'influence du Massif Central.

C'est une station de type 2 (station automatique en temps réel avec transmission quotidienne des données) installée depuis le 1^{er} janvier 1998.

Les principales caractéristiques pluviométriques de cette station utilisées dans le cadre de l'étude sont rappelées dans le tableau ci-après.

Coefficients de Montana		Pluie journalière décennale (en mm)	Pluie moyenne interannuelle (en mm)
a ₁₀	b ₁₀		
13.056	0.768	74	1125

Tableau 1 :

pluviométriques pour la station de Maur

Données

Il est à noter que les coefficients de Montana indiqués, qui permettent d'élaborer les courbes Intensité – Durée – Fréquence par la loi de Montana, sont ceux pour une fréquence décennale et pour des durées d'averses comprises entre 2 et 6 heures.

B. CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

La topographie de la zone d'étude est typique de la région du Ségala, en particulier des **serres figeacoises** : il s'agit d'un relief relativement homogène formées de vallées en V étroites et parallèles les unes aux autres. Il offre des paysages contrastés entre fonds de vallées encaissées, sauvages et boisées et sommets de plateaux où domine une agriculture orientée aujourd'hui vers l'élevage bovin extensif.

L'accès entre les bourgs est difficile tant les liaisons transversales sont rares.

Les versants sont en forte pente, ils présentent une pente moyenne de l'ordre de 10% qui peut atteindre 30%.

C. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

Le territoire du bassin versant étudié est couvert par la carte géologique au 1/50 000ème de Lacapelle-Marival (n° 834) éditée par le B.R.G.M (Bureau d'études de Recherche Géologique et Minière).

Le sous-sol, typique des régions naturelles de la Châtaigneraie et du Ségala, est constitué successivement d'est en ouest de roches plutoniques et métamorphiques (granites et leucogranites), et de formations cristallophylliennes anciennes, essentiellement micaschisteuses.

De par cette nature cristalline du sous sol, la zone d'étude comme l'ensemble du Ségala, appartient au Massif Central et se singularise de l'ensemble du département Lotois qui appartient aux Causses et Limargues du bassin Aquitain.

Ces terrains cristallins et cristallophylliens sont propices au ruissellement et n'assurent pas d'effet régulateur. De plus, les sédiments y sont de type argileux, ce qui renforce le caractère imperméable.

Ce sous-sol ne permet donc pas la formation de nappes phréatiques et le réseau hydrographique est donc alimenté essentiellement par les eaux de ruissellement. On note plusieurs sources mais elles présentent des débits relativement faibles.

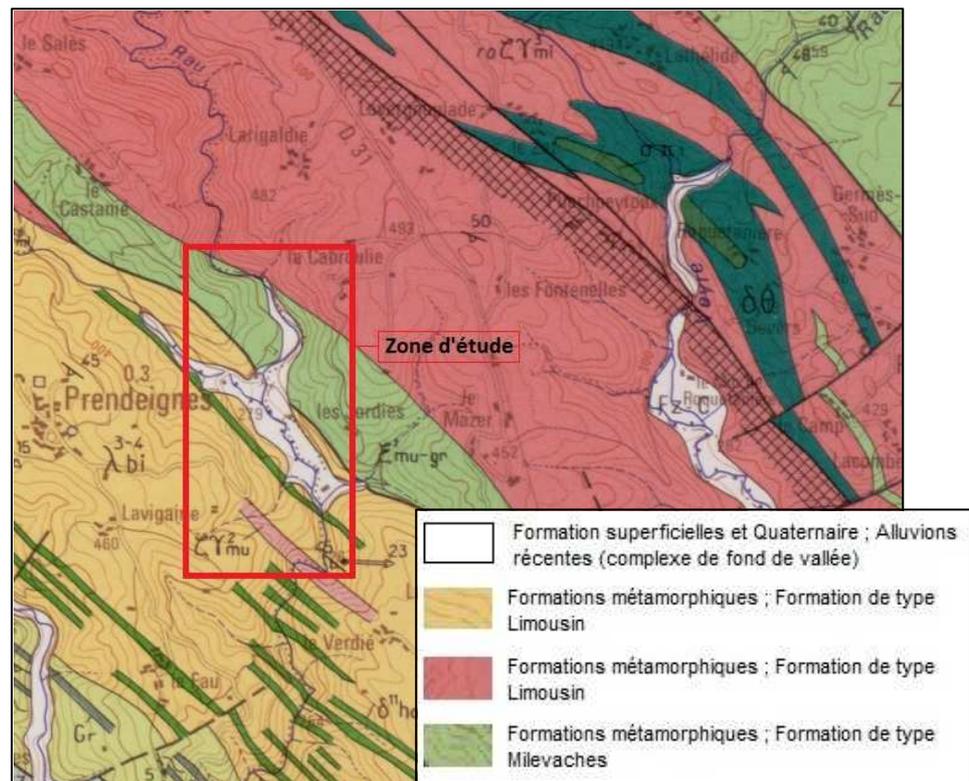


Figure 3 : Géologie du secteur d'étude (extrait de la carte géologique BRGM n°834 de Lacapelle-Marival au 1:50 000)

II.3. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE ET HYDROLOGIQUE

A. DESCRIPTION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DU BASSIN VERSANT

La zone d'étude correspond à un tronçon du Bervezou, cours d'eau qui naît sur la commune de Latronquière et qui se jette dans le Célé au droit de la commune de Viazac après un parcours de 24 kms. Cet ensemble s'inscrit dans la région du Ségala qui s'est vu attribuer l'appellation « pays des cent vallées » tant son réseau hydrographique est dense.

Le tronçon, objet de l'étude, représente un linéaire de 1500 mètres, de part et d'autre du seuil de Gabanelle, situé sur la commune de Prendeignes

Le bassin versant associé au Bervezou au droit de sa confluence avec le Crébanson, que nous prendrons durant toute l'étude comme le bassin versant de référence, s'étend sur environ 43 km², situé entièrement dans le Lot, dans la région du Ségala Lotois.

1) CARACTERISATION DU BASSIN VERSANT

Il s'agit dans ce paragraphe de caractériser le bassin versant, en particulier son aptitude au ruissellement. Pour cela, chaque sous bassin versant est décrit par des paramètres tels que :

- La superficie,
- La pente moyenne,
- L'occupation des sols et le coefficient de ruissellement global,
- Le temps de concentration.

a) SUPERFICIE ET PENTE

Le Bervezou, considéré au droit de la zone d'étude, à savoir à la confluence avec le Crébanson (cf. carte en page suivante), possède un bassin versant caractérisé par les données suivantes :

- une superficie de 42,75 km²,
- une longueur de plus long chemin hydraulique de 19,15 km,
- une pente moyenne de 2.16 %.

b) OCCUPATION DU SOL ET COEFFICIENT DE RUISSELEMENT

➤ Occupation des sols

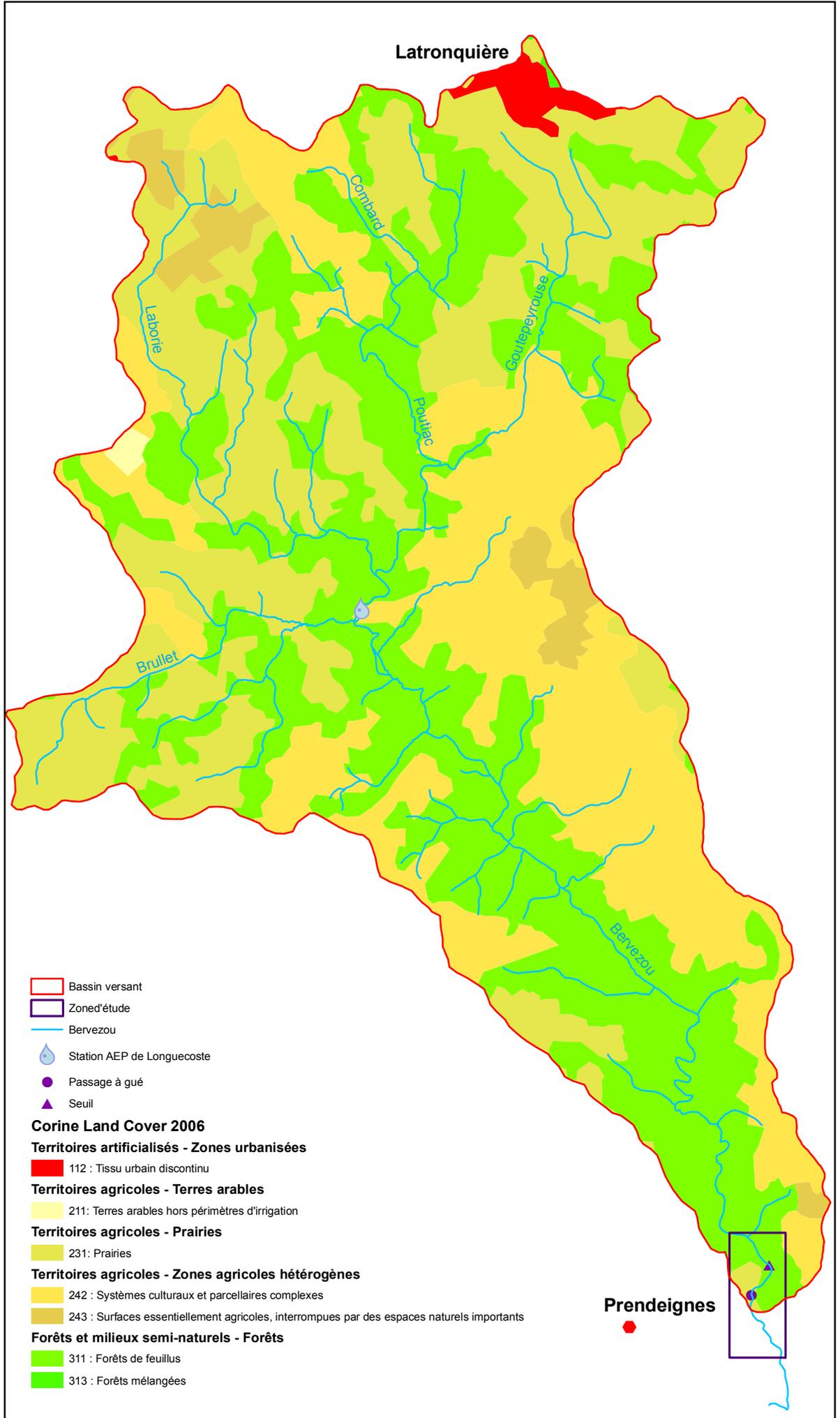
La description de l'occupation des sols a été réalisée par interprétation des données Corinne Land Cover (base de données européenne d'occupation biophysique des sols, mise à jour en 2006) et des photos aériennes complétée par les observations relevées lors de la visite de terrain. Elle prend en compte les zones urbanisées, les zones agricoles et cultivées, les prairies, les zones boisées ainsi que les plans d'eau.

Globalement, l'occupation du sol sur l'ensemble du bassin versant est **quasi exclusivement rurale** puisque on dénombre uniquement 1% d'espaces urbains, essentiellement la ville de Latronquière.

Les terres agricoles sont occupées majoritairement par les **prairies** (60% des surfaces du bassin versant) et les **forêts** (39% des surfaces du bassin versant).

Bassin versant du Bervezou

Cartographie de l'occupation des sols



sources, références :
Corine Land Cover 2006

➤ Coefficient de ruissellement

Les coefficients de ruissellement correspondent au rapport entre le volume ruisselé à l'exutoire du bassin versant et le volume précipité sur l'ensemble du bassin versant. En pratique, ils traduisent une forme d'imperméabilisation des sols, c'est-à-dire la fraction de l'eau précipitée qui ne peut s'infiltrer.

Leur évaluation prend en compte le type d'occupation des sols et leur capacité à infiltrer l'eau, variable selon l'état d'avancement de la végétation, la pluviométrie des jours précédents et la pente du terrain naturel, facteur très hétérogène sur le bassin versant étudié.

Ainsi, le bassin versant est décomposé de la manière suivante :

- 1 % de zones d'habitat diffus,
- 18 % de forêts à fortes pentes,
- 21 % de forêts à pentes moyennes
- 60 % de prairies (à faibles pentes)

Les types d'occupation du sol qui ont été considérés et les coefficients de ruissellement correspondants sont résumés dans le tableau suivant.

Type de sol	Zone d'habitat diffus	Forêts (fortes pentes)	Forêts (pentes moyennes)	Prairies
Coefficient de ruissellement Cr	45 %	26 %	19 %	25 %

Tableau 2 : Coefficients de ruissellement retenus pour les différents types de sols

Après pondération par les surfaces respectives, on trouve le coefficient de ruissellement global sur le bassin versant du Bervezou suivant :

$$\mathbf{Cr = 0,28}$$

c) *TEMPS DE CONCENTRATION*

Le temps de concentration d'un bassin versant correspond au temps mis par l'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire pour rejoindre ce dernier (réaction du bassin versant à la pluie). Il existe plusieurs formules expérimentales permettant de calculer le temps de concentration dans le cas de bassins versants ruraux.

Cinq formules ont été examinées dans le cadre de la présente étude.

Elles sont présentées dans le tableau ci-après.

	Formules	Paramètres
Sogreah	$tc = 0.90 \times \left(\frac{S}{C}\right)^{0.35} \times \frac{1}{\sqrt{I}}$	tc : temps de concentration (min) S : superficie du bassin versant (ha) C : coefficient de ruissellement I : pente moyenne du bassin versant (m/m)
Kirpich	$tc = 0.01947 \times L^{0.77} \times I^{-0.385}$	tc : temps de concentration (min) L : longueur du plus long chemin hydraulique (m) I : pente moyenne du bassin versant (m/m)
Passini	$tc = 0.14 \times \frac{(S \times L)^{1/3}}{\sqrt{I}}$	tc : temps de concentration (min) S : superficie du bassin versant (ha) L : longueur du plus long chemin hydraulique (m) I : pente moyenne du bassin versant (m/m)
Giandotti	$tc = 60 \times \frac{0.4 \times \sqrt{S} + 0.0015 \times L}{0.8 \times \sqrt{I \times L}}$	tc : temps de concentration (min) S : superficie du bassin versant (ha) L : longueur du plus long chemin hydraulique (m) I : pente moyenne du bassin versant (m/m)
Desbordes	$tc = 5.3 \times S^{0.3} \times I^{-0.38} \times C^{-0.45}$	tc : temps de concentration (min) S : superficie du bassin versant (ha) C : coefficient de ruissellement I : pente moyenne du bassin versant (m/m)

Tableau 3 : Formules de temps de concentration pour des bassins versants ruraux

La **formule de Sogreah** permet d'obtenir une bonne estimation du temps de concentration d'un bassin versant rural de petite taille (< 100 km²) en prenant en compte le maximum de facteurs influençant le ruissellement (surface, pente, coefficient de ruissellement traduisant l'occupation du sol). La **formule de Kirpich** a été établie en 1940 pour 7 bassins versants ruraux du Tennessee de pentes comprises entre 3 et 10 %.

Ces deux formules donnent des temps de concentration courts ce qui aura tendance à surestimer les débits calculés.

La **formule de Passini** et la **formule de Giandotti** ont également été élaborées pour des bassins versants ruraux. Elles sont en général choisies pour les bassins versants naturels car elles donnent un ordre de grandeur satisfaisant du temps de concentration.

Enfin, la **formule de Desbordes** s'applique à des bassins intermédiaires (pouvant être urbanisés). Elle présente l'intérêt de faire intervenir le coefficient de ruissellement et permet ainsi de suivre assez logiquement l'évolution du temps de concentration avec l'urbanisation progressive du bassin.

Les temps de concentration calculés à l'aide de ces formules pour la zone d'étude sont récapitulés dans le tableau suivant :

Méthode	Temps de concentration (en minutes)
Sogreah	188
Kirpich	169
Passini	412
Giandotti	202
Desbordes	115

Tableau 4 : Temps de concentration calculés

Les temps de concentration pour le bassin versant au droit de la zone d'étude sont donc compris entre 2 et 6 heures environ. Cette période sera utile par la suite afin de choisir les durées d'averses pour l'utilisation des coefficients de Montana.

Pour la suite, nous choisissons de garder le temps de concentration calculé par la formule de Passini. Il est en effet le plus représentatif lorsqu'il s'agit de bassins versants très ruraux, tels que celui de la zone d'étude.

B. DEBITS CARACTERISTIQUES

1) STATIONS HYDROMETRIQUES

Le cours d'eau considéré dans l'étude, le Bervezou, ne possède pas de station hydrométrique fiable permettant de calculer les débits caractéristiques. Il existe en effet une station au droit de la station de prélèvement d'eau potable de Longuecoste, sur la commune de Montet et Bouxal, mais les données existantes ne permettent pas de calculer avec assurance les valeurs recherchées.

Nous avons donc référencé cinq stations hydrométriques fiables autour de la zone d'étude, situées sur des cours d'eau possédant sensiblement les mêmes caractéristiques que le Bervezou, à savoir, d'est en ouest :

- La station de Conques, sur le Dourdou
- La station de Frayssinhes, sur la Bave
- La station de Figeac, sur le Célé
- La station de Viviez, sur le Rieu-Mort
- La station d'Orniac, sur le Célé

Chacune de ces stations hydrométriques dispose de données débitométriques sur une longue période et sur toute une année hydrologique qui permettent d'établir les valeurs des débits de crue de référence, d'étiage, classés, et mensuels moyens.

	Surface du bassin versant (km ²)	QMNA5 (m ³ /s)	Module (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)	Q ₅ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)
Viviez (1968 – 2011)	149	0.17	1.81	43	64	78	91	110
Frayssinhes (1988 – 2011)	183	0.60	4.23	46	60	70	79	90
Conques (1974 – 2011)	521	0.31	7.25	120	170	200	230	270
Figeac (1989 – 2005)	676	1.50	12.6	130	170	190	220	250
Orniac (1971 – 2011)	1194	1.70	18.2	250	360	430	500	590

Tableau 4 : Débits caractéristiques des stations hydrométriques de référence à proximité de la zone d'étude

2) DEBITS D'ETIAGE

Les débits d'étiage au droit de la zone d'étude sont obtenus par extrapolation des débits spécifiques d'étiage mesurés au droit des stations hydrométriques (débit spécifique moyen de 1.72 l/s/km²).

Ainsi, le débit d'étiage QMNA₅ au droit de la zone d'étude (S_{BV} = 43 km²) est de :

$$\text{QMNA}_5 = 0,074 \text{ m}^3/\text{s}$$

3) DEBITS DE CRUE

Les débits de crue sont déterminés à l'aide de deux méthodes :

- L'extrapolation des débits des stations de référence au droit de la zone d'étude
- L'évaluation des débits à l'aide de formules de calcul empiriques.

a) EXTRAPOLATION DES DEBITS DES STATIONS DE REFERENCE AU DROIT DE LA ZONE D'ETUDE

➤ Formule de Myer

Cette méthode, qui est en fait basée sur la formule de Myer, fait appel aux débits de crue des cours d'eau jaugés se trouvant à proximité de la zone d'étude et dont les caractéristiques sont proches de celles des cours d'eau de la zone d'étude.

Le débit s'exprime par :

$$Q_T = A \times S^B$$

- Q_T : débit de période de retour T recherché (m³/s),
- S : superficie du bassin versant considéré (km²),
- A et B paramètres calés grâce aux données hydrométriques disponibles dans le cadre de la présente étude.

Les paramètres A et B ont été calés sur les débits mesurés aux stations de référence de la zone d'étude. Pour cela, la formule précédente est linéarisée. Les cinq couples de valeur (Q_T , S) permettent de déterminer les coefficients A et B.

Le graphe ci-après illustre la méthode d'ajustement des coefficients A et B :

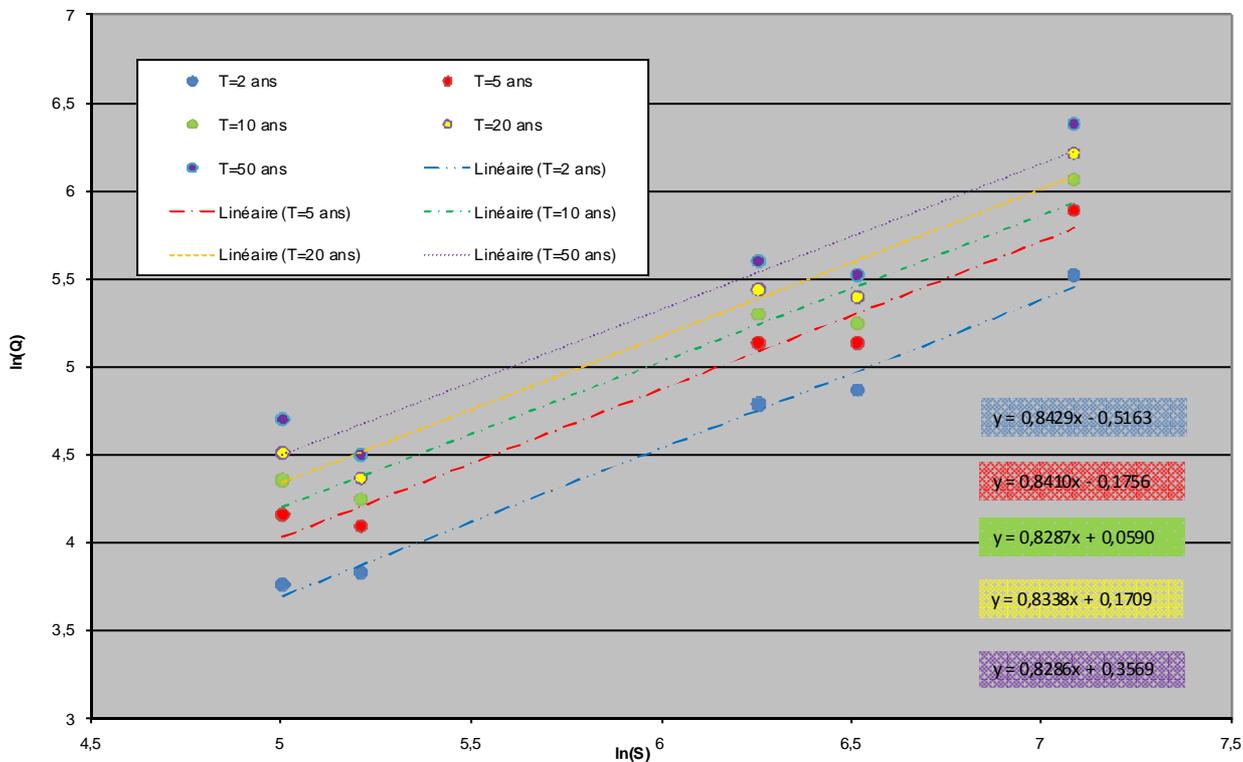


Figure 4 : Calage de la loi de Myer

Ainsi, sur le bassin versant de la zone d'étude, ce calage donne les équations suivantes pour l'évaluation des débits de crue :

- $Q_2 = 0.597 \times S^{0.843}$
- $Q_5 = 0.839 \times S^{0.841}$
- $Q_{10} = 1.061 \times S^{0.829}$
- $Q_{20} = 1.186 \times S^{0.834}$
- $Q_{50} = 1.429 \times S^{0.829}$

L'application de ces formules donne les valeurs suivantes au droit de la zone d'étude :

Débits des crues caractéristiques (en m ³ /s)	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀
	14,1	19,7	23,8	27,2	32,1

Tableau 5 : Débits des crues caractéristiques par extrapolation des stations de référence

➤ Formule de Crupédix jaugée

La formule de Crupedix jaugée est une autre méthode permettant d'extrapoler les débits de crue des stations de référence au droit de la zone. Cette formule est la suivante :

$$Q = Q_{ref} (S / S_{ref})^{0.8}$$

avec :

- Q et S, débit et surface de bassin versant du ruisseau,
- Q_{ref} et S_{ref} , débit et surface de bassin versant du cours d'eau de référence.

Cette formule permet donc d'obtenir cinq valeurs de chaque débit de crue, valeurs dont sera pris en compte ensuite la moyenne géométrique afin de se rapprocher au mieux de la réalité.

Les débits de crue (en m³/s) au droit de la zone d'étude sont les suivants :

Station de jaugeage de référence	Surface du bassin versant associé à la station (km ²)	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀
Viviez	149	15,8	23,6	28,7	33,5	40,5
Frayssinhes	183	14,4	18,7	21,9	24,7	28,1
Conques	521	16,2	23,0	27,1	31,1	36,5
Figeac	676	14,23	18,7	20,9	24,2	27,5
Orniac	1194	17,4	25,1	30,0	34,8	41,1
Gabanelle	42,75	15,6	21,8	25,7	29,7	34,7

Tableau 6 : Débits des crues caractéristiques par la formule de Crupédix jaugeée

b) *APPLICATION DES METHODES EMPIRIQUES DE DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE*

➤ **Débits de crue décennale**

Les débits de crue de fréquence décennale sont évalués à l'aide de trois méthodes :

- Méthode Socose
- Méthode Crupédix
- Méthode rationnelle

➤ Méthode Socose

Cette méthode a été mise au point au cours de la synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants ruraux réalisée par le ministère de l'Agriculture en 1980. Elle a porté sur l'étude de 20 à 30 crues simples observées pendant une quinzaine d'années sur chacun des 187 bassins versants retenus, de **superficie variant de 2 à 200 km²**.

Elle est bâtie sur une approche fondée sur la notion d'hydrogramme unitaire (étude simultanée de la valeur de la crue et de sa durée) et s'appuie sur une méthode de transformation « pluie-débit » décomposée en écoulement rapide et différé (étalement dans le temps du volume de la crue).

L'application de cette formule donne les résultats suivants au droit de la zone d'étude.

T=10ans	Ds (h)	Q ₁₀ (en m ³ /s)
Seuil de Gabanelle	15	22.3

Tableau 7 : Débit de crue décennale par la méthode Socose

➤ Méthode Crupédix.

Elle est établie par le CEMAGREF et s'exprime de la façon suivante (source : « *Synthèse nationale, fascicule 3* », CEMAGREF, 1980) :

$$Q_{10} = \left(\frac{P_{j10}}{80} \right)^2 \times R \times S^{0.8}$$

- Q₁₀ : débit décennal (m³/s)
- P_{j10} : pluviométrie journalière décennale de la région d'étude (mm)
- R : coefficient régional
- S : surface du bassin versant (en km²)

Cette formule a été calée sur 630 bassins versants de superficie comprise entre 10 et 2000 km² et est applicable sur l'ensemble du territoire français. Elle est donc plus adaptée aux **grands bassins versants**.

Les paramètres fondamentaux de cette formule sont la pluie journalière décennale (P_{j10}) et le coefficient régional R.

- La pluie journalière décennale à Maurs est **PJ10 = 74 mm**.
- Le coefficient régional R est pris égal à 1 par défaut. Après calage du coefficient régional **R** à partir des bassins versants jaugés proches de la zone d'étude, la valeur retenue **est égale à 1.49**.

L'application de la formule de Crupédix au droit de la zone d'étude donne le résultat suivant :

$$Q_{10} = 25,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ Méthode rationnelle.

Ce débit de pointe est évalué par application de la méthode dite « méthode rationnelle ». Celle-ci s'exprime par la formule suivante :

$$Q = \frac{C * I * S}{360}$$

Avec :

- Q : débit de pointe en m³/s ;
- C : coefficient de ruissellement (sans unité) ;
- I : intensité moyenne en mm/h de la pluie pendant la durée t_c ;
- S : superficie du bassin versant en ha.

L'intensité moyenne de la pluie est calculée par :

$$I = a * t_c^{-b}$$

Avec :

- I : intensité moyenne de la pluie en mm/h pendant la durée t_c ;
- t_c : temps de concentration du bassin versant en minutes ;
- a et b : coefficients de Montana représentatifs de la situation géographique du secteur d'étude et de la période de retour considérée. Dans le cas de cette étude, les coefficients de Montana considérés sont ceux de la station de Maurs pour une durée d'averse comprise entre 2 et 6 heures.

Les débits de crue décennale calculés par la méthode rationnelle pour les différents temps de concentration (cf. § A.1)c) sont :

Méthode de calcul de Tc	Sogreah	Kirpich	Passini	Giandotti	Desbordes
Débits de crue décennale (en m ³ /s)	40,1	43,4	21,9	37,9	58,4

Tableau 8 : Calcul du débit décennal avec la méthode rationnelle prenant en compte les différents temps de concentration

On observe, en comparaison avec toutes les méthodes précédentes, que le seul temps de concentration aboutissant à un débit décennal correct (du même ordre de grandeur) est celui calculé par la méthode de Passini. Nous excluons les autres et c'est donc celui que nous garderons pour l'ensemble de l'étude.

➤ **Débits de crue autres que la décennale**

Les débits de crue pour les périodes de retour différentes de la décennale (2, 5, 20 et 50 ans) sont connus pour les stations de jaugeage de référence. A partir de ces valeurs connues, il est donc possible d'établir leur proportionnalité avec le débit décennal tel que cela est indiqué dans le tableau ci-après.

Station	Q ₂ /Q ₁₀	Q ₅ /Q ₁₀	Q ₂₀ /Q ₁₀	Q ₅₀ /Q ₁₀
La Bave à Frayssinhes	0,66	0,86	1,13	1,29
Le Célé à Figeac	0,68	0,89	1,16	1,32
Le Dourdou à Conques	0,60	0,85	1,15	1,35
Le Rieu Mort à Viviez	0,55	0,82	1,17	1,41
Le Célé à Orniac	0,58	0,84	1,16	1,37
Moyenne	0,61	0,85	1,15	1,35

Tableau 9 : Coefficients pour la détermination des débits de crue (non décennale)

L'application de ces coefficients de proportionnalité aux valeurs de débit de fréquence décennale estimées à l'aide des trois méthodes empiriques (méthode Socose, formule de Crupedix et méthode Rationnelle) donne les débits caractéristiques suivants sur le Bervezou au droit de la zone d'étude :

On trouve ainsi, après application du coefficient de proportionnalité calculé :

Débits des crues caractéristiques (en m ³ /s)	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀
Méthode SOCOSE	13,7	19	22,3	25,7	30
Formule CRUPEDIX	15,8	21,9	25,7	29,6	34,6
Méthode RATIONNELLE	13,5	18,7	21,9	25,3	29,5

Tableau 10 : Débits caractéristiques de crues estimés par application des formules empiriques

c) **SYNTHESE DES CALCULS DE DEBITS DE CRUE**

Le tableau suivant récapitule toutes les valeurs de débit de crue calculées pour la zone d'étude selon les différentes formules. Les moyennes de ces valeurs constituent les débits de crue de la zone d'étude à utiliser par la suite.

Débits en m ³ /s	Extrapolation	Crupedix jaugée	Socose	Crupedix	Rationnelle	Moyenne
Q ₂	14,1	15,6	13,7	15,8	13,5	14,5
Q ₅	19,7	21,8	19	21,9	18,7	20
Q ₁₀	23,8	25,7	22,3	25,7	21,9	24
Q ₂₀	27,2	29,7	25,7	29,6	25,3	27,5
Q ₅₀	32,1	34,7	30	34,6	29,5	32

Tableau 11 : Synthèse des calculs des débits de crue

II.4. CONTEXTE HYDRAULIQUE

A. DESCRIPTION GENERALE DE L'ETAT ACTUEL

Le contexte hydraulique de la zone d'étude est marqué par la présence de trois ouvrages qui influent fortement sur les écoulements et la morphologie du cours d'eau, créant en amont des zones de rétention et en aval de forts affouillements. La pente du lit du cours d'eau est aussi fortement influencée.

1) OUVRAGES HYDRAULIQUES

a) SEUIL DE GABANELLE

Le premier ouvrage rencontré sur la zone est le seuil de Gabanelle. Il ne présente aujourd'hui plus aucune utilité puisque la prise d'eau potable qu'il permettait d'alimenter est abandonnée.

Il mesure environ 18,7 m de large, répartis en deux parties rectilignes. La première, en rive gauche, est perpendiculaire à l'écoulement et mesure 6,2 m. La seconde est inclinée et forme un angle de 27° vers l'amont avec la perpendiculaire à l'écoulement.

Le seuil forme un obstacle à l'écoulement caractérisé par une hauteur de chute d'environ 1,5m. C'est pourquoi la chaussée a été équipée d'une passe à poissons en 2000, située en rive droite.



Figure 5 : Seuil de Gabanelle (rive droite et rive gauche)

La majorité du débit transitant via le seuil se fait à travers la passe à poissons dont la cote d'arase est la plus basse. Lorsque la capacité d'écoulement de la passe est atteinte, le déversement sur le seuil se fait préférentiellement, comme le montrent les photos ci-dessus, sur la partie située en rive gauche car plus basse.

b) PASSAGE A GUE ET PONCEAU

Le deuxième ouvrage hydraulique de la zone d'étude est le passage à gué situé à l'aval du seuil. Il a été aménagé par la commune de Predeignes pour permettre le franchissement du Bervezou par les engins agricoles et volumineux. En effet, un pont existe en aval immédiat du passage à gué mais il ne permet pas le franchissement avec des engins lourds et/ou encombrants. Ce dernier permet la traversée par les véhicules de taille normale.



Figure 6 : Passage à gué et ponceau

2) FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE GENERAL

a) BASSES EAUX :

Le Bervezou ne présente pas de situation d'assec au cours de l'année, pas même lors des périodes d'étiage. La continuité des écoulements est assurée, y compris sur la zone d'étude, en particulier au droit des ouvrages.

b) HAUTES EAUX

En ce qui concerne les crues caractéristiques et les événements exceptionnels, les riverains assurent que le lit majeur est rarement sollicité sur la zone d'étude, voire jamais, excepté sur la prairie située en rive droite en aval du seuil.

La route se trouvant au droit du pont n'a à leur yeux jamais été inondée. Le cours d'eau au niveau de la zone d'étude possède un lit mineur capable d'accepter l'écoulement provoqué par de fortes crues. Par exemple, la crue de 2003 (quasiment cinquantennale aux vues des valeurs des stations alentours) a seulement mis en eau la prairie précédemment citée.

B. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL ET DE L'IMPACT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

L'objectif de l'analyse hydraulique est d'établir un constat relatif aux conditions d'écoulement des eaux, d'analyser la capacité des différents ouvrages hydrauliques et de calculer les hauteurs d'eau en tout point du réseau hydrographique.

Ce diagnostic s'appuie sur les informations recueillies lors des **reconnaitances de terrain et des entretiens avec les riverains** ainsi que sur une **modélisation numérique** à l'aide du logiciel XP-SWMM.

Cette modélisation se fait de manière unidimensionnelle et/ou pseudo 2D en régimes transitoire (pour la simulation de crues caractéristiques) et permanent (afin d'évaluer les capacités érosives du cours d'eau pour un débit donné) dans les lits mineur et majeur du Bervezou. Elle permet d'affiner l'analyse hydraulique en fonction des événements modélisés et permettra par la suite le dimensionnement des propositions d'aménagements.

Ce modèle est régi par la résolution des équations de Barré Saint-Venant.

1) DESCRIPTION DU MODELE

a) *ARCHITECTURE DU MODELE*

Le modèle intègre la topographie du cours d'eau. Pour cela, il est construit à partir des profils en travers levés le 6 juin 2011.

La localisation des profils en travers est donnée ci-après, ainsi que le profil en long général de la zone d'étude. On remarque sur ce dernier la forte influence du seuil de Gabanelle sur l'homogénéité de la pente, avec la présence d'une zone de remous dans laquelle apparaît un fort apport sédimentaire. Le même phénomène se crée en amont du passage à gué. La fosse est cependant moins remplie car cet ouvrage hydraulique est beaucoup plus récent.

b) *CONDITIONS AUX LIMITES*

- Al'amont :

Les conditions aux limites amont sont constituées par les débits calculés dans la partie hydrologie.

- En condition d'étiage ou de basses eaux (jusqu'au module), les simulations sont faites en régime permanent, c'est-à-dire à débit constant.
- En condition de crues ou de hautes eaux, les simulations sont faites selon deux configurations :
 - La première est réalisée en régime permanent et permet d'évaluer les capacités érosives maximales du cours d'eau en tout point du linéaire étudié, et ce pour chaque débit de crue.
 - La deuxième s'effectue en régime transitoire en injectant en amont du modèle un hydrogramme simplifié (car nous ne possédons pas d'hydrogramme de référence) correspondant à une crue de durée $T_c/3$, et une décrue de durée $2 \cdot T_c/3$ (T_c = temps de concentration calculé dans la partie hydrologie).

Il est cependant nécessaire d'imposer une durée suffisante au débit moyen (module : 0,9 m³/s) afin que le système soit en fonctionnement réel avant l'arrivée de la crue et que l'écoulement se stabilise à un fonctionnement moyen naturel. L'hydrogramme de crue est donc le suivant (exemple de la crue quinquennale, à adapter avec le bon débit maximal) :

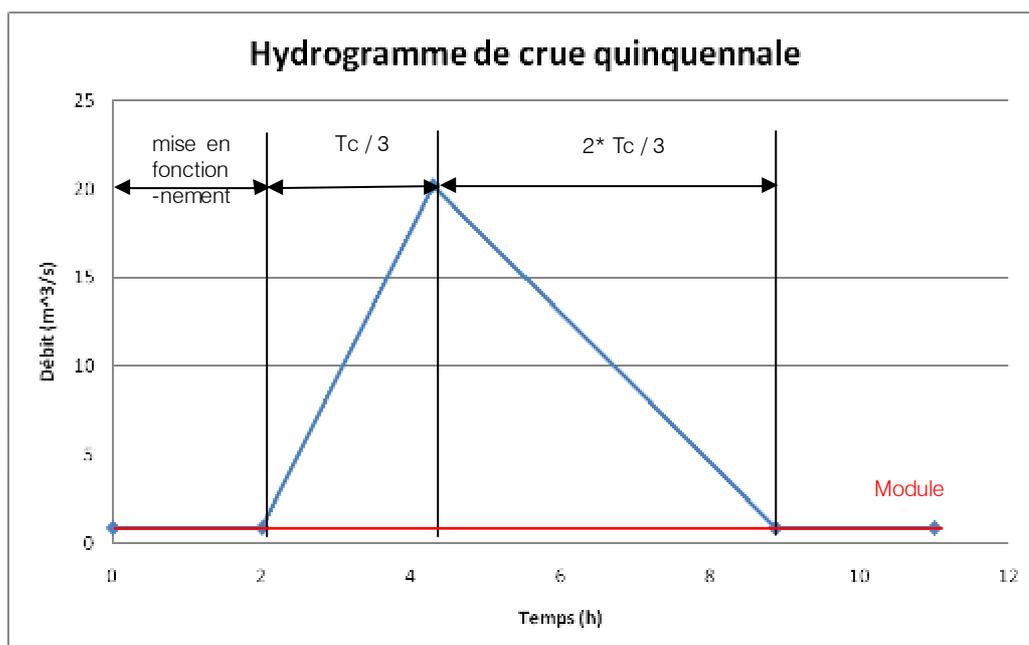


Figure 7 : Exemple d'hydrogramme de crue

- A l'aval :

En ce qui concerne la condition à l'aval de la zone d'étude, la hauteur d'eau imposée sera égale à la hauteur normale, car le régime d'écoulement est libre.

2) CALAGE DU MODELE

a) HYPOTHESES

Le calage consiste à adapter les paramètres du modèle afin qu'ils représentent le plus fidèlement possible la réalité observée lors des événements pluvieux constatés. Nous n'avons cependant dans l'étude présente aucun repère ni aucune donnée permettant de connaître les différents niveaux d'eau naturels.

C'est pourquoi le calage du modèle a été effectué en conditions de basses eaux en se reportant aux hauteurs d'eau minutieusement relevées lors des mesures topographiques et en simulant le débit observé les 1^{er} et 6 juin 2011, à savoir 174 l/s.

En effet, le Conseil Général du Lot nous a procuré les hauteurs d'eau mesurées pour ces deux journées à la station de jaugeage de Longuecoste et si l'on prend en compte la courbe de tarage établie à cette station, cela correspond à un débit de 0,174 m³/s. Du fait qu'aucun apport n'est à prendre en compte entre cette station et la zone d'étude et qu'il n'a pas plu durant cette période, il est possible d'estimer que le débit à Longuecoste est le même qu'au droit de la zone d'étude.

Les paramètres qui permettent le calage du modèle sont :

- Le coefficient de frottement (Strickler) du lit mineur et du lit majeur des cours d'eau qui dépend de l'état des berges, de la nature des matériaux, de la géométrie du cours d'eau et des principaux axes d'écoulement ;
- Le coefficient de perte de charge dû à la sinuosité du cours d'eau ;
- Le coefficient de perte de charge des ouvrages qui est fonction de leur géométrie.

b) RESULTATS

➤ D'un point de vue des paramètres utilisés

Les paramètres ont été ajustés afin d'obtenir les résultats les plus cohérents et proches des hauteurs observées. Il est important dans cette phase de garder une vision critique afin de ne pas utiliser de paramètres inadaptés.

A ce titre, il est intéressant de comparer les paramètres retenus dans le cadre du calage avec les valeurs de référence issues des ouvrages bibliographiques. Cette comparaison met en évidence une cohérence entre les coefficients utilisés pour le calage et les valeurs de référence comme le montre les tableaux ci-après.

Lit mineur	Strickler modèle	Strickler référence
Zone d'écoulement lent, granulométrie faible (mouille ou zone de retenue)	40	38 - 40
Granulométrie moyenne	30	30 - 33
Fond très irrégulier, granulométrie forte	24	23 - 26
Zone de rapides, granulométrie très forte	10	10 - 15
Béton	71	70

Tableau 12 : Calage du coefficient de Strickler sur le lit mineur

Lit majeur	Strickler modèle	Strickler référence
Prairie	30	20 - 30
Forêt	8	< 10

Tableau 13 : Calage du coefficient de Strickler sur le lit majeur

D'un point de vue de la ligne d'eau

La simulation de l'écoulement du Bervezou dans son fonctionnement actuel pour un débit de 174 L/s, et possédant les caractéristiques énoncées précédemment nous fournit les résultats suivants :

Profil	Profondeur maximale calculée (cm)	Profondeur maximale observée (cm)	Différence (cm)
PT1	17.2	9.8	7.4
PT2	28.8	-	-
PT3	21.2	20	1.2
PT4	12.7	11.7	1
PT5	19.2	20	-0.8
PT6	12.5	20	-7.5
PT7	19.6	-	-
Retenue passage à gué 1	59.8	60.5	-0.7
Retenue passage à gué 2	51.4	52	-0.6
Retenue passage à gué 3	35.3	36	-0.7
PT8	19.5	15	4.5
PT9	18.5	40	-21.5

Tableau 14 : Résultats de la simulation de calage

A la lecture du tableau précédent, on note une erreur élevée sur les profils en travers 1, 6 et 9. Ceci est dû au fait que ces profils sont situés dans des zones de radiers et rapides, donc très hétérogènes d'un point de vue morphologique avec des écoulements à forte

vitesse et faible hauteur. Il aurait donc été nécessaire de réaliser plusieurs profils en travers sur chacune de ces zones de manière à représenter le plus fidèlement l'hétérogénéité de la géométrie du cours d'eau. Ce qui n'était pas faisable d'un point de vue financier dans le cadre de la présente étude.

Si l'on excepte ces zones présentant des profils en travers à forte hétérogénéité géométrique, les résultats du calage mettent en évidence un écart absolu en moyenne de l'ordre de 1.1 cm, soit une erreur relative inférieure à 5% par rapport au niveau d'eau observé.

En ce qui concerne les profils 3 à 5, les erreurs sont relativement faibles, de l'ordre d'un centimètre, ce qui est satisfaisant. Ces profils se trouvent de part et d'autre du seuil de Gabanelle, ce qui signifie que le comportement de cet ouvrage a été bien modélisé.

Au droit de cet ouvrage, les simulations confirment également les observations faites sur site à savoir que pour le débit appliqué, c'est-à-dire en conditions d'étiage, l'essentiel de l'écoulement se fait par la passe à poisson, un débit moindre circulant sur la partie gauche du seuil et seul un filet d'eau transite par la partie droite.

En effet, les simulations nous donnent les débits suivants qui transitent au droit du seuil : 106 L/s par la passe à poisson, 67 L/s par la partie gauche du seuil, et enfin 2 L/s sur la partie droite du seuil. La modélisation de l'ensemble seuil – passe à poisson est donc satisfaisante.

En ce qui concerne l'ensemble passage à gué – pont (retenue passage à gué jusqu'au PT8), la modélisation est bonne. En effet, les points de repère que nous possédons sont ceux de trois profils situés dans la retenue du passage à gué. Pour ces derniers, les hauteurs d'eau calculées sont très proches de celles observées.

3) SIMULATIONS DANS L'ETAT ACTUEL

Le comportement du modèle ainsi calé, c'est-à-dire avec les caractéristiques hydrologiques et hydriques rencontrées les 1er et 6 juin 2011, a été testé pour le débit d'étiage (QMNA5) et les débits de crue caractéristiques.

a) ETIAGE

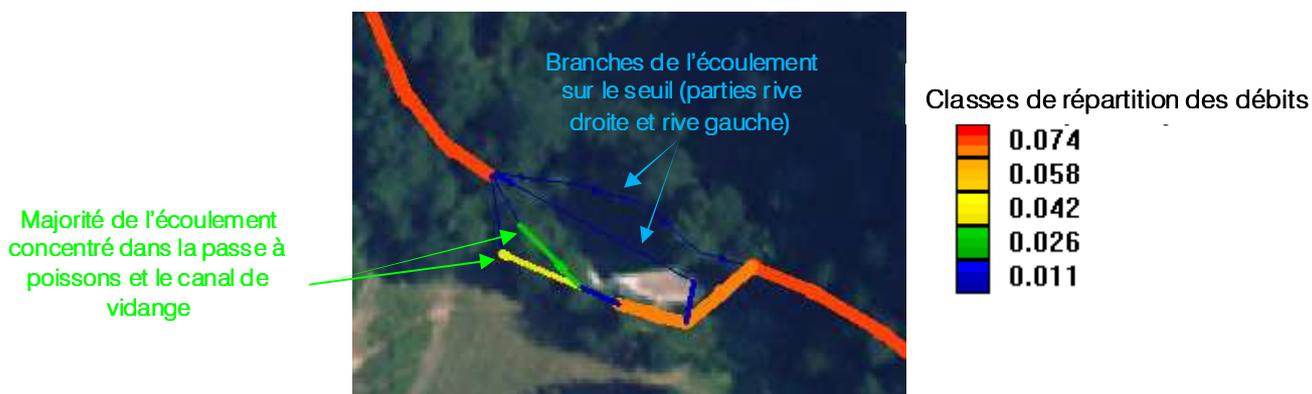
Le modèle a été testé en période d'étiage en injectant un débit de 74 L/s, correspondant au QMNA5 (cf. partie hydrologie (cf. §II.3.B.2)), et en simulant le comportement du cours d'eau. Les résultats de cette simulation sont donnés dans tableau ci-après.

Tronçon	Profondeur maximale (cm)	Débit (L/s)
PT1	12.4	74
PT2	21.1	74
PT3	14.9	74
PT4	7.2	4
Passe à poissons	47.7	70
Seuil partie gauche	0.6	4
Seuil partie droite	0	0
PT5	13.2	74
PT6	6.7	74
PT7	14.7	74
Retenue passage à gué 1	46.9	74
Retenue passage à gué 2	30.9	74
Retenue passage à gué 3	19.9	74
Passage à gué	13.1	74
Transition Passage à gué - Pont	9.4	74
Pont	10.7	74
PT8	14.3	74
PT9	11.5	74

Tableau 15 : Résultats de la simulation dans l'état actuel à l'étiage

Les simulations mettent en évidence les conclusions suivantes :

- A l'étiage, comme le montre ci-après la vue en plan extraite du modèle, le seuil concentre un très faible écoulement (4 L/s). La quasi-totalité de l'écoulement s'effectue par la passe à poissons et le canal de vidange qui reçoivent 70 L/s. Ceci confirme les observations des riverains.



- Une analyse plus précise prenant en compte la géométrie de la passe à poissons (document mis à disposition dans le cadre de l'étude) montre que la hauteur d'eau en aval de la passe pour les débits faibles à moyens est suffisante au passage de la faune piscicole. En effet, la hauteur d'eau au pied de la structure est de 48 cm alors que la hauteur à franchir (différence entre la cote d'arase de la première échancrure et la cote du fil d'eau aval) est de 10,5 cm. La faune piscicole concernée (truite fario) peut donc aisément franchir cette hauteur (jusqu'à 30 cm), et la fosse d'appel est suffisante (elle doit être au minimum égale au double de la hauteur à sauter).

b) HAUTES EAUX / CRUES

Les simulations ont été effectuées en régime transitoire en injectant les hydrogrammes de crue tels que présentés auparavant avec des débits de pointe correspondants aux débits calculés dans la partie hydrologie (cf. § II.3.B.3)

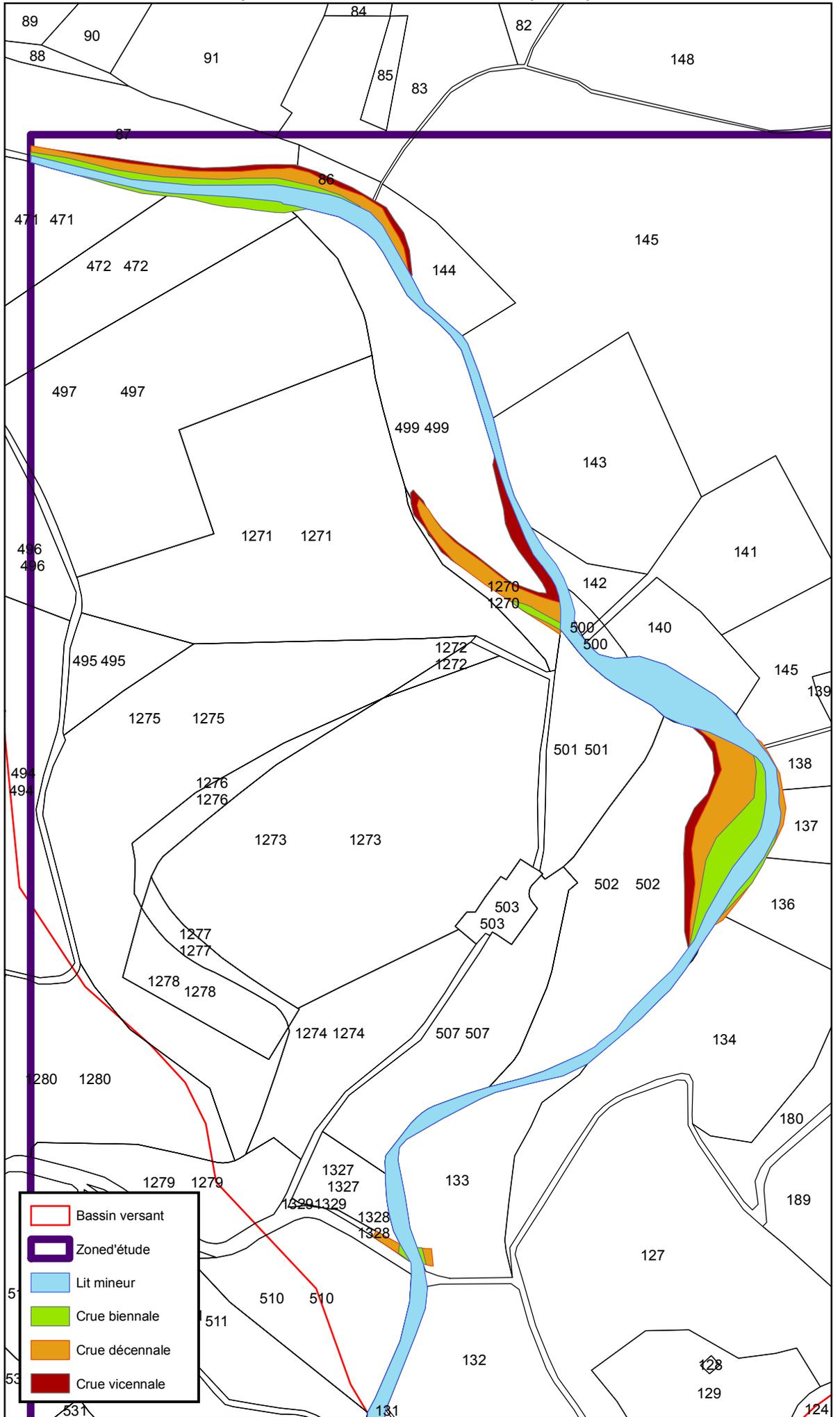
Ces simulations ont été effectuées pour 4 débits de crue, de la crue biennale (théoriquement celle se rapprochant le plus de la crue morphogène) à la crue vicennale.

Les résultats semblent probants en comparaison des informations des riverains, à savoir que :

- Le seuil de Gabanelle n'a aucun effet de régulation et d'écrêtement des débits. Ceci s'explique du fait que la retenue est presque totalement remplie par les sédiments si bien qu'il n'y a pas de marnage et de volume disponible pour l'écrêtement des volumes.
- Les seules zones de débordement sont les suivantes :
 - A l'amont du seuil de Gabanelle, au droit de la prairie humide qui est inondée par l'aval en raison du remous induit par le seuil.
 - A l'aval du seuil, les débordements se concentrent dans la prairie située en rive droite, et ce dès la crue biennale, avec une extension de la zone inondable limitée par un talus naturel.
- Le système composé du seuil de Gabanelle et de la passe à poissons est totalement noyé dès la crue biennale. Le seuil ne joue aucun rôle d'écrêtement des crues. En effet, sa cote d'arase est peu au-dessus du niveau des sédiments agglomérés dans la retenue si bien qu'à la moindre montée du niveau des eaux l'ensemble des écoulements se déverse sur le seuil sans aucune atténuation.
- Il n'existe aucun débordement au droit du passage à gué. On observe une montée des eaux dès le module sur les chemins de part et autre du passage à gué, cependant sans conséquence car n'atteignant pas la route, même pour la crue vicennale.
- Le tablier du pont est dimensionné de telle façon qu'il peut faire transiter jusqu'à environ 50 m³/s, ce qui est amplement suffisant pour le Bervezou.

La carte en page suivante donne l'emprise des zones inondables pour les différentes crues simulées.

Cartographie des crues



C. SYNTHÈSE SUR LE CONTEXTE HYDRAULIQUE : CE QU'IL FAUT RETENIR

Le contexte hydraulique ne constitue pas un enjeu fort de la zone d'étude :

- Le Bervezou est très peu débordant et il n'existe pas de bâti vulnérable aux crues ;
- La retenue en amont du seuil de Gabanelle est comblée presque entièrement par les sédiments si bien que le seuil ne joue aucun rôle d'écrêtement des débits et sa suppression ne se traduira pas par une augmentation des débits et de la ligne d'eau à l'aval.

Le 2^{ème} point marquant mis en évidence par l'analyse hydraulique est lié au fonctionnement de la passe à poissons dont l'implantation et le dimensionnement sont adaptés au besoin de la faune piscicole cible, à savoir la truite fario.

Nous verrons cependant plus loin que ce fonctionnement potentiellement bon et adapté est fortement pénalisé par les conditions d'accès à la passe pour la faune piscicole (cf. II.6.B).

II.5. CONTEXTE HYDROMORPHOLOGIQUE

A. DECOUPAGE DE LA ZONE D'ETUDE

1) DECOUPAGE DE LA ZONE D'ETUDE EN TRONÇONS

Une analyse des caractéristiques physiques (morphologie et hydrologie) d'un cours d'eau s'appuie en premier lieu sur une sectorisation hydromorphologique de la zone concernée. Cette sectorisation a pour objet de distinguer des entités spatiales présentant un fonctionnement hydromorphologique homogène afin de mettre en place un cadre d'analyse permettant des interprétations équilibrées et une évaluation des altérations pertinentes.

L'unité de référence de cette sectorisation correspond au **tronçon homogène**. Le découpage de ces unités s'appuie sur les paramètres suivants qui influent la dynamique des cours d'eau :

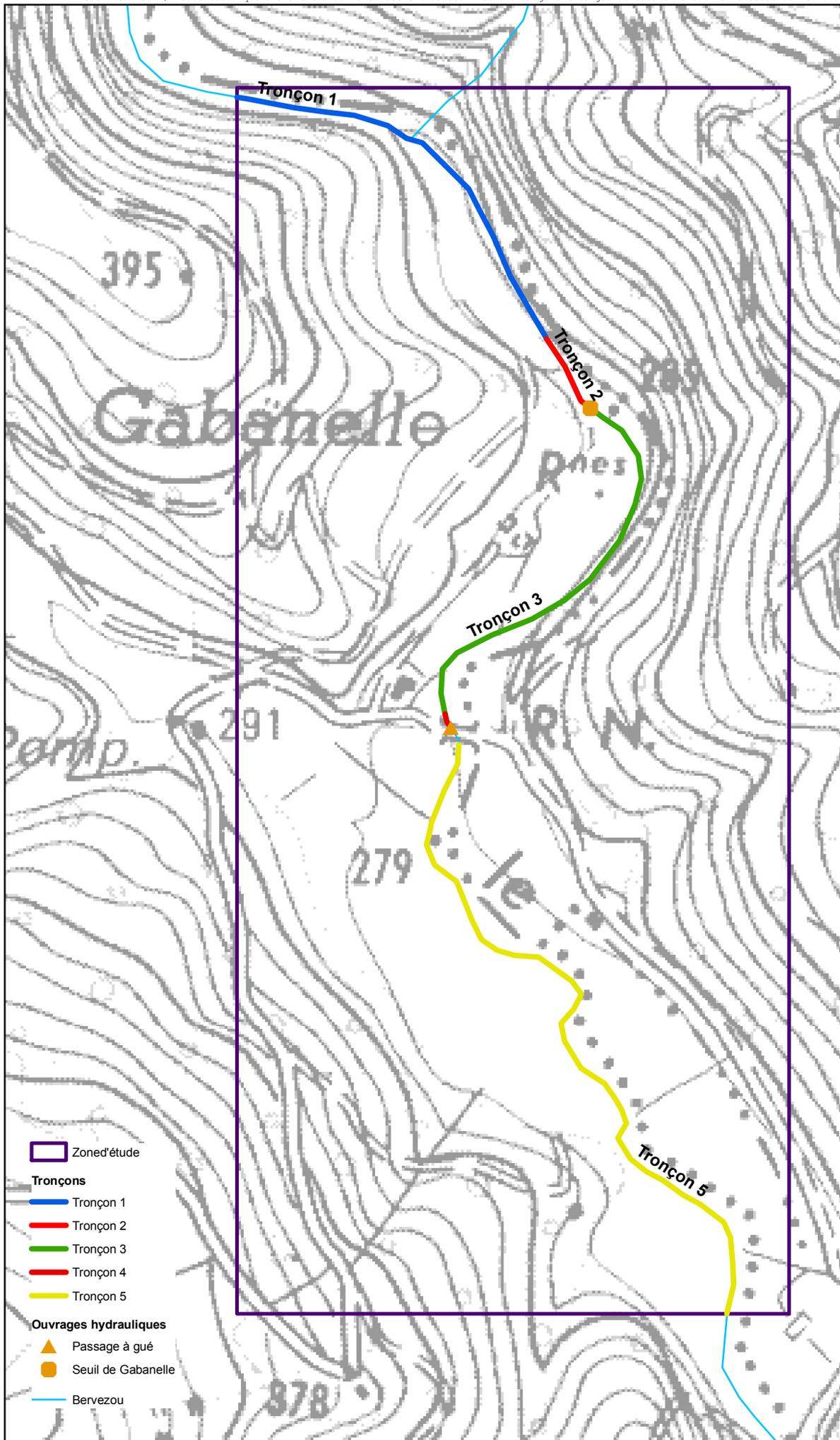
- Changements de régime hydrologique
Ce paramètre correspond aux confluences avec les affluents de rang n-1 dont l'impact sur le régime hydrologique est confirmé par les observations sur le terrain.
- La largeur du fond de la vallée alluviale :
Cette variable permet de représenter l'extension maximale du lit majeur et d'appréhender l'espace de liberté du cours d'eau.
- La forme du fond de vallée
Elle permet de renseigner la sinuosité et d'apprécier l'énergie du cours d'eau, notamment sur sa capacité de mobilisation et de transport des sédiments.

En ce qui concerne la zone d'étude, ces paramètres ne varient que très peu. En effet, la sinuosité ne varie pas beaucoup, elle suit les contours de l'axe de la vallée. La pente, quant à elle, subit des variations uniquement liées à la présence des deux ouvrages hydrauliques (seuil et passage à gué), qui sont donc des critères anthropiques. A propos des paramètres hydrologiques, le Bervezou conserve le même ordre de Stralher sur l'ensemble de la zone d'étude et ne reçoit aucun apport significatif. Enfin, le substrat constituant le fond de vallée correspond sur l'ensemble du linéaire à la bande d'alluvions Fz sur la carte géologique.

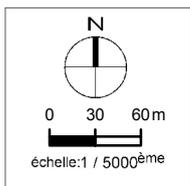
Par conséquent, les seuls paramètres permettant de distinguer des tronçons au sein de cette zone homogène sont d'ordre anthropique et constitués par la présence des deux ouvrages transversaux ayant un impact sur la dynamique fluviale. Nous départageons ainsi la zone d'étude en cinq tronçons (Cf. page suivante), notés T1 à T5.

- Le tronçon n°1 s'étend de l'amont de la zone d'étude jusqu'à la retenue du seuil de Gabanelle, soit sur 400ml.
- Le tronçon n°2 est défini par la retenue du seuil de Gabanelle. Il mesure environ 75ml.
- Le tronçon n°3 débute à l'aval du seuil et se termine en l'amont de la retenue créée par le passage à gué. Sa longueur est de 400ml.
- Le tronçon n°4 représente la zone de retenue du passage à gué, mesurant 12ml environ.
- Le dernier tronçon, n°5, commence à l'aval du pont et s'étend jusqu'à l'aval de la zone d'étude, soit sur 700ml.

Découpage de la zone d'étude en tronçons homogènes



sources, références :
Scan 25, IGN



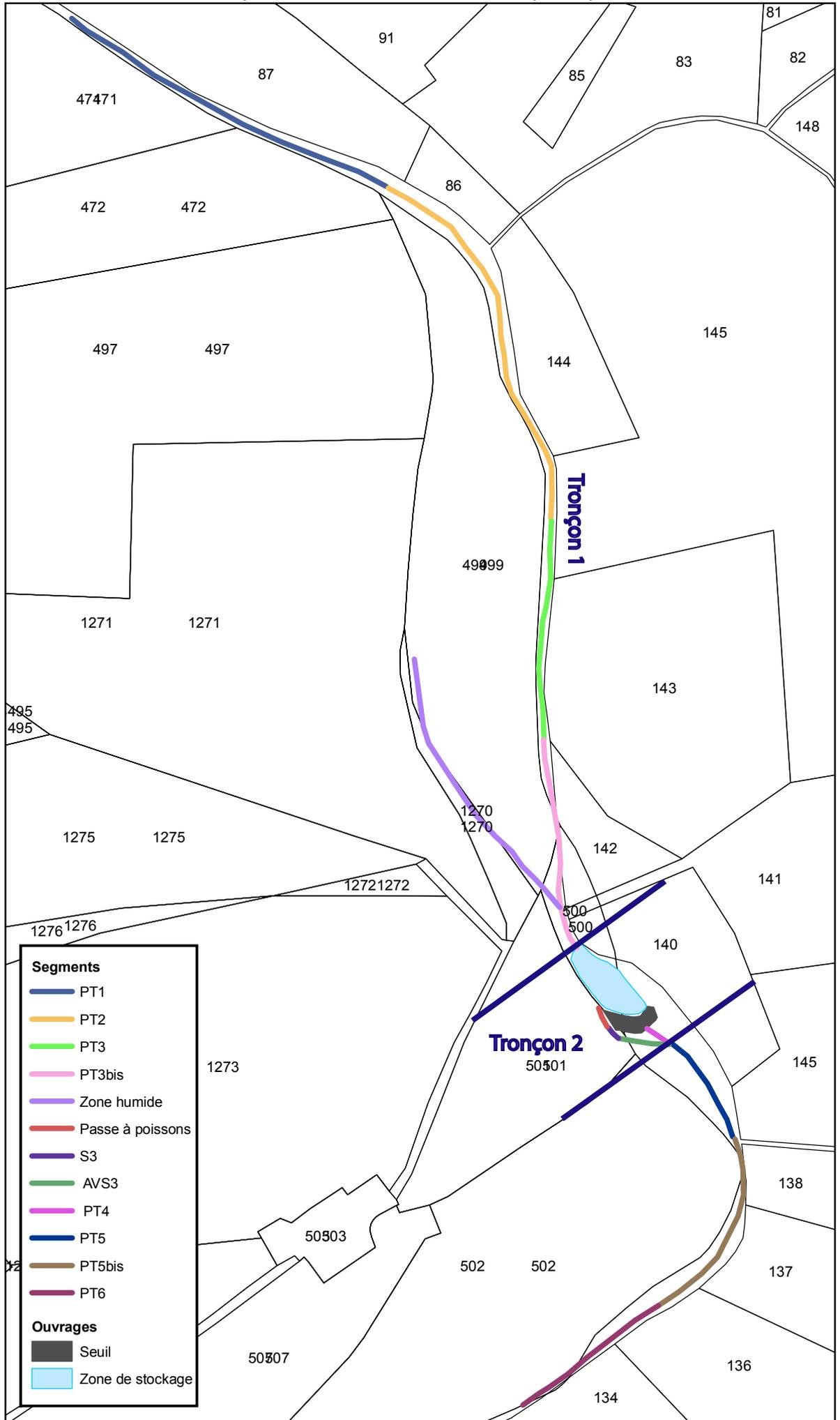
2) *DECOUPAGE DE LA ZONE D'ETUDE EN SEGMENTS*

Les limites de tronçons ont ensuite été redécoupées à partir des observations terrains qui font apparaître la morphologie des cours d'eau, les faciès d'écoulement, la ripisylve, le substrat...

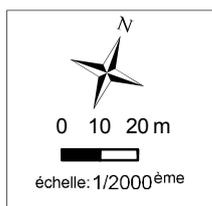
Ainsi, 27 segments (cf. pages suivantes) ont été découpés en tenant compte :

- Du gabarit du cours d'eau donné par les profils en travers levés
- Du faciès d'écoulement
- De l'occupation des sols riverains du cours d'eau

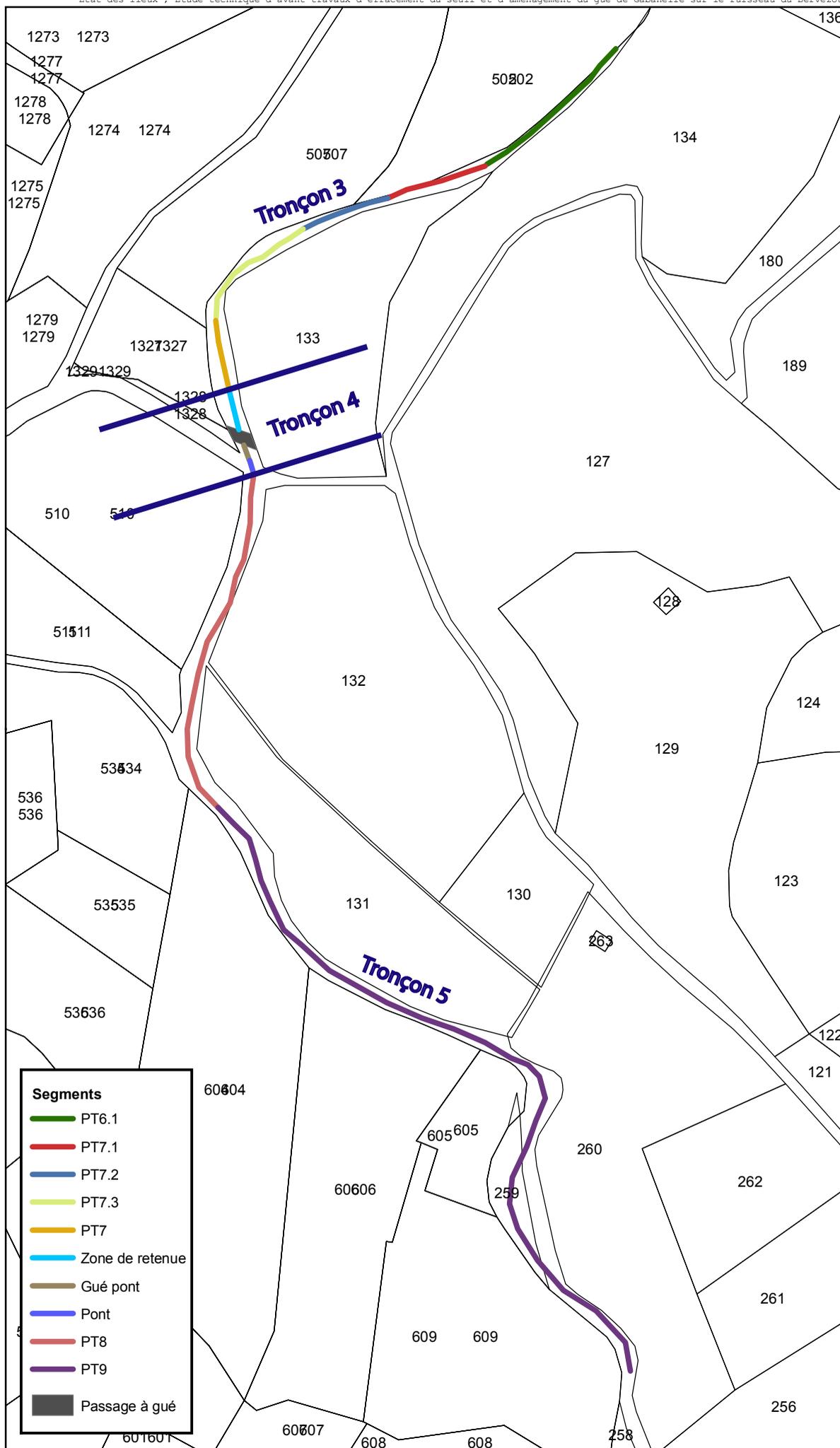
Découpage de la zone d'étude en segments (amont)



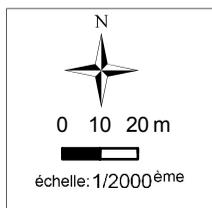
sources, références :
Cadastré des communes
de Predeignes, Linac
et Saint-Cirgues



Découpage de la zone d'étude en segments (aval)



sources, références :
Cadastré des communes
de Predeignes, Linac
et Saint-Cirgues



B. CARACTERISATION DU COURS D'EAU

Le Bervezou a fait l'objet, pour chacun des cinq tronçons homogènes, d'une caractérisation concernant son hydromorphologie sur la base des trois thématiques suivantes :

- La **morphologie** du cours d'eau comprenant une description de la géométrie du lit mineur (gabarit, sinuosité,...), de sa dynamique (style fluvial, ...) mais aussi des berges (nature et substrat, stabilité,...) et de la ripisylve (adaptation au bord de cours d'eau, état sanitaire, densité et diversité,...).
- Les **flux liquides**, autrement dit la description des conditions d'écoulements et des faciès d'écoulement, quel que soit le régime hydrologique (étiages et crues).
- Le **transport solide** comprenant la description de la granulométrie et une caractérisation des phénomènes érosifs et de transport sédimentaire.

1) MORPHOLOGIE

a) ETAT DU LIT MINEUR ET DES BERGES

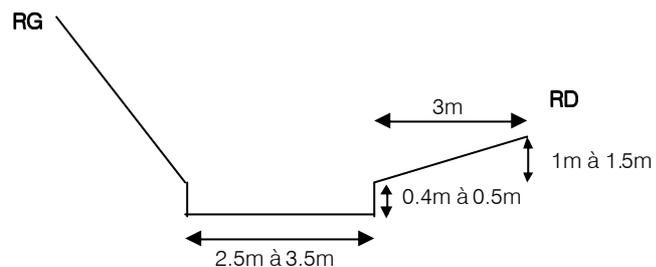
➤ Tronçons T1, T3, T5 :

Ces tronçons correspondent aux linéaires de cours d'eau non influencés par les ouvrages hydrauliques.

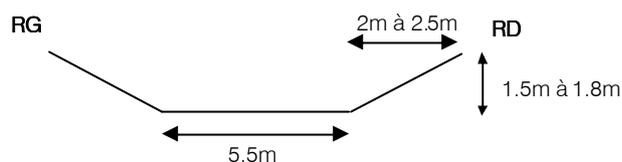
Les indices de sinuosité sont respectivement de 1.10, 1.20 et 1.16, ce qui confère au cours d'eau un caractère **sinueux**.

Les pentes longitudinales sont comprises entre 1.2% pour le tronçon T5 et 1.5% pour le tronçon T3. Ce sont donc des pentes relativement importantes représentatives des **cours d'eau de montagne ou de piémont**.

La géométrie du lit mineur présente une forme en U sur le tronçon 1 et jusqu'à la moitié du tronçon 3, c'est-à-dire tant que la rive gauche du cours d'eau est constituée par le coteau à forte pente.



A l'aval de la zone d'étude, la géométrie du lit mineur est trapézoïdale avec le profil suivant :



Les berges sont dans l'ensemble stables, elles sont berges très compactes et composées de matériaux très fins. On peut noter toutefois des signes d'érosion et de vulnérabilité en rive droite au droit des prairies où le piétinement des animaux fragilise les berges.

En ce qui concerne la ripisylve, il faut noter que de T1 à T4, l'occupation du sol est répartie entre des versants boisés sur quasiment tout le linéaire en rive gauche et des prairies utilisées pour la fauche ou le pâturage sur presque tout le linéaire en rive droite.

Les versants boisés sont en général assez pentus, ce qui crée une vallée encaissée. L'exploitation de certaines parcelles de résineux se fait essentiellement sur les hauts de versant, conservant ainsi les fonds de vallées constitués par une ripisylve naturelle de feuillus, à savoir une prédominance d'aulnes, de frênes et de saules. Contrairement à ce que nous pourrions croire, l'apport en bois mort y est assez faible et nous avons ainsi observé un seul embâcle situé en l'aval du seuil, non gênant.

La végétation en berges au niveau des prairies dépend fortement de l'entretien pratiqué par le propriétaire, qui varie d'un non-entretien à une éradication quasi-totale de toute la ripisylve (T3 en rive droite). On observe donc des secteurs possédant une végétation arborée moyennement dense à isolée, les arbres concernés étant généralement des chênes et des frênes. En ce qui concerne la végétation arbustive, elle est dense sur une grande partie du linéaire, exceptée en berge d'une prairie (située en rive droite en amont du passage à gué, T3), et est essentiellement composée de charme, de cornouiller et de fusain. A noter la présence de quelques arbres inclinés, et celle d'une zone humide en rive droite en amont de la zone d'étude (T1).

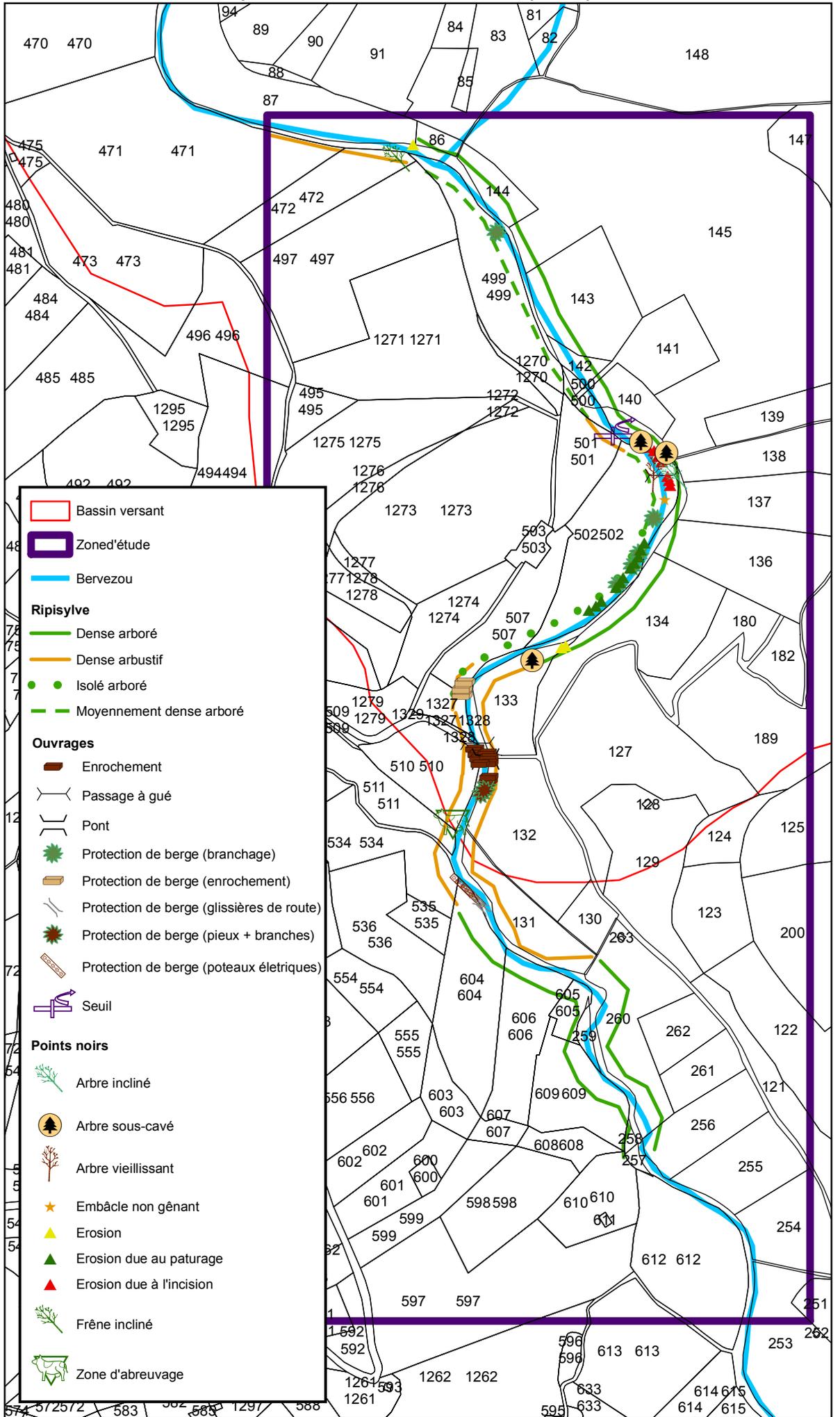
Le tronçon T5 se différencie en termes d'occupation du sol par la disparition des versants boisés très pentus et l'apparition de surfaces culturales. Ces dernières représentent la majorité du linéaire. La ripisylve est toujours laissée à l'appréciation des propriétaires, ce qui laisse entrevoir une forte hétérogénéité de la densité rivulaire. En effet, l'amont de ce tronçon possède une végétation arborée dense et arbustive isolée (chênes) alors qu'en se déplaçant vers l'aval, on retrouve une végétation arborée et arbustive dense.

➤ Tronçons T2 et T4 :

T2 est défini par la retenue du seuil de Gabanelle et mesure environ 75m. L'ensemble de ce linéaire représente donc une zone de stockage. Nous aborderons par la suite son rôle dans le comportement du Bervezou. Par définition d'une zone de stockage, l'écoulement y est quasi inexistant, les vitesses sont très faibles. La profondeur maximale par rapport à la côte du seuil est de 1,1 m. Le profil en long est très hétérogène mais la pente moyenne négative représente bien le tronçon ; elle est de -1,7 %.

T4 représente la zone de retenue du passage à gué, mesurant 12m environ. On y observe une profondeur maximale de 53 cm et une pente moyenne négative de 3,5 %.

Ripisylve



2) FLUX LIQUIDES/ÉCOULEMENTS

L'observation de ces différents faciès a été effectuée dans des conditions favorables, à savoir que le débit au jour d'observation était du même ordre de grandeur que le débit moyen sec mensuel interannuel, situation optimale pour la visualisation des différents écoulements.

A l'exception des tronçons T2 et T4, c'est-à-dire les zones de remous des ouvrages hydrauliques, caractérisées par un écoulement quasi-nul, la zone d'étude, à l'instar du Bervezou, présente un comportement typique des cours d'eau de moyenne montagne, à savoir qu'il y a une **très grande diversité des faciès d'écoulement** avec une **majorité de faciès définis par une vitesse élevée** (74% des écoulements de la zone d'étude), à savoir les chenaux lotiques (5 %), les plats courants (47 %), les radiers (20 %) et les rapides (1 %, définis par une très forte pente, et une forte turbulence matérialisée par de l'écume blanche).

Le reste de la zone (26 %) est représenté par les mouilles de concavité (11 %, elles suivent généralement un radier), les plats lenticulaires (7 %, à faible profondeur) et les zones de remous dues aux ouvrages hydrauliques (8 %).

Le tableau suivant ainsi que la page suivante (cartographie des faciès) récapitule la répartition des faciès par tronçon :

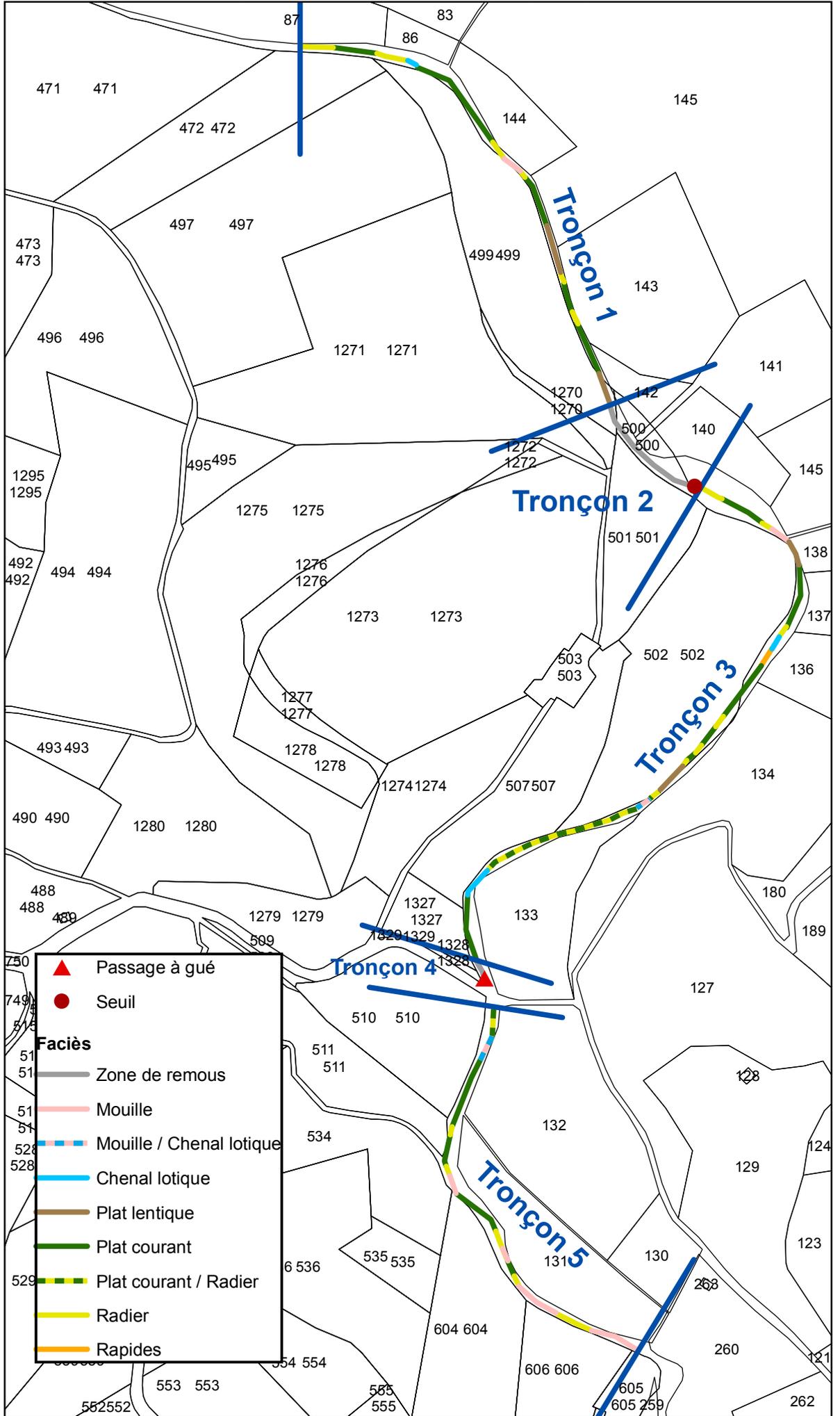
	Zone de remous	Mouille	Plat lenticulaire	Chenal lotique	Plat courant	Radier	Rapides
T1	0 %	11 %	15 %	4 %	57 %	20 %	0 %
T2	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
T3	0 %	4 %	8 %	8 %	54 %	23 %	3 %
T4	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
T5	0 %	32 %	0 %	3 %	41 %	24 %	0 %
Total	8 %	11 %	7 %	5 %	47 %	20 %	1 %

Tableau 16 : Répartition des faciès d'écoulement par tronçon

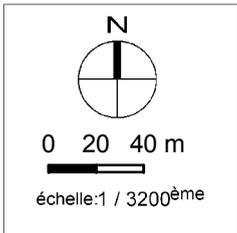


Figure 8 : Exemples de zone de remous (seuil), radier et plat courant (de gauche à droite)

Faciès d'écoulement



sources, références :
Cadastré des communes
de Prendignes, Linac
et Saint-Cirgues



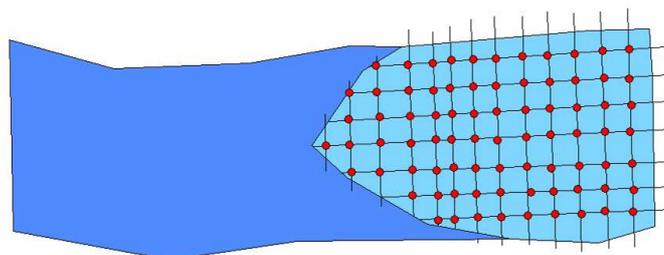
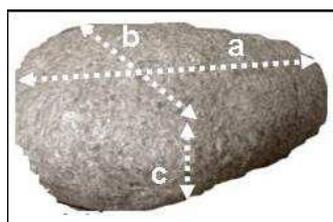
3) TRANSPORT SOLIDE

a) GRANULOMETRIE ET SUBSTRAT

i. Répartition granulométrique

Afin d'évaluer la répartition granulométrique sur la zone d'étude, les faciès les plus abondants, à savoir le radier, la mouille et le plat courant ont fait l'objet de mesures selon l'échantillonnage standard de type Wolman, comme il est recommandé dans le protocole ICE publié par l'ONEMA, cité ci-dessous :

« Lors de chaque échantillonnage Wolman, il convient de prélever aléatoirement sur l'ensemble du faciès investigué, au moins 100 particules et d'en mesurer l'axe b (c'est-à-dire la plus grande largeur). L'opérateur progresse en se déplaçant depuis l'une des rives perpendiculairement à l'écoulement, et collecte en détournant le regard, l'élément situé à la pointe de son index et de sa botte, tout les 1/10 de la largeur mouillée (en vérifiant que cette distance est supérieure à la granulométrie mobile naturelle la plus grossière du faciès - valeur qui doit être la distance minimale à respecter). A la fin d'un transect, l'opérateur se reporte de 1/10 de la largeur mouillée et commence le suivant. Cette opération est répétée jusqu'à disposer des 100 points de mesure demandés. La granulométrie est déterminée à l'aide d'un gabarit granulométrique (ou le cas échéant d'un double décimètre) qui permet d'éviter toute confusion dans l'axe de la particule à mesurer. L'échelle granulométrique utilisée pour classer les particules mesurées, est celle présentée dans le tableau ci-après. »



Figures 9.1 et 6.2 : Axes de mesure de la granulométrie des éléments prélevés ; Représentation schématique de la répartition des prélèvements granulométriques sur un faciès (ici exemple d'un radier)

Nom de la classe	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Dalles (dont da)	>1024	D
Rochers	>1024	R
Blocs	256 - 1024	B
Pierres gross	128 - 256	PG
Pierres fines	64 - 128	PF
Cailloux gros	32 - 64	CG
Cailloux fins	16 - 32	CF
Graviers gros	8 - 16	GG
Graviers fins	2 - 8	GF
Sables	0,0625 - 2	S
Limons	0,0039 - 0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A
Vase	sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins	V

Tableau 17 : Echelle granulométrique de Wentworth modifiée utilisée dans le protocole ICE

La répartition granulométrique observée sur la zone d'étude est la suivante :

Classe	Radier	Mouille	Plat courant
Vase	0,0%	0,0%	0,0%
Argiles	0,0%	0,0%	0,0%
Limons	0,0%	0,0%	0,0%
Sables	0,0%	3,3%	5,0%
Graviers fins	0,3%	33,6%	36,0%
Graviers grossiers	0,7%	56,4%	61,0%
Cailloux fin	4,3%	68,7%	80,0%
Cailloux grossiers	22,8%	84,6%	97,0%
Pierres fines	58,6%	95,8%	100,0%
Pierres grossières	94,6%	96,9%	100,0%
Blocs	99,6%	100,0%	100,0%
Rochers	100,0%	100,0%	100,0%

Tableau 18 : Répartition granulométrique sur différents faciès de la zone d'étude

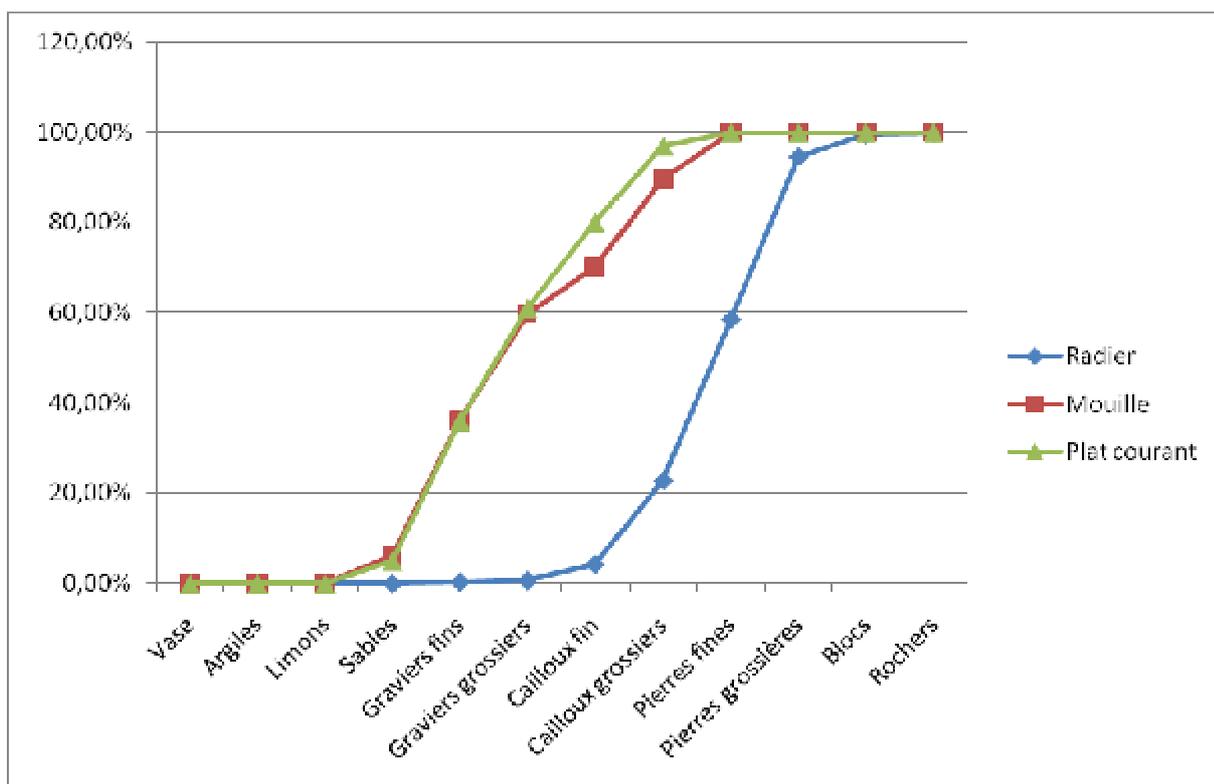


Figure 10 : Courbe granulométrique après mesure sur les trois différents faciès dominants de la zone d'étude

ii. Granulométrie dominante

Soit d_x la dimension de grain correspondant à x % de tamisat. On appelle d_{50} le diamètre granulométrique médian, et d_{60} / d_{10} le coefficient d'uniformité (ou de Hazen) : s'il est inférieur à 3, le sol est dit à granulométrie uniforme, sinon à granulométrie étalée. Le tableau suivant récapitule les différents diamètres caractéristiques pour les mesures effectuées (en mm) :

	d_{10}	d_{50}	d_{60}	d_{75}	d_{60} / d_{10}
Radier	45	105	130	160	2,9
Plat courant	2	10	15	30	7,5
Mouille	2	12	20	40	10,0

Tableau 19 : Diamètres caractéristiques pour différents faciès

Nous constatons ainsi que la granulométrie est beaucoup plus grossière sur les radiers que sur les autres faciès de la zone d'étude. En effet, la proportion de pierres (grossières et fines) représente 77 % des sédiments, contre 12 % dans les mouilles et 3 % seulement dans les plats courants. Ceci est dû à la capacité d'arrachement augmentée par la forte vitesse de l'écoulement dans les faciès de type radier. Le diamètre médian est de 10,5 cm, ce qui correspond à des pierres fines, et le coefficient de Hazen y est de 2,9. La granulométrie est uniforme dans les radiers.

Le spectre de la granulométrie est étendu voire très étendu (coefficients de Hazen de 7,5 et 10) tant dans les mouilles que dans les plats courants. Ceci est dû à l'hétérogénéité de l'écoulement le long d'un unique profil en travers. En effet, dans le cas de la mouille par exemple, l'asymétrie du profil est telle que la vitesse de l'écoulement est très faible dans la concavité alors qu'elle peut être conséquente dans la partie où la hauteur d'eau est la plus faible. La différence de type de sédiment y est notable. Dans ces deux faciès, le diamètre médian y est comparable, à savoir de l'ordre du centimètre, correspondant à des graviers grossiers.

La différence de répartition granulométrique entre les mouilles et les plats courants est assez faible. Il est cependant étonnant d'observer un comportement plus grossier dans les mouilles, censées être caractérisées par une forte présence de sédiments fins à très fins.

Ceci est très certainement une conséquence de la subjectivité de l'opérateur. En effet, il est difficile lors de la mesure de choisir chaque élément avec objectivité, surtout lorsque celui-ci est très fin et difficilement mesurable. C'est pourquoi les sédiments dont l'axe b est inférieur à 1 mm n'apparaissent pas dans notre étude, au détriment des blocs (plus de 3% dans les mouilles) et autres particules grossières. Le pavage joue aussi un rôle déterminant par la difficulté pour l'opérateur à prélever des échantillons, ce que nous verrons par la suite.

Pour résumer, la granulométrie de la zone d'étude est comparable à celle d'un cours d'eau de moyenne montagne, à savoir grossière, et d'étendue granulométrique large (car située en tête de bassin). Il est important de noter les différences entre les faciès, que ce soit pour le diamètre médian mais aussi en ce qui concerne l'uniformité des sédiments.

Enfin, il est à noter que la granulométrie des sédiments composant les berges s'apparente à celle composant les mouilles, à savoir un diamètre moyen de 12 mm. On observe en effet des berges très compactes composées de matériaux très fins.

b) *EVALUATION DES RISQUES D'ÉROSION*

iii. Méthodologie

➤ Calcul de la contrainte tangentielle de frottement

La contrainte tangentielle de frottement créée par un écoulement de débit donné au fond de la rivière est évaluée selon deux approches.

➔ La première évaluation est donnée par l'équation suivante :

$$\tau_0 = \gamma.R.S$$

avec : R : Rayon hydraulique (en m)
 S : Pente de la droite d'énergie (en m/m)
 γ : poids spécifique de l'eau (en N/m³)

La contrainte tangentielle créée par un écoulement de débit donné sur les berges est calculée à partir de la contrainte qui s'exerce au fond par application d'un coefficient correcteur (Lencastre, « Hydraulique Générale », Ed. Eyrolles, 1999). En général, pour simplifier les calculs, on peut considérer :

$$(\tau_0)_{berges} = 0.76.(\tau_0)_{fond}$$

Afin d'évaluer le risque d'érosion, nous avons besoin de calculer la contrainte critique d'entraînement des particules constitutifs du lit et des berges. Cette dernière est donnée par :

$$(\tau_0)_{crit} = \tau^*(\gamma_s - \gamma).d$$

avec : τ : paramètre de Shields (sans unité)
 γ_s : poids spécifique de la particule (en N/m³)
 γ : poids spécifique de l'eau (en N/m³)
 d : diamètre moyen des matériaux (en m)

➔ Pour des matériaux grossiers, une seconde méthode consiste à obtenir une valeur approchée de la tension tangentielle critique par le critère de Lane, qui peut s'exprimer par :

$$(\tau_0)_{crit} \cong 8.d_{75}$$

avec d_{75} =: diamètre des particules pour lequel 75% des particules constitutif du milieu ont un diamètre inférieur, en cm. Cette équation est valable pour des matériaux de poids spécifique $\gamma = 26.10^3$ N/m³, ce qui correspond à une densité de 2.6, densité communément prise pour les alluvions de rivière.

Afin de connaître la contrainte critique d'entraînement des matériaux des berges, un coefficient correcteur est appliqué à. Ce coefficient s'exprime par :

$$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \phi}{\sin^2 \psi}}$$

avec : ϕ : angle du talus avec l'horizontale
 ψ : angle de frottement interne du matériau non cohérent.

Dans notre cas, comme nous l'avons déjà mentionné dans la partie granulométrie, les

berges sont constituées de matériaux fins et très compacts. L'angle de frottement du matériau constituant les berges sera donc pris comme maximal, à savoir 90°. D'où :

$$K = \sqrt{1 - \sin^2 \phi}$$

➤ Prise en compte de l'influence de la végétation

Pour ce qui concerne la tenue des berges, un arbre peut jouer différents rôles, selon sa taille, sa position, son espèce. De par leur enracinement et leur implantation sur le talus, il constitue une véritable armature du sol et peut protéger de l'érosion en jouant le rôle d'écran vis-à-vis du courant. Des arbres naturellement présents dans une ripisylve comme le frêne, le saule et l'aulne sont très efficaces de ce point de vue. Ce sont d'ailleurs ceux que l'on retrouve en bordure du Bervezou.

Mais leur protection atteint ses limites pour les très fortes crues et dans les méandres plus affouillables, par exemple lorsque les berges sont relativement hautes.

D'autre part, les arbres peuvent aussi avoir un effet négatif sur l'érosion des berges lorsque par exemple ils sont trop espacés sur un sol assez faiblement végétalisé (cas d'une prairie par exemple). Ils constituent alors des points durs sur une berge assez friable, ce qui à terme peut engendrer le glissement et la chute de l'arbre qui deviendra un embâcle.

L'influence de la végétation doit être analysée en tenant compte de la hauteur des berges. En effet, le rôle protecteur d'un arbre sur une berge peut devenir négatif lorsque la berge est haute. Dans ce cas, le pied de berge est peu protégé par les racines, les risques d'affouillement sont donc plus importants. Le risque de glissement du talus est alors aggravé par le poids de l'arbre qui peut tomber en entraînant un pan entier de la berge.

iv. Résultats

Les calculs des différents paramètres érosifs ont été effectués sur chaque segment pour six débits, du module à la crue vicennale, afin de comparer la possibilité de transport des sédiments de fond ainsi que d'érosion des berges.

➤ Transport sur le fond du cours d'eau

Le calcul de la contrainte critique d'entraînement a été effectué pour les trois faciès dominants (plat courant / radier / mouille) selon les deux méthodes précédemment décrites :

	Diamètre (mm)		Contrainte critique d'entraînement (N/m²)		
	d50	d75	Shields	Lane	Moyenne
Mouille / Plat courant	12	40	15	32	23,5
Radier	105	160	105	128	116,5

Tableau 20 : Calcul de la contrainte critique d'entraînement

Les valeurs moyennes prises comme référence ont ensuite été comparées sur chaque segment aux contraintes tangentielles de frottement exercées par la ligne d'énergie correspondant au débit appliqué.

Cette comparaison a permis in fine d'établir la possibilité de transport ou non des sédiments. Les résultats de cette analyse sont donnés dans le tableau ci-après.

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DE LA RANCE ET DU CELE

Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond	Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond
PT1	Module	17.6	Pas de transport	PT7.2	Module	24.7	Transport mouille
	1	55.0	Transport mouille		1	76.6	Transport mouille
	2	66.0	Transport mouille		2	94.1	Transport mouille
	5	76.8	Transport mouille		5	106.8	Transport mouille
	10	84.1	Transport mouille		10	112.9	Transport mouille
	20	90.8	Transport mouille		20	116.5	Transport radier
PT2	Module	37.1	Transport mouille	PT7.3	Module	20.9	Pas de transport
	1	101.9	Transport mouille		1	59.8	Transport mouille
	2	122.7	Transport radier		2	72.1	Transport mouille
	5	137.9	Transport radier		5	79.9	Transport mouille
	10	140.6	Transport radier		10	83.6	Transport mouille
	20	144.4	Transport radier		20	83.1	Transport mouille
PT3	Module	11.6	Pas de transport	PT7	Module	16.0	Pas de transport
	1	42.7	Transport mouille		1	57.4	Transport mouille
	2	55.5	Transport mouille		2	76.8	Transport mouille
	5	66.5	Transport mouille		5	88.6	Transport mouille
	10	82.2	Transport mouille		10	93.9	Transport mouille
	20	74.8	Transport mouille		20	88.6	Transport mouille
PT3bis	Module	6.1	Pas de transport	ret1	Module	4.4	Pas de transport
	1	38.6	Transport mouille		1	78.5	Transport mouille
	2	53.0	Transport mouille		2	123.2	Transport radier
	5	65.4	Transport mouille		5	145.6	Transport radier
	10	72.3	Transport mouille		10	155.7	Transport radier
	20	96.7	Transport mouille		20	267.9	Transport radier
S3	Module	3.6	Pas de transport	ret2	Module	6.1	Pas de transport
	1	2.5	Pas de transport		1	99.5	Transport mouille
	2	2.8	Pas de transport		2	156.0	Transport radier
	5	1.0	Pas de transport		5	175.1	Transport radier
	10	1.1	Pas de transport		10	182.0	Transport radier
	20	1.2	Pas de transport		20	195.3	Transport radier
AVS3	Module	2.0	Pas de transport	ret3	Module	23.3	Pas de transport
	1	39.2	Transport mouille		1	334.7	Transport radier
	2	54.0	Transport mouille		2	516.2	Transport radier
	5	54.2	Transport mouille		5	521.0	Transport radier
	10	60.0	Transport mouille		10	527.6	Transport radier
	20	54.2	Transport mouille		20	546.6	Transport radier

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DE LA RANCE ET DU CELE

Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond	Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond
PT4	Module	10.4	Pas de transport	Gué	Module	9.9	Pas de transport
	1	11.3	Pas de transport		1	27.2	Transport mouille
	2	13.8	Pas de transport		2	30.5	Transport mouille
	5	12.6	Pas de transport		5	14.4	Pas de transport
	10	13.8	Pas de transport		10	10.0	Pas de transport
	20	10.8	Pas de transport		20	7.5	Pas de transport
PT5	Module	14.8	Pas de transport	Gué pont	Module	70.1	Transport mouille
	1	42.3	Transport mouille		1	272.1	Transport radier
	2	52.8	Transport mouille		2	380.4	Transport radier
	5	39.9	Transport mouille		5	488.8	Transport radier
	10	46.1	Transport mouille		10	557.7	Transport radier
	20	62.7	Transport mouille		20	622.8	Transport radier
PT5bis	Module	25.0	Transport mouille	Pont	Module	24.7	Transport mouille
	1	62.1	Transport mouille		1	250.3	Transport radier
	2	67.6	Transport mouille		2	395.5	Transport radier
	5	79.7	Transport mouille		5	540.7	Transport radier
	10	78.6	Transport mouille		10	633.0	Transport radier
	20	80.0	Transport mouille		20	722.7	Transport radier
PT6	Module	50.9	Transport mouille	PT8	Module	18.9	Pas de transport
	1	193.9	Transport radier		1	57.2	Transport mouille
	2	244.5	Transport radier		2	70.4	Transport mouille
	5	247.7	Transport radier		5	80.9	Transport mouille
	10	238.9	Transport radier		10	86.6	Transport mouille
	20	230.1	Transport radier		20	91.5	Transport mouille
PT6.1	Module	25.4	Transport mouille	PT9	Module	21.6	Pas de transport
	1	88.5	Transport mouille		1	64.8	Transport mouille
	2	116.8	Transport radier		2	81.0	Transport mouille
	5	141.0	Transport radier		5	94.1	Transport mouille
	10	155.5	Transport radier		10	101.4	Transport mouille
	20	168.1	Transport radier		20	107.8	Transport mouille
PT7.1	Module	24.7	Transport mouille				
	1	80.6	Transport mouille				
	2	101.3	Transport mouille				
	5	117.8	Transport radier				
	10	126.6	Transport radier				
	20	134.3	Transport radier				

Tableau 21 : Evaluation de la capacité de transport sédimentaire sur le fond du cours d'eau

La lecture du tableau précédent met en évidence les points suivants :

- A l'amont du seuil (segments PT1 à PT3bis) : le transport sédimentaire de fond se fait essentiellement dans les mouilles et autres faciès profond. Les grosses particules ne sont pas charriées, excepté sur le tronçon PT2, où on observe une très forte tractrice importante pour tout débit, ceci étant dû à la forte pente du cours d'eau dans cette zone de radier.
- En aval immédiat du seuil (segments S3 à PT4), le transport est très limité. Ceci est dû au fait que seul un faible tirant d'eau transite par le seuil, insuffisant pour déplacer des sédiments.
- Dans le méandre situé à l'aval (segments PT5 et PT5bis), le transport sédimentaire est moyen, contrairement aux segments suivants (PT6 et PT6.1), représentant la zone de rapides. Cette dernière engendre une turbulence très élevée, ce qui renforce les capacités de transport solide par le fond. Ce phénomène s'apaise par la suite (segments PT7.1 à PT7) avant de s'accroître de nouveau à l'amont immédiat du passage à gué (segments ret1 à ret3).
- La zone de retenue du passage à gué (segments Gué) constitue un lieu de dépôt sédimentaire.
- A l'aval immédiat du passage à gué (segment Pont), les capacités d'érosion du fond du cours d'eau sont fortes avec un risque d'affouillement du pont. Ce phénomène s'observe aujourd'hui par les blocs d'enrochements situés dans cette zone qui se retrouvent petit à petit charriés des centaines de mètres en aval.
- A l'aval de la zone d'étude (segments PT8 et PT9), les écoulements sont plus calmes, la pente du lit est plus faible. Le transport y est limité.

➤ Erosion des berges

La capacité d'érosion et les contraintes critiques d'entraînement des matériaux des berges sont évaluées selon la méthode du critère de Lane. Les paramètres utilisés et les résultats sont donnés dans le tableau ci-après avec :

ϕ_g : angle du talus en rive gauche avec l'horizontale

ϕ_d : angle du talus en rive droite avec l'horizontale

K_g : coefficient correcteur en rive gauche

K_d : coefficient correcteur en rive droite

Tronçon	Segment	ϕ_g (en °)	ϕ_d (en °)	K_g	K_d	$(\tau_{o/crit})^{berge}$ rive gauche	$(\tau_{o/crit})^{berge}$ rive droite
T1	PT1	10.9	11.3	1.0	1.0	31.4	31.4
	PT2	76.0	17.8	0.2	1.0	7.8	30.5
	PT3	60.0	25.7	0.5	0.9	16.0	28.8
	PT3bis	33.4	72.0	0.8	0.3	26.7	9.9
T2	S3	90.0	90.0	0.0	0.0	Béton	Béton
	Avs3	45.0	31.4	0.7	0.9	22.6	27.3
	PT4	45.0	31.4	0.7	0.9	22.6	27.3
T3	PT5	50.0	17.9	0.6	1.0	12.3	30.5
	PT5bis	50.0	17.9	0.6	1.0	12.3	30.5
	PT6	60.0	27.2	0.5	0.9	12.0	28.5
	PT6.1	60.0	27.2	0.5	0.9	16.0	28.5
	PT7.1	27.2	27.2	0.9	0.9	28.5	28.5
	PT7.2	27.2	27.2	0.9	0.9	28.5	28.5
	PT7.3	27.2	27.2	0.9	0.9	28.5	28.5
T4	PT7	43.9	47.2	0.7	0.7	23.1	Enrochements
	ret1.	50.2	58.5	0.6	0.5	20.5	16.7
	ret2.	50.2	58.5	0.6	0.5	20.5	16.7
	ret3	50.2	58.5	0.6	0.5	20.5	16.7
	Gué	90.0	90.0	0.0	0.0	Béton	Béton
	Gué pont	90.0	90.0	0.0	0.0	Béton	Béton
T5	Pont	90.0	90.0	0.0	0.0	Béton	Béton
	PT8	19.3	19.4	0.9	0.9	30.2	30.2
	PT9	33.0	30.3	0.8	0.9	26.8	27.6

Tableau 22 : Evaluation des contraintes critiques d'entraînement des matériaux des berges

De la même manière que pour l'évaluation de la capacité érosive sur le fond du cours d'eau, les valeurs critiques de contraintes d'entraînement des berges ont ensuite été comparées sur chaque segment aux contraintes tangentielles de frottement exercées par la ligne d'énergie correspondant au débit appliqué.

Cette comparaison a permis in fine d'établir la possibilité d'érosion ou non des sédiments. Les résultats de cette analyse sont donnés dans le tableau ci-après.

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DE LA RANCE ET DU CELE

Segment	Période de retour de la crue	τ berge (N/m ²)	Diagnostic érosion berge		Segment	Période de retour de la crue	τ berge (N/m ²)	Diagnostic érosion berge	
			Rive gauche	Rive droite				Rive gauche	Rive droite
PT1	Module	13.39	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7.2	Module	18.75	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	41.82	Faible	Faible		1	58.19	Moyenne	Moyenne
	2	50.17	Faible	Faible		2	71.52	Moyenne	Moyenne
	5	58.38	Faible	Moyenne		5	81.13	Moyenne	Moyenne
	10	63.90	Faible	Moyenne		10	85.84	Forte	Forte
PT2	20	68.98	Faible	Moyenne	20	88.57	Forte	Forte	
	Module	28.17	Moyenne	Pas d'érosion	PT7.3	Module	15.87	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	77.42	Forte	Moyenne		1	45.47	Faible	Faible
	2	93.23	Forte	Moyenne		2	54.81	Faible	Faible
	5	104.80	Forte	Forte		5	60.74	Moyenne	Moyenne
10	106.88	Forte	Forte	10		63.51	Moyenne	Moyenne	
PT3	20	109.74	Forte	Forte	20	63.16	Moyenne	Moyenne	
	Module	8.81	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7	Module	12.14	Pas d'érosion	Béton
	1	32.43	Faible	Faible		1	43.63	Faible	Béton
	2	42.19	Moyenne	Faible		2	58.34	Moyenne	Béton
	5	50.57	Moyenne	Moyenne		5	67.37	Moyenne	Béton
10	62.51	Moyenne	Moyenne	10		71.37	Moyenne	Béton	
PT3bis	20	56.82	Moyenne	Moyenne	20	67.33	Moyenne	Béton	
	Module	4.60	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret1	Module	3.33	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	29.37	Faible	Moyenne		1	59.69	Moyenne	Forte
	2	40.30	Faible	Forte		2	93.59	Forte	Forte
	5	49.74	Faible	Forte		5	110.62	Forte	Forte
10	54.92	Faible	Forte	10		118.30	Forte	Forte	
S3	20	73.50	Moyenne	Forte	20	203.61	Forte	Forte	
	Module	2.77	Béton	Béton	ret2	Module	4.64	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	1.88	Béton	Béton		1	75.65	Forte	Forte
	2	2.12	Béton	Béton		2	118.53	Forte	Forte
	5	0.79	Béton	Béton		5	133.04	Forte	Forte
10	0.83	Béton	Béton	10		138.30	Forte	Forte	
AVS3	20	0.89	Béton	Béton	20	148.40	Forte	Forte	
	Module	1.50	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret3	Module	17.68	Pas d'érosion	Faible
	1	29.78	Faible	Faible		1	254.40	Forte	Forte
	2	41.03	Faible	Faible		2	392.34	Forte	Forte
	5	41.20	Faible	Faible		5	395.97	Forte	Forte
10	45.57	Faible	Moyenne	10		400.94	Forte	Forte	
PT4	20	41.20	Faible	Faible	20	415.44	Forte	Forte	
	Module	7.94	Pas d'érosion	Pas d'érosion	Gué	Module	7.56	Béton	Béton
	1	8.57	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	20.65	Béton	Béton
	2	10.51	Pas d'érosion	Pas d'érosion		2	23.22	Béton	Béton
	5	9.60	Pas d'érosion	Pas d'érosion		5	10.95	Béton	Béton
10	10.47	Pas d'érosion	Pas d'érosion	10		7.60	Béton	Béton	
PT5	20	8.22	Pas d'érosion	Pas d'érosion	20	5.69	Béton	Béton	
	Module	11.26	Pas d'érosion	Pas d'érosion	Gué pont	Module	53.28	Béton	Béton
	1	32.17	Moyenne	Faible		1	206.76	Béton	Béton
	2	40.13	Moyenne	Faible		2	289.11	Béton	Béton
	5	30.31	Moyenne	Pas d'érosion		5	371.45	Béton	Béton
10	35.03	Moyenne	Faible	10		423.83	Béton	Béton	
PT5bis	20	47.69	Moyenne	Faible	20	473.33	Béton	Béton	
	Module	19.03	Faible	Pas d'érosion	Pont	Module	18.76	Béton	Béton
	1	47.16	Moyenne	Faible		1	190.19	Béton	Béton
	2	51.40	Moyenne	Moyenne		2	300.60	Béton	Béton
	5	60.54	Forte	Moyenne		5	410.96	Béton	Béton
10	59.77	Forte	Moyenne	10		481.07	Béton	Béton	
PT6	20	60.82	Forte	Moyenne	20	549.24	Béton	Béton	
	Module	38.72	Moyenne	Faible	PT8	Module	14.39	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	147.38	Forte	Forte		1	43.50	Faible	Faible
	2	185.84	Forte	Forte		2	53.52	Faible	Faible
	5	188.25	Forte	Forte		5	61.49	Faible	Faible
10	181.55	Forte	Forte	10		65.78	Moyenne	Moyenne	
PT6.1	20	174.86	Forte	Forte	20	69.52	Moyenne	Moyenne	
	Module	19.31	Faible	Pas d'érosion	PT9	Module	16.42	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	67.28	Forte	Moyenne		1	49.28	Faible	Faible
	2	88.75	Forte	Moyenne		2	61.58	Moyenne	Moyenne
	5	107.17	Forte	Forte		5	71.55	Moyenne	Moyenne
10	118.15	Forte	Forte	10		77.07	Moyenne	Moyenne	
PT7.1	20	127.78	Forte	Forte	20	81.91	Forte	Moyenne	
	Module	18.77	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT9	Module	16.42	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	61.29	Faible	Moyenne		1	49.28	Faible	Faible
	2	76.97	Moyenne	Moyenne		2	61.58	Moyenne	Moyenne
	5	89.55	Moyenne	Forte		5	71.55	Moyenne	Moyenne
10	96.24	Moyenne	Forte	10		77.07	Moyenne	Moyenne	
PT7.1	20	102.06	Moyenne	Forte	20	81.91	Forte	Moyenne	

Tableau 23 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges

➤ Influence de la végétation

Segment	Période de retour de la crue	Diagnostic tenant compte de la végétation		Segment	Période de retour de la crue	Diagnostic tenant compte de la végétation	
		Rive gauche	Rive droite			Rive gauche	Rive droite
PT1	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7.2	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Faible
	2	Faible	Pas d'érosion		2	Pas d'érosion	Moyenne
	5	Moyenne	Pas d'érosion		5	Moyenne	Moyenne
	10	Moyenne	Pas d'érosion		10	Moyenne	Moyenne
	20	Moyenne	Pas d'érosion	20	Moyenne	Forte	
PT2	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7.3	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Faible	Faible		1	Pas d'érosion	Faible
	2	Moyenne	Moyenne		2	Pas d'érosion	Moyenne
	5	Moyenne	Forte		5	Faible	Moyenne
	10	Moyenne	Forte		10	Moyenne	Moyenne
	20	Forte	Forte	20	Moyenne	Moyenne	
PT3	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7	Module	Pas d'érosion	Béton
	1	Pas d'érosion	Faible		1	Pas d'érosion	Béton
	2	Pas d'érosion	Faible		2	Moyenne	Béton
	5	Faible	Faible		5	Moyenne	Béton
	10	Moyenne	Moyenne		10	Moyenne	Béton
	20	Moyenne	Moyenne	20	Forte	Béton	
PT3bis	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret1	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Faible		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Pas d'érosion	Faible		2	Moyenne	Faible
	5	Faible	Moyenne		5	Moyenne	Faible
	10	Moyenne	Moyenne		10	Forte	Moyenne
	20	Moyenne	Moyenne	20	Forte	Moyenne	
S3	Module	Béton	-	ret2	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Béton	-		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Béton	-		2	Moyenne	Faible
	5	Béton	-		5	Moyenne	Faible
	10	Béton	-		10	Moyenne	Moyenne
	20	Béton	-	20	Moyenne	Moyenne	
AVS3	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret3	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Pas d'érosion	Pas d'érosion		2	Faible	Faible
	5	Pas d'érosion	Pas d'érosion		5	Moyenne	Faible
	10	Pas d'érosion	Pas d'érosion		10	Moyenne	Faible
	20	Faible	Faible	20	Moyenne	Faible	
PT4	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	Gué	Module	Béton	Béton
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Béton	Béton
	2	Pas d'érosion	Pas d'érosion		2	Béton	Béton
	5	Pas d'érosion	Pas d'érosion		5	Béton	Béton
	10	Pas d'érosion	Pas d'érosion		10	Béton	Béton
	20	Pas d'érosion	Pas d'érosion	20	Béton	Béton	
PT5	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	Gué pont	Module	Béton	Béton
	1	Pas d'érosion	Faible		1	Béton	Béton
	2	Faible	Faible		2	Béton	Béton
	5	Faible	Moyenne		5	Béton	Béton
	10	Moyenne	Moyenne		10	Béton	Béton
	20	Faible	Moyenne	20	Béton	Béton	
PT5bis	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	Pont	Module	Béton	Béton
	1	Pas d'érosion	Faible		1	Béton	Béton
	2	Pas d'érosion	Faible		2	Béton	Béton
	5	Pas d'érosion	Faible		5	Béton	Béton
	10	Pas d'érosion	Faible		10	Béton	Béton
	20	Pas d'érosion	Faible	20	Béton	Béton	
PT6	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT8	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Faible		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Pas d'érosion	Faible		2	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	5	Pas d'érosion	Faible		5	Faible	Faible
	10	Pas d'érosion	Faible		10	Faible	Faible
	20	Pas d'érosion	Faible	20	Moyenne	Faible	
PT6.1	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT9	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Faible		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Faible	Faible		2	Faible	Faible
	5	Moyenne	Moyenne		5	Moyenne	Faible
	10	Moyenne	Moyenne		10	Moyenne	Faible
	20	Moyenne	Forte	20	Moyenne	Moyenne	
PT7.1	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion				
	1	Pas d'érosion	Faible				
	2	Pas d'érosion	Faible				
	5	Moyenne	Moyenne				
	10	Moyenne	Moyenne				
	20	Moyenne	Moyenne				

Tableau 24 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges en prenant en compte la végétation

Conclusion

Concernant l'érosion des berges lors des périodes de crue, les remarques suivantes peuvent être faites pour les différents tronçons formant la zone d'étude :

- A l'amont du seuil (segments PT1 à PT3), les phénomènes d'érosion existent mais restent modérés d'autant qu'ils sont modérés par l'effet protecteur de la végétation, hormis au droit du segment PT2 qui correspond à une zone de rapides à forte vitesse d'écoulement.
- A l'aval du seuil, en particulier dans le méandre (segments PT5bis à PT6.1), on note une forte capacité du cours d'eau à éroder les berges et ce, même en tenant compte de l'effet protecteur de la végétation. Ce constat est surtout vérifié en rive droite, ie sur l'intrados, car la végétation est quasi absente sur la prairie.
- A l'amont immédiat du passage à gué (segments ret1 à ret 3) et à l'aval immédiat (segments gué Pont et Pont), les phénomènes érosifs sont actifs bien qu'ils soient atténués d'une part par les murs béton et par la végétation. Il s'agit d'un secteur pour lequel il convient d'être vigilant pour maîtriser les phénomènes d'affouillement du radier béton et des culées du pont.
- Enfin, en ce qui concerne l'aval de la zone d'étude, les phénomènes érosifs des berges sont plutôt faibles à moyens.

C. DIAGNOSTIC HYDROMORPHOLOGIQUE : ANALYSE DES ALTERATIONS SUR LA ZONE D'ETUDE

1) DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE

La mise en évidence d'une altération suppose de connaître au préalable l'état de référence d'un cours d'eau afin d'apprécier les écarts par rapport à ce dernier.

L'état de référence du Bervezou correspond à un cours d'eau naturel peu perturbé, de petite taille (rang de Horton égal à 1) qui se situe en tête de bassin et qui possède les caractéristiques typiques d'un cours d'eau de moyenne montagne.

Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- Il présente un style fluvial typique de rivières sinueuses à méandres peu mobiles. Sa dynamique est active et équilibrée.
- Il a une section d'écoulement en U avec une largeur en fond comprise entre 4m et 6m, des berges d'une hauteur comprise entre 0.5m et 1.5m dont la pente du talus est marquée ($>45^\circ$).
- Les berges sont relativement stables hormis le long des prairies pâturées qui peuvent être exemptes de ripisylve.
- Les faciès d'écoulement sont diversifiés avec des séquences « radier/mouille/plat/chute d'eau » qui offrent une grande variété de vitesses d'écoulement et des potentialités d'habitat importantes.
- La ripisylve est dense, diversifiée et plutôt en bon état sanitaire. Elle est bien adaptée au bord de cours d'eau avec une strate arbustive (cornouiller, prunellier, fusain, ...) et arborescente (frêne, chêne, aulne, saule,...).
- Le substrat est constitué de fonds caillouteux (galets) accompagnés dans les gorges de blocs granitiques ou métamorphiques de grande taille, mais aussi de particules plus fines (sables notamment) qui peuvent recouvrir d'importants linéaires (zones de calme) ou se déposer dans des petites cavités créées entre de plus gros cailloux (habitat privilégié pour la Moule perlière par exemple). La roche mère affleure directement dans certains secteurs.

2) LES PERTURBATIONS SUR LA ZONE D'ETUDE ET LEURS CONSEQUENCES

Globalement, si l'on se réfère aux caractéristiques de l'état de référence et à la description du Bervezou sur la zone d'étude, les **perturbations subies** sont liées uniquement aux **aménagement physiques** correspondant au **seuil de Gabanelle** et au **passage à gué**.

a) *PREAMBULE : RAPPEL THEORIQUES SUR LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT D'UN COURS D'EAU*

➤ Fonctionnement morphodynamique d'un cours d'eau et notion d'équilibre dynamique.

La fonction dynamique d'un cours d'eau est de **transporter** à la fois des volumes d'eau (**débit liquide**) ruisselés sur le bassin versant ainsi que des matériaux granulaires (**débit solide**) qu'il collecte sur le bassin versant par ruissellement, sur le fond ou les berges du lit mineur et sur le lit majeur par érosion.

Pour cela, le cours d'eau présente un profil en long relativement stable lui permettant d'adapter sa capacité de transport aux apports de matériaux, en fonction des débits liquides disponibles et de la taille des matériaux à transporter. Selon ce profil, dans les zones à forte pente et donc à forte vitesse d'écoulement, le cours d'eau érodera (**zones d'érosion**), et dans les zones à faible pente (donc à faible énergie) le cours d'eau déposera (**zones de dépôt**). Entre ces deux zones, le cours d'eau transporte les

matériaux de manière à ce qu'il y ait un équilibre entre les matériaux collectés et les matériaux déposés.

Pour s'adapter à ces variations, le cours d'eau modifie sa géométrie (largeur, profondeur, pente). Ainsi, il s'ajuste de manière permanente autour de son profil et de sa géométrie moyenne ; on dit que le cours d'eau « respire » ou qu'il est en **équilibre dynamique**. On parle également de **balance morphodynamique** (Cf. Figure 11).

Par exemple, lorsque le débit s'accroît lors d'une crue, les vitesses d'écoulement, et donc l'énergie du cours d'eau, augmentent. Face à cette énergie accrue, les pertes par frottement sur le fond et les berges ne suffisent pas à la dissiper. Ce qui a pour effet de rendre le cours d'eau plus érosif et d'accroître son transport solide. Il érode pour dissiper son énergie.

Contrairement à certaines idées reçues, les phénomènes d'érosion et d'atterrissement ne sont donc pas des dysfonctionnements. Ils traduisent au contraire les processus de fonctionnement et de dynamique naturels d'un cours d'eau.

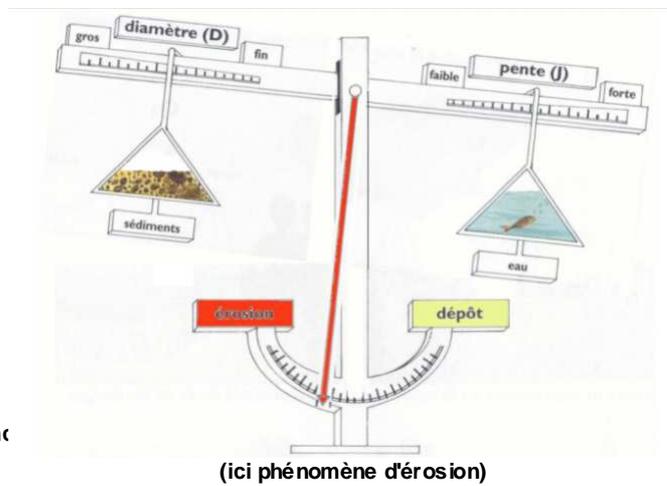


Figure 11 : Princ

l'après Lane 1955

(ici phénomène d'érosion)

➤ Altération naturelle et ajustement du tracé en plan

Pour s'adapter aux variations imposées de débit liquide ou de débit solide, les rivières réajustent naturellement leur tracé en plan. Pour cela, dans le cas des rivières telles que celle de la zone d'étude, le courant érode les berges situées à l'extérieur des méandres (berges concaves) perpendiculairement à l'axe de la vallée. On dit qu'il y a migration latérale des méandres. Il s'agit d'évolutions très lentes pratiquement pas visibles à l'échelle humaine.

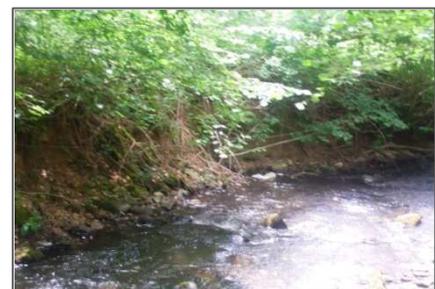
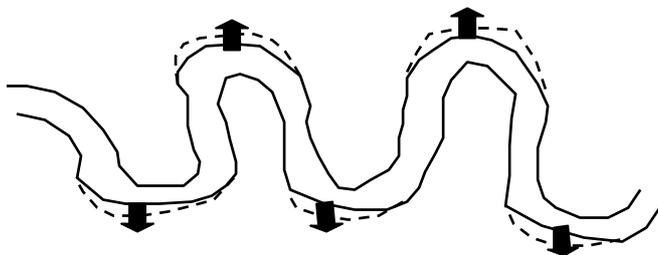


Figure 12.1 et 12.2 : Illustration du principe d'ajustement du tracé en plan par migration latérale des méandres (source : *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières*, G. Degoutte, 2006) ; illustration du phénomène sur la zone d'étude

➤ Altérations du profil en long

Lorsque l'équilibre morphodynamique du cours d'eau est rompu, on dit qu'il subit une **altération**. Ce déséquilibre peut s'avérer total (tendance permanente à l'érosion ou au dépôt) si une des deux tendances est bloquée d'un côté comme de l'autre, on dit alors que le cours d'eau subit une **altération irréversible**.

- Erosion Progressive : Incision de l'amont vers l'aval

Le profil en long peut réagir à une altération soit en s'approfondissant (érosion) soit en se surélevant (exhaussement), et ce vers l'aval ou vers l'amont. On distingue ainsi trois types d'ajustement du profil en long : érosion progressive, érosion régressive, exhaussement régressif.

Les deux mécanismes d'érosion progressive et régressive sont appelés plus communément **incision** afin de les distinguer des phénomènes d'érosion de berges par le courant évoquées précédemment.

Ce processus trouve son origine dans des aménagements qui se traduisent par un excédent des débits liquides en comparaison des apports solides tels que des barrages réservoirs ou des seuils transversaux.

- A l'amont du seuil, l'apport solide provenant de l'amont est piégé et comble peu à peu la retenue (1).
- A l'aval du seuil, le débit liquide n'est plus saturé en débit solide et l'écoulement est accéléré par la mise en vitesse due à la chute d'eau. Le cours d'eau doit donc creuser le lit pour compenser le déficit en débit solide et dissiper l'énergie. Ce qui a pour effet de provoquer un enfoncement (2).
- Cette érosion se propage ensuite vers l'aval (3) afin de rétablir une nouvelle pente d'équilibre, c'est l'érosion progressive.

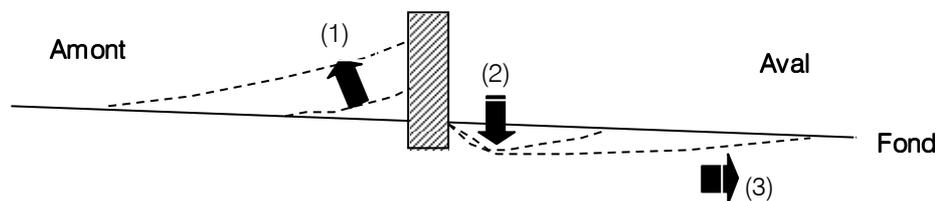


Figure 13 : Illustration du principe de l'érosion progressive (source : Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, G. Degoutte, 2006)

Lorsqu'il s'agit d'un seuil, il arrive un moment où la phase de comblement dans la retenue en amont s'atténue voire s'arrête, le transfert du débit solide vers l'aval reprend et l'équilibre dynamique est peu à peu retrouvé.

- Exhaussement Régressif :

Ce processus est lié aux aménagements qui ont pour conséquence de diminuer la pente du fond du lit tels que la mise en place de barrages ou de seuils.

La réduction de la pente diminue la force tractrice du cours d'eau qui devient inférieure aux apports solides naturels. Le cours d'eau dépose alors les matériaux en excédent et crée de fait un exhaussement en amont du seuil (1).

Cet exhaussement se propage ensuite vers l'amont (2) afin de rétablir la pente d'équilibre telle qu'elle était initialement avant travaux, c'est l'exhaussement régressif.

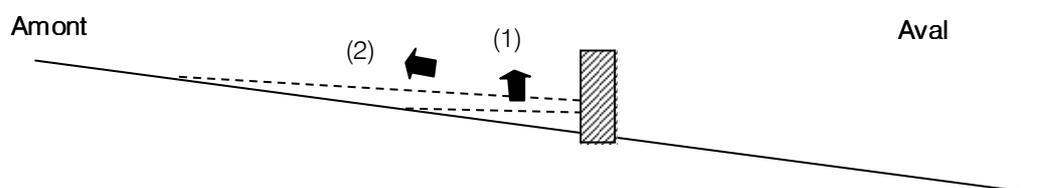


Figure 14 : Illustration du principe de l'exhaussement régressif (source : *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, G. Degoutte, 2006*)

- Conséquences des phénomènes d'incision

Une des conséquences majeures de l'incision des cours d'eau est la fragilisation et la déformation des berges. En effet, les berges d'un cours d'eau incisé sont plus hautes et plus verticales donc moins stables.

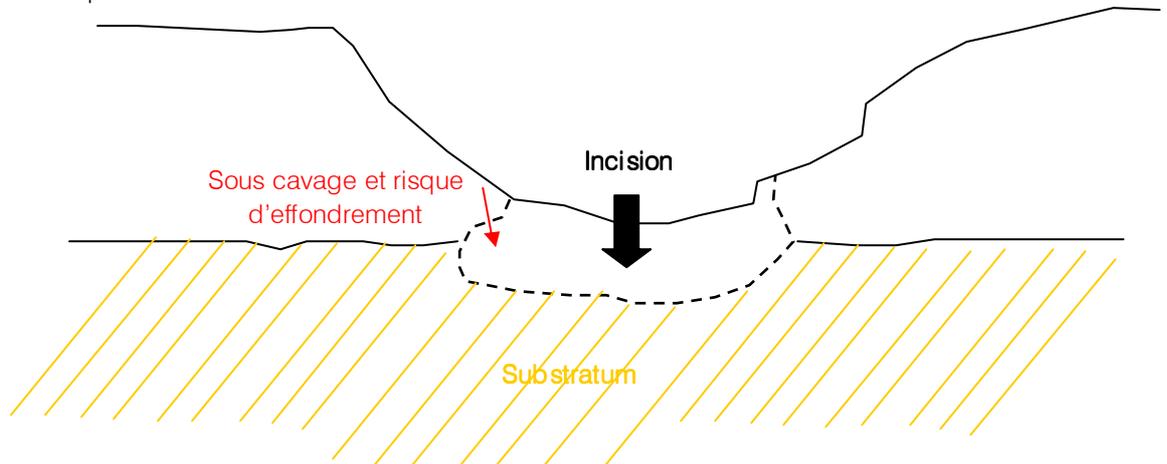


Figure 15 : Illustration de la déformation des berges provoquée par l'incision du cours d'eau

➤ Phénomène de pavage.

Le phénomène de pavage se développe en aval des retenues qui stoppent le transport solide, comme c'est généralement le cas des seuils et des passages à gué. La rivière tend à prélever les matériaux sur le stock en place, mais ce prélèvement concerne en priorité les éléments les plus fins. Le lit se pave avec la fraction grossière et ne peut se mettre en mouvement.

La capacité de transport est limitée, ce qui entraîne des écoulements importants que pour des débits élevés.



Figure 16 : Illustration du phénomène de pavage

b) ALTERATIONS SUR LA ZONE D'ETUDE

➤ Altérations liées au seuil de Gabanelle.

Le seuil forme un obstacle à l'écoulement caractérisé par une hauteur de chute d'environ 1,5m. La retenue associée à ce seuil est aujourd'hui quasi-totalement remplie, cet ouvrage est donc aujourd'hui en partie transparent face au transport sédimentaire.

Cependant, on observe les conséquences de la présence de l'ouvrage depuis sa construction il y a une soixantaine d'années. Il existe tout d'abord une forte érosion progressive qui se traduit par une incision en aval qui a pour conséquence principale le sous cavage et l'érosion des berges sur un linéaire d'environ 70 m en aval du seuil.

La zone située entre le seuil et le passage à gué est également témoin du phénomène de pavage, ce qui est une conséquence de la discontinuité du transport sédimentaire au travers de l'ouvrage. Ce phénomène a pu être vérifié lors des mesures granulométriques (il est très difficile de prélever les sédiments) ainsi que par la présence de mousse sur les plus grosses pierres, preuve qu'elles n'ont pas été mises en mouvements depuis longtemps.



Figure 17 : Illustration du sous-cavage (les racines sont mises à nu)

Enfin, nous avons pu observer un important linéaire touché par une érosion due au pâturage en rive droite, le long d'une prairie. Celle-ci est moins liée à la présence du seuil, mais apparaît tout de même comme une altération de la morphologie du cours d'eau. Les propriétaires des prairies considérées ont mis en place quelques protections en branchage afin d'éviter une aggravation de l'érosion.

➤ Altérations liées au passage à gué.

En ce qui concerne l'influence du passage à gué sur le transport solide, il s'est formé une retenue non négligeable en amont dans laquelle se dépose un volume considérable de sédiments, et on observe ainsi une discontinuité du transport sédimentaire.

Les conséquences de cette discontinuité se traduisent par un fort affouillement à l'aval immédiat du passage à gué, et l'arrachement vers l'aval des enrochements censés le stabiliser (ceux situés dans le fond du lit ainsi que sur les berges).



Figure 18 : Mise en mouvement des enrochements et affouillement des culées du pont à l'aval du passage à gué

➤ Protections actuellement en place

Des protections ont été mises en place afin de protéger les berges contre les phénomènes d'incision précédemment décrits. On trouve ainsi des enrochements au droit du seuil de Gabanelle en rive droite, dans le méandre en amont du passage à gué en rive droite encore, et enfin au niveau du passage à gué et du pont, afin de protéger les ouvrages.

Les propriétaires des terres riveraines du cours d'eau ont eux aussi mis en place des protections de berge afin de minimiser les conséquences de l'incision précédemment mise en avant. On retrouve ainsi des protections en enrochement, mais aussi fabriquées avec des pieux et des branches, des glissières de routes ou encore des poteaux électriques.



Figure 19.1 et 20.2 : Protections de berge (poteaux électrique et ensemble pieux / branches)

D. SYNTHÈSE SUR LE CONTEXTE HYDROMORPHOLOGIQUE : CE QU'IL FAUT RETENIR

Le linéaire étudié du Bervezou est, dans son état actuel, impacté par la présence de plusieurs ouvrages hydrauliques. Les observations effectuées lors des reconnaissances de terrains couplées aux discussions engagées avec les riverains et aux calculs du risque d'érosion nous ont permis de parvenir à un premier diagnostic hydromorphologique de la zone d'étude.

Pour résumer, en ce qui concerne le transport solide, les ouvrages hydrauliques présents, à savoir le seuil de Gabanelle et le passage à gué, ont joué un rôle important dans l'évolution morphologique de ce tronçon du Bervezou, notamment visible par le phénomène d'incision. On observe par conséquent un remplissage des retenues en amont des ouvrages, de forts affouillements en aval ainsi que des phénomènes d'érosion et de sous-cavage sur une partie du linéaire de la zone d'étude, ce qui risque au long terme d'entraîner des chutes d'arbres et des affaissements de berges. A noter également le fort pavage du Bervezou à partir du seuil de Gabanelle, notamment observable par la présence de mousse sur les pierres de taille conséquente.

Dans certains cas, des protections sont nécessaires (extrados du méandre en aval du seuil) mais en ce qui concerne la prairie située en rive droite en aval du seuil, une meilleure gestion de l'entretien rivulaire associée à des aménagements contre le piétinement des berges par les animaux suffirait à enrayer le processus.

La cartographie concernant les observations hydromorphologiques (ripisylve et dégradations) est consultable en annexe 9.

II.6. CONTEXTE ECOLOGIQUE

A. ETAT ACTUEL

1) OBJECTIFS DE QUALITE : DIRECTIVE CADRE EUROPEENNE

a) ENJEUX DE LA DCE

En préalable à la description de la qualité des milieux aquatiques et terrestres associés, il importe de rappeler les objectifs qui sont fixés à ces milieux.

Ils sont fixés par la Directive Cadre Européenne (DCE) et par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Adour Garonne (SDAGE).

Depuis octobre 2000, la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE), fixe un **objectif de résultat** en terme de **bon état écologique des cours d'eau d'ici 2015** et de bon potentiel écologique pour les masses d'eau fortement modifiées (MEFM).

Pour atteindre cet objectif, un état des lieux du territoire par masse d'eau a tout d'abord été réalisé sur la base de l'évaluation de l'état chimique (en fonction des normes de qualité environnementale fixées par les directives européennes) et de l'état écologique des masses d'eau (qualité du fonctionnement et de la structure des écosystèmes).

Cet état des lieux a permis ensuite de définir des enjeux et des priorités d'actions à mener pour atteindre le bon état ou le bon potentiel des masses d'eaux.

Tous ces éléments ont été repris par masse d'eau dans les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2010-2015 des Agences de l'Eau.

b) ETAT ET OBJECTIF DE LA MASSE D'EAU BERVEZOU

Le Bervezou correspond à la masse d'eau identifiée FRFR66 dans le cadre de la DCE. Son état actuel et les objectifs d'état qui lui sont fixés sont donnés dans le tableau suivant :

Masse d'eau	Type de masse d'eau	Etat actuel				Objectif d'état à atteindre		
		Etat écologique	Etat biologique	Etat chimique	Etat physico-chimique	Etat global	Etat écologique	Etat chimique
Bervezou (FRFR66)	Naturelle	Bon	Non classé	Non classé	Bon	Bon état en 2015	Bon état en 2015	Bon état en 2015

Tableau 25 : Etat actuel et objectifs d'état de la masse d'eau Bervezou

La lecture de ce tableau nous indique que **la masse d'eau Bervezou est en bon état**, ce que nous allons pouvoir vérifier par la suite.

2) QUALITE DES EAUX DU BERVEZOU

a) QUALITE PHYSICO CHIMIQUE DES EAUX

La qualité physico-chimique des eaux du Bervezou est suivie dans le cadre du Réseau Complémentaire Départemental du Lot (RCD 46) au niveau d'une station située à Linac (code 05091210), en amont de la confluence avec le Célé.

Par ailleurs, l'Agence Régionale de la Santé du Lot effectue des prélèvements sur les eaux destinées à la consommation humaine afin d'y mesurer la présence de pesticides.

La qualité des eaux est évaluée selon la méthode SEQ-Eau qui permet de disposer de classes de qualité par altérations et de connaître les causes de dégradation de la qualité. Parmi ces altérations, on peut noter les suivantes :

- L'acidification du cours d'eau (ACID), basé sur la mesure de pH de la rivière, qui a une influence sur l'équilibre entre les composés du milieu,
- Les matières azotées (AZOT) qui expriment la présence de nutriments du type matières azotées (hors nitrates) susceptibles d'alimenter la croissance des végétaux aquatiques et d'altérer le niveau d'oxygénation des eaux,
- Les micro-organismes (BACT),
- Les effets des proliférations végétales (EPRV),
- Les matières organiques et oxydables (MOOX) qui situent la présence de matières susceptibles de consommer l'oxygène de la rivière,
- Les nitrates (NITR) qui constituent également des nutriments pour la croissance des végétaux aquatiques,
- Les particules en suspension (PAES) qui illustrent la présence de matières en suspension dans les eaux pouvant engendrer une turbidité de ces eaux,
- Les matières phosphorées (PHOS) qui favorisent les proliférations végétales dans les cours d'eau,
- La température (TEMP), un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques. Elle joue un rôle primordial dans la distribution des espèces, aussi bien par ses extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières.
- Les pesticides (PESTE), mesurés par la DASS du Lot.

Les résultats caractérisant la qualité physico-chimique du Bervezou sont résumés dans le tableau ci-après, pour toute la période de fonctionnement de la station concernée (à savoir à partir de 1998) :

Altérations	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Acidification						
Matières azotées hors nitrates						
Micro-organismes						
Effet des proliférations végétales						
Matières organiques et oxydables						
Nitrates						
Particules en suspension						
Matières phosphorées						
Température						
Altérations	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Acidification						
Matières azotées hors nitrates						
Micro-organismes						
Effet des proliférations végétales						
Matières organiques et oxydables						
Nitrates						
Particules en suspension						
Matières phosphorées						
Température						

QUALITE	
	Très bonne
	Bonne
	Moyenne
	Médiocre
	Mauvaise
	non-renseigné

Tableau 26 : Evolution de la qualité physico-chimique des eaux du Bervezou selon le référentiel SEQ Eau (1998 à 2009)

A la lecture du tableau précédent, on constate que la qualité physico-chimique générale (MOOX, AZOT, NITR et PHOS) du Bervezou est bonne et la qualité complémentaire (PAES, BACT, ACID et TEMP) est bonne à très bonne. Les paramètres sont globalement stables. On note toutefois une légère dégradation de la qualité complémentaire entre 2002 et 2006, où l'on peut observer entre autres un accroissement de la turbidité des eaux et de l'acidité, sans doute imputable aux défrichements dans le Ségala. Les dernières mesures disponibles se veulent rassurantes quant à la qualité actuelle.

Les données complémentaires de l'ARS du Lot concernant les pesticides ont été mesurées à Gabanelle sur le Bervezou, soit exactement dans la zone d'étude.

Elles indiquent que les teneurs en pesticides sont toutes inférieures à la limite de qualité pour l'alimentation en eau potable (0,10 µg/l), et inférieures à 0,025 µg/l pour la majorité des paramètres. Les teneurs en micropolluants organiques sont aussi inférieures aux limites de qualité.

b) QUALITE BACTERIOLOGIQUE DES EAUX

La qualité bactériologique des eaux du Bervezou est suivie dans les cadres du Réseau Complémentaire Départemental du Lot (RCD 46) et du Réseau Complémentaire Départemental Loisirs Aquatiques du Lot (RCDLA 46), chacun sur une station, respectivement à Linac (code 05091210) et Viazac (code BER05).

La contamination bactériologique d'une eau résulte de la présence de champignons, bactéries et virus, principalement liés aux rejets humains (problèmes d'assainissement) et animaux (activité agricole) directs ou indirects. L'action du soleil, de la température et des êtres vivants présents naturellement dans un cours d'eau en bon état de fonctionnement, peuvent suffire à éliminer la plupart de ces micro-organismes problématiques pour la santé humaine.

Sur la masse d'eau considérée, cette pollution est imputée aux dysfonctionnements ou à l'absence de systèmes d'épuration collectifs ou autonomes et à certaines pratiques agricoles (lessivage des sols, stockage ou traitement des effluents inefficaces, animaux s'abreuvant directement à la rivière, ...). Contrairement à certaines zones situées sur le bassin versant du Célé, aucun rejet industriel ne contribue à la contamination des eaux.

Sur la zone d'étude, cette pollution est particulièrement marquée en période pluvio-orageuse.

La qualité bactériologique d'une eau est évaluée par la concentration en Coliformes thermotolérants, Streptocoques fécaux et Coliformes fécaux. La qualité bactériologique est décrite en 3 classes de qualité ajustée par un indice gradué de 0 à 100.

Les données mesurées sur le Bervezou sont indiquées dans le tableau suivant :

Station	2000	2001	2002	2003	2004	2005
BER05	-	52	-	-	-	-
BER10	-	43	1	25	34	0

	Qualité
■	Optimale
■	Acceptable
■	Inapte
■	Non mesuré

Tableau 27 : Evolution de la qualité bactériologique des eaux du Bervezou (2000 à 2005)

On remarque que la qualité est inapte à la baignade pour la moitié de la période de suivi, ce qui est principalement dû au fait que les prélèvements ont été effectués peu après des épisodes pluvieux. En effet, par temps sec, on note que la qualité est globalement acceptable. Des contaminations ponctuelles liées aux événements climatiques (périodes pluvio-orageuses) rendent la masse d'eau inapte aux activités de loisirs, principale conséquence des activités agricoles.

3) QUALITE DES SEDIMENTS DANS LA RETENUE DU SEUIL DE GABANELLE

a) METHODOLOGIE

L'interprétation de la qualité des sédiments a été réalisée :

- à partir des seuils fixés par l'**arrêté du 8 janvier 1998, relatif aux prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/1997** relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. Cette interprétation de la qualité des sédiments permet de vérifier la compatibilité entre la qualité des matériaux et leur éventuel épandage ultérieur. Par ailleurs, les valeurs limites de concentration en éléments-traces dans les sols peuvent être interprétées comme valeurs limites pour permettre la reconstitution de sol à partir des sédiments ; d'un point de vue réglementaire, seul cet arrêté est pris en compte pour étudier la possibilité d'épandage des sédiments.

En complément, les résultats ont été comparés à titre indicatif :

- aux **valeurs seuils S1 de l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments extraits de cours d'eau** qui sont utilisées dans la nomenclature pour le choix du type de procédure (déclaration ou autorisation) applicable selon la loi sur l'eau ;
- aux **valeurs de la grille du SEQ-Eau (version 2)**, proposant une grille d'interprétation de la qualité des sédiments pour les paramètres concernés ;

b) RESULTATS

Les résultats de l'analyse de la qualité du prélèvement effectué au sein du plan d'eau en amont du seuil de Gabanelle sont donnés dans le tableau page suivante.

Ces résultats mettent en évidence une **qualité générale des sédiments bonne** et une **qualité compatible avec l'épandage agricole et/ou la reconstitution de sol** (absence de pollution majeure aux métaux lourds, HAP, PCB).

Ces analyses mettent également en évidence des **teneurs importantes en Arsenic** et en **Aluminium**.

Il s'agit de **phénomènes naturels** liés à la présence de gisement métallifères que l'on retrouve sur le socle granitique du Massif Central fortement représenté sur le bassin versant du Bervezou. En effet, sur ce socle repose une couche d'arène granitique recouverte de matériaux provenant de la décomposition des roches d'origines cristallines et cristallophyllienne dont la composition est riche en silice, en arsenic (sous forme de sulfures), en aluminium, en fer et en magnanèse. Ces éléments se retrouvent en concentration plus ou moins importante dans les eaux superficielles du Bervezou, suite au lessivage par les eaux de ruissellement.

Pour ce qui est de l'Aluminium, on aurait pu penser que cette teneur est liée à l'activité de l'usine d'eau potable située en amont à Longuecoste dont le traitement de l'Arsenic est basé sur des procédés de coagulation/floculation avec des sels d'aluminium.

Le Syndicat du bassin versant de la Rance et du Célé a donc procédé à un prélèvement et une analyse complémentaires en amont de la station de Longuecoste. Ces analyses ont révélé des teneurs en aluminium importantes et similaires à celles que l'on peut trouver sur l'ensemble du Bervezou, y compris à l'aval de Longuecoste. Il s'agit donc bien d'un phénomène dont l'origine est naturelle.

Enfin, il est important de noter que le Syndicat du bassin versant de la Rance et du Célé a procédé à des analyses sur des lixiviats qui mettent en évidence un très fort abattement des teneurs en arsenic et aluminium en dessous des normes.

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DE LA RANCE ET DU CELE

CARACTERISATION DES SEDIMENTS DE LA RETENUE EN AMONT DU SEUIL DE GABANELLE (prélevé le 17/06/2011, analyse LDE le 22/06/2011)

Paramètre	Unité	Arrêté du 08/01/1998		Arrêté du 09/08/2006	SEQ-Eau (version 2)				Echantillon GABANELLE
		pour l'épandage	pour la reconstitution de sols	S1	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	
GRANULOMETRIE									
Fraction > 2 mm	%								58.8
Argile (<2µm)	g/kg								-
Limon fin (2 à 20µm)	g/kg								-
Limon grossier (20 à 50µm)	g/kg								-
Sable fin (50 à 200µm)	g/kg								-
Sable grossier (200 à 2000µm)	g/kg								-
CARACTERISATION AGRONOMIQUE									
Matière Sèche	%								98.9
Matière Organique	% MS								-
Carbone organique total	% MS								-
pH									-
Densité (à 20°C)									-
NTK	mg/kg*								-
NH4	mg/kg*								-
Phosphore (P2O5)	mg/kg*								-
Potassium (K2O)	% MS								-
Calcium (CaO)	% MS								-
Magnésium (MgO)	% MS								-
Na	mg/kg*								-
ELEMENTS TRACES METALLIQUES									
Ar	mg/kg*			30	1	9.8	33		34
Cd	mg/kg*	10	2	2	0.1	1	5		<1
Cr	mg/kg*	1000	150	150	4.3	43	110		26
Cu	mg/kg*	1000	100	100	3.1	31	140		10
Hg	mg/kg*	10	1	1	0.02	0.2	1		<0.5
Ni	mg/kg*	200	50	50	2.2	22	48		19
Pb	mg/kg*	800	100	100	3.5	35	120		12
Zn	mg/kg*	3000	300	300	12	120	460		61
Cr + Cu + Ni + Zn	mg/kg*	3000							116
PCB CONGENERES									
PCB - 28	mg/kg*								<0.2
PCB - 52	mg/kg*								<0.2
PCB - 101	mg/kg*								<0.2
PCB - 118	mg/kg*								<0.2
PCB - 138	mg/kg*								<0.2
PCB - 153	mg/kg*								<0.2
PCB - 180	mg/kg*								<0.2
Total des 7 PCB	mg/kg*	0.8		0.68	0.006	0.06	0.67		<0.2
HAP (HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES)									
Benzo(a)pyrène	mg/kg*	2			0.0005	0.005	0.75		<0.1
Dibenzo(ah)anthracène	mg/kg*				0.0005	0.005	0.75		<0.1
Somme des 2 HAP	mg/kg*				0.0005	0.005	0.75		<0.1
Fluoranthène	mg/kg*	5			0.005	0.05	7.5		<0.1
Fluorène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Benzo(a)anthracène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg*	2.5			0.005	0.05	7.5		<0.1
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Benzo(ghi)peryène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Indéno(123-cd)pyrène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Acé naphthylène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Acé naphène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Anthracène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Chrysène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Na phthalène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Phénanthrène	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		<0.1
Pyrène	mg/kg*	2			0.005	0.05	7.5		<0.1
Somme majorée des 14 HAP	mg/kg*				0.005	0.05	7.5		0.22
HAP totaux (18 HAP)	mg/kg*	22.8							0.32

Aluminium : 24 741 mg/kg MS

Etude technique d'avant travaux sur le ruisseau du Berzevouz :

SCE / OCT 2011 / 70

4) QUALITE HYDROBIOLOGIQUE

La qualité hydrobiologique des eaux du Bervezou est suivie dans le cadre du Réseau Complémentaire Départemental du Lot (RCD 46) uniquement au niveau de la station de Linac (code 05091210). Ce suivi est complété par la mise en place d'une station en amont du Bervezou, à savoir à l'aval de la station de pompage AEP de Longuecoste (code BER20).

La détermination de cette qualité s'effectue à l'aide de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) et de l'Indice de Qualité Biologique Globale (IQBG). La première méthode fait l'objet d'une norme expérimentale AFNOR (T90-350 décembre 1992) qui fixe les modes de prélèvement (8 prélèvements de différents couples substrat-vitesse de 1/20 m²) et de traitement des invertébrés. L'utilisation de deux indices permet une meilleure caractérisation de la qualité recherchée.

La liste faunistique obtenue donne la variété taxonomique et le niveau du groupe indicateur de la polluosensibilité du peuplement qui permettent d'attribuer une note (de 1 à 20/20) aux qualités hydrobiologique (IQBG) et biologique (IBGN) globale du cours d'eau.

Le référentiel établi par la DCE impose, pour les cours d'eau des coteaux aquitains de taille moyenne, une note pour l'IBGN comprise entre 14 et 16 pour être dans un « bon état écologique » pour le paramètre « invertébrés aquatiques ».

Les résultats disponibles pour les deux stations, pour l'année 2001, sont donnés dans les tableaux suivants. A noter que pour mieux caractériser le milieu aquatique dans l'espace et dans le temps, deux campagnes de prélèvements ont été réalisées, à savoir l'une au printemps (3 et 4 juillet 2001) et l'autre à l'automne (20 et 21 septembre 2001).

Cours d'eau	Station	2001			
		Printemps		Automne	
		Richesse en taxons	IBGN (/20)	Richesse en taxons	IBGN (/20)
Bervezou en aval de Longuecoste	BER 20	33	18	31	17
Bervezou, amont confluence Célé	5091210	34	18	36	18

Tableau 28 : Résultats des IQBG sur le Bervezou (2001)

Les résultats sont excellents sur les deux stations en ce qui concerne l'IBGQ. Ils proviennent d'une diversité taxinomique très importante. Les moins bonnes notes automnales sont souvent le reflet des cycles biologiques des espèces, certaines disparaissant temporairement à la fin de la belle saison. Les constats observés sur les groupes très riches en taxons (mollusques, diptères, trichoptères et coléoptères entre autres) permettent de témoigner que le Bervezou s'apparente à un ruisseau d'altitude vierge de toute perturbation.

Cours d'eau	Station	2001			
		Printemps		Automne	
		Richesse en taxons	IQBG (/20)	Richesse en taxons	IQBG (/20)
Bervezou en aval de Longuecoste	BER 20	40	19	37	19
Bervezou, amont confluence Célé	5091210	44	19	43	19

Tableau 29 : Résultats des IBGN sur le Bervezou (2001)

Les IBGN sont aussi excellents sur les deux stations, que ce soit au printemps ou en automne. Ces résultats font suite à une variété totale assez importante (richesse en taxons). D'après la grille de détermination de la qualité hydrobiologique des eaux (Agence de l'Eau Adour Garonne), les eaux du Bervezou sont toujours d'excellente qualité (classe 1A : IBGN compris entre 17 et 20/20).

Le peuplement observé est caractéristique des cours d'eau de piémont, froids, bien oxygénés, peu ou non dégradés, à substrat très ouvert (granulométrie grossière), et débits soutenus. La présence de vitesses de courant élevées permet d'obtenir de fortes proportions d'espèces rhéophiles (inféodées aux eaux vives) : de 58 à 69 %.

La présente étude comprend la réalisation de deux IBGN (IBG-RCS Norme AFNOR NF XP T90-333 et XP T90-388), respectivement en amont et aval de la zone d'étude. Ceux-ci ont été effectués le 30 juin 2011 et les résultats sont disponibles dans un rapport annexe. Ces derniers peuvent être résumés comme suit : la note est de 19/20 en amont et de 18/20 en aval. Les résultats du suivi de 2001 sont donc toujours d'actualité, la qualité biologique du Bervezou est aujourd'hui excellente.

5) QUALITE PISCICOLE

La gestion piscicole a pour objet de gérer la demande des pêcheurs en fonction de la réalité écologique des milieux. Les gestionnaires directs sont les Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) qui mettent en place des plans de gestion locaux. Dans leur mission d'intérêt général, les Fédérations Départementales doivent aider à la mise en place et à la coordination de la gestion piscicole sur l'ensemble du territoire ainsi que s'assurer de l'harmonisation de celle-ci avec les différents plans de gestion des départements limitrophes.

Les Plans Départementaux pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (PDPG) sont des outils de gestion des milieux aquatiques qui s'adressent aux gestionnaires locaux (AAPPMA). Ils reposent sur l'analyse des peuplements piscicoles. La base des PDPG est d'établir un diagnostic du milieu en s'appuyant sur les poissons comme indicateurs. A partir de ce diagnostic les PDPG proposent des actions pour rétablir ou améliorer la présence et la qualité d'habitat de l'espèce repère. Ces actions sont ensuite validées par les élus de la fédération et des AAPPMA.

Le PDPG est une aide destinée aux détenteurs directs du droit de pêche (AAPPMA ou propriétaires privés) pour la réalisation de leurs plans de gestion. Il constitue aussi un document technique de référence pour le monde de la pêche, qui doit être pris en compte dans le SAGE.

Dans le contexte de notre zone d'étude, il faut savoir que le Bervezou constitue un attribut majeur pour le territoire et plus globalement pour le département. La qualité globale de l'eau est réputée excellente (1A), et il est classé en 1ere catégorie piscicole. Il offre donc un intérêt halieutique certain.

Dans le cadre du PDPG du Lot, l'état piscicole des principaux cours d'eau a été évalué, notamment celui du Bervezou. Cet état est hiérarchisé selon trois niveaux de qualité : conforme, perturbé ou dégradé.

Pour cela, les mesures et observations faites sont comparées à une situation théorique de référence en termes de biomasse pour les espèces repères, ces dernières englobant un ensemble d'espèces représentatives du milieu.

Les résultats de ces caractérisations sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Cours d'eau	Catégorie piscicole	Domaine piscicole	Etat fonctionnel	Gestion
Bervezou	1	Salmonicole	Conforme	Patrimoniaire

Tableau 30 : Caractérisation piscicole du Bervezou

Ces observations qualifient certains facteurs attendant à la zone d'étude de limitants, à savoir : les rejets urbains, la station AEP de Longuecoste (celle de Gabanelle faisait partie de la liste lors du PDPG mais elle n'est plus en activité aujourd'hui), l'activité de pisciculture du Colombier, les seuils, les cascades naturelles (plus particulièrement le Gouffre des Cloches), et enfin l'élevage.

A partir de ce diagnostic des actions sont proposées et classées en **Modules d'Actions Cohérents (MAC)** ou en **Recommandations d'Actions Complémentaires (RAC)**. Pour le Bervezou (se caractérisant par un état conforme), les décideurs ont opté pour des RAC, dont voici les principaux objectifs :

- limiter les autorisations de drainage pour protéger les zones humides,
- étudier la franchissabilité du moulin de Puy Launay,
- surveiller la qualité des rejets,
- prévoir une concertation avec les exploitants AEP (dont celle concernant la prise d'eau de Gabanelle a abouti à l'abandon de la station AEP),
- suivre les populations piscicoles et d'écrevisses à pied blanc.

Dans le cadre du Réseau Hydrobiologique et Piscicole (RHP), le suivi de la qualité piscicole est effectué par le Conseil Supérieur de la Pêche (CSP) sur le Célé ainsi que sur le Bervezou. Les résultats obtenus montrent que la qualité des peuplements piscicoles est supérieure sur les affluents du Célé (peuplements de première catégorie). Les résultats de ce suivi indiquent que les principales espèces présentes sur le cours d'eau sont le chabot, la truite fario, la lamproie de planer, le vairon, le gardon et la perche soleil.

Il faut enfin noter que le Bervezou possède à la fois le classement en rivière réservée et le classement en rivière à migrateurs :

- **Classement en rivière réservée (Art. 2 de la loi du 16/10/19)** : ce classement au titre de la Loi de 1919, relative à l'énergie hydraulique, vise à geler l'équipement des cours d'eau en y interdisant toute autorisation d'entreprise hydraulique nouvelle. (décret d'application du 28/07/87 pour le Bervezou)
- **Classement rivière à migrateurs (Art. L 432-6 du Code de l'Environnement** issu de l'article L232-6 du Code Rural) : le classement au titre de l'article L432-6 du Code de l'Environnement d'une rivière, ou tronçon de rivière, impose le franchissement de tout ouvrage postérieur au dit classement. De plus, si la parution d'une liste d'espèces migratrices suit ce classement, tous les ouvrages doivent être rendus franchissables pour les espèces concernées, dans les 5 ans suivant cette parution. (décret d'application du 20/06/89 pour le Bervezou)

La Truite fario justifie le classement en rivière à migrateurs car, bien que n'étant pas un grand migrateur, elle a besoin d'une variété d'habitats pour effectuer l'intégralité de son cycle de reproduction, ce qui la pousse à effectuer de petites migrations. En ce qui concerne les cours d'eau classés au titre du L432-6 et qui possèdent comme le Bervezou des obstacles naturels infranchissables (le Gouffre des cloches), le classement n'a pas été remis en question. En effet, il importe d'assurer la libre circulation des poissons dans le sous-bassin à l'aval de l'obstacle naturel ainsi que dans le sous-bassin amont.

Ce classement est donc remis en cause par la vétusté du seuil de Gabanelle, qui est dorénavant inapte à la libre circulation des poissons en période de faibles débits, ceci étant dû à l'affouillement constaté en l'aval de la passe à poissons créée en 2000.

6) MILIEUX NATURELS REMARQUABLES

Le bassin versant étudié n'est concerné par aucune zone de protection naturelle de type Réserve Naturelle, Parc National ou Arrêté Préfectoral de Protection. Il ne comprend aucune zone présentant un intérêt faunistique et floristique de type ZNIEFF, ni de site Natura 2000.

Cependant, le Bervezou et son bassin versant sont reconnus pour leur très forte biodiversité. En effet, on y trouve plusieurs espèces d'intérêt patrimonial comme le chabot et l'écrevisse à pattes blanches.

On trouve également de nombreuses zones humides.

On peut noter enfin la présence de la loutre d'Europe, espèce classée « en danger » sur la liste rouge nationale ainsi que « protection nationale » par arrêté du 21/07/83.

B. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE ET DES IMPACTS DES OUVRAGES SUR L'HYDROSYSTEME

1) IMPACT SUR LA FRANCHISSABILITE PISCICOLE

a) *ESPECE CIBLE CONSIDEREE*

L'enjeu principal sur le Bervezou correspond à la truite Fario, espèce migratrice holobiotique fortement présente sur le bassin versant.

De par le classement du Bervezou en rivière à migrateurs, il est impératif que tous les ouvrages soient franchissables par les espèces cibles considérées, en l'occurrence la truite Fario.

b) *SEUIL DE GABANELLE*

En ce qui concerne la continuité piscicole, l'ouvrage hydraulique en question est équipé d'une passe à poissons correctement dimensionnée pour accueillir la migration des truites fario.

En effet, aux regards des simulations numériques (cf. § II.4.A.2), la passe à poissons est toujours fortement alimentée y compris en période de basses eaux. Une analyse plus précise prenant en compte la géométrie de l'ouvrage (document mis à disposition dans le cadre de l'étude) montre que la hauteur d'eau en aval de la passe à l'étiage est suffisante au passage de la faune piscicole. En effet, la hauteur d'eau au pied de la structure est de 48 cm alors que la hauteur à franchir (différence entre la côte d'arase de la première échancrure et la côte du fil d'eau aval) est de 10,5 cm. La faune concernée (truite) peut donc aisément sauter cette hauteur (jusqu'à 30 cm), et la fosse d'appel est suffisante (elle doit être au minimum égale au double de la hauteur à franchir).

Cependant, cette passe n'est plus entretenue et l'on note une dégradation visible de son accès où est aménagé un petit déversoir dont l'affouillement d'environ un mètre constaté au pied forme une marche infranchissable en période d'étiage : on observe ainsi une hauteur à franchir (entre la côté d'arase du seuil et celle du fil d'eau) de 41,7 cm, trop importante pour observer une continuité piscicole (supérieure à 30 cm). Cette situation est à l'origine du constat d'infraction adressé par l'ONEMA à la commune de Figeac.

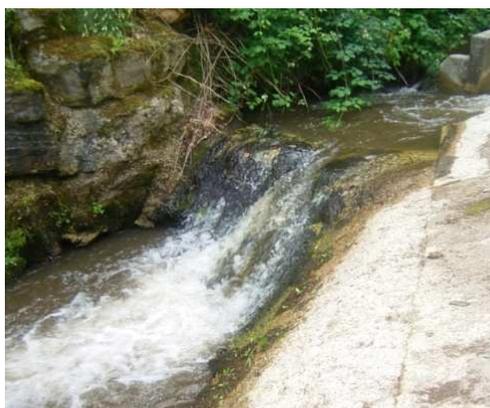


Figure 20 : Aval de la passe à poissons

Il faut enfin noter que cette impossibilité pour la faune piscicole de franchir l'obstacle n'est plus observable pour le module ($0,9 \text{ m}^3/\text{s}$). En effet, la hauteur à franchir est dans ce cas de 26,1 cm et la fosse d'appel mesure 71,6 cm. Cependant la marge est faible ; cela signifie que pour des débits relativement faibles (de l'ordre du module), il y a un fort risque de non-continuité piscicole.

c) *PASSAGE A GUE ET PONCEAU*

Sur le passage à gué, la lame d'eau peu importante en période d'étiage et un affouillement très important en aval rendent l'ouvrage infranchissable par la faune piscicole une grande partie de l'année.

En effet, l'affouillement créé en aval s'apparente à une chute de 95 cm. A l'étiage, la hauteur à franchir est de 81,5 cm et la fosse mesure 13,1 cm. L'ouvrage est totalement infranchissable. On remarque que même pour un débit moyen (module), la chute à franchir est de 48,4 cm (et la fosse de 46,2 cm). La continuité est encore plus altérée qu'au niveau du seuil, l'infranchissabilité est totale jusqu'à un débit supérieur au module.



Figure 21 : Chute en aval du passage à gué

2) *IMPACT SUR LES CONDITIONS D'HABITAT*

A l'amont des ouvrages, les conditions d'écoulement principalement lenticques favorisent le dépôt des matières en suspension et donc le **colmatage** des substrats par des fines. Ce phénomène de colmatage a un effet négatif sur la qualité biologique du cours d'eau en raison de la sédimentation des fines qui dégrade la qualité de l'habitat et de l'eau.

Ces phénomènes sont observables en amont des ouvrages de la zone d'étude, tant pour le seuil (retenue totalement remplie) que pour le gué (retenue en cours de remplissage).

3) *IMPACT SUR LA MACROFAUNE BENTHIQUE*

a) *PREAMBULE*

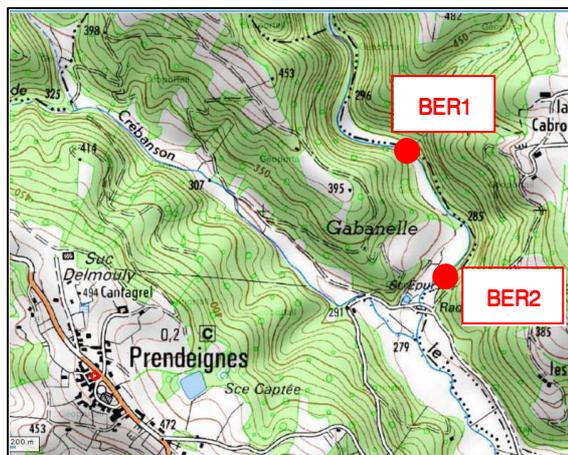
L'étude de l'impact sur la microfaune benthique s'appuie sur la réalisation d'**IBGN** (Indice Biologique Global Normalisé) en amont et en aval du seuil de Gabanelle qui permettent de caractériser et de quantifier l'ensemble des altérations induites par la présence du seuil et de sa retenue d'eau sur le cours d'eau du Bervezou.

L'utilisation de bio-indicateurs de la qualité des eaux permet en effet d'avoir une vision spatio-temporelle plus large, puisque le peuplement en place et sa composition sont les résultantes des conditions environnementales régulières et ponctuelles. Ainsi, l'IBGN permet de présenter un indice évoluant entre 0 et 20, et faisant apparaître à partir de plusieurs sous indices de calculs statistiques et de la composition des peuplements les paramètres déclassant de la qualité des eaux (Habitat, physico-chimie, type de pollutions toxiques ou organiques, etc.) et ce de manière robuste.

Les paragraphes suivants présentent les stations d'échantillonnage et la synthèse des résultats obtenus. Le rapport d'analyse détaillé est fourni en annexe 1.

b) LES STATIONS D'ETUDE

Les stations d'échantillonnage de macro-invertébrés concernant le site de Gabanelle sont rappelées ci-dessous :



Station BER1



Station BER2

c) SYNTHESE

L'ensemble des résultats obtenus pour chaque station est résumé dans le tableau ci-dessous. L'ensemble des données acquises et les résultats détaillés sont fournis en annexe 1.

	IBGN	IBGN-1	Variété	Taxon indicateur	ln
BER-1 Amont du seuil de Gabanelle	19/20	17/20	37	<i>Perlidae</i>	9
BER-2 Aval du seuil de Gabanelle	18/20	17/20	35	<i>Perlidae</i>	9

	Ln B1 + B2 + B3	Variété B1 + B2 + B3	Taxon indicateur
BER-1 Amont du seuil de Gabanelle	9	41	<i>Perlidae</i>
BER-2 Aval du seuil de Gabanelle	9	36	<i>Perlidae</i>

Les résultats obtenus en amont et en aval du seuil tendent à démontrer une **qualité biologique très bonne** du Bervezou.

La présence de *Perlidae*, taxon de GI 9 très polluosensible tend à prouver **l'absence de pollution incidente**.

La variété dans est bonne sur les deux sites mais reste cependant un peu plus limitée en aval en raison d'une certaine homogénéité des faciès d'écoulements peut-être dû au surcreusement du lit.

Les différences observées entre les peuplements des deux sites étudiés restent cependant peu significatives. En effet la différence de variété (B1+B2+B3) porte principalement sur des taxons faiblement représentés sur la station amont et semble non significative.

Les indices statistiques démontrent dans les deux cas une **bonne biodiversité**, avec une équitabilité de répartition moyenne au sein du peuplement et bonne au sein des habitats.

La composition des peuplements illustrée par les diagrammes semble cohérente et structurée dans les deux cas. **Ces résultats ne permettent donc pas de conclure à une différence significative entre les deux sites** au moment de l'échantillonnage.

Bien qu'il soit évident que l'ouvrage ait une incidence directe en amont de ce dernier par une dégradation du potentiel habitat (homogénéisation des écoulements, colmatage, etc...) **il ne semble pas présenter de dégradation majeure de la qualité des eaux sur le Bervezou aval**.

On notera cependant une très légère dégradation du potentiel habitat en aval de l'ouvrage par un léger surcreusement du lit et une plus grande homogénéité des faciès d'écoulement.

C. SYNTHÈSE SUR LE CONTEXTE ÉCOLOGIQUE : CE QU'IL FAUT RETENIR

Le Bervezou et son bassin versant présentent un état écologique de très bonne qualité. En particulier, il possède une eau d'une excellente qualité, tant au niveau physico-chimique qu'hydrobiologique. Les seuls facteurs qui entraînent une légère dégradation de la qualité du cours d'eau sont liés aux lessivages pendant les périodes pluvio-orageuses qui entraînent en particulier des pollutions bactériologiques.

Cette qualité, associée à une hydromorphologie relativement préservée, lui permet d'être classé en bon état écologique selon la Directive Cadre Européenne.

Au droit de la zone d'étude, on retrouve ces caractéristiques générales excepté le fait que l'on se trouve en présence de deux ouvrages hydrauliques, le seuil de Gabanelle et le passage à gué, dont la non-franchissabilité reste le problème majeur d'un point de vue écologique.

II.7. CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

A. CONTEXTE GENERAL

1) ACTIVITES ET USAGES LIES A L'EAU

a) PRELEVEMENTS

➤ Alimentation en eau potable

Le bassin versant du Bervezou, au droit de sa confluence avec le Crébanson possède à ce jour un seul et unique prélèvement d'eau pour les besoins en eau potable. Il s'agit de la station AEP de Longuecoste, située sur la commune de Montet et Bouxal et gérée par le SIAEP Sud Ségala.

En effet, il existait auparavant une deuxième station située au droit de la zone d'étude, à savoir à Gabanelle, gérée par la commune de Figeac (elle alimentait environ un tiers des besoins journaliers de la commune) mais elle est abandonnée depuis 2006.

En ce qui concerne les volumes prélevés, les données suivantes nous ont été fournies :

Nom du sous-bassin	Prélèvement AEP en m ³ /an (2004)	Volume restitué par STEP en m ³ /an (2004)	Consommation AEP en m ³ /an (2004)	Consommation AEP à l'étiage en m ³ /an (2004)
Bervezou	751 455	11 038	740 417	371 129

Tableau 31 : Consommation AEP annuelle sur le Bervezou en 2004

Nom de la prise d'eau	Rivière	Volume moyen prélevé (2000-2004)
Longuecoste	Bervezou	1429 m ³ /j
Gabanelle	Bervezou	778 m ³ /j

Tableau 32 : Consommation journalière des prises d'eau de Longuecoste et Gabanelle

En supprimant la station AEP de Gabanelle, les prélèvements en eau potable sur le Bervezou ont donc diminué de 35 %. On les estime aujourd'hui à 486 556 m³/an.

A noter qu'une surveillance du bon état de la station de Longuecoste est à prévoir. En effet, son état se dégrade et elle est simplement entretenue après les crues. Qui plus est, le pompage est actif en permanence et l'eau récoltée pendant les crues ne peut pas être traitée convenablement.

➤ Irrigation

Les volumes prélevés par l'irrigation à partir des cours d'eau étant pour la plupart concentrés en aval de Figeac, ce sont surtout les prélèvements AEP qui creusent le déficit éventuel en eau dans le Célé et ses affluents à l'amont de Figeac dont fait partie le Bervezou.

En effet, d'après les données de l'Agence de l'Eau, qui apportent une information suffisamment détaillée (localisation du prélèvement, volume mesuré, type) pour évaluer les prélèvements pour l'irrigation par sous bassin versant, il a été prélevé sur le Bervezou 1504 m³ durant l'année 2004, soit très peu en comparaison avec les prélèvements AEP (environ 0,3 %). Ceci se retrouve dans le fait que seulement 40 ha sont classés en tant que surfaces irriguées sur le Bervezou.

b) REJETS

➤ Eaux usées domestiques

Latronquière, Montet et Bouxal, Sabadel-Latronquière, St Cirgues et Predeignes. Les tableaux suivants présentent les caractéristiques principales des systèmes de collecte et d'épuration présents sur les communes riveraines du Bervezou :

Commune	Nb raccordés	Activités raccordées	Traitement	Capacité (en EH)	Milieu récepteur	Année mise en service
Latronquière	245	-	Lagunage naturel	650	Ruisseau de Goutepeyrouse	1996
Montet et Bouxal	41	Hôtel, stations de lavage, garages	Lagunage naturel	120	Ruisseau de Brullet	1990
Sabadel-Latronquière	0	-	-	-	-	-
St Cirgues	0	-	-	-	-	-
Predeignes	34	-	Puits d'infiltration décanteur	?	Sous sol	?

Commune	Remarque des services de suivi (MAGE/SATESE)	Schéma Communal d'Assainissement	SPANC (Oui/Non)
Latronquière	Entretien correct. Qualité d'épuration satisfaisante. Quelques cas d'eutrophisation. Présence de ragondin.	1994	O
Montet et Bouxal	Qualité de l'épuration satisfaisante. Possibilité de problème d'eutrophisation. Présence de ragondins ==> maintenir des campagnes de piégeage régulières.	2005	O
Sabadel-Latronquière	-	2004	O
St Cirgues	-	2004	O
Predeignes	Pas de réel entretien depuis la création de la station. Le décanteur ne fonctionne pas correctement (fosses sceptiques reliées et eaux parasites)	2001	O

Commune	Zonage du Schéma communal d'assainissement	Travaux conseillés(SCA) ou en cours
Latronquière	Bourg en collectif	Un bon nombre de fosses septiques doivent encore être débranchées
Montet et Bouxal	Assainissement collectif limité à la périphérie immédiate du bourg de Lavitarelle. 7 raccordements supplémentaires prévus (dont une conserverie).	Doublement de la capacité de la station (260 EH).
Sabadel-Latronquière	Toute la commune est en assainissement autonome	-
St Cirgues	Toute la commune est en assainissement autonome	Tranchées d'infiltration et filtres à sables drainés
Predeignes	Bourg en collectif, le reste de la commune est en individuel. Légère extension de l'existant.	Court-circuiter fosses septiques, remplacement de la station par un système plus rustique (filtre à sable ou à roseaux) de minimum 70 EH. En attente de financements.

Tableau 33a, b et c : Caractéristiques de l'assainissement sur les communes du bassin versant

On note à travers ces tableaux que l'unique point noir en ce qui concerne les rejets dans le Bervezou est l'assainissement en place à Prendeignes.

Le PAGD (Plan d'Aménagement et de Gestion Durable de la ressource en eau) du bassin du Célé, datant de Septembre 2010, prévoit les travaux d'aménagement suivants :

- Augmentation de la capacité de la station à Montet et Bouxal ; classement priorité 2 (coût estimé : 60 700 €)
- Création d'une STEP de 78 EH à Predeignes ; classement priorité 1 (coût 196 000 €). Les travaux ont d'ailleurs débuté au début de l'année 2011.

➤ Eaux usées industrielles

Aucun rejet industriel n'a été observé jusqu'à aujourd'hui sur le bassin versant.

➤ Pollution agricole

Les activités agricoles génèrent surtout des matières en suspension, des matières organiques, des composés azotés (et phosphorés dans une moindre mesure) issus des engrais, et des micropolluants organiques et minéraux issus des produits phytosanitaires.

Deux processus interviennent dans la pollution des eaux :

- la pollution diffuse : par ruissellement des engrais et des effluents sur les parcelles agricoles ou par infiltration des matières azotées et phosphatées en excédent et des micropolluants vers les nappes,
- la pollution ponctuelle : essentiellement issue des fuites des bâtiments d'élevage.

Compte tenu des pratiques agricoles sur le bassin du Bervezou (essentiellement voire seulement de l'élevage), les risques de pollution d'origine agricole sont en majorité liés aux pratiques d'élevage qui entraînent de fortes pressions et charges organiques par temps de pluie plus particulièrement, comme nous l'avons constaté lors de l'analyse de la qualité des eaux du Bervezou (cf. § II.6.A.2)b).

Ces contaminations d'origine agricole peuvent être multiples :

- lessivage des sols (ayant récemment reçu des fertilisants organiques) dans le cas de fortes pluies et/ou de fortes pentes, ou d'épandage à proximité des cours d'eau ;
- accès des animaux aux cours d'eau (abreuvement) ;
- absence de traitement ou traitement inefficace des effluents peu chargés ;
- non récupération des jus (lisier, ensilage) ;
- équipements de stockage (fosse à lisier, fumière) quand ils présentent des problèmes d'étanchéité.

A noter qu'il n'existe aucune zone vulnérable aux nitrates sur le bassin versant du Bervezou.

2) OCCUPATION DES SOLS

Globalement, l'occupation du sol sur l'ensemble du bassin versant est quasi exclusivement naturelle et agricole (cf. figure en page suivante) puisque on dénombre uniquement 1% d'espaces urbains.

L'activité agricole est orientée aujourd'hui quasi exclusivement vers l'**élevage** avec une utilisation des terres en surface fourragère et surface toujours en herbe de manière très prépondérante comme l'illustre le tableau ci-après.

Communes	Superficie agricole utilisée (ha)	Céréales <i>Pourcentage en superficie (%)</i>	Superficie fourragère principale <i>Pourcentage en superficie (%)</i>	Superficie toujours en herbe <i>Pourcentage en superficie (%)</i>
	2000	2000	2000	2000
LATRONQUIERE	630	3	97	55
MONTE T-ET-BOUXAL	816	6	94	54
PRENDEIGNES	562	4	96	54
SABADEL-LATRONQUIERE	476	7	91	31
SAINT-CIRGUES	1 859	9	90	40

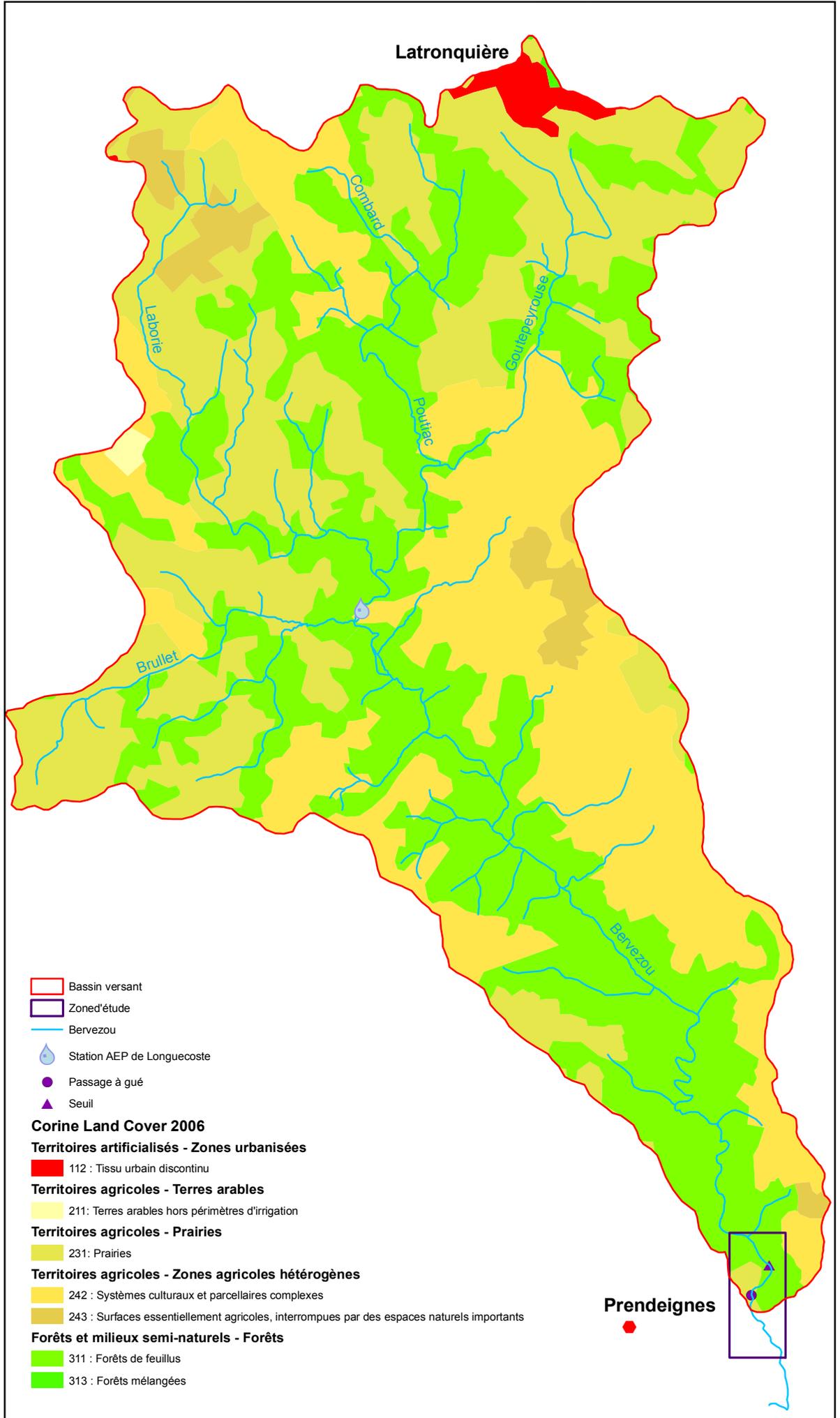
Tableau 34 : Répartition de la superficie agricole utilisée sur le bassin versant du Bervezou en 2000 (source : Agreste)

3) ACTIVITES ECONOMIQUES

La seule activité réellement présente sur la zone d'étude est l'activité agricole. Il n'existe pas d'activité industrielle.

Bassin versant du Bervezou

Cartographie de l'occupation des sols



sources, références :
Corine Land Cover 2006

B. ANALYSE DU CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE LIE AU SITE DE GABANELLE

Le site de Gabanelle est représentatif de l'ensemble du bassin versant du Bervezou à savoir un enjeu socio-économique essentiellement lié à l'activité agricole.

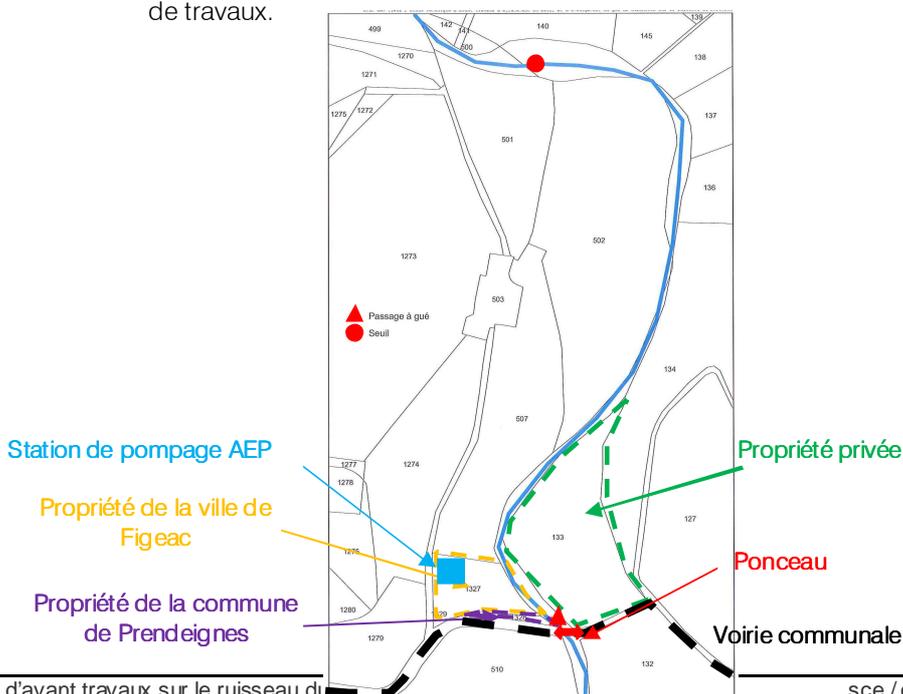
On peut y ajouter deux points particuliers propres au site d'étude de Gabanelle :

- Le 1^{er} correspond à la **station de pompage d'eau potable** alimentée depuis la retenue d'eau en amont du seuil de Gabanelle. Elle appartient à la ville de Figeac et permettait jusqu'en 2006 de satisfaire un tiers de la consommation en eau potable de la ville. Aujourd'hui, cette prise d'eau n'est plus utilisée, la ville de Figeac souhaitant sécuriser son alimentation depuis le Lot. Si on la considère indépendamment du seuil de Gabanelle qui garantissait un niveau d'eau suffisant pour assurer son alimentation, elle ne constitue donc plus un enjeu en tant que telle.
- Le 2^{ème} point correspond au **franchissement du Bervezou** par la voirie communale. Il est assuré initialement par le ponceau mais ce dernier est en mauvais état et il est implanté de telle façon qu'il ne permet pas l'accès aux engins agricoles et aux camions.

Pour remédier à cette situation, la commune de Predeignes a aménagé un passage à gué à proximité. Ce dernier est aujourd'hui emprunté par les engins agricoles des exploitants qui possèdent des parcelles de part et d'autre du cours d'eau ainsi que par les bus scolaires et par tous les véhicules (y compris les camions) qui ont besoin de se déplacer vers la commune de St Cirques depuis la commune de Predeignes. En effet, le franchissement via le passage à gué est apprécié et utilisé, même si cela se fait de manière peu fréquente (1fois/jour voire 1 fois/semaine) car il raccourcit significativement le trajet entre les deux communes.

Malgré son intérêt et son usage, ce passage à gué présente deux problématiques majeures en plus de son fort impact écologique (cf. § II.6.B) :

- Il est illégal d'un point de vue réglementaire puisqu'il n'a fait l'objet d'aucune demande d'autorisation ou de déclaration au titre de la Loi sur l'Eau.
- Il est situé, ainsi que son accès, en partie sur des parcelles privées. Ce qui pose des problèmes en matière de responsabilité, de servitude et de pérennité de l'usage ainsi que de maîtrise d'ouvrage en cas de réalisation de travaux.



C. SYNTHÈSE SUR LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE : CE QU'IL FAUT RETENIR

Le contexte socio-économique du site de Gabanelle est marqué par l'agriculture, activité quasi-exclusive sur le bassin versant du Bervezou, et les usages qui y sont liés.

En particulier, il existe sur le site un passage à gué qui constitue le seul ouvrage hydraulique permettant le franchissement du Bervezou pour les engins agricoles ainsi que certains véhicules inhérents à cette activité (camion du laitier, camions d'approvisionnement d'aliments,...). De surcroît, pour des raisons de commodité (temps de parcours plus court) et du fait que le ponceau situé à proximité et initialement prévu pour le franchissement est en mauvais état, ce passage à gué est parcouru quand les conditions le permettent par les bus scolaires et les véhicules légers.

Or, comme nous l'avons vu précédemment (cf. § II.6.B), ce passage à gué impacte fortement le potentiel écologique du Bervezou. De plus, il n'a aucune légalité et existence réglementaire. Enfin, son accès se fait en rive gauche du Bervezou via une parcelle privée, ce qui est susceptible de poser des problèmes en matière de maîtrise d'ouvrage, de responsabilité, de pérennité et de maintenance de l'ouvrage.

III. DEFINITION ET COMPARAISON DE SCENARI D'AMENAGEMENTS

III.1. DEFINITION DES SCENARI D'AMENAGEMENT

L'état des lieux / diagnostic a montré que le seuil de Gabanelle n'a plus d'utilité aujourd'hui, la station de potabilisation d'eau alimentée en eau depuis la retenue en amont du seuil étant abandonnée depuis 2006. De plus, ce seuil n'a pas de fonction d'écrêtement de crues et il n'y a pas d'enjeu lié à la vulnérabilité du site face aux crues.

⇒ *Par conséquent, la question de son maintien se pose aujourd'hui.*

Toutefois, ce seuil est équipé d'une passe à poissons qui pourrait être fonctionnelle à condition qu'elle soit rendue accessible au niveau de son premier bassin aval.

⇒ *Le maintien du seuil intégrant une réhabilitation de la passe à poissons peut constituer une alternative intéressante, par exemple dans le cas où la station de potabilisation serait remise en service lors d'une situation d'urgence.*

L'autre point marquant de l'état des lieux/diagnostic est lié au passage à gué. Ce dernier constitue un enjeu fort du site du fait qu'il est régulièrement utilisé pour le franchissement du Bervezou mais il impacte fortement le potentiel écologique du cours d'eau et constitue un des points pénalisants majeurs avec le seuil de Gabanelle.

⇒ *Il convient donc d'envisager des scénarii d'aménagements permettant de satisfaire cet usage tout en améliorant le contexte écologique.*

Selon ces hypothèses de base, trois scénarios sont envisagés :

- Scénario 1 : arasement complet du seuil (et de la passe à poissons) ainsi que du passage à gué,
- Scénario 2 : arasement complet du seuil (et de la passe à poisson) et mise en place d'une buse sous le passage à gué,
- Scénario 3 : réhabilitation de la passe à poissons et mise en place d'une buse sous le passage à gué.

A. ARASEMENT COMPLET DU SEUIL ET DU PASSAGE A GUE

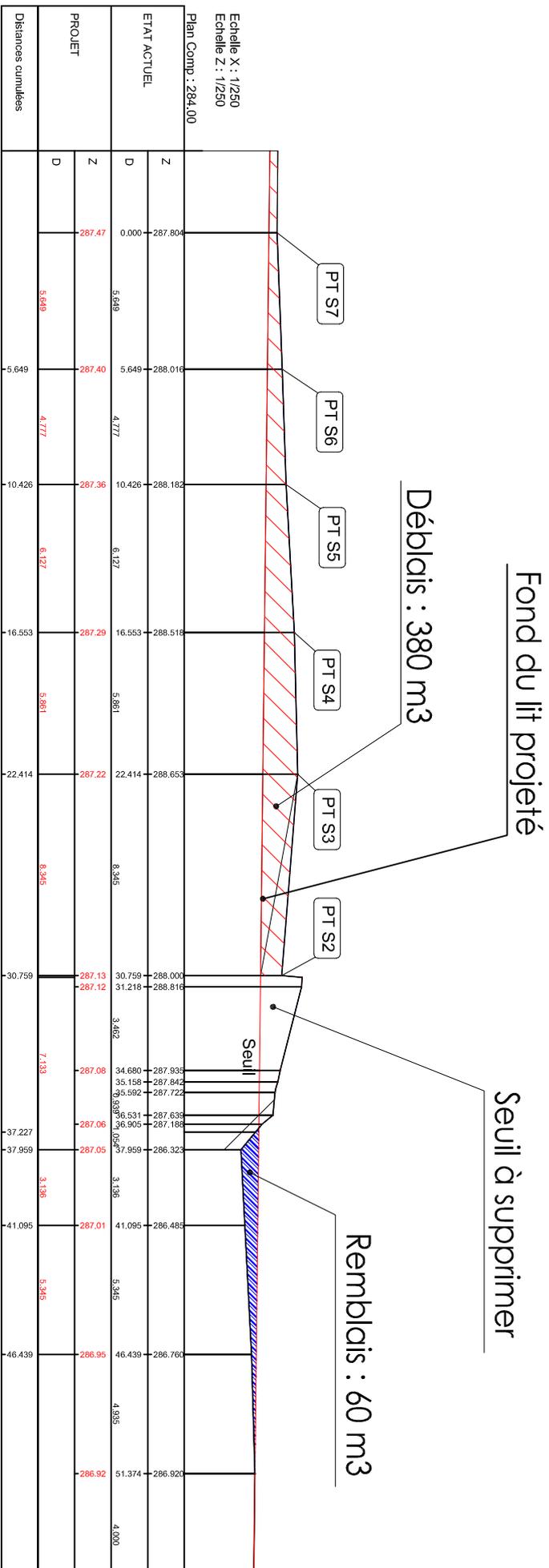
Les parties précédentes ont justifié le fait que la commune de Figeac est en infraction quant à la non-continuité piscicole sur le seuil de Gabanelle. Nous avons aussi montré que le passage à gué avait les mêmes conséquences quant au passage des poissons migrateurs. Qui plus est, le passage à gué a un impact sur la continuité sédimentaire et provoque ainsi des érosions des berges et du lit (ce constat n'est plus vrai pour le seuil dont la retenue est entièrement comblée).

La solution qui pallierait tous ces dysfonctionnements est l'effacement de ces deux ouvrages hydrauliques, associé au reprofilage du cours d'eau selon sa pente « naturelle », c'est-à-dire non influencé par les ouvrages. Ce principe d'aménagement pour le seuil est représenté sur le profil en long en page suivante. Il est à noter également que la largeur du cours d'eau, y compris au droit de l'actuelle retenue en amont du seuil, ne serait pas modifiée.

Le principe est le même pour le passage à gué. Pour ce dernier, le segment situé entre le passage à gué et le pont serait aussi reprofilé de manière à rehausser le profil d'une quinzaine de centimètres sous le pont afin de supprimer la rupture de pente entre le passage à gué et le pont.

REHABILITATION DU SITE DE GABANELLE

ARASEMENT DU SEUIL ET REPROFILAGE DU BERVEZOU



B. MISE EN PLACE D'UN BUSAGE SOUS LE PASSAGE A GUE

Comme on l'a vu précédemment, le passage à gué handicape fortement le potentiel écologique du site de Gabanelle du fait qu'il constitue un obstacle à la continuité piscicole.

La première solution est donc naturellement de supprimer ce passage à gué (Cf. paragraphe précédent). Cependant, comme l'a souligné l'état des lieux/diagnostic, le ponceau situé à proximité ne permettant pas le passage de véhicules encombrants, il est nécessaire pour certains usagers de garder cet ouvrage hydraulique.

La deuxième solution est donc, sous réserve d'effectuer d'autres aménagements complémentaires entre le passage à gué et le ponceau pour protéger des phénomènes d'érosion et du charriage des enrochements, de permettre par le biais d'un busage le passage de la faune piscicole à travers le passage à gué..

Techniquement, la buse serait en béton, d'un diamètre de 500 mm avec une pente de 5 % et pourrait ainsi faire transiter 1,3 m³/s : ce qui permettrait de garantir la transparence des écoulements et la continuité écologique pour les faibles débits jusqu'aux débits de l'ordre du double du module.

C. REHABILITATION DE LA PASSE A POISSONS

Comme nous l'avons vu dans la partie diagnostic, la non-continuité piscicole à l'origine de l'infraction dans laquelle se trouve la ville de Figeac est liée à la difficulté (voire l'impossibilité) d'accéder à la passe à poissons. Ceci est dû à une fosse de plus d'un mètre de profondeur qui s'est formé au pied de la passe.

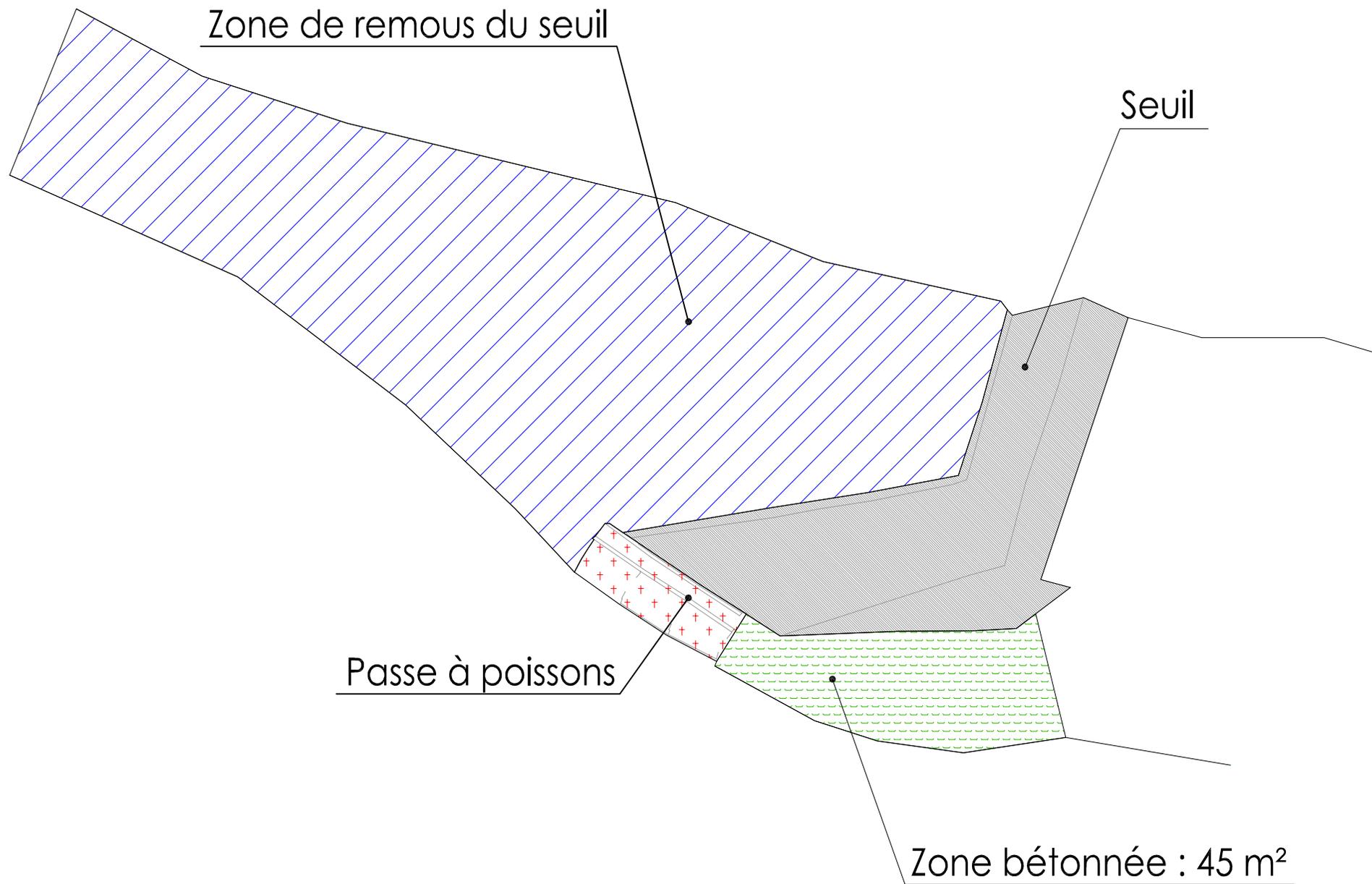
Or, la passe à poissons est en bon état, elle est bien dimensionnée et bien adaptée à la circulation de la truite fario, espèce cible sur la zone d'étude. De plus, le seuil est aujourd'hui rempli et ne pose plus réellement de problème quant à la continuité sédimentaire. L'ouvrage n'est donc pas un obstacle.

Par conséquent, on peut se poser la question de la nécessité de détruire le seuil de Gabanelle. Une solution alternative étant de rendre accessible et fonctionnelle la passe à poisson tout en gardant la totalité de l'ouvrage.

Techniquement parlant, il s'agit de casser le petit ouvrage en aval de la passe à poisson, de remblayer la fosse située en aval (approximativement 15 m³), de mettre à niveau le lit du cours d'eau (avec une pente homogène) jusqu'en l'aval du seuil, et de consolider cette zone avec une couche de béton.

Cette zone s'apparente à un couloir de 2m de large juste en aval de la passe puis de 4,3m, et ceci sur une longueur de 12m environ. Elle s'étend sur une surface d'environ 45 m², et possède une pente constante de 2,5 %.

Le principe de cette réhabilitation, en particulier la fosse qui serait à combler avec du béton, est donné sur la figure en page suivante.



III.2. IMPACTS DES SCENARII D'AMENAGEMENT

A. IMPACT DE L'ARASEMENT DES OUVRAGES (SCENARIO 1)

Les principes d'aménagement tels qu'énoncés dans le chapitre précédent peuvent avoir un impact, notamment en ce qui concerne la réponse du cours d'eau face à un changement soudain de sa morphologie. Il convient ainsi de modéliser la zone d'étude une nouvelle fois en y appliquant les changements annoncés (suppression des ouvrages + reprofilage en long du cours d'eau + maintien de la largeur du cours d'eau). Il est ainsi possible d'analyser le changement de comportement du cours d'eau par rapport à deux phénomènes :

- Le comportement hydraulique du Bervezou, en particulier lors des crues (montée de la ligne d'eau, augmentation de la vitesse d'écoulement,...),
- Les risques d'érosion.

1) IMPACT SUR LE COMPORTEMENT HYDRAULIQUE

De la même manière que pour l'étude hydraulique en fonctionnement actuel, nous avons effectué 6 simulations, du module à la crue vicennale, en régime permanent. L'arasement des ouvrages ainsi que le reprofilage du lit a été modélisé. Les résultats sont les suivants :

- Pour ce qui concerne le seuil de Gabanelle : on aboutit aux mêmes conclusions que celles issues de l'analyse de l'état actuel à savoir que le seuil n'a qu'une très faible incidence sur le fonctionnement hydraulique du Bervezou. En effet, la suppression du seuil ne se traduit pas à l'aval par une augmentation du niveau d'eau et de la vitesse d'écoulement. Ceci est dû au fait que dans l'état actuel, l'engravement de la retenue est tel que le seuil n'a plus aucun effet écrêteur.
- Pour ce qui concerne le passage à gué : la suppression de l'ouvrage entraîne une mise en vitesse des écoulements à l'aval et un abaissement de la ligne d'eau en amont, à savoir sur le profil PT7.

En ce qui concerne le reste de la zone d'étude, aucun changement n'est à noter. Nous retrouvons ainsi les mêmes comportements en crue, les mêmes inondations, à savoir un faible débordement sur le premier profil, et une mise en eau d'une partie de la prairie située en aval du seuil de Gabanelle.

2) IMPACT SUR LE TRANSPORT SOLIDE ET LES PHENOMENES EROSIFS

Un autre aspect très important à analyser est le risque érosif sur tout le linéaire de la zone d'étude, et plus particulièrement autour des zones retravaillées. Nous avons donc mené la même analyse que dans la partie hydromorphologie (Cf II.5.B.3b)). Par la suite, le découpage de la zone d'étude en segments sera le même que dans la partie précédente, excepté l'ajout de sept profils, correspondant à la zone de retenue du seuil arasé reprofilé.

Les résultats, en ce qui concerne le transport sédimentaire de fond et l'érosion des berges, sont semblables à l'analyse menée précédemment sur une grande partie de la zone d'étude.

Les parties suivantes présentent les résultats les plus importants et les changements, conséquences de l'arasement des ouvrages.

a) *TRANSPORT SEDIMENTAIRE SUR LE FOND DU COURS D'EAU*

La capacité de transport solide sur le fond après arasement des deux ouvrages hydrauliques a été évaluée selon le même mode opératoire que dans l'état actuel (cf. §II.5.B.3)b), c'est-à-dire par comparaison entre les contraintes critiques d'entraînement et les valeurs de contraintes obtenues sur chacun des segments.

Les résultats de ces comparaisons sont donnés dans le tableau suivant :

Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond	Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond
PTS7	Module	20.2	Pas de transport	PT7.3	Module	20.4	Pas de transport
	1	68.2	Transport mouille		1	61.6	Transport mouille
	2	91.7	Transport mouille		2	74.5	Transport mouille
	5	111.0	Transport mouille		5	83.5	Transport mouille
	10	124.2	Transport radier		10	87.7	Transport mouille
	20	136.7	Transport radier		20	90.7	Transport mouille
PTS6	Module	32.0	Transport mouille	PT7	Module	25.5	Transport mouille
	1	187.7	Transport radier		1	71.8	Transport mouille
	2	266.9	Transport radier		2	89.2	Transport mouille
	5	333.9	Transport radier		5	102.2	Transport mouille
	10	370.0	Transport radier		10	109.1	Transport mouille
	20	399.7	Transport radier		20	114.8	Transport mouille
PTS5	Module	29.6	Transport mouille	ret1	Module	44.7	Transport mouille
	1	195.2	Transport radier		1	136.1	Transport radier
	2	288.3	Transport radier		2	161.4	Transport radier
	5	369.1	Transport radier		5	182.2	Transport radier
	10	416.5	Transport radier		10	193.9	Transport radier
	20	450.7	Transport radier		20	205.7	Transport radier
PTS4	Module	20.2	Pas de transport	ret2	Module	26.1	Transport mouille
	1	104.3	Transport mouille		1	104.8	Transport mouille
	2	153.6	Transport radier		2	126.8	Transport radier
	5	192.5	Transport radier		5	146.9	Transport radier
	10	214.4	Transport radier		10	158.9	Transport radier
	20	225.4	Transport radier		20	171.9	Transport radier
PTS3	Module	22.7	Pas de transport	ret3	Module	32.4	Transport mouille
	1	81.8	Transport mouille		1	198.4	Transport radier
	2	113.9	Transport mouille		2	261.1	Transport radier
	5	132.4	Transport radier		5	325.6	Transport radier
	10	143.9	Transport radier		10	362.2	Transport radier
	20	141.6	Transport radier		20	396.4	Transport radier
PTS2	Module	19.3	Pas de transport	Gué pont	Module	28.6	Transport mouille
	1	51.0	Transport mouille		1	85.8	Transport mouille
	2	59.0	Transport mouille		2	117.4	Transport radier
	5	59.7	Transport mouille		5	149.2	Transport radier
	10	62.6	Transport mouille		10	169.2	Transport radier
	20	55.6	Transport mouille		20	188.7	Transport radier

Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond	Segment	Période de retour de la crue	τ_0 (N/m ²)	Diagnostic transport de fond
PTS1	Module	32.1	Transport mouille	Pont	Module	26.8	Transport mouille
	1	65.8	Transport mouille		1	262.7	Transport radier
	2	72.7	Transport mouille		2	415.5	Transport radier
	5	73.0	Transport mouille		5	568.6	Transport radier
	10	76.2	Transport mouille		10	665.7	Transport radier
	20	69.4	Transport mouille		20	752.8	Transport radier

Tableau 35: Evaluation de la capacité de transport sédimentaire sur le fond après suppression des ouvrages hydrauliques

Les aménagements effectués ont sur le transport solide les conséquences suivantes :

- Au droit de l'ancienne retenue du seuil (segments PTS7 à PTS1, d'amont en aval) : On note un comportement différent entre les extrémités (amont et aval) de la zone et le milieu. En effet on observe un transport sédimentaire plutôt faible (seulement sur les mouilles) sur les extrémités (profils 7, 2 et 1), et ce pour tout débit. Pour les autres, le transport de fond est très fort dès la crue biennale (jusqu'à 450 N/m² en PTS5). Pour expliquer cela, il faut porter une attention particulière aux profils en travers. Au droit de l'ancienne retenue, l'arasement du seuil se traduit par une zone large (17m en PTS2), qui suit le rétrécissement naturel du cours d'eau (7m en PTS5). Ce brusque accroissement entraîne une baisse du niveau d'eau en aval et donc une très forte pente d'énergie dans la zone de transition avec une mise en vitesse des écoulements (jusqu'à 4,6 % en PTS5). Il sera donc nécessaire d'être vigilant quant au transport de sédiments sur toute cette zone.
- Au droit de la retenue du passage à gué, curée dans le cas présent (segments ret1 à ret3), les contraintes tangentielles sont comparables à la première simulation, sans arasement de l'ouvrage, c'est-à-dire plutôt fortes. Si l'on observe les valeurs de contrainte tangentielle jusque sous le pont, on constate que le transport de fond reste une problématique majeure dans ce secteur, particulièrement en ce qui concerne la pérennité des fondations du pont et la mise en mouvement des enrochements présents. Il conviendra donc d'utiliser des protections.

b) EROSION DES BERGES

La capacité d'érosion des berges après arasement des deux ouvrages hydrauliques a été évaluée selon le même mode opératoire que dans l'état actuel (cf. §II.5.B.3)b), c'est-à-dire à partir de la méthode du critère de Lane. Les paramètres utilisés et les résultats sont donnés dans le tableau ci-après pour les mêmes zones que précédemment, à savoir celles impactées par les deux effacements d'ouvrages hydrauliques.

Segment	Période de retour de la crue	(t ₀) ^{berge}	Diagnostic		Segment	Période de retour de la crue	(t ₀) ^{berge}	Diagnostic	
			Rive gauche	Rive droite				Rive gauche	Rive droite
PTS7	Module	15.3	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7.3	Module	15.5	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	51.8	Erosion	Erosion		1	46.8	Erosion	Erosion
	2	69.7	Erosion	Erosion		2	56.6	Erosion	Erosion
	5	84.3	Erosion	Erosion		5	63.4	Erosion	Erosion
	10	94.4	Erosion	Erosion		10	66.6	Erosion	Erosion
	20	103.9	Erosion	Erosion		20	69.0	Erosion	Erosion
PTS6	Module	24.3	Erosion	Erosion	PT7	Module	19.3	Pas d'érosion	Enrochement
	1	142.6	Erosion	Erosion		1	54.6	Erosion	Enrochement
	2	202.8	Erosion	Erosion		2	67.8	Erosion	Enrochement
	5	253.7	Erosion	Erosion		5	77.7	Erosion	Enrochement
	10	281.2	Erosion	Erosion		10	82.9	Erosion	Enrochement
	20	303.7	Erosion	Erosion		20	87.3	Erosion	Enrochement
PTS5	Module	22.5	Erosion	Erosion	ret1	Module	34.0	Erosion	Erosion
	1	148.4	Erosion	Erosion		1	103.4	Erosion	Erosion
	2	219.1	Erosion	Erosion		2	122.6	Erosion	Erosion
	5	280.5	Erosion	Erosion		5	138.5	Erosion	Erosion
	10	316.5	Erosion	Erosion		10	147.3	Erosion	Erosion
	20	342.5	Erosion	Erosion		20	156.3	Erosion	Erosion
PTS4	Module	15.4	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret2	Module	19.9	Pas d'érosion	Erosion
	1	79.3	Erosion	Erosion		1	79.7	Erosion	Erosion
	2	116.7	Erosion	Erosion		2	96.4	Erosion	Erosion
	5	146.3	Erosion	Erosion		5	111.6	Erosion	Erosion
	10	162.9	Erosion	Erosion		10	120.8	Erosion	Erosion
	20	171.3	Erosion	Erosion		20	130.6	Erosion	Erosion
PTS3	Module	17.3	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret3	Module	24.6	Erosion	Erosion
	1	62.2	Erosion	Erosion		1	150.7	Erosion	Erosion
	2	86.6	Erosion	Erosion		2	198.4	Erosion	Erosion
	5	100.6	Erosion	Erosion		5	247.4	Erosion	Erosion
	10	109.4	Erosion	Erosion		10	275.3	Erosion	Erosion
	20	107.6	Erosion	Erosion		20	301.3	Erosion	Erosion
PTS2	Module	14.7	Pas d'érosion	Enrochement	Gué pont	Module	21.7	Béton	Béton
	1	38.7	Erosion	Enrochement		1	65.2	Béton	Béton
	2	44.8	Erosion	Enrochement		2	89.3	Béton	Béton
	5	45.4	Erosion	Enrochement		5	113.4	Béton	Béton
	10	47.6	Erosion	Enrochement		10	128.6	Béton	Béton
	20	42.3	Erosion	Enrochement		20	143.4	Béton	Béton
PTS1	Module	24.4	Erosion	Enrochement	Pont	Module	20.4	Béton	Béton
	1	50.0	Erosion	Enrochement		1	199.7	Béton	Béton
	2	55.3	Erosion	Enrochement		2	315.8	Béton	Béton
	5	55.5	Erosion	Enrochement		5	432.1	Béton	Béton
	10	57.9	Erosion	Enrochement		10	506.0	Béton	Béton
	20	52.8	Erosion	Enrochement		20	572.1	Béton	Béton

Tableau 36 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges

A la lecture du tableau ci-dessus, on constate que sans prendre en compte la végétation, le cours d'eau peut éroder les berges pour tout débit au droit des ouvrages hydrauliques et de leurs retenues après leur arasement.

c) *INFLUENCE DE LA VEGETATION SUR L'EROSION DES BERGES :*

Les valeurs limites du produit U*R (afin d'appliquer la méthode SCS) pour l'ancienne zone de rétention du seuil sont les mêmes que pour le profil PT4, à savoir 1,5 m²/s sur les deux rives. En effet, la végétation y est dense et haute. Les résultats sont les suivants :

Segment	Période de retour de la crue	Risque d'érosion des berges tenant compte de la végétation		Segment	Période de retour de la crue	Risque d'érosion des berges tenant compte de la végétation	
		Rive gauche	Rive droite			Rive gauche	Rive droite
PTS7	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7.3	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Erosion
	2	Erosion	Erosion		2	Pas d'érosion	Erosion
	5	Erosion	Erosion		5	Erosion	Erosion
	10	Erosion	Erosion		10	Erosion	Erosion
	20	Erosion	Erosion		20	Erosion	Erosion
PTS6	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	PT7	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Erosion
	2	Erosion	Erosion		2	Erosion	Erosion
	5	Erosion	Erosion		5	Erosion	Erosion
	10	Erosion	Erosion		10	Erosion	Erosion
	20	Erosion	Erosion		20	Erosion	Erosion
PTS5	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret1	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Erosion	Erosion
	2	Erosion	Erosion		2	Erosion	Erosion
	5	Erosion	Erosion		5	Erosion	Erosion
	10	Erosion	Erosion		10	Erosion	Erosion
	20	Erosion	Erosion		20	Erosion	Erosion
PTS4	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret2	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Pas d'érosion	Pas d'érosion		2	Erosion	Erosion
	5	Erosion	Erosion		5	Erosion	Erosion
	10	Erosion	Erosion		10	Erosion	Erosion
	20	Erosion	Erosion		20	Erosion	Erosion
PTS3	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	ret3	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Pas d'érosion	Pas d'érosion		2	Erosion	Erosion
	5	Erosion	Erosion		5	Erosion	Erosion
	10	Erosion	Erosion		10	Erosion	Erosion
	20	Erosion	Erosion		20	Erosion	Erosion
PTS2	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	Gué pont	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Pas d'érosion	Pas d'érosion		2	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	5	Pas d'érosion	Pas d'érosion		5	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	10	Pas d'érosion	Pas d'érosion		10	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	20	Erosion	Erosion		20	Pas d'érosion	Pas d'érosion
PTS1	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion	Pont	Module	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	1	Pas d'érosion	Pas d'érosion		1	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	2	Pas d'érosion	Pas d'érosion		2	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	5	Pas d'érosion	Pas d'érosion		5	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	10	Pas d'érosion	Pas d'érosion		10	Pas d'érosion	Pas d'érosion
	20	Erosion	Erosion		20	Pas d'érosion	Pas d'érosion

Tableau 37 : Evaluation de la capacité d'érosion des berges en tenant compte de la végétation

d) *CONCLUSION :*

Concernant l'érosion des berges, les conclusions suivantes peuvent être formulées :

- Au droit du seuil de Gabanelle : l'arasement du seuil entraîne une baisse du niveau d'eau associée à la mise en vitesse des écoulements, ce qui se traduit par une augmentation du risque d'érosion des berges, particulièrement sur les segments PTS6 et PTS5. Il conviendra donc d'être vigilant sur d'éventuels risques d'érosion et de recourir éventuellement à la mise en place de protection de berges. A ce titre, les enrochements présents en sortie de la passe à poissons seront gardés afin d'éviter tout phénomène d'érosion de la berge en rive droite. Toutefois, ce propos doit être relativisé du fait qu'il n'existe pas d'enjeu justifiant de tels dispositifs sur cette zone.
- Au droit du passage à gué : les risques forts d'érosion mis en évidence dans l'état actuel restent d'actualité. Il convient donc d'être vigilant sur tous les aménagements qui pourront être faits à l'amont immédiat du passage à gué et surtout à l'aval, en particulier à proximité du ponceau.
- Les problématiques mises en évidence sur le reste de la zone d'étude restent inchangées par rapport à l'état actuel comme par exemple la forte problématique érosive située dans le méandre en aval du seuil.

B. IMPACT DES AUTRES SOLUTIONS

Les deux autres solutions, à savoir la réhabilitation de la passe à poissons et la mise en place d'une buse sous le passage à gué n'ont aucun impact négatif sur le fonctionnement du cours d'eau. Au contraire, elles ont pour seule conséquence l'amélioration de la continuité écologique, plus précisément piscicole.

On peut souligner toutefois que la mise en œuvre d'une buse sous le passage à gué requiert la condition préalable qu'un entretien régulier, au moins après chaque épisode pluvieux significatif, soit réalisé afin de dégager l'entrée de l'ouvrage et éviter qu'il ne soit bouché.

III.3. COMPARAISON ET CHOIX D'UN SCENARIO D'AMENAGEMENT

Les scénarii et les solutions d'aménagement ont fait l'objet d'une comparaison d'un point de vue technique, économique, mais aussi environnemental (écologique) et social (usage) afin d'explicitier les avantages et les inconvénients de chacun.

A l'issue de cette analyse, chacun des scénarii a fait l'objet d'un débat avec le Maître d'Ouvrage et le comité de pilotage afin de dégager un programme d'aménagement qui a fait l'objet d'un chiffrage au stade AVP (cf. chapitre suivant).

A. COMPARAISON DES SCENARII D'AMENAGEMENT – ELEMENTS DE FAISABILITE

1) POUR LE SEUIL DE GABANELLE :

a) SOLUTION : ARASEMENT

Cette solution offre l'avantage principal de rendre au linéaire concerné du Bervezou un profil en long naturel. En effet, le reprofilage associé à l'arasement du seuil vise à refaçonner la pente du fond du lit telle qu'elle aurait été sans la présence de l'ouvrage.

D'un point de vue écologique, cette solution est donc préférable. Qui plus est, il n'y a aucune zone à fort enjeu sur le linéaire impacté, ce qui réduit la pression sociale dans le choix d'une telle solution.

Cependant, économiquement parlant, l'arasement du seuil mobilise un budget non négligeable, c'est l'inconvénient majeur qu'il faudra prendre en compte.

b) SOLUTION : REHABILITATION DE LA PASSE A POISSONS

Cet aménagement offre l'avantage d'être optimal économiquement. En effet, les seuls travaux consistent à remblayer la fosse située à l'aval de la passe à poissons.

Qui plus est, le seuil reste disponible pour de futures utilisations en particulier dans le cas où la ville de Figeac souhaiterait solliciter de nouveau la station de potabilisation de l'eau.

L'inconvénient principal reste le coût d'entretien ; en effet, malgré le faible coût des aménagements, il faut penser à plus long terme en termes de fonctionnement. Sans entretien, comme ce fut le cas ces dernières années, on note une forte dégradation de l'état des infrastructures, ce qui pourrait entraîner une nouvelle mise en infraction dans les années futures. Il faudrait donc définir un schéma précis d'entretien de la structure.

Enfin, d'un point de vue écologique, la solution est plutôt neutre. En effet, même si cette option d'aménagement ne permet pas d'atteindre une situation du lit mineur à l'état naturel contrairement à l'option de l'arasement du seuil, l'état des lieux / diagnostic met en avant le fait que ce dernier ne représente plus aujourd'hui d'obstacle à la continuité sédimentaire. Cette option d'aménagement réglant le problème de la continuité piscicole, elle permet donc in fine de rendre l'ouvrage transparent à la fois à la continuité écologique et à la continuité sédimentaire.

2) POUR LE PASSAGE A GUE :

a) SOLUTION : ARASEMENT

Dans le même esprit que pour l'arasement du seuil, celui du passage à gué représente une solution parfaite d'un point de vue écologique. Qui plus est, elle est la moins coûteuse.

Cependant, cette solution pénalise le critère social. En effet, le passage à gué est utilisé aujourd'hui par les véhicules encombrants qui ne peuvent emprunter le ponceau.

b) SOLUTION : MISE EN PLACE D'UNE BUSE

La mise en place d'une buse permettrait aux usagers de garder la possibilité d'une traversée du Bervezou avec des véhicules encombrants. De plus, d'un point de vue écologique, cette solution permet de rendre l'ouvrage hydraulique transparent face à la continuité piscicole.

Cependant, cette option d'aménagement ne peut être fiable dans la durée que si l'entretien est assuré régulièrement de manière à éviter que l'entrée de la buse soit obturée. A défaut, le passage à gué retrouverait rapidement sa configuration actuelle et l'efficacité de l'aménagement serait réduite à néant.

Enfin, cette solution présente l'inconvénient d'être plus onéreuse que l'arasement.

3) COMPARAISON DES SOLUTIONS

La comparaison des solutions selon les critères économique, environnemental et social est résumée dans le tableau suivant :

	Solution	Critère		
		Economique	Environnemental	Social
Seuil	Arasement	-	++	0
	Réhabilitation passe	+ (mais entretien)	0	0
Passage à gué	Arasement	+	++	--
	Busage	-- (entretien régulier nécessaire)	-	+ (entretien régulier nécessaire et problèmes d'accès au gué sur des parcelles privées)

Tableau 38 : Comparaison des différentes propositions d'aménagement

IV. DEFINITION D'UN PROJET DE REHABILITATION DU SITE DE GABANELLE

IV.1. CONSISTANCE DES TRAVAUX

Après discussion avec le maître d'ouvrage et les membres du comité de pilotage, le parti d'aménagement retenu sur la base des différents scénarii est le suivant :

- Pour le seuil : arasement complet du seuil
- Pour le passage à gué : arasement complet du gué avec aménagement d'une dalle calée au fil d'eau afin de permettre un passage stabilisé des engins agricoles.

De manière complémentaire, des mesures sont également prévues en accompagnement de ce parti d'aménagement pour :

- Renforcer la zone située entre le gué et le ponceau qui subit actuellement des phénomènes érosifs importants.
- Remettre en état les protections de berge à l'aval de la zone d'étude en faisant appel à des techniques de génie végétal
- Aménager des zones d'abreuvement pour éviter que les animaux ne viennent s'abreuver de manière diffuse en piétinant la berge.

IV.2. MODE OPERATOIRE ET DECOMPOSITION DES TRAVAUX

A. TRAVAUX PREPARATOIRES

Cette première phase comprendra notamment l'installation/repli de chantier dont il est important de noter qu'elle sera réalisée dans des conditions contraignantes puisque l'accès au site ne peut pas se faire avec un semi remorque. Il sera donc nécessaire de procéder au déchargement des véhicules à environ 1km du site, ce qui ralentira la mise en place du chantier et accentuera son coût.

Ces travaux préparatoires comprendront également une pêche électrique de sauvegarde afin d'évacuer la faune piscicole pouvant se trouver dans l'emprise prévue pour la réalisation des travaux. Ces pêches seront effectuées respectivement au droit du seuil de Gabanelle depuis l'aval de la fosse de dissipation jusqu'en amont du seuil, soit un linéaire total d'environ 120ml et au droit du passage gué sur un linéaire d'environ 50ml.

Ils intégreront également un suivi physico-chimique qui permettra durant les travaux de détecter d'éventuels rejets (MES, métaux lourds,...) à l'aval du seuil.

B. TRAVAUX DE DEMOLITION DU SEUIL ET DE REPROFILAGE DU BERVEZOU

➤ Mise en place d'une dérivation des eaux

La 1^{ère} étape sera de poser un drain qui collectera les débits du Bervezou en amont de la zone de travaux et les restituera à l'aval du seuil. Cela isolera ainsi la zone d'intervention des engins qui pourront intervenir en milieu sec et cela évitera les risques de rejet de MES vers l'aval.

➤ Démolition du seuil

Le seuil sera démoli au Brise Roche Hydraulique afin d'atteindre la cote d'arase de 287.13 mNGF. Les matériaux issus de la démolition seront évacués et mis en décharge.

➤ Reprofilage du Bervezou

Le Bervezou sera reprofilé selon une pente de 1.1%. Pour cela, les sédiments en amont de la retenue seront déblayés, soit 380m³, dont une partie sera utilisée pour remblayer la fosse au pied du seuil, soit 60m³.

C. TRAVAUX DE DEMOLITION DU PASSAGE A GUE ET PROTECTION DU LIT DU BERVEZOU CONTRE LES PHENOMENES EROSIFS

➤ Mise en place d'une dérivation des eaux

La 1^{ère} étape sera de poser un drain qui collectera les débits du Bervezou en amont de la zone de travaux et les restituera à l'aval du seuil. Cela isolera ainsi la zone d'intervention des engins qui pourront intervenir en milieu sec et cela évitera les risques de rejet de MES vers l'aval.

➤ Démolition du gué

Le seuil sera démoli au Brise Roche Hydraulique pour revenir au fil d'eau du Bervezou.

➤ Protection et remise en état du lit du Bervezou à l'aval du gué

La section d'écoulement située entre le gué et le ponceau est fortement sollicitée par les phénomènes érosifs qui sont à l'origine de l'arrachement et de l'entraînement des blocs d'enrochement.

Il s'agira donc de réhabiliter le lit du cours d'eau en aménageant des enrochements (400/500mm) liaisonnés sur le fond du cours d'eau.

D. REFECTION DES PROTECTIONS DE BERGE A L'AVAL DU PONCEAU

L'état des lieux / diagnostic a mis en évidence à l'aval de la zone d'étude des protections de berges existantes faites de manière anarchique et peu adaptées au bord de cours d'eau (poteau électrique, ...).

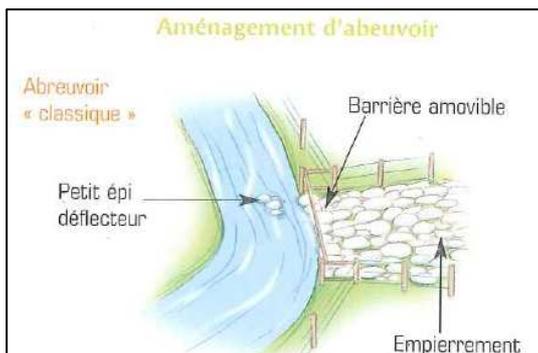
Nous proposons donc d'enlever ces matériaux et de les remplacer par des protections faisant appel au génie végétal, à savoir des fascines de saules vivants.

E. AMENAGEMENT DE POINTS D'ABREUVEMENT

L'état des lieux / diagnostic a mis en évidence des points d'abreuvement situés en bordure du Bervezou qui constituent des zones de piétinement susceptibles d'engendrer des phénomènes d'érosion des berges.

Nous proposons donc d'aménager deux abreuvoirs afin de canaliser le bétail et éviter qu'il ne diffuse de trop les zones de piétinement et d'érosion.

Ces abreuvoirs sont clos et empierrés comme l'illustre la figure ci-après.



IV.3. ESTIMATION DU COUT DES TRAVAUX

Le coût des travaux au stade Avant Projet est estimé à **71 000 € H.T** dont le détail est donné dans le tableau ci-après.

N° de prix	Désignation des Prix	Unité	Qté	Prix unitaire (Euros H.T.)	Prix total (Euros H.T.)
A	TRAVAUX PREPARATOIRES				
A.1	Installation et repli de chantier	ft	1	5 150.00	5 150.00 €
A.2	Installation des panneaux de chantier avec mention des financeurs	ft	1	1 000.00	1 000.00 €
A.3	Pêche de sauvegarde	ft	1	2 000.00	2 000.00 €
A.4	Suivi physico-chimique des eaux	ft	1	2 100.00	2 125.00 €
B	TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DEMOLITION DU SEUIL DE GABANELLE				
B.1	Aménagement d'une dérivation des eaux pour le travail à sec				
B.1.1	Fourniture et pose d'un drain DN600 sur 100 ml	ml	100	120.00	12 000.00 €
B.2	Démolition du seuil de Gabanelle avec évacuation des matériaux vers une décharge	m³	160	37.00	5 920.00 €
B.3	Reprofilage du Bervez ou				
B.3.1	Déblaiement en amont du seuil de Gabanelle avec évacuation des matériaux sur la commune de Prendeignes	m³	320	24.00	7 680.00 €
B.3.2	Remblaiement de la fosse en aval du seuil de Gabanelle avec une partie des matériaux issus des déblais	m³	60	10.00	600.00 €
C	TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DEMOLITION DU PASSAGE A GUE				
C.1	Aménagement d'une dérivation des eaux pour le travail à sec	ml	50	50.00	2 500.00 €
C.2	Démolition du passage à gué	m³	45	36.65	1 649.04 €
C.3	Reprofilage du Bervez ou				
C.3.1	Déblaiement en amont du passage à gué	m³	25	24.00	600.00 €
D	REMISE EN ETAT DE L'AVAL DU PASSAGE A GUE				
D.1	Fourniture et pose des enrochements 400/500mm	t	80	40.00	3 200.00 €
D.2	Liaisonnement béton	m³	5	400.00	2 000.00 €
E	PROTECTION DES BERGES EN AVAL DE LA ZONE D'ETUDE				
E.1	Enlèvement des protections polluantes	ft	1	600.00	600.00 €
E.2	Mise en place de protection en pieux et branchages	ml	30	200.00	6 000.00 €
F	MISE EN PLACE D'ABREUVOIRS				
F.1	Construction d'un abreuvoir classique	ft	2	4 000.00	8 000.00 €
G	REMISE EN ETAT DU SITE				
G.1	Remise en état du site	ft	1	800.00	800.00 €
MONTANT TOTAL EN EUROS H.T.:					61 824.04 €
ALEAS DE 15%					9 273.61 €
MONTANT DES TRAVAUX EN EUROS H.T.:					71 097.65 €
T.V.A. (19.60%) EN EUROS:					13 935.14 €
MONTANT TOTAL EN EUROS T.T.C.:					85 032.78 €

Tableau 39 : Coût estimatif du programme de réhabilitation du site de Gabanelle

IV.4. SITUATION VIS A VIS DE LA LOI SUR L'EAU

Les travaux doivent respecter les grands principes des articles L. 210-1 et L. 211-1 du Code de l'Environnement. Ceux-ci affirment la nécessité d'une conciliation des usages économiques légitimes de l'eau et de la protection des milieux aquatiques qu'elle déclare d'intérêt général.

Article L. 210-1 du Code de l'Environnement

"L'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général."

Afin de mettre en œuvre cette gestion équilibrée de la ressource en eau, un certain nombre de travaux, activités ou ouvrages, est soumis à autorisation ou déclaration « suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes » (Article L.214-2).

Différentes rubriques de l'annexe du décret n°93.743 du 29 mars 1993 (version modifiée par les décrets n°2003.868 du 11 septembre 2003 et n°2006.881 de juillet 2006, abrogée par le décret n°2007.397 du 22 mars 2007), regroupées par titres, sont susceptibles d'être concernées par ce projet.

Le tableau en page suivante synthétise l'ensemble des rubriques du décret et des caractéristiques du projet, ainsi que le régime (déclaration ou autorisation) correspondant.

Rubrique	Paramètres et seuils	Régime	Caractéristiques du projet	Régime correspondant
3.1.2.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0 ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau : 1°) Sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m 2°) Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m	A D	Le projet impliquera des aménagements sur le profil en travers et le profil en long de cours d'eau dont le <u>linéaire cumulé</u> est inférieur à 100 ml.	Déclaration
3.1.5.0.	Installations, ouvrages, travaux ou activités dans le lit mineur d'un cours d'eau de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens 1°) Destruction de plus de 200 m ² de frayères 2°) Dans les autres cas	A D		Déclaration
3.2.1.0	Entretien de cours d'eau ou de canaux, à l'exclusion de l'entretien visé à l'article L.215-14 du Code de l'Environnement réalisé par le propriétaire riverain, du maintien et du rétablissement des caractéristiques des chenaux de navigation, des dragages visés à la rubrique 4.1.3.0 et de l'entretien des ouvrages visés à la rubrique 2.1.5.0, le volume des sédiments extraits étant au cours d'une année : 1°) Supérieur à 2000 m ³ 2°) Inférieur ou égal à 2000m ³ dont la teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence S1 3°) Inférieur ou égal à 2000m ³ dont la teneur des sédiments extraits est inférieure au niveau de référence S1	A A D	Les sédiments dans la retenue en amont du seuil présentent un volume inférieur à 2000m ³ et un taux d'arsenic supérieur au niveau S1.	Autorisation

Tableau 40 : Situation du programme de réhabilitation du site de Gabanelle vis-à-vis de la Loi sur l'Eau

Le projet de réhabilitation du site de Gabanelle relève donc d'une procédure d'**Autorisation**.

Il convient de nuancer cette situation du fait que ce type de procédure est uniquement lié à la teneur en Arsenic dans les sédiments. En effet, l'état des lieux/diagnostic a montré que ces taux ont une origine naturelle du fait de la présence de gisement métallifères que l'on retrouve sur le socle granitique du Massif Central fortement représenté sur le bassin versant du Bervezou. On retrouve d'ailleurs des valeurs similaires sur l'ensemble des rivières situées à proximité de la zone d'étude.

De surcroît, des analyses réalisées par le Syndicat du bassin versant de la Rance et du Célé sur des lixiviats de ces sédiments mettent en évidence un très fort abattement des teneurs en arsenic et aluminium en dessous des normes qui rendent compatibles la valorisation et la réutilisation de ces sédiments par exemple sous forme de remblais.