



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de- Queyrières

ÉTUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

ARTELIA EAU ET ENVIRONNEMENT

MEDITERRANEE - MARSEILLE

Le Condorcet
18 rue Elie Pelas – CS 80132
13122 MARSEILLE Cedex 16
Tel. : +33 (0)4 91 17 55 84
Fax : +33 (0)4 91 17 00 74



Passion & Solutions

DATE : AOUT 2017

REF : 8230496

S.A.R.L. E.T.R.M.
Vincent KOULINSKI
Chef Lieu
73700 Les Chapelles
Tél. : 04.79.40.04.78
etrm@cegetel.net



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

DEMARCHE QUALITE

<i>Version</i>	<i>Date</i>	<i>Auteur</i>	<i>Vérification</i>	<i>Approbation</i>	<i>Commentaires</i>
1	18/08/2017	Vincent KOULINSKI Eric TIRIAU	Eric TIRIAU		
1b					
2					

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

SOMMAIRE

1 Introduction	9
1.1 OBJET DE L'ETUDE	9
1.2 DONNEES DISPONIBLES	10
1.2.1 ETUDES ET DONNEES UTILISEES	10
1.2.2 DONNEES TOPOGRAPHIQUES ACQUISES DANS LE CADRE DE L'ETUDE	11
2 Fonctionnement actuel du torrent en crue	13
2.1 INTRODUCTION	13
2.1.1 CONTEXTE GENERAL	13
2.1.2 CRUES HISTORIQUES	14
2.1.3 NATURE DES PHENOMENES	15
2.1.4 LAVES TORRENTIELLES	15
2.2 ETUDE HYDROLOGIQUE	20
2.2.1 OBJECTIF	20
2.2.2 ÉTUDE REGIONALE DES PRECIPITATIONS	20
2.2.3 PRECIPITATIONS A FAIBLE PAS DE TEMPS	22
2.2.4 HYDROLOGIE DES CRUES EN CHARRIAGE	23
2.2.5 HYDROGRAMMES DE CRUE	26
2.3 APPORTS SOLIDES	27
2.3.1 ÉROSION DANS LE BASSIN VERSANT	27
2.3.2 ANALYSE DU PROFIL EN LONG DANS LA PARTIE AVAL	57
2.3.3 CHARRIAGE TORRENTIEL	60
2.3.4 LES LAVES TORRENTIELLES	69
2.4 CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DANS L'ÉTAT ACTUEL	73
2.4.1 ÉCOULEMENT DES LAVES TORRENTIELLES	73
2.4.2 CRUE AVEC CHARRIAGE	78
2.4.3 CONDITIONS D'ÉCOULEMENT	89
2.4.4 POINTS DE DEBORDEMENT	90
3 Analyse des scénarios d'aménagement et choix d'une solution	95
3.1 ACTIONS ENVISAGEABLES	95
3.2 PRINCIPE D'AMENAGEMENT RETENU	96

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

3.3 INTERVENTIONS DANS LE BASSIN VERSANT	96
3.3.1 CORRECTION ACTIVE	96
3.3.2 ENTRETIEN DE LA VEGETATION	97
3.4 DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS	97
3.4.1 AMENAGEMENT D'UNE ZONE DE DEPOT EN SORTIE DES GORGES	97
3.4.2 AMENAGEMENT DU CHENAL	98
3.4.3 RISQUE RESIDUEL	103
3.5 ANALYSE DES VARIANTES ENVISAGEABLES	103
3.5.1 INTRODUCTION	103
3.5.2 PRINCIPE RETENU POUR LE DIMENSIONNEMENT	104
3.5.3 MODELISATION DES ECOULEMENTS EN CHARRIAGE	105
3.5.4 COMPARAISON TECHNIQUE DES VARIANTES	108
3.6 CHOIX D'UNE VARIANTE	113
3.6.1 NIVEAU DE PROTECTION EN AMONT IMMEDIAT DE LA RD 4	113
3.6.2 AMENAGEMENT DU PONT COMMUNAL	113
3.6.3 DEVENIR DU MOULIN	113
3.6.4 CHOIX D'UNE SOLUTION	113
4 Modalités de réalisation	117
4.1 NATURE DES PROTECTIONS DE BERGE	117
4.1.1 PRINCIPE RETENU	117
4.1.2 OUVRAGE EN SECTION COURANTE	118
4.1.3 OUVRAGE EN SECTION ETROITE	118
4.2 DEFINITION DES INTERVENTIONS PAR PROFIL	120
4.2.1 CARACTERISTIQUES GENERALES	120
4.2.2 POINTS PARTICULIERS	122
4.3 POSSIBILITE DE PHASAGE DES TRAVAUX	122
4.4 ACCES	122
4.5 RESEAUX, PRISES D'EAU ET CANAUX	123
4.6 VALORISATION DES MATERIAUX	124
4.7 INTERFACE AVEC LE PROJET HYDROELECTRIQUE	126
4.8 ENTRETIEN DES OUVRAGES	126
4.9 POSITIONNEMENT REGLEMENTAIRE	126
4.9.1 AU TITRE DES ARTICLES L.214-1 A 6 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT	126
4.9.2 AU TITRE DE L'ARTICLE R.122-2 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT	128

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

4.9.3 RELATIF A LA MAITRISE FONCIERE DES TERRAINS	128
4.9.4 RELATIF AU SYSTEME D'ENDIGUEMENT	129
4.9.5 RELATIF A LA VALORISATION DES MATERIAUX	129
4.10 POURSUITE DES ETUDES	130

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données utilisées dans le cadre de l'étude	11
Tableau 2 : Historique des crues du Gros Riou	14
Tableau 3 : Quantification et estimation de la solution de référence et des variantes	112
Tableau 4 : Quantification et estimation de la solution retenue	117
Tableau 5 : Caractéristiques principales du projet par profils	121
Tableau 6 : Rubriques Loi sur l'Eau concernées par le projet	127

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du secteur d'étude	9
Figure 2 : Levés topographiques réalisés	12
Figure 3 : Vue d'ensemble du bassin versant du Gros Riou de Prelles	13
Figure 4 : Différents types de transport solide en rivière	15
Figure 5 : Structure longitudinale d'une lave torrentielle	16
Figure 6 : Relation hauteur vitesse pour de l'eau et pour une lave torrentielle	17
Figure 7 : Transport d'un très gros bloc par une lave	18
Figure 8 : Section transversale d'une coulée et du lit	19
Figure 9 : Répartition des précipitations à proximité du Gros Riou	21
Figure 10 : Pluies à faibles pas de temps à proximité du Gros Riou	22
Figure 11 : Hydrogrammes de crue retenus	26
Figure 12 : Vue d'ensemble du bassin versant et des principaux affluents	28
Figure 13 : Profil en long du Gros Riou	57
Figure 14 : Ajustement des pentes sur le cône de déjection	58

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Figure 15 : Comparaison des profils en long sur le Gros Riou	59
Figure 16 : Relation débit liquide / débit solide	62
Figure 17 : Seuil de début de mouvement	63
Figure 18 : Effet de la largeur pour une pente de 16 %	64
Figure 19 : Capacité de transport en fonction de la largeur et de la pente	65
Figure 20 : Hydrogrammes solide et liquide pour des crues décennale et centennale	66
Figure 21 : Hydrogramme de crue cinquantennale	67
Figure 22 : Hydrogrammes solide et liquide dans la partie basse du cône de déjection	68
Figure 23 : « Hydrogramme » de crue d'une lave torrentielle	70
Figure 24 : Evolution de la hauteur de lave en fonction de la pente	75
Figure 25 : Niveaux atteint par la lave	76
Figure 26 : Evolution des profils en long dans la configuration de base	79
Figure 27 : Comparaison des résultats sur le cône de déjection	80
Figure 28 : Dynamique de l'évolution des fonds à l'amont du cône de déjection	81
Figure 29 : Dynamique de l'évolution des fonds dans les parties centrale et aval	82
Figure 30 : Impact d'une granulométrie constante	83
Figure 31 : Impact sur l'ensemble de la zone d'un débit de 3 m ³ /s en Durance	84
Figure 32 : Dépôt majoré en aval du pont de la RD 4	85
Figure 33 : Impact sur l'ensemble de la zone d'un débit de 230 m ³ /s en Durance	86
Figure 34 : Dépôt fortement réduit sur l'ensemble du linéaire aval	87
Figure 35 : Evolution des niveaux à l'aval du cône avec la Durance en crue	88
Figure 36 : Conditions d'écoulement pour le débit centennal de 32 m ³ /s	90
Figure 37 : Profil en long de la cote de protection requise en état actuel (partie amont)	91
Figure 38 : Profil en long de la cote de protection requise en état actuel (partie médiane)	92
Figure 39 : Profil en long de la cote de protection requise en état actuel (partie aval)	92
Figure 40 : Cartographie indicative des zones de débordements en crue centennale	94
Figure 41 : Principes d'aménagement en sortie des gorges (zone de dépôt)	98
Figure 42 : Simulation de la crue centennale pour la solution de référence (partie amont)	106
Figure 43 : Simulation de la crue centennale pour la solution de référence (partie médiane)	106
Figure 44 : Simulation de la crue centennale pour la solution de référence (partie aval)	107
Figure 45 : Comparaison de la solution de référence et des différentes variantes avec l'état actuel	108
Figure 46 : Esquisse de la solution de référence et des variantes (planche 1)	109
Figure 47 : Esquisse de la solution de référence et des variantes (planche 2)	110
Figure 48 : Esquisse de la solution de référence et des variantes (planche 3)	111

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Figure 49 : Esquisse de la solution retenue (planche 1)	114
Figure 50 : Esquisse de la solution retenue (planche 2)	115
Figure 51 : Esquisse de la solution retenue (planche 3)	116
Figure 52 : Coupe schématique des perrés en enrochements libres	118
Figure 53 : Coupe schématique des perrés en enrochements liaisonnés	119
Figure 54 : Tracé du chemin existant pouvant servir d'accès travaux à la plage de dépôt	123
Figure 55 : Réseaux et canaux	125
Figure 56 : Localisation de la zone Natura 2000 vis-à-vis du projet	128

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Effet du seuil de début de mouvement sur l'étalement d'une lave	17
Photo 2 : Lits en aval du Clot des Amandiers en 1995 et 2016	29
Photo 3 : Affluent rive droite dans le secteur de Terre de Peyrol en 1995 et 2016	30
Photo 4 : Ravinements très intenses dans le secteur de la Cabane de berger	31
Photo 5 : Lit apparemment très stable en aval de la piste routière	32
Photo 6 : Erosion très marquée après 1995	33
Photo 7 : Erosion de berge active et remblaiement du lit	34
Photo 8 : Haut bassin versant du Riou des Pras	35
Photo 9 : Lit du Riou des Pras en amont de la piste	36
Photo 10 : Zone de régulation et de dépôt à la confluence Trancoulette - Pras	37
Photo 11 : Riou des Pras en aval de la confluence avec le torrent de la Trancoulette	38
Photo 12 : Zone d'érosion sur le Riou des Pras	39
Photo 13 : Confluence avec le torrent de Combe Brune	40
Photo 14 : Branche Ouest du torrent de Combe Brune	41
Photo 15 : Lit pavé du torrent de Combe Brune	42
Photo 16 : Zone d'érosion rive droite dans la partie aval du torrent de Combe Brune	43
Photo 17 : Gros Riou à l'amont des gorges	44
Photo 18 : Partie aval des gorges du Gros Riou	45
Photo 19 : Erosion peu active mais assez généralisée en rive droite	46
Photo 20 : Dépôt massif en 1995	47
Photo 21 : Lit curé en amont de la zone de régulation	47

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Photo 22 : Lit recalibré dans le secteur de la passerelle	48
Photo 23 : Chenal au droit de la digue amont avec dépôt de 1995 très haut	49
Photo 24 : Protection illusoire en gabions	50
Photo 25 : Remblai et garage en rive gauche en amont du pont	50
Photo 26 : Pont central (pont communal)	51
Photo 27 : Ancien moulin inondé en 1999	51
Photo 28 : Ancien moulin très exposé dans le lit actuel	52
Photo 29 : Abaissement de la route en amont du pont	52
Photo 30 : Rive droite basse en amont du pont de la RD4	53
Photo 31 : Entonnement du pont de la RD 4 peu favorable	54
Photo 32 : Pont de la RD 4 obstrué en 1999	54
Photo 33 : Seuil abaissé en aval de la voie ferrée	55
Photo 34 : Lit terminal du Gros Riou et confluence avec la Durance	56
Photo 35 : Dépôt en aval du pont de la RD 4 en 1995 (photo RTM)	69
Photo 36 : Digue en gabions vers le profil 5	99

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

1 INTRODUCTION

1.1 OBJET DE L'ETUDE

Le torrent du Gros Riou, affluent rive droite de la Durance, traverse le hameau de Prelles sur la commune de Saint-Martin-de-Queyrières (département des Hautes-Alpes, voir situation sur figure ci-dessous). Les crues violentes de juillet 1995 et d'octobre 1999 ont conduit la commune à mener des études pour bien comprendre le fonctionnement du torrent et entrevoir son aménagement dans le but de protéger les biens et les personnes contre le risque d'inondation.

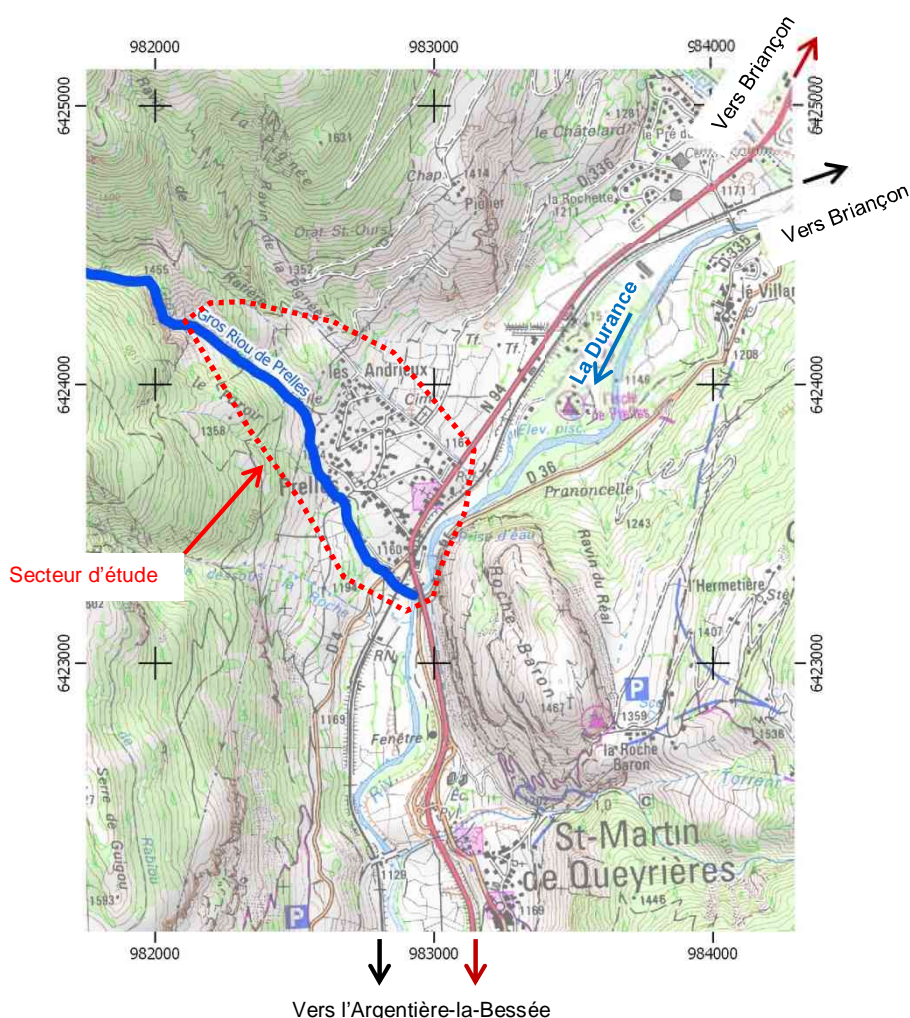


Figure 1 : Situation du secteur d'étude

L'étude ETRM, achevée en février 2002 sur le fonctionnement du torrent et les aménagements à prévoir, est venue confirmer le risque d'inondation sur le cône de déjection. Elle a été suivie d'une phase de conception des aménagements confiée aux cabinets d'études GAUDRIOT et SAUNIER. Pour diverses raisons, la commune a mis fin au contrat de maîtrise d'œuvre en octobre 2013.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

Début 2016, la mairie a relancé ce projet en confiant au groupement ARTELIA – ETRM l'étude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières.

L'objectif est d'optimiser les travaux envisageables et de prendre en compte les évolutions récentes de la réglementation concernant les digues de protection contre les crues.

Du fait de la prise de compétence GEMAPI par la Communauté de Communes du Pays des Ecrins, dont la commune de Saint-Martin-de-Queyrières est membre, le 1^{er} janvier 2017, la maîtrise d'ouvrage de l'étude a été transférée de la commune de Saint-Martin-de-Queyrières à la Communauté de Communes du Pays des Ecrins.

Le présent rapport constitue le rapport d'études préliminaires.

Il se compose des chapitres suivants :

- Fonctionnement actuel du torrent en crue ;
- Analyse des scénarios d'aménagement et choix d'une solution ;
- Modalités de réalisation du projet.

1.2 DONNEES DISPONIBLES

1.2.1 Etudes et données utilisées

Les études et données utilisées dans le cadre du présent rapport sont listées dans le tableau suivant.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Tableau 1 : Données utilisées dans le cadre de l'étude

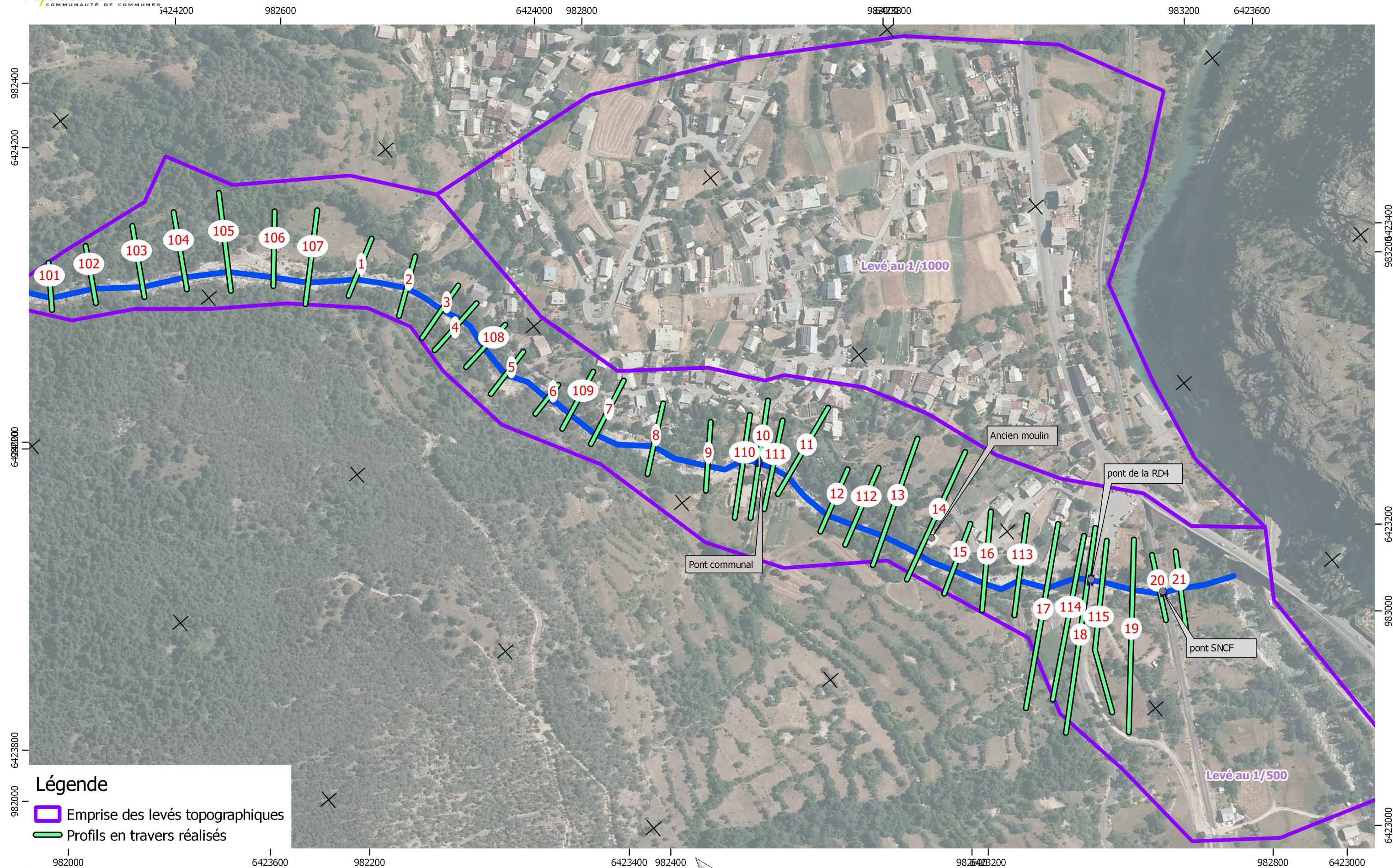
Référence	Intitulé	Auteur	Maître d'ouvrage	Année
Réf. 1	Torrent le Gros Riou – projet de protection – profil en long et profils en travers	Jean Maynadier Géomètre-Expert	Commune de Saint-Martin-de-Queyrières	Août 2001
Réf. 2	Analyse des risques d'inondation sur le cône de déjection du Gros Riou de Prelles	ETRM	Commune de Saint-Martin-de-Queyrières	Février 2002
Réf. 3	Torrent « le Gros Riou de Prelles » - Projet de protection contre les inondations – Etude hydraulique	GAUDRIOT	Commune de Saint-Martin-de-Queyrières	Mai 2004
Réf. 4	Plan topographique du projet de protection, nivellement indépendant	SAUNIER et associés	Commune de Saint-Martin-de-Queyrières	Juin 2006
Réf. 5	Plan d'emprise cadastrale – projet de protection du torrent du Gros Riou à Prelles	SAUNIER et associés	Commune de Saint-Martin-de-Queyrières	Juin 2007
Réf. 6	Relevés Lidar de la Haute-Durance	SINTEGRA	ARTELIA / ETRM	Octobre 2011
Réf. 7	Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles	ALP'GEORISQUES	DDT des Hautes-Alpes	Juin 2012
Réf. 8	Plan de gestion de la Haute-Durance	ARTELIA / ETRM / ALPAGES	SMADESEP	Décembre 2013
Réf. 9	Hameau de Prelles à Saint-Martin-de-Queyrières – plan topographique, profil en long, profils en travers et levés d'ouvrages sur le Gros Riou	Cabinet Toulemonde / Bontoux Géomètres-Experts	ARTELIA	Septembre 2016

1.2.2 Données topographiques acquises dans le cadre de l'étude

Dans le cadre de l'étude, des levés topographiques ont été réalisés sur le Gros Riou de Prelles et ses abords (Réf. 9). Il a ainsi été réalisé, durant l'été 2016 :

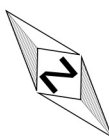
- Levé topographique au 1/500 de la zone proche du torrent,
- Levé topographique au 1/1000 d'une partie du cône de déjection,
- Levé de 36 profils en travers ;
- Levé des sections amont et aval des trois ponts (communal, RD 4, SNCF).

Ces éléments sont situés sur la figure suivante.



Légende

- ▬ Emprise des levés topographiques
- ▬ Profils en travers réalisés



2 FONCTIONNEMENT ACTUEL DU TORRENT EN CRUE

2.1 INTRODUCTION

2.1.1 Contexte général

Le Gros Riou est un torrent très actif qui draine un bassin versant de 13.2 km² :

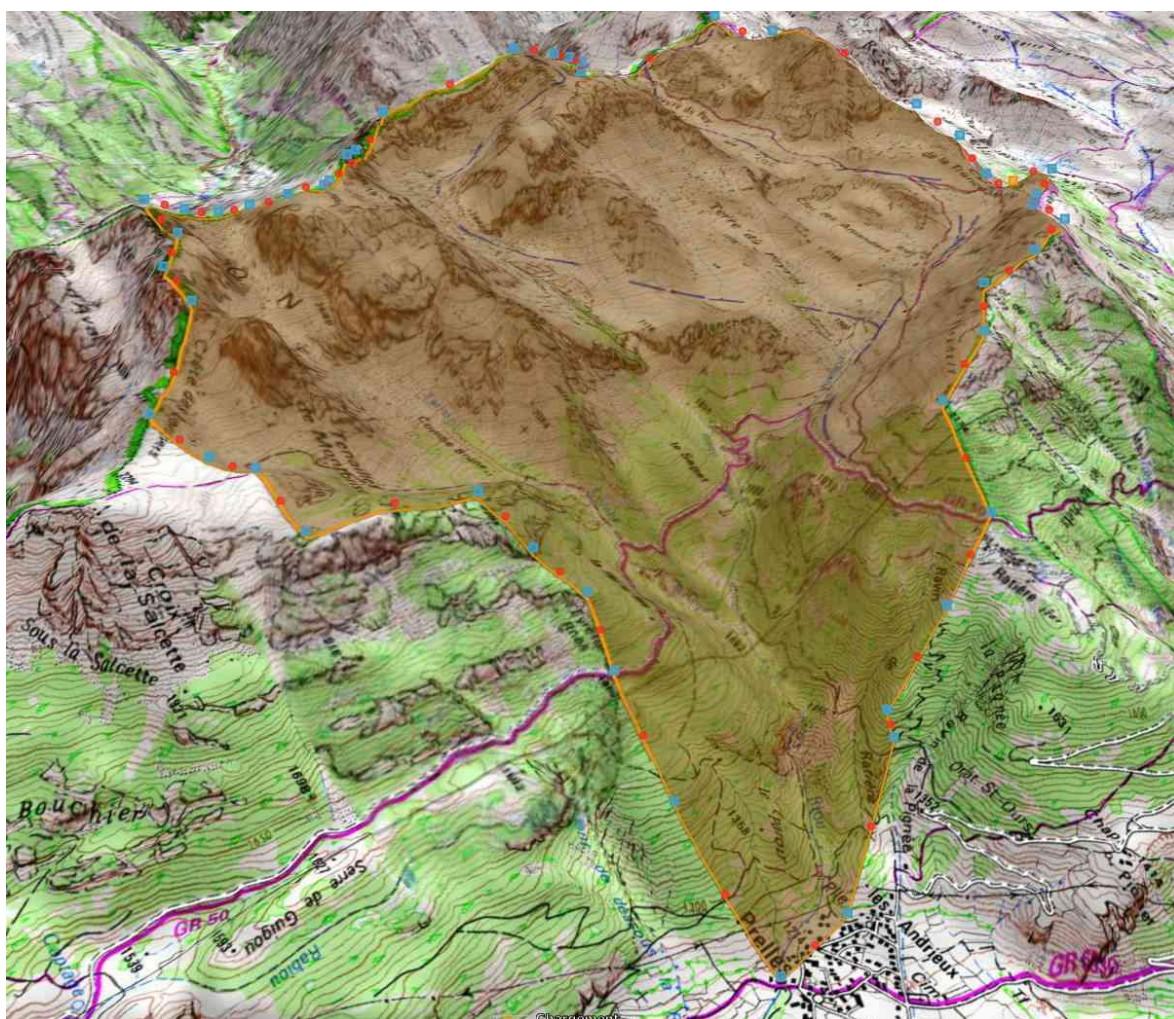


Figure 3 : Vue d'ensemble du bassin versant du Gros Riou de Prelles

Le bassin versant de ce torrent est particulièrement étendu et les érosions y sont actives. Par contre, le cône de déjection est bien formé ce qui semble y réduire les risques de dépôt et de débordement. Il apparaît que ce torrent connaît deux types de phénomènes :

- Un charriage torrentiel intense en rapport avec une forte pente ;

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- La formation de laves torrentielles lors d'épisodes plus rares. Ce phénomène est très contraignant pour le dimensionnement des ouvrages mais est trop fréquent pour pouvoir être négligé.

La détermination des ouvrages de protections contre les crues impose les étapes préalables suivantes :

- Détermination des apports (précipitations, débits de pointe, volumes solides apportés lors des crues...). La prise en compte de l'évolution du bassin versant depuis 2002 peut permettre une meilleure connaissance du torrent.
- Analyse des conditions d'écoulement sur le cône de déjection.

Ensuite, il sera possible de comparer les différentes solutions envisageables et de définir un scénario d'aménagement.

2.1.2 Crues historiques

L'historique des crues est un élément essentiel pour la compréhension du fonctionnement d'un bassin versant. Malheureusement, la quantification dans le cas de torrents est souvent difficile, la relation entre hauteur d'eau et débit étant fortement troublée par le transport solide.

D'autre part, l'historique des crues est assez modeste sur ce torrent.

Le tableau suivant regroupe les principaux événements connus, à partir des éléments disponibles au service RTM.

Tableau 2 : Historique des crues du Gros Riou

25-07-1914	Lave torrentielle transportant des blocs de 20 m ³ . Ponts détruits. Voie ferrée engravée.
24-07-1952	Ponts endommagés, routes coupées.
24-07-1995	Orage violent (40 mm en deux heures ?). Ponts bouchés. Passerelle du GR totalement submergée. Écoulement en limite de débordement au sommet du village. Voie ferrée rétablie dans la matinée du 25 juillet. Dépôts importants dans le lit. Les témoignages des riverains correspondent nettement à une lave torrentielle.
25-10-1999	Pluies importantes (120 mm en cinq jours dont 37 mm le 25). Forte crue avec menace de débordement. Dégradation de la passerelle au sommet du cône de déjection. Débordement à proximité du moulin situé le long de la rive gauche et en rive droite en amont du pont communal. Crue moins forte qu'en 1995.

Aucune crue significative ne s'est produite depuis 1999, ce qui n'est pas surprenant, les crues importantes étant classiquement séparées de plusieurs décennies.

Cet historique paraît très incomplet avant 1914.

La formation de laves torrentielles paraît très probable pour les crues de 1914 et 1995.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Les voies de communication constituent des points faibles et paraissent particulièrement vulnérables. En effet, les habitations semblent à l'abri des crues derrière d'anciennes digues.

2.1.3 Nature des phénomènes

Trois types de transport solide peuvent être considérés dans les torrents :

- Le transport solide par suspension correspond au déplacement des matériaux au sein de l'écoulement : ils sont assez fins pour que la turbulence de l'écoulement dépasse la vitesse de chute du grain. Ces matériaux sont transportés sans contact permanent avec le lit. Ils n'ont donc pas d'influence majeure sur le comportement de l'écoulement et la morphologie du lit. Ainsi, bien que ce phénomène assure généralement le transit de l'essentiel du volume de matériaux, il n'est pas analysé ni quantifié par la suite car il n'a pas d'influence sur le lit mineur.
- Le transport solide par charriage correspond aux éléments grossiers traînés ou roulés sur le fond par l'écoulement. Les interactions avec le lit sont prépondérantes et ce type de transport est directement lié à la morphologie du lit. D'autre part, il est nécessaire que les contraintes hydrauliques soient élevées pour pouvoir assurer le transport des cailloux sur le fond. Un tel transport est donc exceptionnel et ne se produit que quelques jours par an, lorsque les débits sont particulièrement élevés. Ce type de transport est directement responsable de l'évolution de la géométrie du lit, ce qui explique qu'il soit analysé en détail par la suite. Par contre, sauf exception, il n'a pas d'influence directe sur les écoulements.

La figure suivante schématise ces deux types de transport solide classiques :



Figure 4 : Différents types de transport solide en rivière

- Le transit de laves torrentielles correspond à l'écoulement d'un fluide monophasique boueux lors des crues. Ce phénomène modifie profondément les écoulements. Par rapport au charriage, il ne s'agit pas d'une gradation du transport solide mais d'un changement complet de nature. L'étude des torrents à lave est donc radicalement différente de celle des torrents avec seulement du charriage. Ce type d'écoulement, très particulier, est décrit au paragraphe suivant.

2.1.4 Laves torrentielles

Les laves torrentielles se forment dans les lits à forte pente, lorsque l'alimentation en matériaux permet un mélange homogène d'eau et de matériaux. Il paraît probable qu'ici seule une fraction du

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

bassin versant du Gros Riou de Prelles ne forme des laves torrentielles, ce qui explique des crues importantes sans apparition de ce phénomène.

2.1.4.1 STRUCTURE LONGITUDINALE

Une lave boueuse est usuellement formée de trois parties :

1. Le bourrelet frontal constitué des plus gros blocs, généralement en contact direct. Ce bourrelet frontal présente une section qui peut être très importante. Il est poussé par le corps de la coulée. Des blocs de plusieurs dizaines - voir quelques centaines - de tonnes peuvent être transportés lors des crues. Le choc du bourrelet frontal avec un ouvrage est particulièrement destructeur, les efforts étant localement considérables.
2. Le corps de la coulée est constitué d'un mélange boueux homogène. Il joue un rôle moteur dans le déplacement de la coulée. Là encore, les efforts mécaniques sont très élevés notamment à cause d'une densité proche de 2 à 2.4 t/m³.
3. La queue de coulée dans laquelle on peut observer un charriage hyperconcentré. La section d'écoulement est alors nettement plus réduite.

La figure suivante schématise une telle structure :

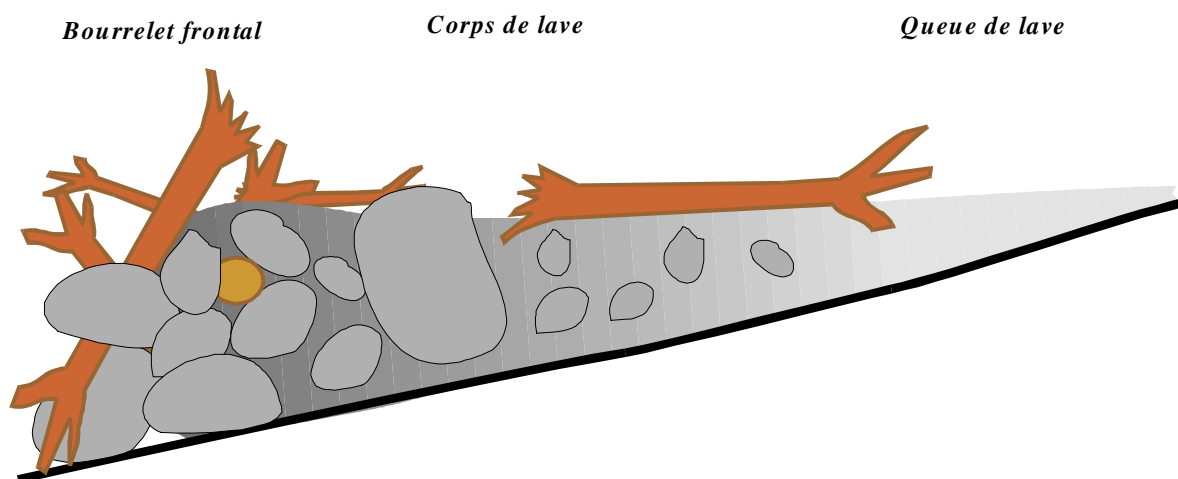


Figure 5 : Structure longitudinale d'une lave torrentielle

Les caractéristiques de ces fronts, constitués de gros éléments - accumulés par la lave torrentielle lors de son déplacement - échappe à toute quantification.

2.1.4.2 ÉCOULEMENT DES LAVES

La photo suivante montre l'arrêt de la lave sur des terrains en pente, observation impossible avec de l'eau :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 1 : Effet du seuil de début de mouvement sur l'étalement d'une lave

La figure suivante illustre ce type de comportement. Elle indique l'évolution de la vitesse en fonction de la hauteur de fluide pour une lave et pour de l'eau :

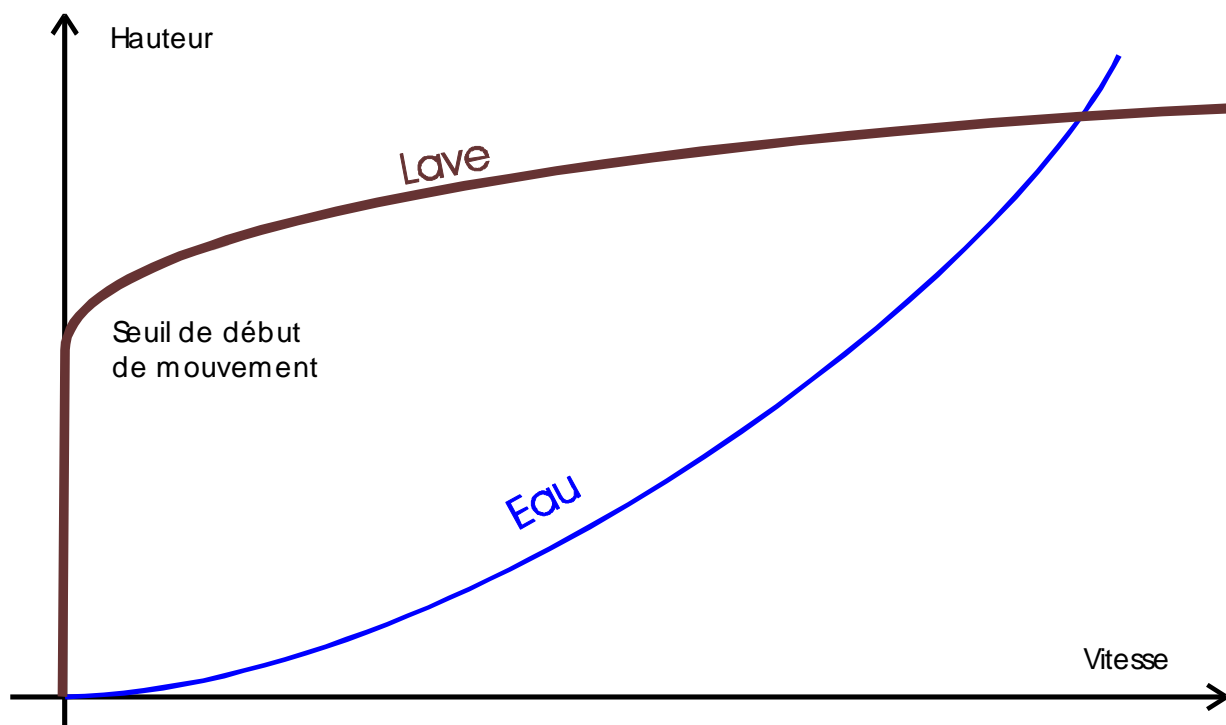


Figure 6 : Relation hauteur vitesse pour de l'eau et pour une lave torrentielle

Cette loi hauteur vitesse conduit à une remarque essentielle : la hauteur de lave est presque indépendante du débit car la vitesse augmente très vite. Le débit n'est alors pas un paramètre prépondérant, au contraire d'un écoulement d'eau.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

La principale caractéristique des laves torrentielles découle de leur caractère non Newtonien, c'est-à-dire qu'au contraire de l'eau, il n'y a pas de relation linéaire entre la vitesse de cisaillement et la contrainte de cisaillement.

De plus, la loi de comportement (relation entre vitesse et contrainte de cisaillement) fait apparaître un seuil de début de mouvement. Le seuil de contrainte correspond à la contrainte nécessaire pour que le mouvement débute : on peut donc avoir une épaisseur importante de lave sur une pente significative, sans qu'il y ait de mouvement des matériaux.

L'ensemble de ces caractéristiques correspond aux laves torrentielles boueuses, avec une matrice fine très développée. Cependant, une caractéristique des laves torrentielles est le transport de très gros blocs, beaucoup plus gros que ce qui peut être repris en charriage. Ces blocs ajoutent évidemment à la capacité de destruction des laves et peuvent imposer des changements brutaux de lit.

Ainsi, la lave torrentielle de 1914 aurait apporté des blocs de 20 m³ jusqu'au cône de déjection.

La photo suivante montre un bloc de 200 m³ - et donc beaucoup plus gros - transporté par la Ravoire de Pontamafrey en Savoie lors de la crue de 1924.



Figure 7 : Transport d'un très gros bloc par une lave

Ce type de bloc joue un rôle prépondérant sur l'écoulement des crues, comme l'illustre la photo précédente, la taille du bloc - et son éventuel arrêt - pouvant être prépondérant pour l'écoulement dans le chenal.

2.1.4.3 SECTION DU LIT

Classiquement, les laves torrentielles forment un lit relativement étroit et profond comme le montre le schéma suivant :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

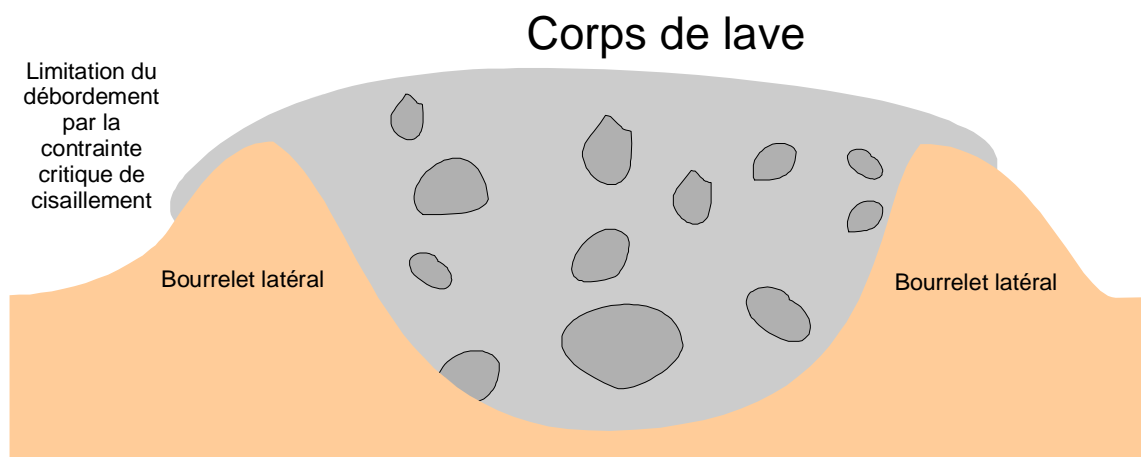


Figure 8 : Section transversale d'une coulée et du lit

Ce type de section découle de la rhéologie de la lave et ne permet pas l'étalement de la lave torrentielle qui reste concentrée dans un lit relativement étroit. Ainsi, les laves parviennent à imposer une section assez indépendante du terrain naturel.

Une telle morphologie n'est pas visible sur le Gros Riou de Prelles. En effet, le transport solide par charriage qui accompagne les fortes crues remanie le lit avant la fin de la crue et efface généralement les traces de tels écoulements, sauf peut-être en 1995.

Il en est de même des matériaux transportés : généralement les matériaux transportés par les laves torrentielles présentent une fraction de fines beaucoup plus importantes que pour les écoulements en charriage :

- D'une part, les laves torrentielles se forment préférentiellement dans des bassins versants présentant une forte fraction de fines.
- D'autre part, la lave torrentielle transporte en une seule fois toutes les classes granulométriques - sans tri - alors que dans un torrent classique, les fines sont préférentiellement transportées en suspension - même en dehors des crues - et le transport par charriage correspond à des faibles fractions de fines.

Ainsi, la lave torrentielle se caractérise par l'apport d'une très forte fraction de fines qui se retrouvent dans le dépôt. Ce n'est pas le cas ici car le charriage remanie rapidement le lit...d'autant plus que les matériaux y sont fins.

Même si l'écoulement de lave torrentielle ne fait guère de doute, il semble que ce phénomène ne se produit que pour une - faible - partie de la crue avec une lave qui provient d'une partie seulement du bassin versant. Les laves torrentielles sont bien présentes mais paraissent secondaires par rapport au charriage.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.2 ETUDE HYDROLOGIQUE

2.2.1 Objectif

On cherche ici à connaître les apports liquides sur le Gros Riou. Pour cela, la démarche classique est la suivante :

- Analyse de la répartition spatiale des précipitations journalières,
- Analyse des pluies à faible pas de temps,
- Choix des paramètres représentatifs sur le bassin versant du Gros Riou.

Ce paragraphe reprend pour l'essentiel les résultats de l'étude de 2002 (Réf. 2), aucun élément nouveau ne justifiant une remise en cause des résultats précédents, sauf pour la forme et surtout le volume des crues.

2.2.2 Étude régionale des précipitations

On dispose, à proximité du bassin versant, d'une quinzaine de postes de mesures (pluviographes et pluviomètres) qui permettent d'analyser la répartition des précipitations en fonction du relief.

Ces postes sont gérés, pour l'essentiel, par Météo France et par EDF.

Pour bien mettre en évidence l'influence du relief, on s'est attaché à en étudier l'influence suivant un axe EST - OUEST. Tous les postes pour lesquels la durée d'exploitation est inférieure à 15 ans ont été exclus.

Sur chacun des postes, on considère que la loi de Gumbel s'applique aux précipitations maximales de chaque durée. On a alors la relation :

$$P_T = P_{T_0} + g \left[-\ln \left(-\ln \left\{ \frac{T-1}{T} \right\} \right) + \ln \left(-\ln \left\{ \frac{T_0-1}{T_0} \right\} \right) \right]$$

Avec

P_T Pluie de période de retour T

P_{T_0} Pluie de période de retour T_0

g Gradex de la pluie (mm)

La figure suivante indique, pour chacun de ces postes, les pluies décennale et centennale journalières ainsi que le gradex :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

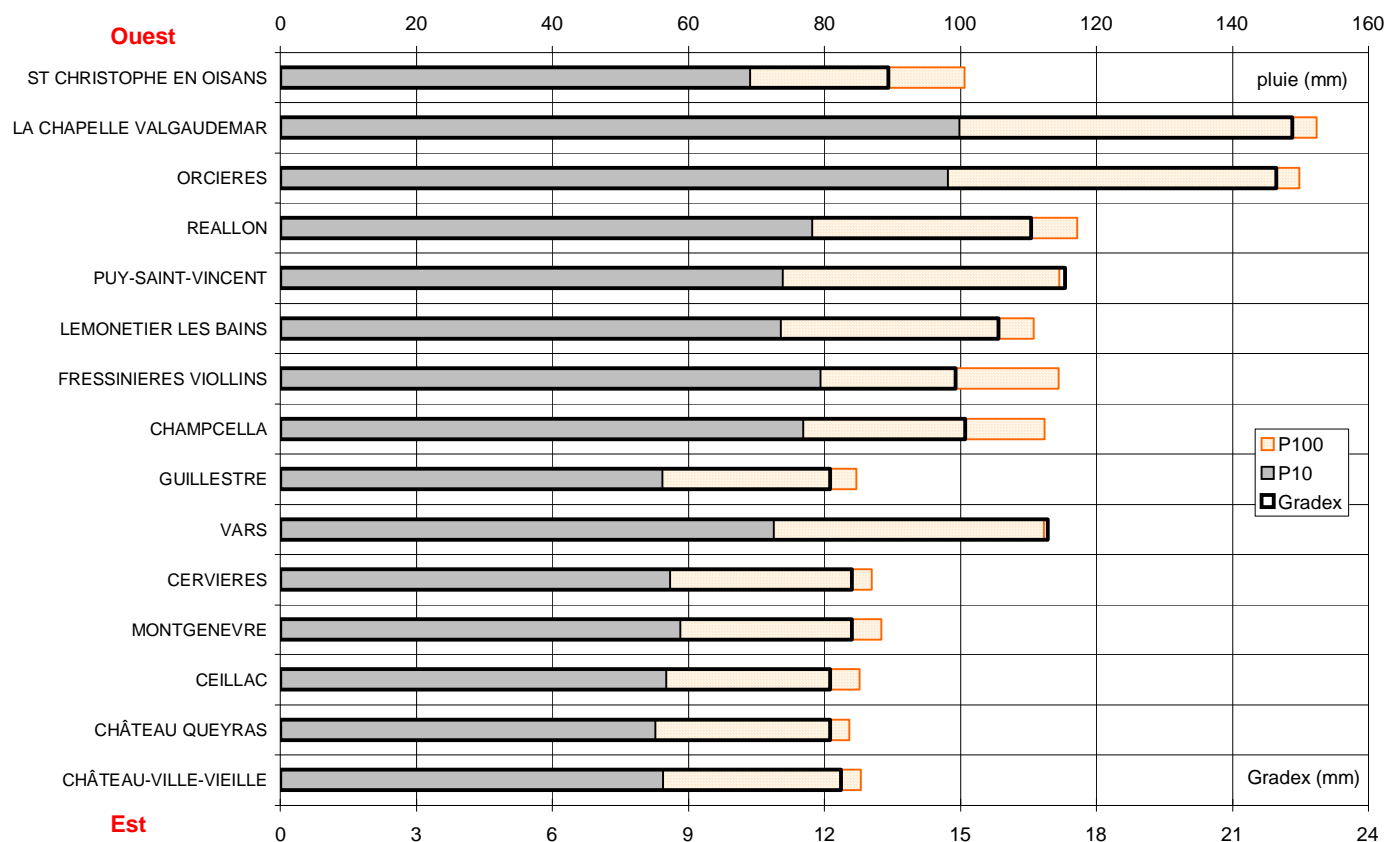


Figure 9 : Répartition des précipitations à proximité du Gros Riou

Ce graphique conduit aux remarques suivantes :

- L'altitude du poste n'est pas un paramètre explicatif des précipitations.
- Les valeurs les plus fortes correspondent au massif des Écrins, les sites en retrait étant plus abrités.
- Certains sites enregistrent des précipitations modérées, car ils sont relativement éloignés des reliefs. C'est le cas en particulier de Guillestre.

On est alors conduit à considérer des précipitations correspondant aux terrains en retrait des Écrins, tout en tenant compte de la forte exposition du haut bassin versant. On retiendra donc les valeurs journalières suivantes, très classiques dans les Hautes Alpes :

Pluie décennale : 80 mm

Pluie centennale : 120 mm

Gradex : 17 mm

Ces valeurs sont assez voisines de celles observées sur le poste de mesure le plus proche du bassin versant : Puy St Vincent.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.2.3 Précipitations à faible pas de temps

Le bassin versant est peu étendu. Ainsi, les pluies qui génèrent des crues ont une durée critique de l'ordre de l'heure. Il est donc nécessaire de connaître les précipitations de faible durée. Pour cela, on utilise les mesures des pluviomètres situés à proximité.

En règle générale, l'évolution des précipitations en fonction de la durée est fournie par la loi de Montana. Les paramètres de Montana sont définis tels que :

$$I = a d^{-b} \quad \text{et} \quad g = a' d^{1-b}$$

Avec

I Intensité moyenne de la pluie (mm/h)

d Durée de la pluie (h)

g Gradex de la pluie

a, a', b Coefficients de Montana

Plusieurs pluviographes situés à proximité ont été analysés et sont regroupés dans le graphique ci-dessous :

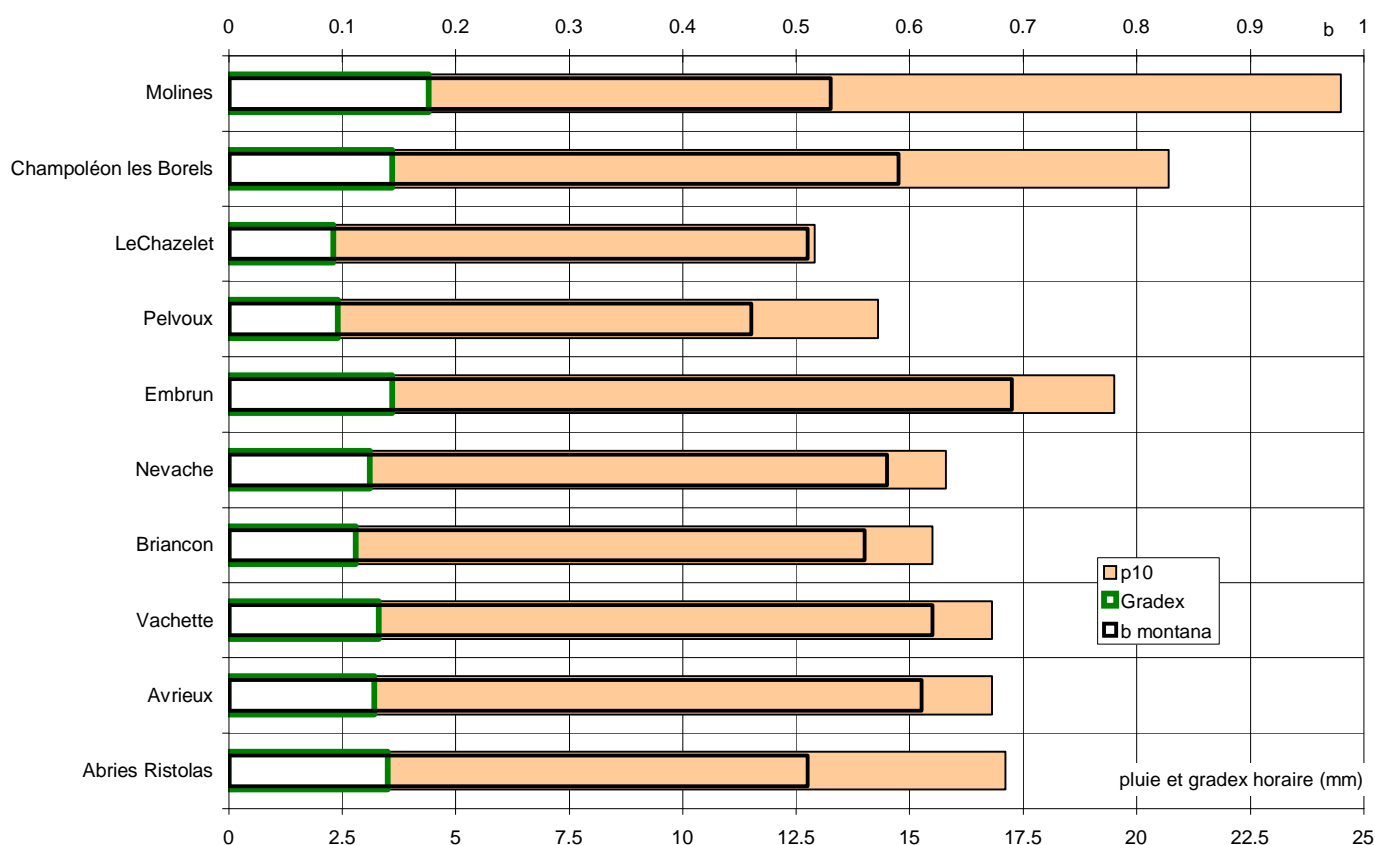


Figure 10 : Pluies à faibles pas de temps à proximité du Gros Riou

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

A partir de l'analyse de ces postes il est possible de retenir un coefficient b de 0.6, ce qui nous conduit aux valeurs suivantes :

b	0.6
a	22.4 mm
a'	4.8 mm

2.2.4 Hydrologie des crues en charriage

Cette étude ne concerne que les phénomènes de charriage dans le Gros Riou. En effet, il est possible que ce torrent connaisse de fortes crues sans formation de laves torrentielles. Une crue sans lave est très probable pour une fréquence décennale.

L'hydrologie des laves torrentielles sera traitée en même temps que l'analyse des apports solides.

Il n'existe pas de station de mesure des débits sur le torrent étudié ni sur un torrent directement comparable. Il s'agit d'une situation classique lors de l'étude des petits cours d'eau de montagne.

Ainsi, les débits sont calculés en utilisant les pluies et des formulations reliant la pluie au débit. On utilise les relations établies entre la pluviométrie locale et le débit décennal. On a retenu trois formules :

- **Méthode Crupédix.** Il s'agit d'une synthèse conduite sur toute la France.
- **Méthode SCS.** Très employée à l'étranger, cette méthode semi-déterministe permet de faire intervenir les caractéristiques du bassin versant.
- **Méthode SOGREAH.** Cette formulation a été mise au point à partir de mesures sur de petits bassins versants du Sud - Est.

Les choix des différents paramètres et des valeurs retenues, lorsque plusieurs résultats sont proposés par des formules distinctes, dépendent des caractéristiques des bassins versants. Ils sont détaillés dans les pages suivantes.

Les résultats, pour le bassin versant, sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)	Temps de concentration (heures)
13.2	12	32	2

Cette méthode permet de définir un hydrogramme de crue, qui sera exposé au paragraphe suivant.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Gros Riou de Prelles

Calcul du temps de concentration et du débit décennal

Caractéristiques du bassin versant (calcul du débit décennal)

Surface du bassin versant (km ²)	Pluie décennale journalière (mm)	Coefficient régional Crupédix	Dénivelée spécifique (m)	Hauteur d'infiltration (Méthode SCS)	$Pluie = \frac{a \text{ duré } e}{(\text{duré } e + c)^b}$		
13.2	80	1.5	800	100	a	b	c
					22.4	0.6	0

Caractéristiques du bassin versant (calcul du temps de concentration)

			caractéristiques sol (Méthode de Zeller)				
Coefficient de Passini	Longueur du talweg (km)	Pente moyenne (%)	Coefficient de débit	Coefficient de ruissellement	Longueur d'écoulement en nappe (m)	Vitesse d'écoulement estimée (m/s)	q* (méthode SCS)
2.0	6	20	0.1	0.3	500	3	0.01

Calcul du temps de concentration

	temps de concentration calculé (en heure)
Formule de Passini	1.9
Formule de Giandotti	1.7
Méthode de Zeller	1.6

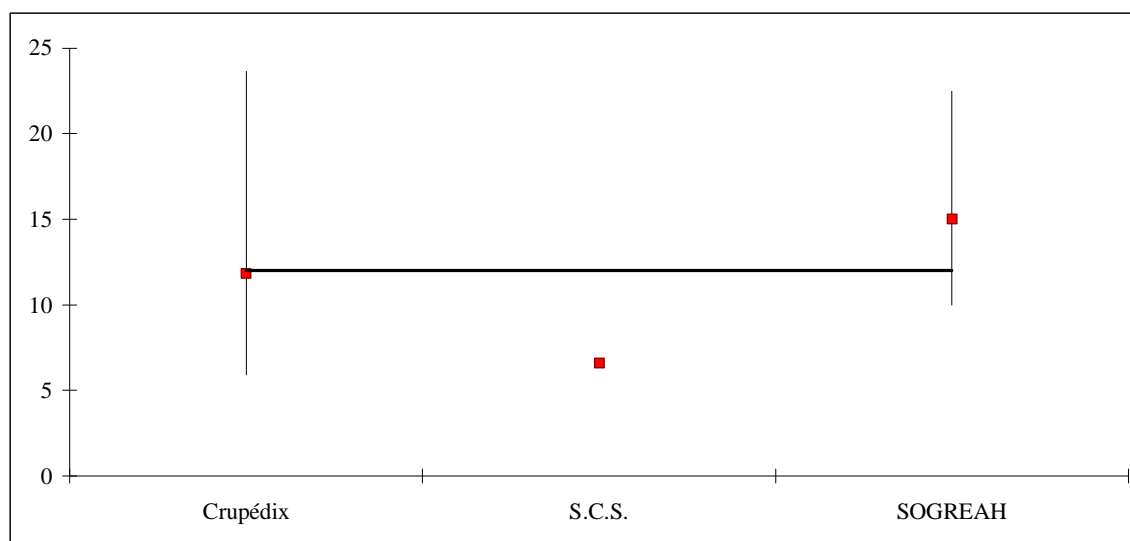
temps de concentration retenu (en heure)	2
--	---

Calcul du débit décennal

Nom de la méthode	débit de pointe calculé (m ³ /s)
Crupédix	12
S.C.S.	7
SOGREAH	15

débit de pointe décennal retenu (en m ³ /s)	12
--	----

Débits calculés avec l'intervalle de confiance et valeur retenue :



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Gros Riou de Prelles

Calcul des débits de différentes périodes de retour

Caractéristiques du bassin versant (méthode du gradex)

$Gradex = \frac{a' \text{ duré } e}{(duré \text{ } e + c')^{b'}}$			Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la crue
a	b	c'	
4.8	0.60	0	2.0

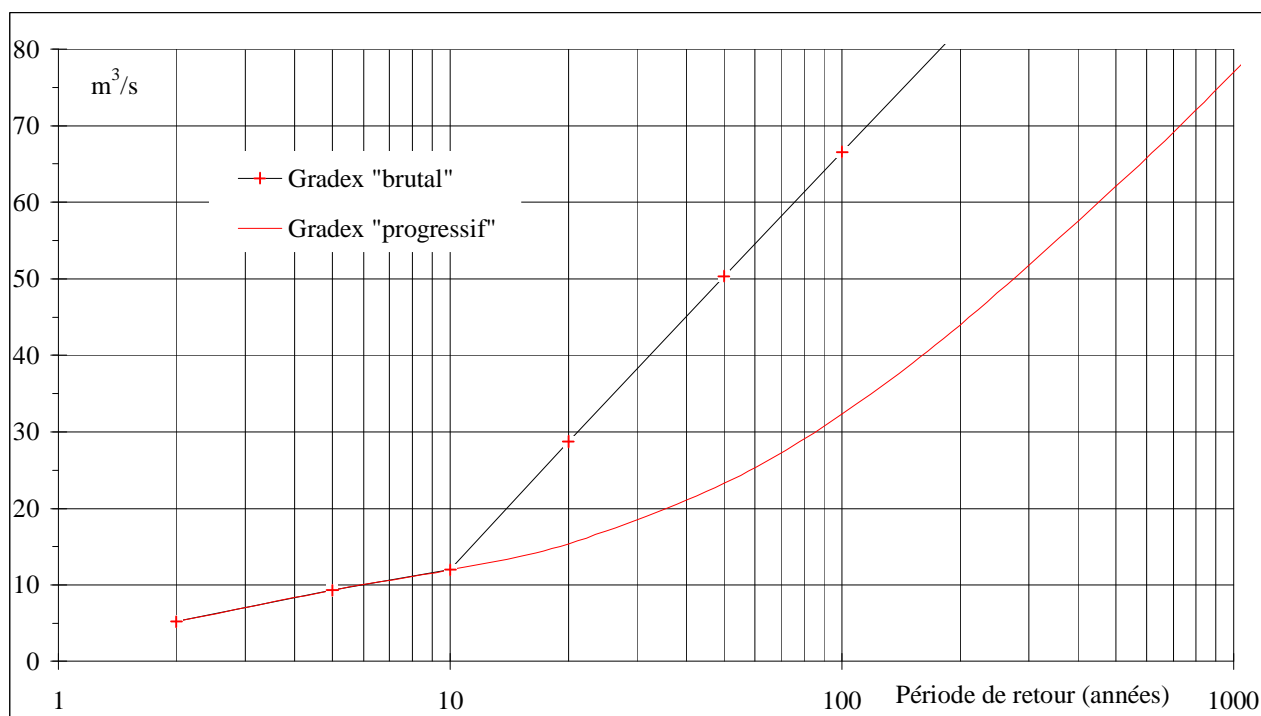
Calcul du gradex des débits

Période de retour inférieure à 10 ans	3.6
Période de retour supérieure à 10 ans	23.2

Calcul des débits de pointe

Période de retour (années)	Méthode sommaire	Gradex "brutal"	Gradex "progressif"
2		5	5
5		9	9
10	12	12	12
20		29	15
50	24	50	23
100	36	67	32

Période de retour	Débit retenu
10	12
100	32



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.2.5 Hydrogrammes de crue

L'hydrogramme est indispensable pour la simulation d'un épisode de crue et pour la détermination des volumes de matériaux apportés. Cet hydrogramme est défini par le débit de pointe. Cependant, il est nécessaire de connaître sa durée ou son volume, ces paramètres étant directement liés au volume de matériaux apportés. La démarche retenue est alors la suivante :

- Pour une **crue centennale**, la démarche retenue considère la pluie journalière :
 - Le scénario retenu est celui d'un épisode pluvieux intense durant une journée, la pluie étant évidemment irrégulière durant cette période. C'est donc une pluie centennale journalière qui est retenue, soit 120 mm ici.
 - Le volume d'eau écoulé est déterminé en considérant un coefficient de ruissellement sur la journée. Le bassin versant reçoit de fortes pluies ce qui conduit ici à un coefficient de 50 %, soit une pluie nette de 60 mm.
 - La durée de la crue est ajustée pour obtenir le volume déterminé précédemment. Cela conduit à un hydrogramme plutôt trapu et long. Ce calcul conduit à un temps de montée de 5 heures.
- Pour la **crue décennale**, le temps de montée est considéré comme égal au temps de concentration majoré de 50 %, soit 3 heures.

La figure suivante montre les hydrogrammes de période de retour 10 et 100 ans :

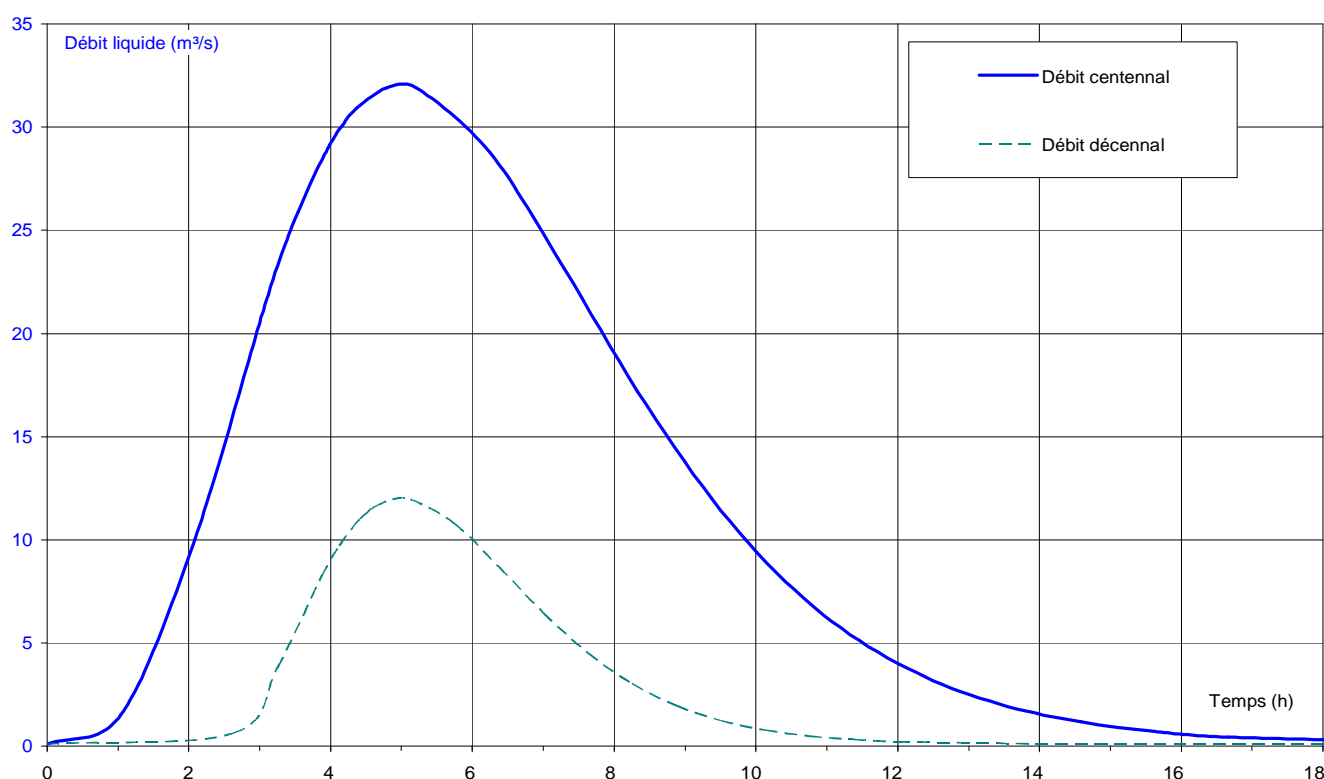


Figure 11 : Hydrogrammes de crue retenus

Cette approche conduit à des hydrogrammes plus de deux fois plus volumineux que ceux de 2002.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.3 APPORTS SOLIDES

2.3.1 Érosion dans le bassin versant

2.3.1.1 OBJECTIF

Ce paragraphe vise un double objectif :

- Décrire l'érosion dans le bassin versant en rapport avec les apports potentiels sur le cône de déjection.
- Mettre en évidence l'évolution du lit depuis la reconnaissance de 2002. Il convient de noter que l'évolution des lits torrentiels se fait par à-coup lors des crues et que l'absence d'évolution en 13 ans ne signifie par une stabilité du lit et des berges en cas de crue. Ce point est d'autant plus vrai qu'il n'y a pas eu de crue significative sur ce torrent depuis 1999. Les photos prises par le RTM après la crue de 1995 permettent d'illustrer les évolutions du lit.

2.3.1.2 HAUT BASSIN VERSANT

2.3.1.2.1 Structure générale

Dans son cours amont, le Gros Riou reçoit trois affluents :

1. Le torrent de la Trancoulette qui draine le plus vaste bassin versant.
2. Le Riou des Pras, draine un petit bassin versant au pied de la tête des Lauzières.
3. Le torrent de Combe Brune qui prend sa source dans le secteur des Tenailles de Montbrison.

La confluence avec le torrent de Combe Brune, la plus aval, est situé à l'entrée des gorges.

La vue aérienne suivante permet de retrouver les numéros correspondants à ces trois torrents affluents et illustre la structure du bassin versant.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

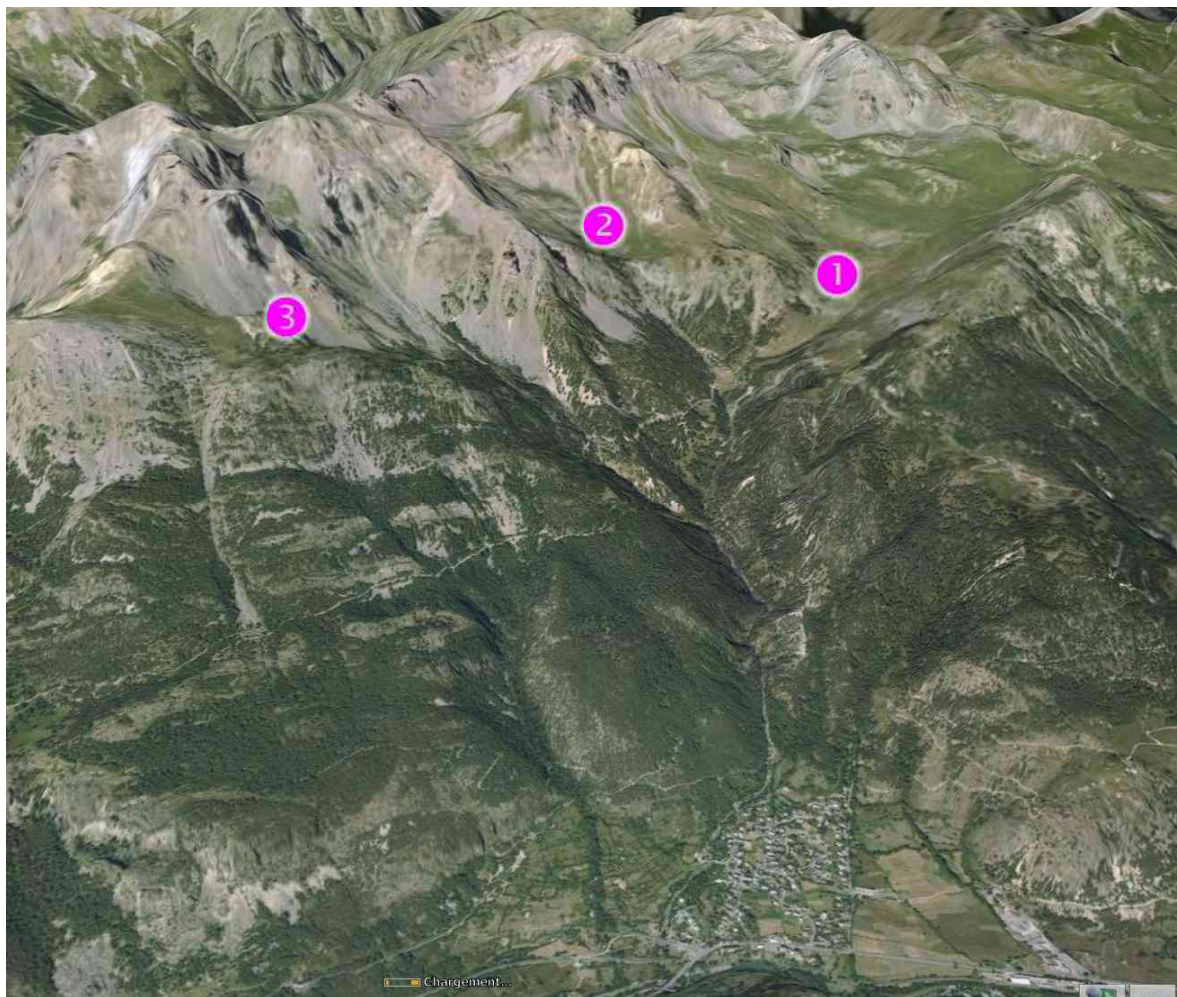


Figure 12 : Vue d'ensemble du bassin versant et des principaux affluents

2.3.1.2.2 Le torrent de la Trancoulette

Ce torrent draine une longue vallée peu raide et dissymétrique. Dans la partie amont de la vallée, du côté du col de Vallouise, l'infiltration semble prépondérante. Cependant le ruissellement peut être important lors des crues.

Les photos page suivante montrent le lit vers 2150 m d'altitude :

- Juste après la crue de 1995 avec une forte incision dans les terrains en place et des dépôts en aval. Cette crue semble correspondre à un phénomène très exceptionnel, avec une période de retour peut être supérieure au siècle.
- En 2016 après reconquête naturelle par la végétation. Le lit reste très vulnérable et un retour à la situation de 1995 est probable en cas de précipitations exceptionnelles.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

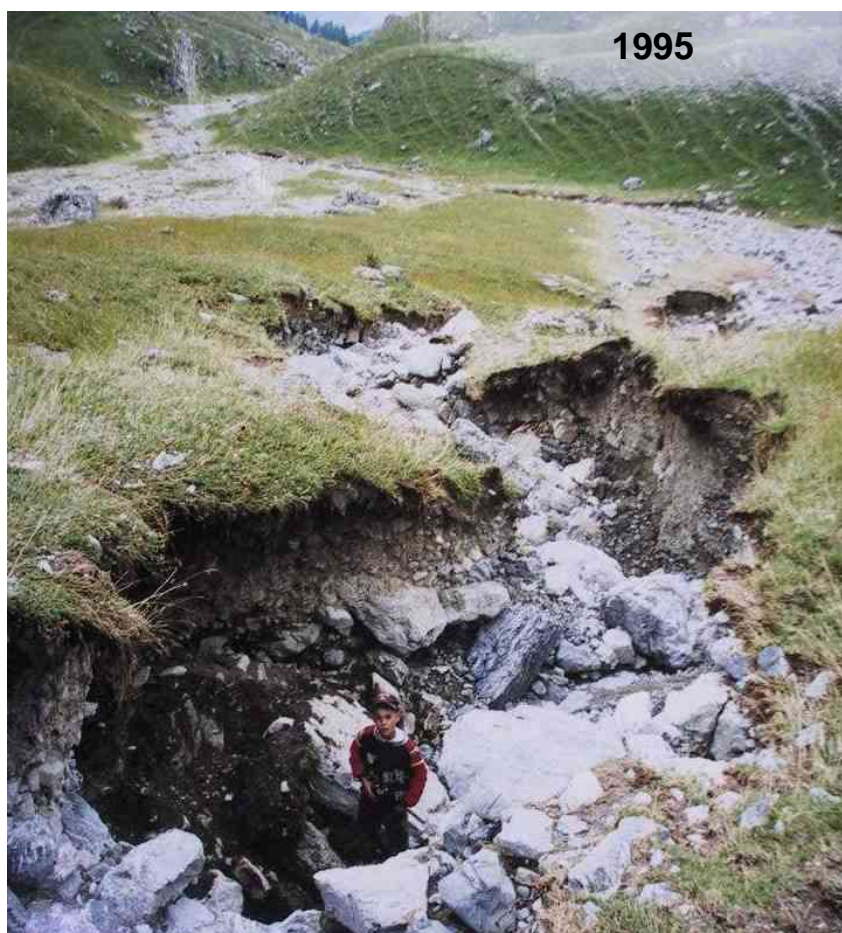


Photo 2 : Lits en aval du Clot des Amandiers en 1995 et 2016

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

De la même façon, les photos suivantes montre des affluents latéraux un peu en aval juste après la crue et aujourd'hui avec un cône de déjection revégétalisé :



Photo 3 : Affluent rive droite dans le secteur de Terre de Peyrol en 1995 et 2016

Les photos page suivante montrent une évolution encore plus marquée vers 2050 NGF.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



1995



2016

Photo 4 : Ravinements très intenses dans le secteur de la Cabane de berger

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Le haut bassin versant montre donc un comportement très contrasté en fonction des sollicitations hydrologiques. Le lit présente cependant en aval de la piste, vers 1850 m d'altitude, une morphologie très stable avec des gorges rocheuses. Cette morphologie tranche avec un transport solide qui est potentiellement très intense - mais qui interagit peu avec le lit - comme en 1995.

La photo suivante montre une telle morphologie peu en amont de courtes gorges rocheuses :



Photo 5 : Lit apparemment très stable en aval de la piste routière

C'est dans cette zone que le torrent reçoit les apports d'un ruisseau alimenté par une puissante source en aval d'un vaste éboulis. Cet affluent semble très peu sensible aux crues.

Peu en aval de cette confluence, le torrent entre dans une zone non pavé par les blocs au pied d'un vaste et raide éboulis constitué pour l'essentiel de graviers. Les photos suivantes montrent cette zone d'apports intense à trois dates :

- Après la crue exceptionnelle de 1995, l'érosion est remarquable avec un enfoncement de plusieurs mètres. La crue du torrent a permis une reprise de volumes très importants.
- En 2002, les apports latéraux ont permis un remblaiement partiel du lit. Il reste encore encaissé.
- En 2016, l'érosion continue de la berge a permis une recharge complète du lit au prix d'un recul visible de la berge. Le stock de matériaux est reconstitué pour la prochaine crue...

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

**Photo 6 : Erosion très marquée après 1995**

Cette zone d'érosion, vers 1710 m, en amont du confluent avec le Riou des Pras, menace le lit en amont par érosion régressive. Surtout une déstabilisation du versant ne peut être exclue. Les volumes pouvant être alors apportés au torrent sont importants. Le risque de déstabilisation totale de ce tronçon paraît assez faible car des affleurements rocheux sont nettement visibles en amont. Ces apports ont nettement engravé le lit au confluent avec le Riou des Pras.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 7 : Erosion de berge active et remblaiement du lit

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS****2.3.1.2.3 Le Riou des Pras**

Le Riou des Pras, qui provient du pied de la crête des Lauzières, présente un bassin versant plus réduit et une activité assez faible. Ainsi, le lit est globalement pavé et les traces de transport solide sont très réduites.

La photo suivante montre la partie amont de ce bassin versant, très raide mais avec des terrains résistants :



Photo 8 : Haut bassin versant du Riou des Pras

Des éboulements sont visibles dans la partie amont du bassin versant, mais celui-ci est alors très réduit et les débits liquides sont vraisemblablement trop faibles pour assurer la propagation de l'essentiel de ces apports.

Il est probable que le cirque amont ait été englacé il y a peu, même si la carte d'état major dressée au milieu du XIX^{ème} siècle ne mentionne pas de glacier dans cette zone. L'absence d'enjeux à ce niveau explique cependant que le tracé de la carte n'est vraisemblablement pas le plus précis ici.

Des modelés de glacier rocheux sont ici clairement visibles. Le relief est alors relativement irrégulier, ce qui facilite l'arrêt des matériaux.

Le lit est raide et pavé, mais indique un transport solide significatif, avec des évolutions probables lors des fortes crues. L'essentiel des matériaux proviennent vraisemblablement en dessous du cirque amont, sous la cote de 2100 m d'altitude.

La contribution de cet affluent au transport solide semble modeste.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

La photo suivante montre le lit vers 1800 m d'altitude avec un pavage très présent par les blocs en place :



Photo 9 : Lit du Riou des Pras en amont de la piste

C'est à la confluence du Riou des Pras avec le torrent de la Trancoulette que la morphologie change avec les apports très intenses de ce dernier dans la zone d'éboulis évoquée précédemment.

Le replat relatif dans la zone de confluence permet la formation de l'une des rares zones de régulation du transport solide sur l'ensemble du bassin versant. Les dépôts qui se sont formés en 1995 sont alors très présents.

La granulométrie est hétérogène, même si les graviers et les galets sont surreprésentés.

Ces dépôts n'ont que peu évolué comme le montrent les photos page suivante qui montrent l'ensemble de cette zone depuis l'aval, avec seulement une évolution des boisements entre 2002 et 2016.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 10 : Zone de régulation et de dépôt à la confluence Trancoulette - Pras

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

D'après la carte IGN, le torrent garde le nom de Riou des Pras en aval de la confluence. Il entre alors dans des gorges raides et partiellement pavés par des blocs en place. Cette zone connaît - en temps ordinaire - une grande stabilité. Quelques affluents forment de petites laves torrentielles et les éboulements principalement depuis la berge rive gauche sont nombreux.

La photo suivante illustre la morphologie de ce tronçon :

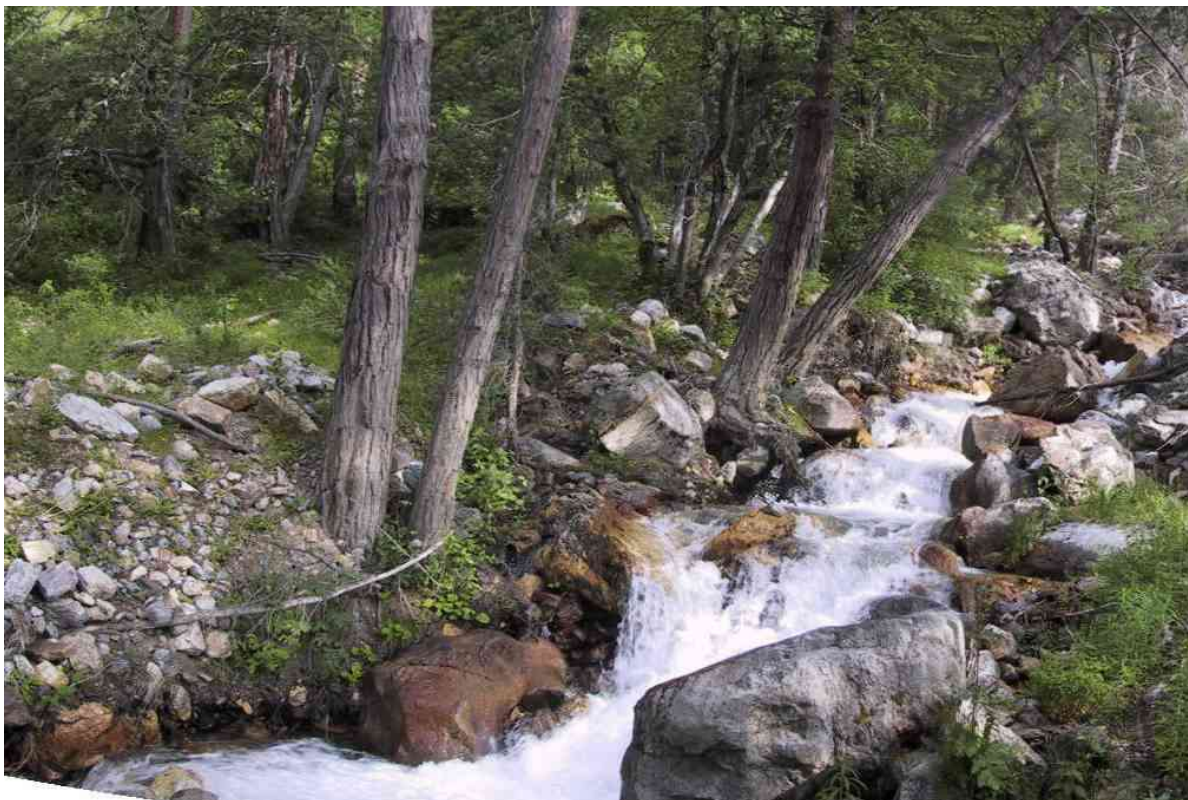


Photo 11 : Riou des Pras en aval de la confluence avec le torrent de la Trancoulette

Ces cordons de matériaux en berge évoquent irrésistiblement des écoulements de laves torrentielles.

Cependant, lors des crues, les blocs peuvent être contournés ou déplacés et le lit s'enfonce brutalement, causant des érosions de berges intenses. La forte pente et les débits déjà élevés expliquent des phénomènes très intenses, bien en rapport avec des éventuels dépôts de laves torrentielles.

Les photos page suivante montrent ce fonctionnement dual :

- Une érosion potentiellement très active.
- Une grande stabilité apparente entre 2002 et 2016 avec essentiellement une végétalisation fragile de la berge rive gauche.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 12 : Zone d'érosion sur le Riou des Pras

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

Sur l'ensemble du tronçon, la morphologie est peu variable. Les apports du torrent de Combe Brune ne modifiant pas la morphologie d'ensemble qui correspond d'abord à un lit pavé en temps ordinaire.

La photo suivante montre cette confluence, sans aucune trace de respiration du lit :



Photo 13 : Confluence avec le torrent de Combe Brune

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS****2.3.1.2.4 Le torrent de Combe Brune**

Le torrent de Combe Brune prend sa source dans le secteur des Tenailles de Montbrison. Il est possible de distinguer deux zones dans la partie haute du bassin versant :

1. La branche Ouest, du côté des Tenailles de Montbrison ne présente pas une érosion importante, essentiellement parce que l'infiltration y est prépondérante. La photo suivante montre ce secteur :

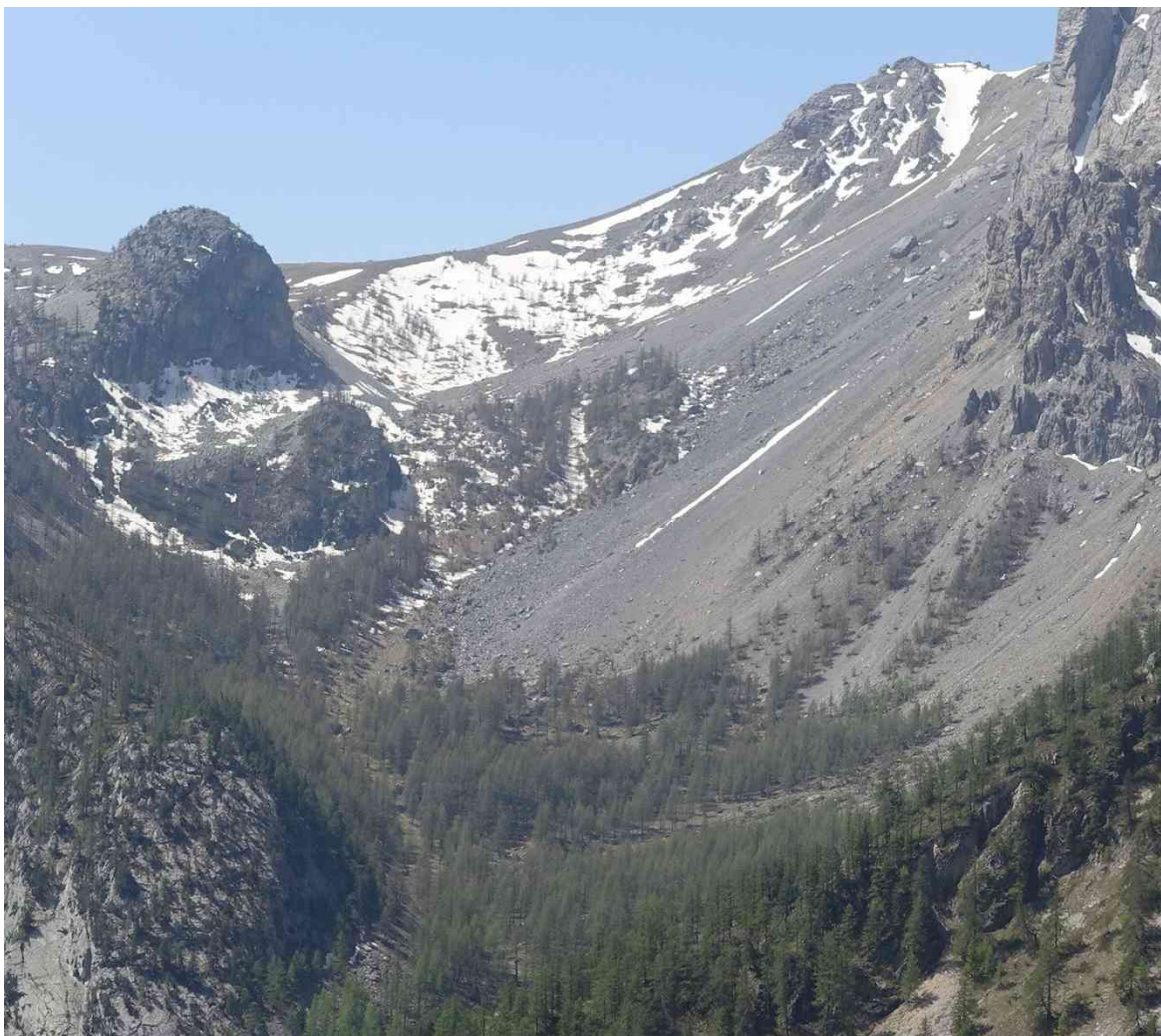


Photo 14 : Branche Ouest du torrent de Combe Brune

2. La branche Est présente une morphologie très comparable au Riou des Pras avec une forte infiltration dans le haut bassin versant puis des ruissellements exceptionnels, et des écoulements de laves torrentielles dans la partie aval. Ce sont surtout les matériaux provenant de l'extrémité Est du bassin versant qui transitent directement vers l'aval.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

En aval, le lit est raide et pavé et ne montre que de faibles traces de transport solide intense, comme le montre la photo ci-dessous du lit en amont de la piste routière :



Photo 15 : Lit pavé du torrent de Combe Brune

Après la traversée de gorges rocheuses et de cascades, le torrent est alimenté par des zones d'érosions actives sur les deux berges. Elles sont susceptibles d'apports brutaux - mais exceptionnels - voire de la formation de laves torrentielles qui - vue la situation aval de ces zones - peuvent se propager jusqu'au cône de déjection.

La photo suivante montre l'un de ces zones d'érosion avec une lente incision dans la partie amont depuis 2002 :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 16 : Zone d'érosion rive droite dans la partie aval du torrent de Combe Brune

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.3.1.3 GROS RIOU**2.3.1.3.1 Amont des gorges**

En aval du confluent avec le torrent de Combe Brune, le Gros Riou conserve la morphologie du Riou des Pras avec un pavage constitué de blocs et des érosions localement actives mais aucune ne présente - dans l'état actuel - une activité particulièrement importante. La photo suivante montre cette morphologie :



Photo 17 : Gros Riou à l'amont des gorges

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.3.1.4 GORGES ROCHEUSES

Ces gorges rocheuses – étroites et raides – sont difficilement accessibles. Le rocher n'est y que partiellement visible. Le phénomène prépondérant y est vraisemblablement le transit des matériaux, les apports latéraux étant assez faibles. Il est possible que de très gros blocs soient fournis au torrent dans ce secteur.

La photo suivante montre le lit dans ce tronçon :

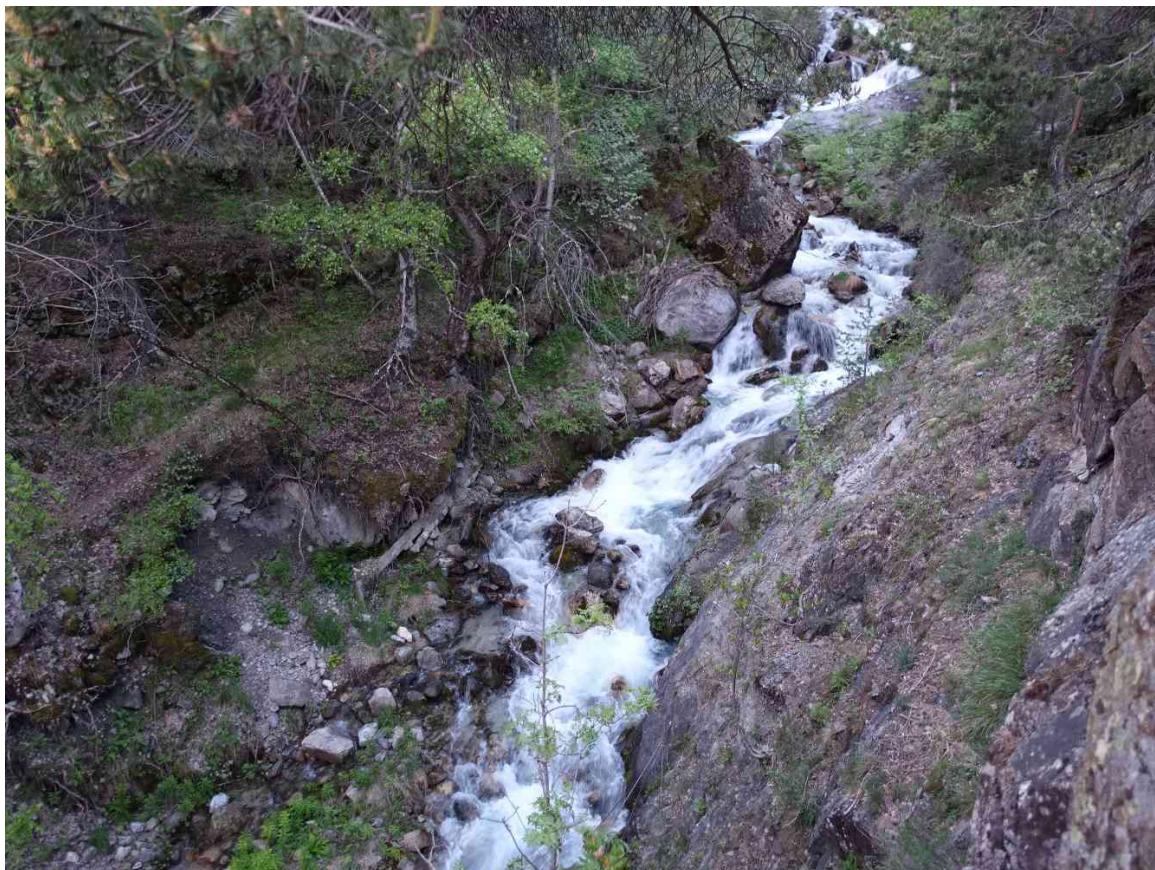


Photo 18 : Partie aval des gorges du Gros Riou

C'est en aval des gorges qu'est prévue la construction d'une prise d'eau pour la micro centrale.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.3.1.4.1 Transition avec le cône de déjection

La sortie des gorges rocheuses se produit progressivement par un élargissement du fond de vallée. La pente reste très forte (16 % environ). Il s'agit d'une première zone de régulation des apports amont, le débordement possible, surtout le long de la rive gauche, permet de réduire les apports solides les plus importants.

Cette zone de raccordement, présente une longueur de 500 mètres environ et se termine en aval de la passerelle. Des érosions sont très nettes - et actives - le long de la rive droite. La photo suivante montre cette évolution avec l'apparition du substratum dans la partie basse, ce qui devrait réduire l'ampleur des érosions potentielles :



Photo 19 : Erosion peu active mais assez généralisée en rive droite

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

Il s'agit de la première véritable zone de régulation en aval du bassin versant. Ainsi, la photo suivante montre le lit après la crue de 1995 en aval des gorges avec une tendance au dépôt massive :



Photo 20 : Dépôt massif en 1995



Photo 21 : Lit curé en amont de la zone de régulation

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Suite aux dépôts massifs de 1995 puis à la crue de 1999, des curages ont été réalisés dans ce tronçon. Cependant, les matériaux n'ont pas été extraits mais laissés en dépôt le long du lit. Cette configuration réduit considérablement les possibilités de dépôts dans cette zone... les reportant plus en aval, le long du village, lors de la prochaine crue :



Photo 22 : Lit recalibré dans le secteur de la passerelle

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS****2.3.1.4.2 Cône de déjection**

Le cône de déjection débute en aval de la passerelle, lorsque le lit est étroit. C'est évidemment dans ce tronçon que sont concentrés les aménagements :

- Village de Prelles, construit intégralement sur le vaste cône de déjection du torrent ;
- RD 4 ;
- Voie ferrée.

Sur l'ensemble du cône de déjection, le Gros Riou a été repoussé le long du versant rive droite. Les ouvrages permettant de réduire les débordements sont alors les suivants de l'amont vers l'aval du cône de déjection :

- Digue fermant la partie basse de la zone de transition. C'est à ce niveau que des débordements se sont produits lors des crues récentes, des canaux alimentant l'ensemble du cône de déjection et formant des points bas dans la protection contre le torrent. Cette digue a localement été renforcée depuis 1995.



Photo 23 : Chenal au droit de la digue amont avec dépôt de 1995 très haut

- Chenal profond et étroit dans la partie haute du cône de déjection. Le village est alors protégé par une digue hétérogène en gabions. Les affouillements dans ce tronçon sont préoccupants et ont créé des érosions assez importantes dans le versant rive droite pour déstabiliser des conduites d'eau. En rive gauche, la digue en gabions est très menacée par les affouillements

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

et une brèche peut se former en cas de nouvelle crue. C'est dans la partie aval de ce secteur que la pente diminue fortement.

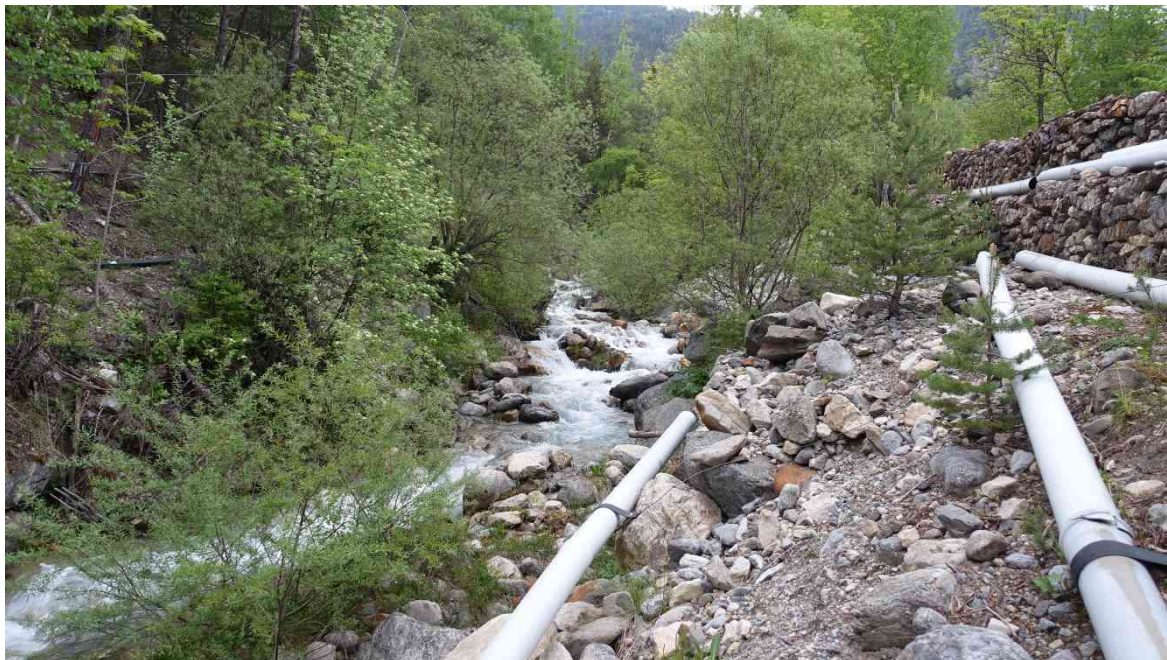


Photo 24 : Protection illusoire en gabions

- Cette protection s'éloigne du lit et devient de moins en moins haute en allant vers l'aval. Elle est très peu marquée au niveau du pont communal. Le lit forme alors un coude vers la gauche pour éviter le remblai servant de parking :



Photo 25 : Remblai et garage en rive gauche en amont du pont

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

- Le pont communal permet la desserte d'une piste et de quelques garages. Il offre à l'écoulement une section rectangulaire. Les risques de débordement en amont paraissent d'autant plus importants - sur les deux rives - que la pente diminue en amont de cet ouvrage.



Photo 26 : Pont central (pont communal)

- Entre les deux ponts routiers, la distance entre le lit et les habitations est nettement plus importante, ce qui est favorable. Par contre, les protections sont pratiquement inexistantes et rien n'interdit les débordements. Cela ne paraît pas gênant pour l'habitat ancien, sauf pour un ancien moulin isolé et beaucoup plus proche du lit, les dernières inondations l'ayant atteint. Dans l'état actuel, cette construction paraît très menacée.



Photo 27 : Ancien moulin inondé en 1999

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 28 : Ancien moulin très exposé dans le lit actuel

- Des habitations plus récentes ont été établies en amont de la R.D. 4. Elles paraissent plus menacées par des divagations du torrent. De plus, le terrain naturel a été décaissé en amont du pont et s'abaisse dangereusement par rapport au niveau du lit.



Photo 29 : Abaissement de la route en amont du pont

- En rive droite, dans l'axe du lit amont, les terrains sont calés particulièrement bas. Cette berge est donc particulièrement favorable pour l'organisation d'un débordement. Si les enjeux actuels sont très faibles - une fois passée la RD4 - la construction prévue de la micro centrale dans

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

cette zone rend cet équipement particulièrement vulnérable. La photo suivante montre la rive très basse en rive droite :



Photo 30 : Rive droite basse en amont du pont de la RD4

- Le pont de la RD 4 est un ouvrage voûte qui présente une faible section d'écoulement. Et un entonnement peu favorable. Cependant, il n'apparaît pas de réduction de pente à proximité de l'ouvrage. Notons qu'une obstruction partielle de ce pont augmente les risques de débordement vers les habitations situées en rive gauche en amont de la route. La seconde photo montre cet ouvrage presque entièrement obstrué lors de la crue de 1999.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 31 : Entonnement du pont de la RD 4 peu favorable



Photo 32 : Pont de la RD 4 obstrué en 1999

Sur le faible linéaire entre la RD 4 et la voie ferrée, le lit présente une section régulière avec une pente qui reste soutenue. Cependant, aucune protection de berge ne s'oppose aux divagations ni au débordement.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

- Le pont de la voie ferrée offre une section rectangulaire mais limitée. Une prise d'eau, située en aval immédiat, réduit localement la pente, ce qui favorise le dépôt puis le débordement. Elle n'est plus fonctionnelle et le seuil est aujourd'hui plus bas qu'en 2002. Ce passage de la voie ferrée est aussi très vulnérable.

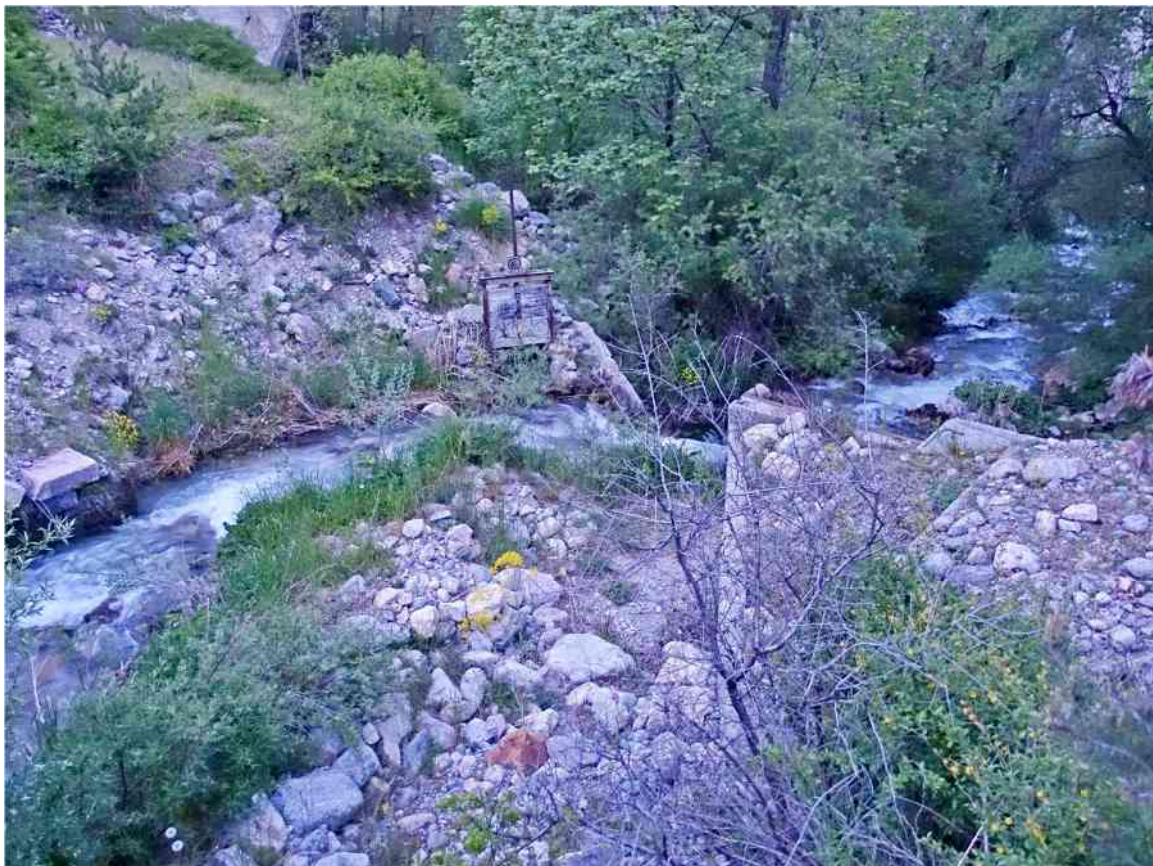


Photo 33 : Seuil abaissé en aval de la voie ferrée

- En aval de ce seuil, le Gros Riou rejoint la Durance par un lit régulier et encaissé, la rivière étant ici particulièrement encaissée par rapport au cône de déjection du torrent, ce qui semble témoigner d'apports solides très importants par le passé. Il n'apparaît pas de dépôt significatif à la confluence, ce qui suggère que les laves torrentielles - et les apports de gros blocs - soient très rares. La photo page suivante montre ce cours terminal qui n'a pas évolué entre 2002 et 2016.
- La Durance est dérivée en amont par l'ouvrage EDF de Prelles, et – en temps ordinaires - seuls les débits déversés sur l'ouvrage peuvent permettre une reprise des matériaux. Le risque d'engrèvement sur le long terme au droit de ce confluent paraît assez faible car le lit de la Durance est ici raide et partiellement pavé. Le dépôt peut cependant être important durant la crue, surtout en l'absence de lâcher EDF. L'augmentation brutale de la pente du Gros Riou en amont immédiat du confluent montre que l'engrèvement lors des précédentes crues a été d'au moins un mètre à la confluence.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 34 : Lit terminal du Gros Riou et confluence avec la Durance

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.2 Analyse du profil en long dans la partie aval

2.3.2.1 STRUCTURE DES PENTES

Le profil en long est un élément essentiel pour la compréhension des phénomènes de transport solide, la puissance de l'écoulement (destinée entre autres au transport des matériaux) étant proportionnelle à la pente.

Dans le cadre de l'étude de 2002, un levé topographique a été réalisé depuis la sortie des gorges rocheuses jusqu'au confluent avec la Durance. La figure suivante est un profil en long du Gros Riou dans son cours inférieur :

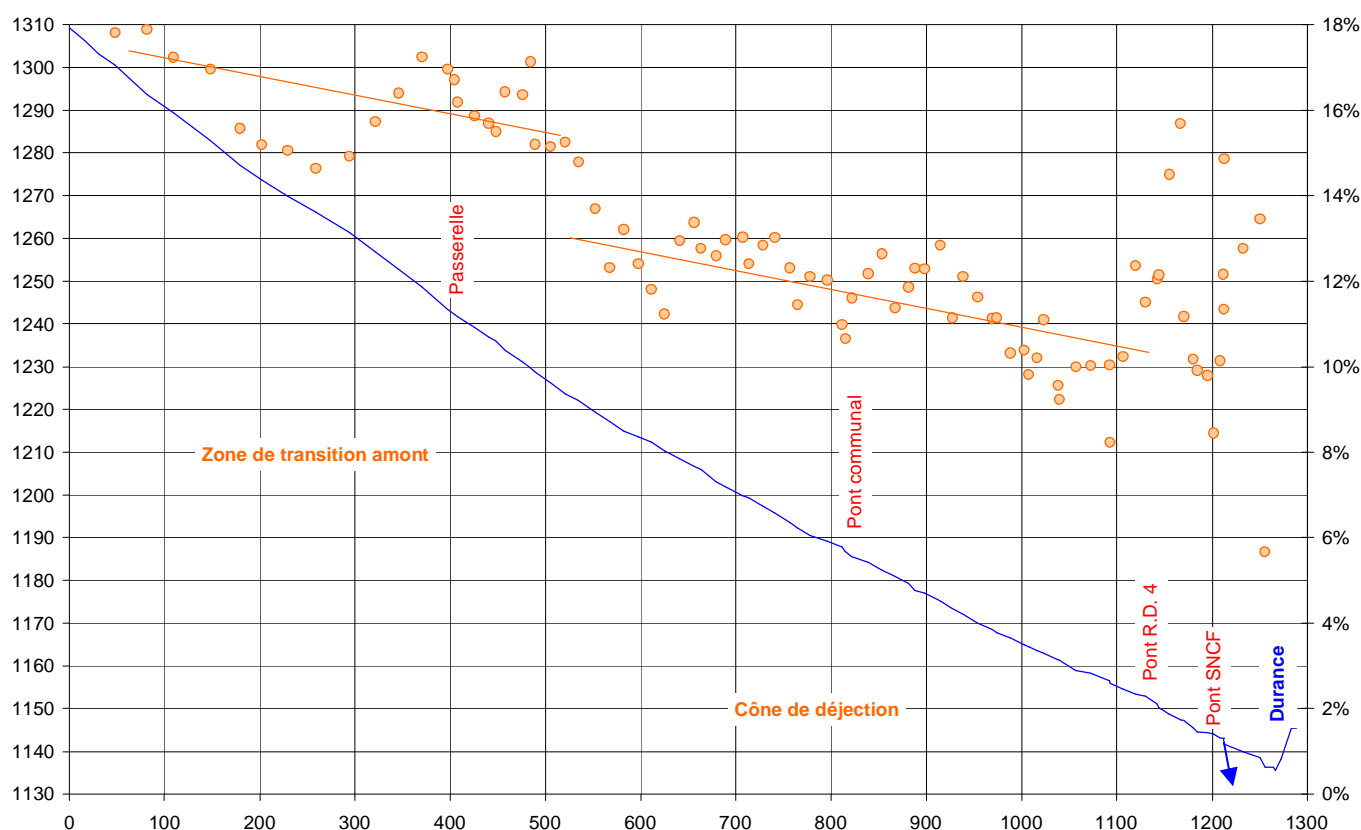


Figure 13 : Profil en long du Gros Riou

Au profil en long nous avons ajouté la pente calculée en chaque point. L'évolution du profil en long et des pentes correspond bien aux caractéristiques du site :

- Transit dans la partie supérieure avec une pente légèrement décroissante et forte (15 à 17 % environ), jusqu'en aval de la passerelle. Cette zone permet la régulation des apports solides amont. Les dépôts massifs dans ce secteur en 1995 imposent de considérer une pente d'équilibre comprise entre 15 et 17 %.
- Secteur aval du cône de déjection. En amont du pont communal, à la sortie du secteur étroit, la pente est brutalement réduite à 13 %. Elle diminue ensuite très progressivement jusqu'à 10 % au bas du cône de déjection. Il convient de noter que dans la partie basse du cône de déjection les ouvrages (et en particulier la prise d'eau) entraînent des irrégularités fortes de la pente, heureusement sur un linéaire limité.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

La figure suivante montre l'ajustement réalisé en considérant deux secteurs à pente constante, avec une rapide zone de réduction de pente :

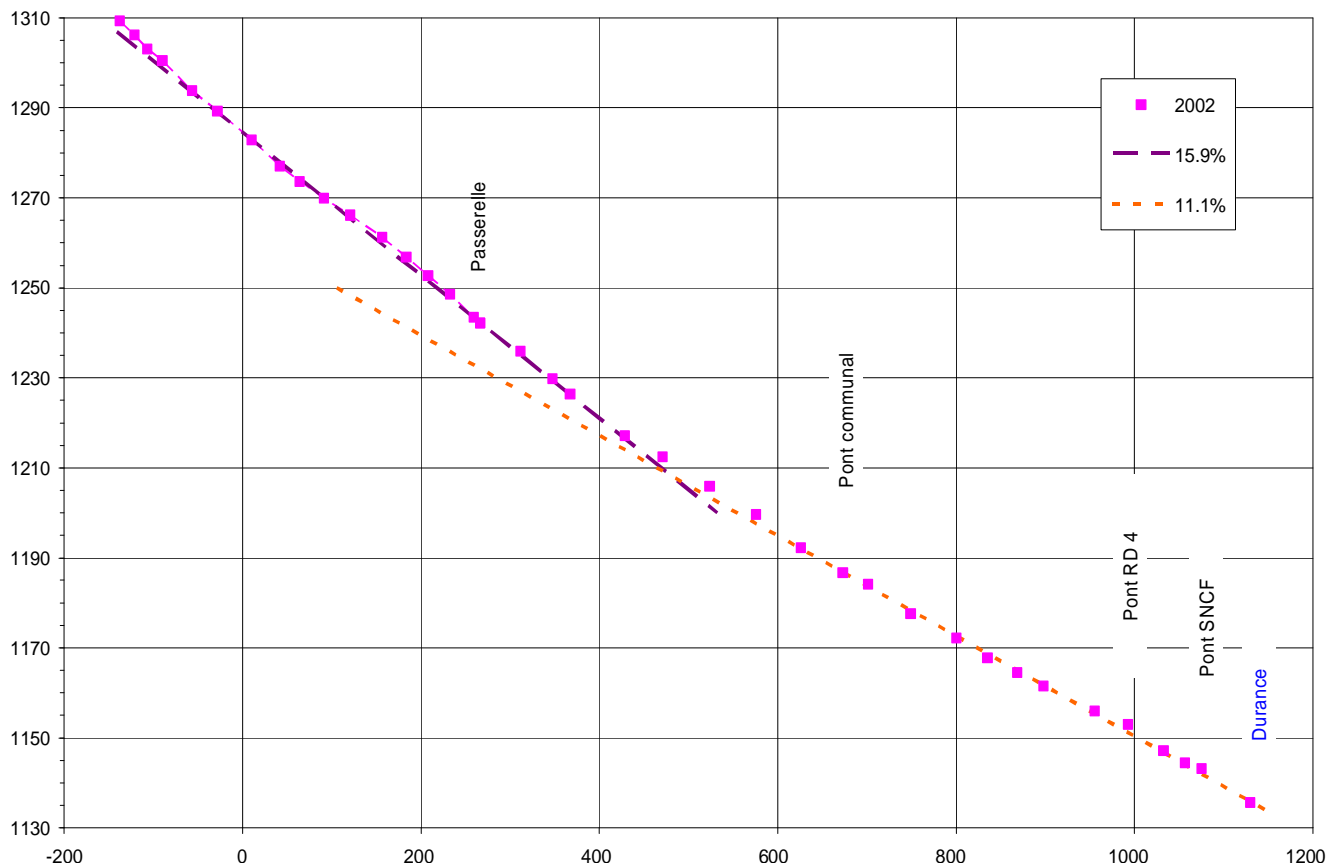


Figure 14 : Ajustement des pentes sur le cône de déjection

Ce graphique montre plusieurs tronçons :

- En amont, à la sortie des gorges, la pente est un peu supérieure à 16 %. Il s'agit d'un effet direct du pavage du lit.
- Sur un long linéaire, jusqu'à l'amont du pont communal, la pente est régulière et proche de 15.9 %. Cette zone correspond à un lit étroit (surtout en aval) et qui longe le versant rive droite.
- La zone de transition avec le lit aval est relativement brutale, ce qui suggère un lit pavé en amont. Cette situation correspond effectivement au fonctionnement ordinaire du lit. Cependant, les dépôts massifs dans la zone de la passerelle montrent que cette pente de 16 % correspond aussi à la pente d'équilibre lors des fortes crues. Il est surprenant que des dépôts massifs ne se soient pas produits à la rupture de pente lors des dernières crues.
- Sur la quasi-totalité du linéaire aval, lorsque le Gros Riou divague sur son cône de déjection, la pente est remarquablement régulière et proche de 11 %.
- Une augmentation de la pente dans le cours terminal correspond à la dynamique de la confluence et aux dépôts qui se produisent lors des fortes crues.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.2.2 ÉVOLUTION DU PROFIL EN LONG

Un nouveau levé topographique a été réalisé à l'occasion de cette étude. Il inclut notamment un profil en long du fil d'eau d'étiage. La figure suivante montre les deux levés topographiques recalés :

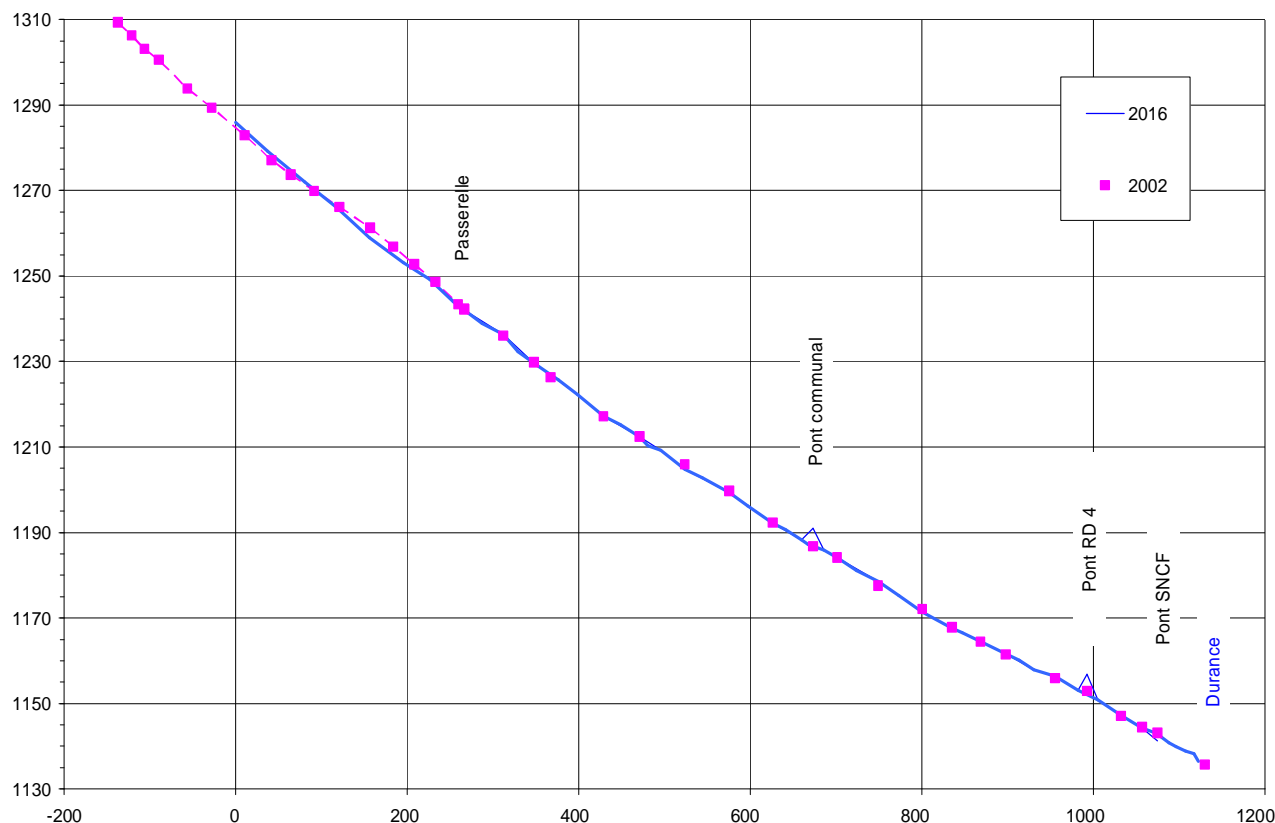


Figure 15 : Comparaison des profils en long sur le Gros Riou

Ce graphique montre que le lit n'a pas subi d'évolution significative en une douzaine d'année. Cette stabilité d'ensemble est conforme aux observations de terrains et à l'absence de crue sur cette période. En effet, le lit du Gros Riou est pavé par des blocs qui ne sont déplacés que durant les crues fortes : entre deux crues importantes, les évolutions du lit sont marginales.

Il apparaît des évolutions un peu plus importantes en amont de la passerelle. Elles doivent être relativisées :

- En l'absence de profils transversaux et de repère dans cette zone, le recalage des profils est difficile.
- Cette zone a été fortement terrassée après la crue de 1995. Des réajustements locaux sont possibles.
- Les évolutions reportées sur le graphique ne permettent pas de dégager une tendance d'évolution. Même si elles étaient confirmées, leur interprétation serait délicate. Il apparaît plutôt que le mouvement de quelques blocs pourrait générer une évolution locale des niveaux... qui sera remise en question dès la prochaine crue.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.3.3 Charriage torrentiel**2.3.3.1 FORMULE LEFORT 2015**

Le charriage est un élément important pour les crues du Gros Riou. C'est vraisemblablement le phénomène rencontré lors de la crue de 1999, qui ne peut être négligée, même si elle présente une ampleur inférieure à la crue de 1995.

Ainsi, il est nécessaire d'étudier les phénomènes (crue décennale et crue centennale) lié à un transport solide par charriage. La propagation et le dépôt de laves torrentielles seront étudiés par la suite.

La formule Lefort 2015 est le résultat de 15 années de recherche. Elle couvre un champ expérimental exceptionnel :

- La pente des écoulements peut varier de quelques centimètres (Mississippi) à 200 mètres par kilomètre (canal ETH à Zürich).
- Le débit peut varier de 1 l/s à 100 000 m³/s.
- Le diamètre des éléments peut varier de 50 µm à 1 m.

Cette formule est utilisée ici pour la quantification du transport solide car elle apporte généralement une précision supérieure à celle de 1990. Il convient cependant d'être prudent dans le cas du Gros Riou car les phénomènes y sont particulièrement complexes avec des écoulements partiels de laves torrentielles lors de certaines crues.

La mise en œuvre d'une nouvelle formule ne permet évidemment pas d'éluder les difficultés et les fortes incertitudes liées à la nature des phénomènes.

La formulation est particulièrement complexe notamment parce qu'elle permet une approche satisfaisante du charriage partiel. Elle est exposée page suivante.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

1. Calcul du débit de transition q_0

Le débit de transition q_0 n'est pas le débit de début de mouvement : il correspond à la transition entre charriage partiel et charriage généralisé.

Le débit q_0 s'applique à l'ensemble de la section, définie par la largeur active mouillée L

$$\frac{q_0}{\sqrt{g((s-1)d_m)^3}} = C_{(d_m^*)} \cdot \left(\frac{d_m}{L}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{-0.5} \cdot J^{-n}$$

Les variables adimensionnelles sont détaillées ci après :

$$C_{(d_m^*)} = 0.0444 \cdot \left[1 + \frac{15}{1 + d_m^*} - 1.5 e^{(-d_m^*/75)} \right]$$

$$n = 1.6 + 0.06 \log(J)$$

$$\text{Si : } q^* < 200 \quad k_s/k_r = 0.75 \left(\frac{q^*}{200}\right)^{0.23} \quad \text{sinon : } k_s/k_r = 0.75$$

2. La concentration C_p exprimée en mg/litre s'écrit :

$$C_p = 170 \cdot J^m \cdot \frac{\gamma_s}{(s-1)^{1.65}} \cdot G_r^{0.2} \cdot \text{cor} \cdot F\left(\frac{q}{q_0}, q^*\right)$$

Avec :

$$m = 1.8 + 0.08 \log(J)$$

$$Gr = \frac{1}{2} \left[\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right]$$

$$\text{Si : } d_m^* < 14 \text{ et si } \frac{k_s}{k_r} < 0.63 ; \text{cor} = 1 - 1.4 e^{-0.9 \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^2 \cdot \left(\frac{q}{q_0}\right)^{0.5}} \quad \text{sinon : cor} = 1$$

$$M = \frac{q^* + 2.5}{200}$$

$$\text{Si } q < q_0, F = 0.06 M \frac{q}{q_0} \quad \text{sinon } F = \left[6.1 \left[1 - 0.938 \left(\frac{q_0}{q}\right)^{0.284} \right]^{1.66} \right]^Z$$

$$Z = 1 + \frac{0.38}{d_m^{*0.45}} \cdot \left[\frac{q}{\sqrt{g} d_m^3} \right]^{0.192}$$

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.3.2 QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE

Le graphique suivant montre la relation entre le débit liquide et le débit solide au sommet du cône de déjection pour une pente de 16 %, comme il est possible de l'observer dans la zone de dépôt alluvionnaire en amont :

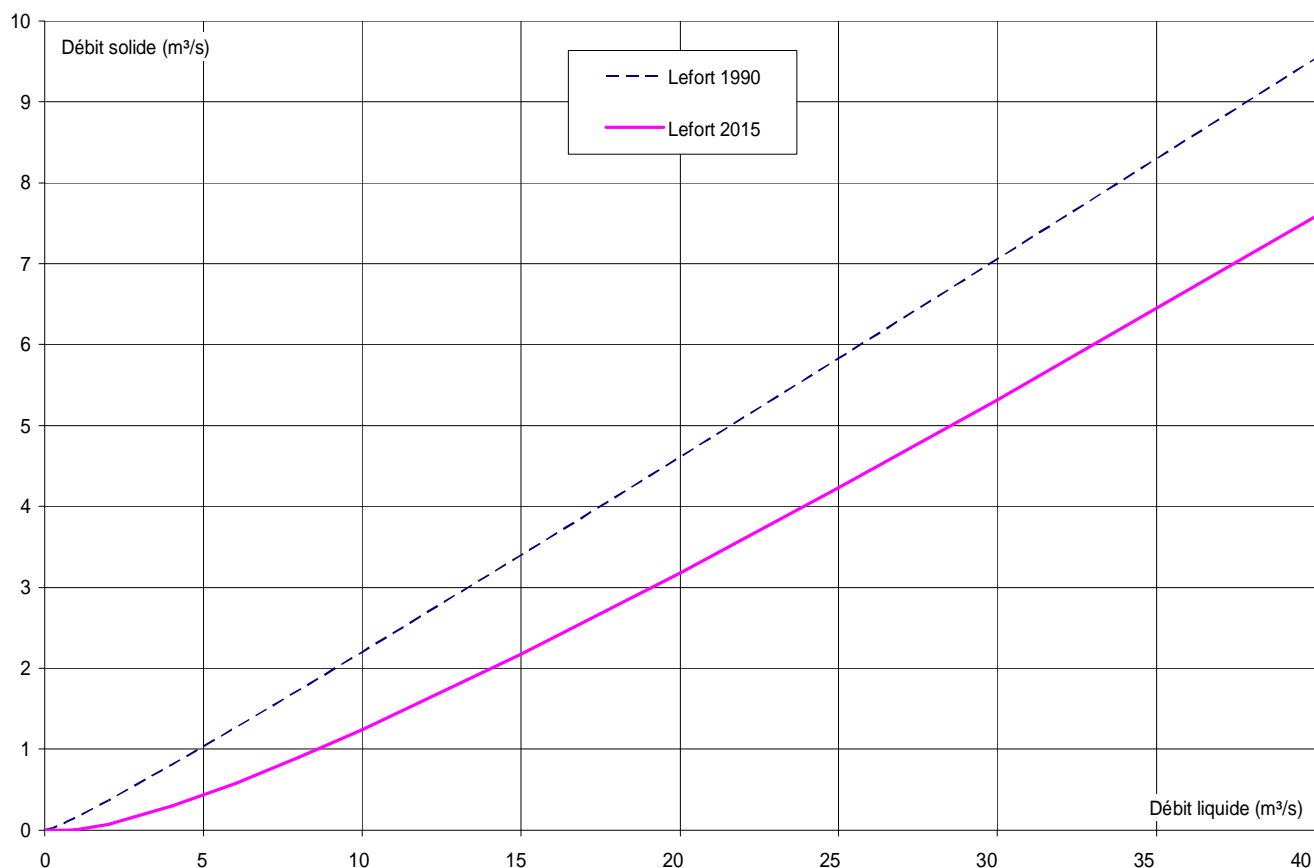


Figure 16 : Relation débit liquide / débit solide

Ce graphique indique le débit solide calculé avec la formule de Lefort 2015 et celle, plus classique, de 1990. Il apparaît que la prise en compte de mesures de terrain dans la formule de 2015 conduit - à juste titre - à une réduction sensible - mais pas décisive - du débit solide.

Le calcul correspondant à la formule de 2015 est réalisé avec une largeur arbitraire - mais réaliste en crue - de 15 mètres.

La différence entre les deux formules concerne essentiellement le seuil de début de transport - très faible ici étant donnée la forte pente. L'écart entre les deux formules se stabilise ensuite quand le débit liquide augmente, ce qui signifie qu'il diminue en valeur relative pour les débits liquides élevés.

Cette différence permet une réduction significative de l'estimation des volumes apportés en crue.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

La figure suivante montre le débit solide à proximité du seuil de début de mouvement pour les deux formules :

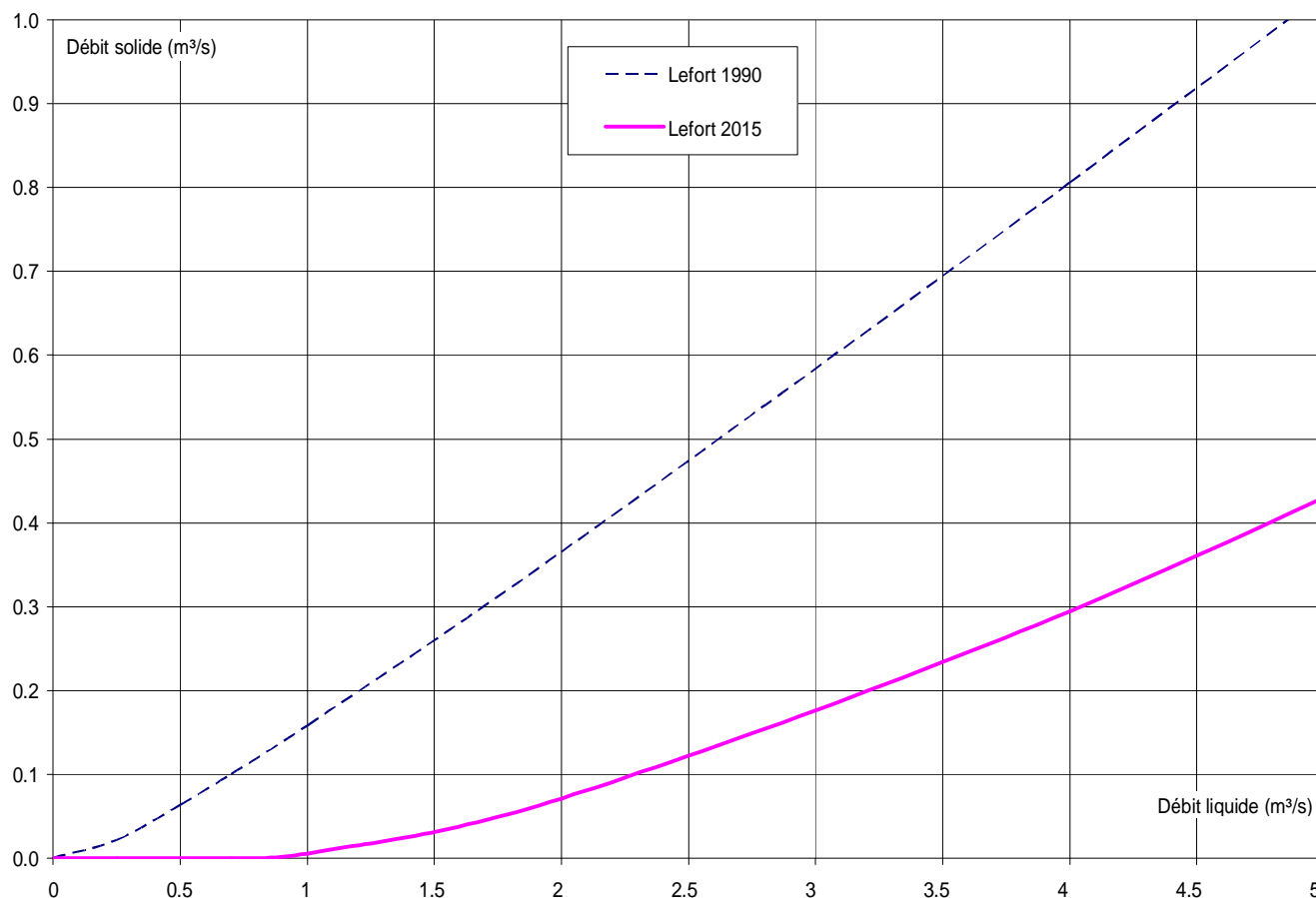


Figure 17 : Seuil de début de mouvement

La formule de 2015 a été calée sur de nombreuses mesures de terrain à proximité du seuil de début de transport. Cela correspond souvent à un lit presque figé avec un transport solide provenant de l'amont.

Cette différence entre seuil de début de transport (lié en grande partie à l'érosion dans le bassin versant) et le seuil de début de mouvement du lit est ici très marquée car les matériaux du lit sont particulièrement grossiers.

La formule de 1990 montre un débit solide déjà significatif pour un débit liquide de seulement 0.25 m³/s qui paraît nettement trop faible. La formule de 2015 présente un seuil plus élevé, proche de 1 m³/s qui est sans doute plus proche de la réalité... mais qui reste douteux. Le seuil de dépaillage du lit en période ordinaire est sans doute nettement plus élevé.

Rappelons que pour ces débits faibles, le transport solide est largement indéterminée et peut varier très fortement en fonction de la fourniture dans le bassin versant.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.3.3 EFFET DE LA LARGEUR DU LIT

La formule de 2015 permet de prendre en compte l'effet de la largeur, au contraire de celle de 1990. Ainsi, la figure suivante montre le débit solide en fonction de la largeur pour un débit liquide arbitraire - mais représentatif des crues - de $15 \text{ m}^3/\text{s}$:

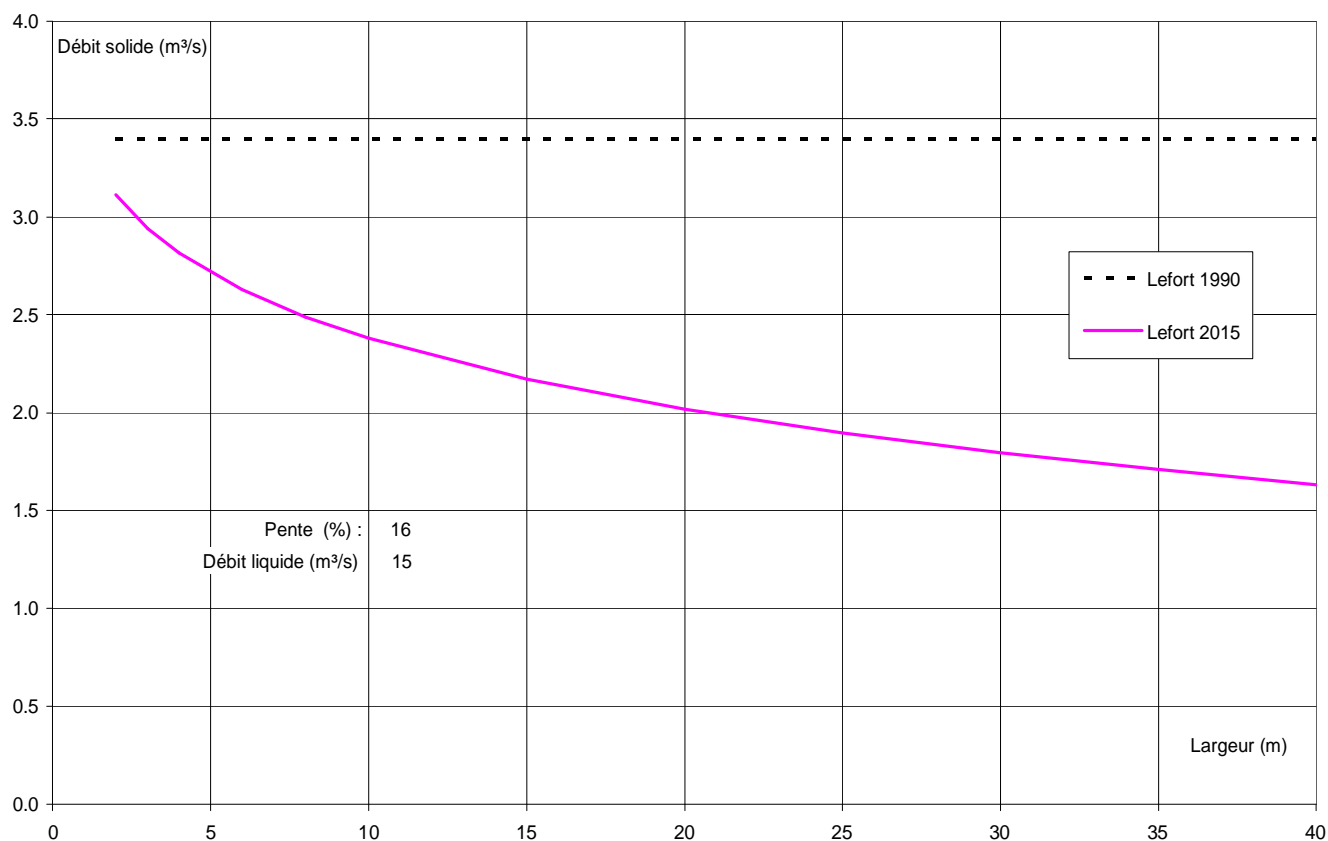


Figure 18 : Effet de la largeur pour une pente de 16 %

Ce graphique confirme que la formule de 2015 conduit à des débits solides plus faibles, mais aussi que l'écart est croissant lorsque la largeur augmente.

La figure page suivante permet de comparer la capacité de transport entre l'amont et l'aval du cône de déjection en fonction de la largeur, toujours pour un débit liquide de $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

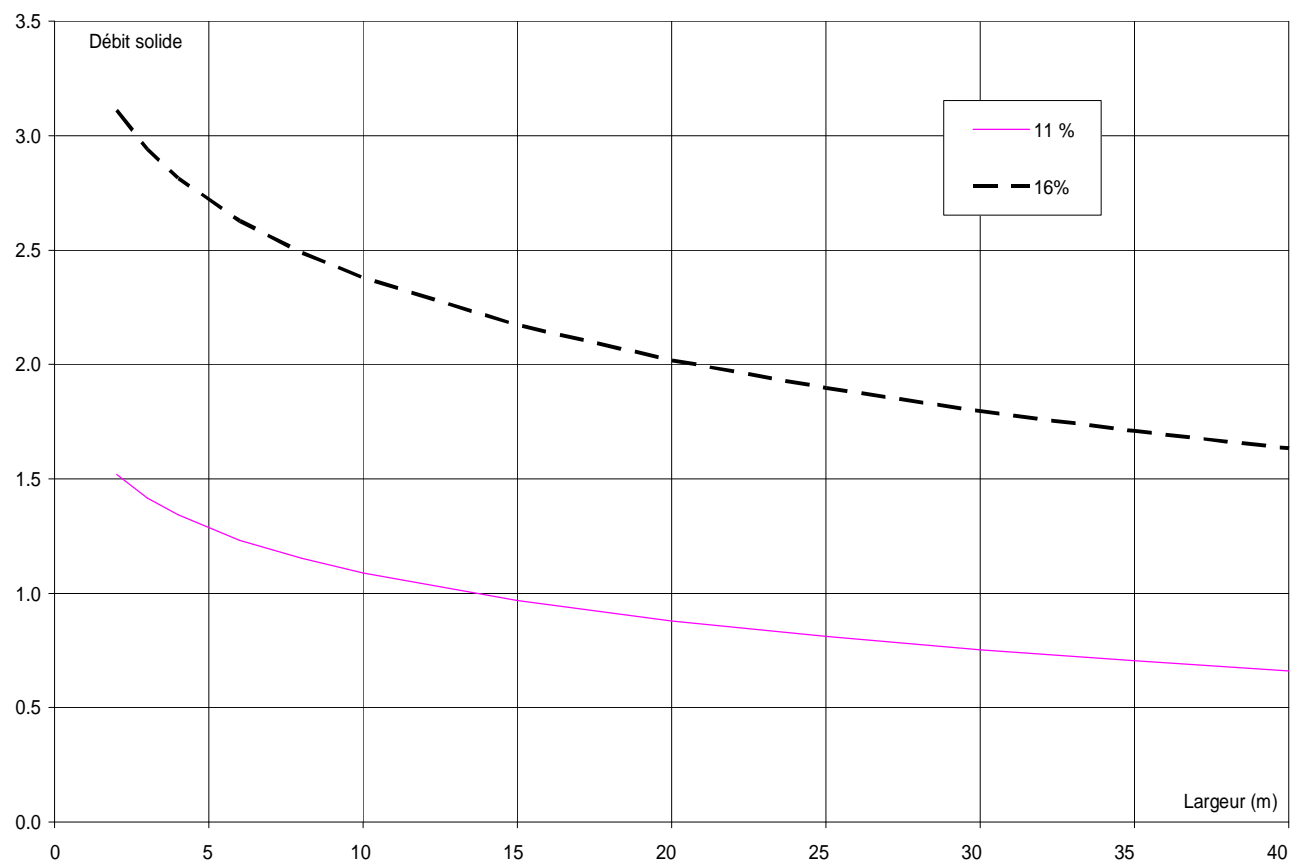


Figure 19 : Capacité de transport en fonction de la largeur et de la pente

Ce graphique montre qu'il n'est pas possible d'obtenir une continuité du transport solide entre l'amont et l'aval, la différence de pente étant trop importante. De plus, la transition en amont du pont communal cumule un élargissement et une réduction de pente !

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.3.4 VOLUME DE MATERIAUX TRANSPORTE EN CRUE

Il est possible de reprendre les hydrogrammes définis précédemment et de calculer, pour chaque débit liquide, le débit solide associé.

La figure montre les résultats pour la crue décennale et la crue centennale :

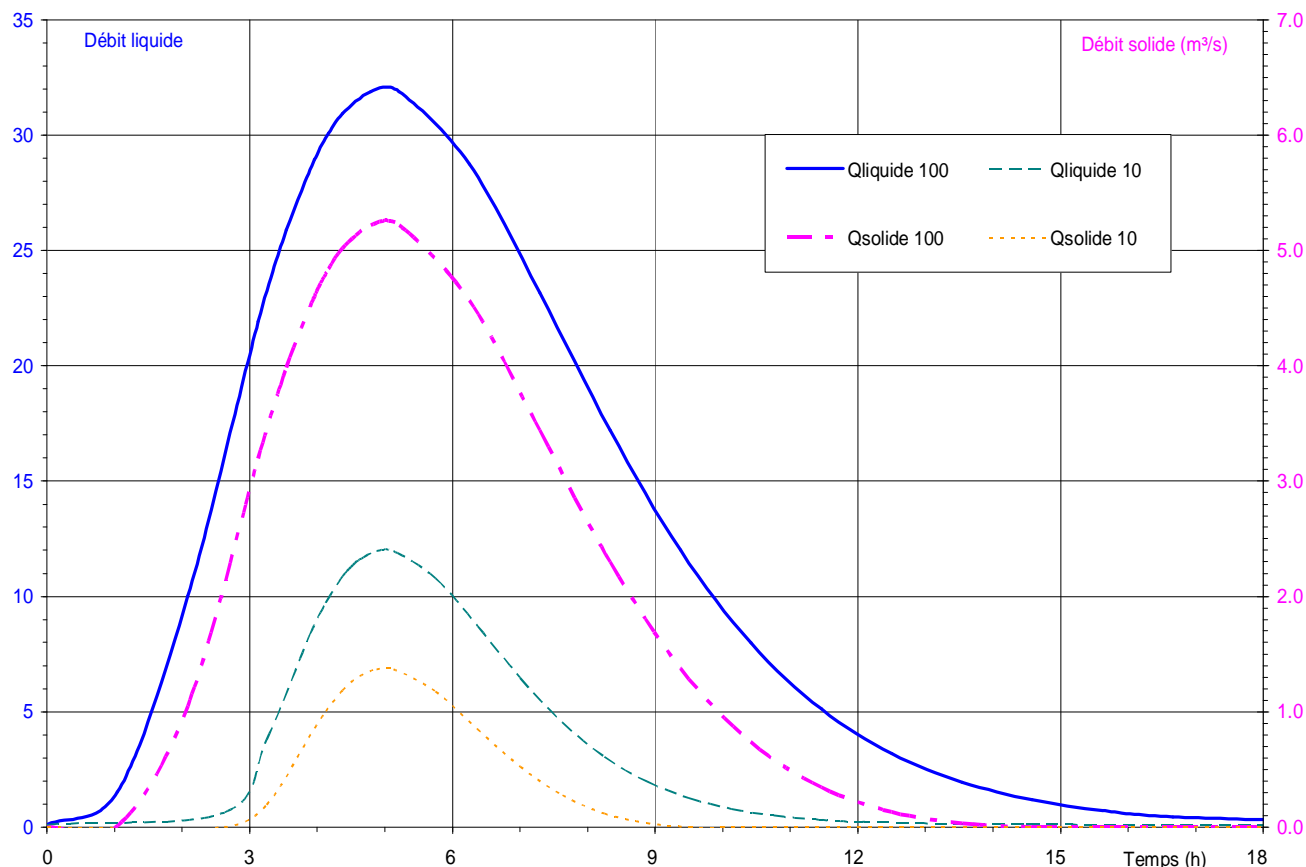


Figure 20 : Hydrogrammes solide et liquide pour des crues décennale et centennale

Les volumes solides transportés sont les suivants dans la partie haute du cône de déjection :

- **Volume décennal : 15 000 m³,**
- **Volume centennal : 100 000 m³.**

Avec les mêmes hypothèses hydrologiques, la formule de 1990 conduit aux volumes solides suivants :

- Volume décennal : 24 000 m³,
- Volume centennal : 174 000 m³.

Cette différence de volume illustre les débits solides plus élevés obtenus avec la formule de 1990.

Pour mémoire, l'étude de 2002 conduisait aux résultats suivants :

- Volume décennal : 20 000 m³,
- Volume centennal : 80 000 m³.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

L'écart avec les nouvelles estimations est finalement assez faible, ce qui résulte de deux évolutions contradictoires :

- La nouvelle formule réduit nettement le débit solide. Cela explique notamment que le volume solide transporté par une crue décennale (dont l'hydrogramme est peu modifié) soit sensiblement réduit.
- L'hydrogramme de la crue centennale a été fortement majoré tant en débit de pointe qu'en durée. Cette évolution est destinée à prendre en compte des épisodes de pluies longues qui représente des volumes écoulés très importants... et des apports massifs. Ainsi, avec la même formule de transport solide, le volume transporté passerait de 80 à 174 000 m³ ! la prise en compte de la nouvelle formule de transport solide réduit fortement cet effet.

Ces différents calculs montrent que dans un cas aussi complexe, la détermination des apports solides est difficile et qu'il est bien illusoire de vouloir cerner les apports solides avec une précision inférieure à quelques dizaines de pourcents.

La figure suivante indique l'hydrogramme pour une crue cinquantennale en considérant le même hydrogramme que pour une crue centennale mais avec des débits réduits dans la même proportion que le débit de pointe qui passe de 32 à 23 m³/s.

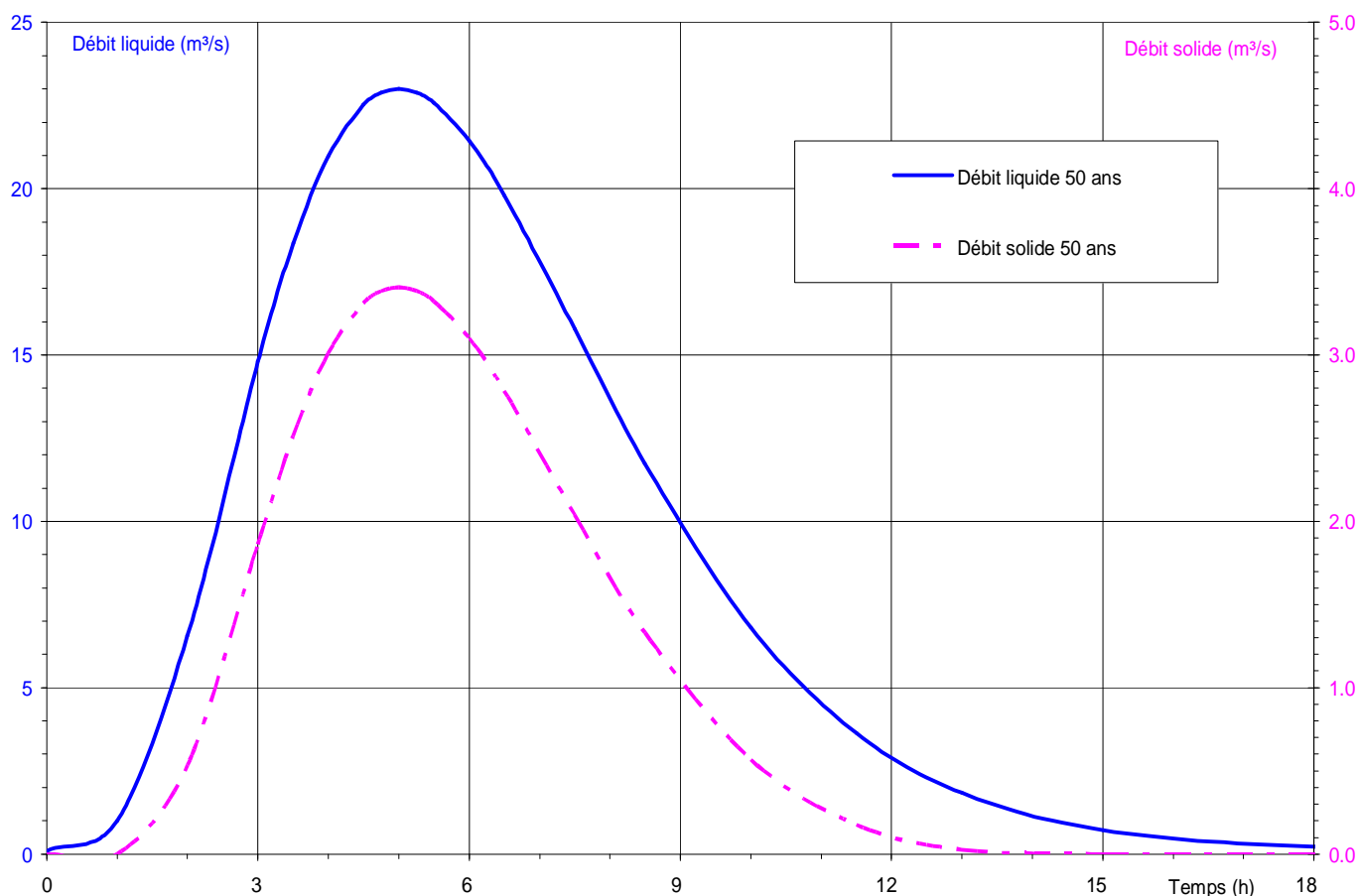


Figure 21 : Hydrogramme de crue cinquantennale

Avec cette crue réduite, le volume transporté passe de 100 000 m³ pour une crue centennale à 66 000 m³ pour une crue cinquantennale.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Le même calcul peut être réalisé avec une pente de 11 % (et une largeur de 20 mètres), comme dans la partie aval du cône de déjection. Le graphique correspondant est reporté à la page suivante. Ce graphique est présenté avec la même échelle pour le débit solide, ce qui permet une comparaison avec le transport solide au sommet du cône de déjection.

Ce calcul est aussi réalisé en réduisant le diamètre moyen de 10 à 8 centimètres pour tenir compte de la forte tendance au dépôt lors des crues.

Il apparaît que les capacités de transport sont les suivantes dans la partie basse du cône de déjection :

- **Volume décennal : 8 000 m³,**
- **Volume centennal : 54 000 m³.**

C'est donc près de la moitié des apports amont - très volumineux - qui doit se déposer sur le cône de déjection, soit un dépôt de l'ordre 46 000 m³.

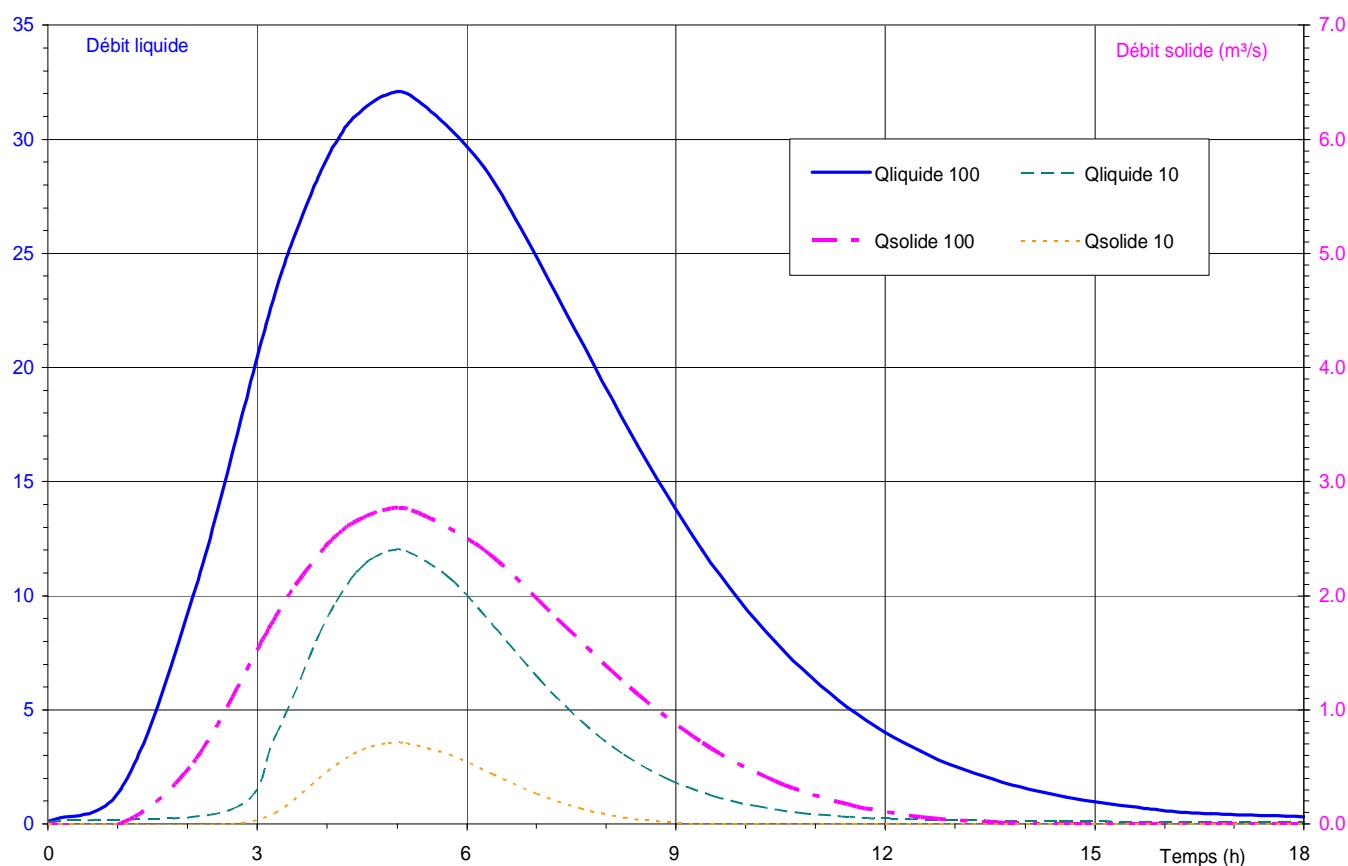


Figure 22 : Hydrogrammes solide et liquide dans la partie basse du cône de déjection

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.3.4 Les laves torrentielles**2.3.4.1 PARTICULARITES DES LAVES TORRENTIELLES**

Les laves torrentielles se forment dans les lits à forte pente, lorsque l'alimentation en matériaux permet un mélange homogène d'eau et de matériaux. Sur le Gros Riou, la partie fine des matériaux permet la formation de laves de type boueux grâce à une matrice argileuse suffisamment importante.

La photographie suivante, prise en aval du pont de la R.D. 4 est caractéristique d'un dépôt de lave torrentielle :



Photo 35 : Dépôt en aval du pont de la RD 4 en 1995 (photo RTM)

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.4.2 HYDROLOGIE DES LAVES TORRENTIELLES

L'une des caractéristiques des laves torrentielles réside dans leur fonctionnement par bouffée intrinsèquement lié à la rhéologie de ces écoulements. À titre indicatif, la figure suivante montre un "hydrogramme" de crue traduisant ce fonctionnement :

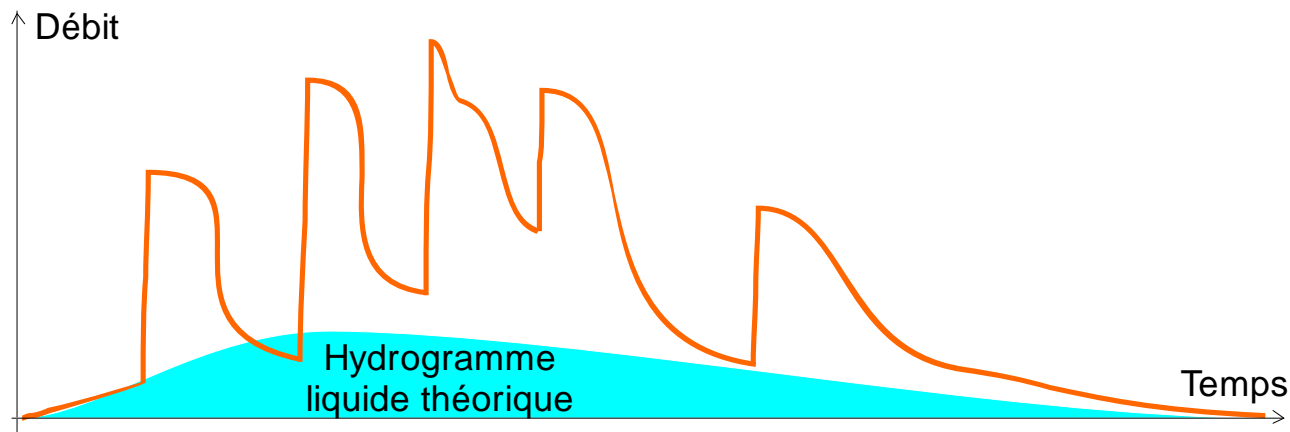


Figure 23 : « Hydrogramme » de crue d'une lave torrentielle

Le débit de pointe paraît alors un phénomène secondaire et très variable car notamment lié au bourrelet frontal. Sa détermination ne paraît donc pas nécessaire. Par contre, la détermination du volume apporté durant la crue est beaucoup plus importante.

En fait, il est probable que les phénomènes dans le Gros Riou soient particulièrement complexes :

- Le phénomène le plus représenté durant la crue est très vraisemblablement le charriage. Il est probable qu'il débute très rapidement et dure jusqu'à la fin de crue. Les volumes peuvent alors être très importants.
- Durant la crue, la formation de laves torrentielles se produit par exemple en cas de rupture d'embâcle ou d'apport brutal de matériaux. Cette lave ne dure alors que quelques minutes mais les débits et les sections d'écoulement sont considérables. Il est alors possible que le fonctionnement classique des laves torrentielles ne soit pas totalement établi.

Ainsi, il convient d'être particulièrement prudent face à un tel torrent, un fonctionnement hybride étant particulièrement difficile à analyser.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.4.3 ESTIMATION DES VOLUMES DE LAVE TORRENTIELLE

2.3.4.3.1 Méthode basée sur les précipitations

Pour les laves torrentielles, le paramètre prépondérant est le volume de lave, la hauteur d'écoulement étant peu dépendante du débit mais beaucoup des paramètres rhéologiques. Ce dernier point est détaillé plus loin.

Il n'est possible de faire une estimation des volumes de crues mobilisés par les laves que dans le cas où le volume de lave transporté durant une crue est en relation avec le volume d'eau mobilisé, c'est à dire que le phénomène prépondérant est la reprise des matériaux dans - ou à proximité - du lit et non la mise en mouvement de terrains instables.

Il est possible de déterminer un ordre de grandeur des volumes de matériaux en considérant un rapport constant entre volume d'eau et volume de lave.

Avec une telle méthode, on considère que les laves correspondent à des précipitations orageuses de courte durée (une heure). Le calcul est réalisé ci-dessous pour la pluie centennale.

Précipitations (mm)	34
---------------------	----

On calcule ensuite le volume d'eau ruisselé en appliquant un coefficient de ruissellement et en considérant l'ensemble du bassin versant (13.2 km²)

Coefficient de ruissellement	0.3
Volume d'eau ruisselé (m ³)	134 000

En fait, durant un tel épisode, seule une fraction de l'écoulement liquide contribue à la formation de la lave, le reste s'écoulant entre les coulées, ou rejoignant une lave déjà totalement formée. On considère classiquement dans un premier temps que la moitié du volume précédent contribue à la formation de la lave.

Volume d'eau formant les laves (m ³)	67 000
--	--------

Suivant la concentration en matériaux, le volume de lave est 2 à 4 fois plus important que le volume¹ d'eau.

Volume de lave probable (milliers de m ³)	130 < V < 270
---	---------------

¹ Ce rapport est souvent rencontré pour les laves boueuses. Mais le volume de lave peut être nettement supérieur dans les cas défavorables.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.3.4.3.2 Formules sommaires

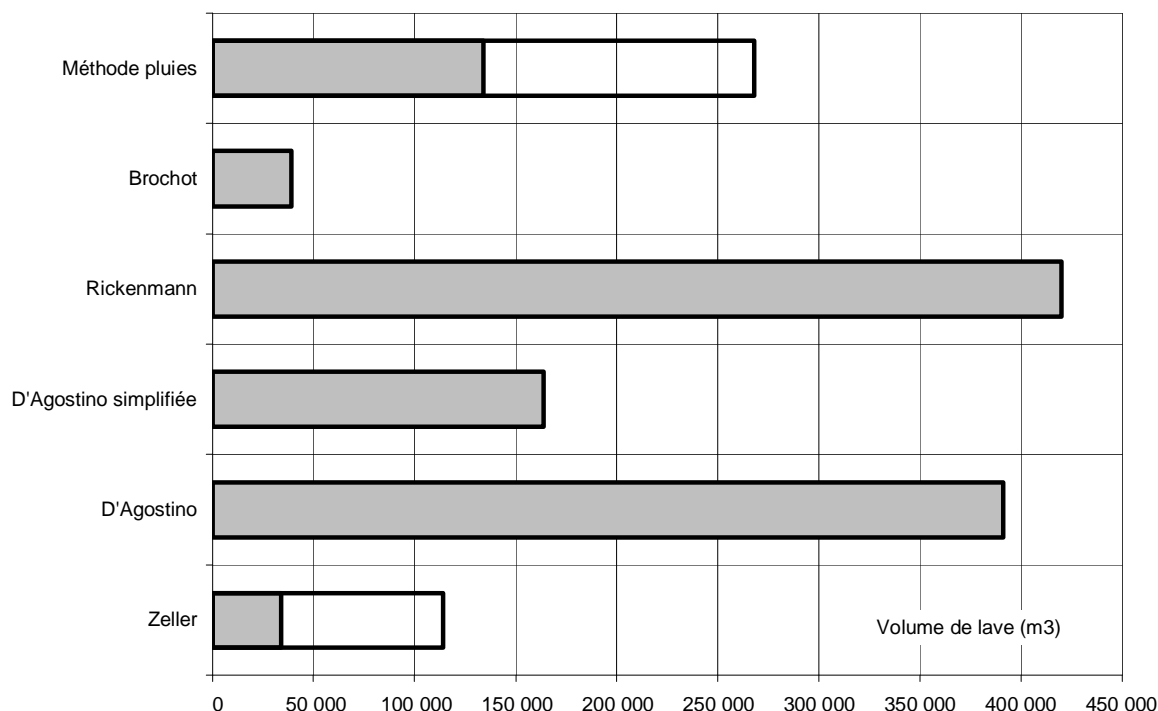
Ces méthodes permettent, à partir de paramètres descriptifs du bassin versant (superficie, pente, longueur du talweg...) de calculer un ordre de grandeur des apports potentiels par le bassin versant en cas d'épisode rare (période de retour d'au moins 100 ans en général).

Le tableau suivant regroupe les paramètres retenus ainsi que les résultats obtenus en reprenant l'estimation précédente :

Calcul du volume de lave torrentielle

Surface BV	13.2 km ²
Surface non végétalisée	20 %
Pente cône	16 %
Pente moyenne	40 %
Longueur torrent	6 km
Indice géologique D'Agostino	3
Indice torrencialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	4

Formule	Volume de lave (m3)
Zeller	34 000 à 114 000
D'Agostino	391 000
D'Agostino simplifiée	164 000
Rickenmann	420 000
Brochot	39 000



Les apports par laves torrentielles seraient alors de quelques centaines de milliers de m³ !

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.3.4.3.3 Scénario retenu

L'approche classique pour un torrent à lave conduit à des volumes considérables de laves torrentielles, bien supérieurs à ce qui semble d'être écoulé lors des crues précédentes.

Un tel scénario ne peut être exclu, mais il apparaît que sa période de retour est vraisemblablement nettement supérieur au siècle, aucune élément, ni dans le bassin versant ni sur le cône de déjection, ni dans l'historique des crues, ne suggère des écoulements aussi massifs de laves torrentielles.

Ainsi, après discussion avec la commune et les administrations, il apparaît que le scénario de laves torrentielles massives ne peut être retenu. Cependant, un écoulement partiel d'une lave torrentielle doit être envisagé et conditionne une partie du dimensionnement des ouvrages.

La démarche retenue après discussion est la suivante :

- Les seuls apports solides en charriage sont retenus par la suite. Les volumes estimés paraissent en effet représenter une valeur élevée pour un épisode de charriage centennal.
- Les ouvrages sont dimensionnés afin de prendre en compte un écoulement de lave torrentielle en fin de crue sur un lit engravé, ce qui semble correspondre au scénario de 1995. Ainsi une hauteur de 2 mètres sera retenue pour le dimensionnement des ouvrages par rapport au niveau maximum de l'engravement.
- Les caractéristiques des aménagements doit être compatibles avec l'écoulement d'une lave torrentielle en évitant notamment tout choc frontal et en privilégiant les ouvrages massifs.
- Une évacuation du cône de déjection doit être envisagé en cas d'écoulement de lave torrentielle, quel qu'en soit son ampleur.

Il convient de garder à l'esprit que cette démarche correspond à l'état actuel du bassin versant. Une dégradation le long du torrent, en particulier la mise en mouvement de volumes très importants en rive gauche pourrait conduire à des apports nettement supérieurs.

Ainsi, une visite du bassin versant après chaque forte crue est vivement conseillée afin de mettre en évidence une éventuelle dégradation.

2.4 CONDITIONS D'ECOULEMENT DANS L'ETAT ACTUEL

2.4.1 Écoulement des laves torrentielles

2.4.1.1 METHODE RETENUE

La modélisation d'écoulement de laves torrentielles est très complexe ici car - si un tel type d'écoulement ne fait guère de doute - aucune éléments ne permet de préciser les caractéristiques rhéologiques de la lave.

Ainsi, on reprend ici l'analyse réalisée en 2002 d'un écoulement de lave important dans un lit sans engravement significatif, ce qui correspondrait - par exemple - à une lave en début de crue. Cette approche ne permet que de dégager des tendances sur le comportement d'un tel écoulement.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Les modélisations des écoulements de lave torrentielle sont basées sur l'analyse de la loi de comportement des matériaux. Ainsi, COUSSOT a montré que la loi de comportement des mélanges boueux pouvait être représentée par un modèle de HERSCHEL & BULKLEY :

$$\tau = \tau_c + K \frac{\partial v}{\partial y}^{1/3} \quad \text{pour } \frac{\partial v}{\partial y} \neq 0$$

Avec

- τ Contrainte de cisaillement
- τ_c Seuil de contrainte dépendant du matériau
- K Coefficient caractéristique du matériau
- v Vitesse de lave à la cote y
- y Distance depuis le fond

Il s'agit d'un comportement totalement différent des fluides newtoniens (comme l'eau par exemple) pour lesquels la contrainte de cisaillement est directement proportionnelle au gradient de vitesse. Ici, le seuil de contrainte correspond à la contrainte nécessaire pour que le mouvement débute : on peut donc avoir une épaisseur importante de lave sur une pente significative, sans qu'il y ait de mouvement des matériaux.

Ce type d'équation n'est valable que pour un mélange boueux avec une faible proportion de matériaux grossiers. On peut donc l'employer pour le corps de la lave. Par contre, elle est sans signification pour le bourrelet frontal, composé de matériaux beaucoup plus granulaires et où la matrice d'éléments fins a un rôle nettement plus réduit.

Dans le cas du Gros Riou, le caractère hybride du torrent avec un charriage important impose d'être particulièrement prudent et ce type de calcul ne peut fournir que des ordres de grandeur et les sens de variations des paramètres.

D'autre part, les laves torrentielles s'écoulant généralement par bouffées, la hauteur du front est nettement supérieure à celle du reste de la coulée. Pour tenir compte de ce type de phénomène, on réalise les calculs avec des débits et des seuils de contrainte nettement supérieurs à ceux des écoulements moyens (hors vagues et bourrelet frontal).

A partir de cette loi de comportement, BOSSAN a établi les équations permettant le calcul des conditions d'écoulement en canal rectangulaire ou trapézoïdal en exprimant la contrainte de cisaillement à la paroi τ_p . On peut donc calculer la hauteur normale de lave, ce qui correspond à un écoulement permanent uniforme : ce type de calcul n'est pas valable au niveau des singularités.

Pour réaliser ce calcul, il faut connaître les autres paramètres (géométrie du chenal d'écoulement, vitesse et densité de la bouffée, mais aussi caractéristiques rhéologiques).

Les paramètres rhéologiques ont été déterminés en considérant un coefficient K/τ_c égal à 0.3, ce qui est classique dans les Alpes.

Il n'est pas possible, sur le Gros Riou, d'estimer les caractéristiques rhéologiques à partir de mesures de terrain. Une solution séduisante consisterait à faire des essais en laboratoire à partir des matériaux du site. Cette solution ne peut être retenue car les résultats sont beaucoup trop sensibles à la teneur en eau, qui n'est pas connue ici.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Les paramètres rhéologiques sont déterminés en considérant un écoulement de 2, 3 ou 4 mètres de hauteur au sommet du cône de déjection, avec une pente de 16 %, comme en amont du cône de déjection. Cette détermination est réalisée en considérant arbitrairement un débit compris entre 100 et 200 m³/s. On retient alors une largeur du lit de 6 mètres qui correspond bien à la topographie générale du lit.

Ces calculs conduisent aux valeurs suivantes :

τ_c (Pa)	K
1700	510
2300	690
2600	780

2.4.1.2 EFFET DE LA PENTE

A partir des éléments précédents, il est possible de calculer les hauteurs de laves en fonction de la pente (en considérant une largeur d'écoulement de 5 mètres). On a considéré les trois contraintes critiques de cisaillement limites précédentes et un débit de 50, 100 et 200 m³/s.

Il est nécessaire de rappeler que ce type de calcul ne peut fournir qu'un ordre de grandeur et doit être interprété avec prudence.

La figure suivante illustre le résultat de ce calcul :

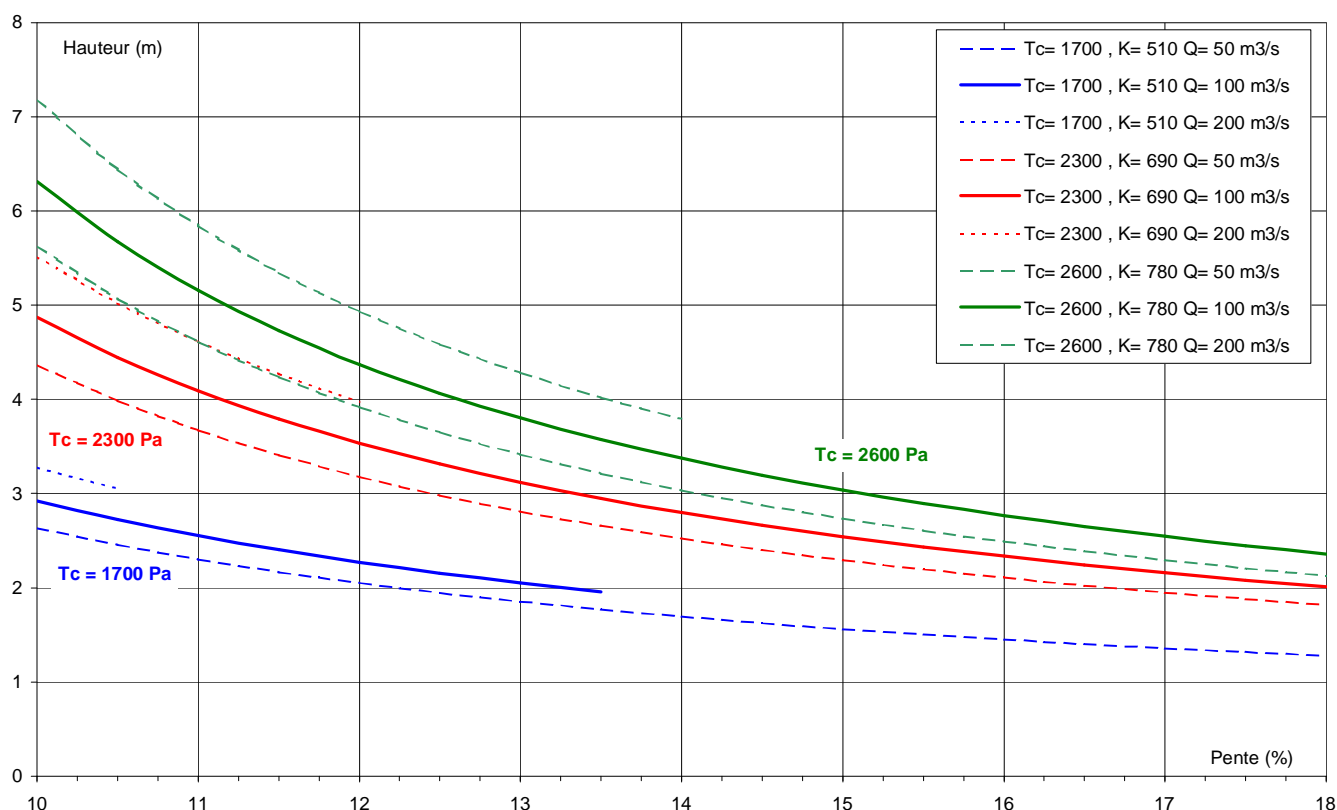


Figure 24 : Evolution de la hauteur de lave en fonction de la pente

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Ce calcul conduit aux résultats suivants :

- Le débit de lave est un paramètre secondaire, les courbes étant assez proches pour les débits très différents (variant du simple au quadruple). Ce sont les paramètres rhéologiques qui distinguent, pour l'essentiel, les différentes courbes.
- Quel que soit le paramètre rhéologique, la hauteur de lave est nettement plus forte dans la partie basse du cône de déjection au niveau des franchissements routiers ou ferroviaires.
- Les points correspondants à des vitesses supérieures à 10 m/s n'ont pas été représentés car ils correspondent à des écoulements très improbables sur le Gros Riou.

2.4.1.3 CALCUL DES CONDITIONS D'ECOULEMENT

En suivant la même analyse que précédemment, mais en l'appliquant aux sections levées sur le cône de déjection, il est possible de calculer les niveaux atteints par la lave dans les différentes sections en prenant en compte les trois hypothèses sur les caractéristiques rhéologiques.

Le graphique ci-dessous indique les niveaux de lave, du fond et des berges pour un débit de 100 m³/s :

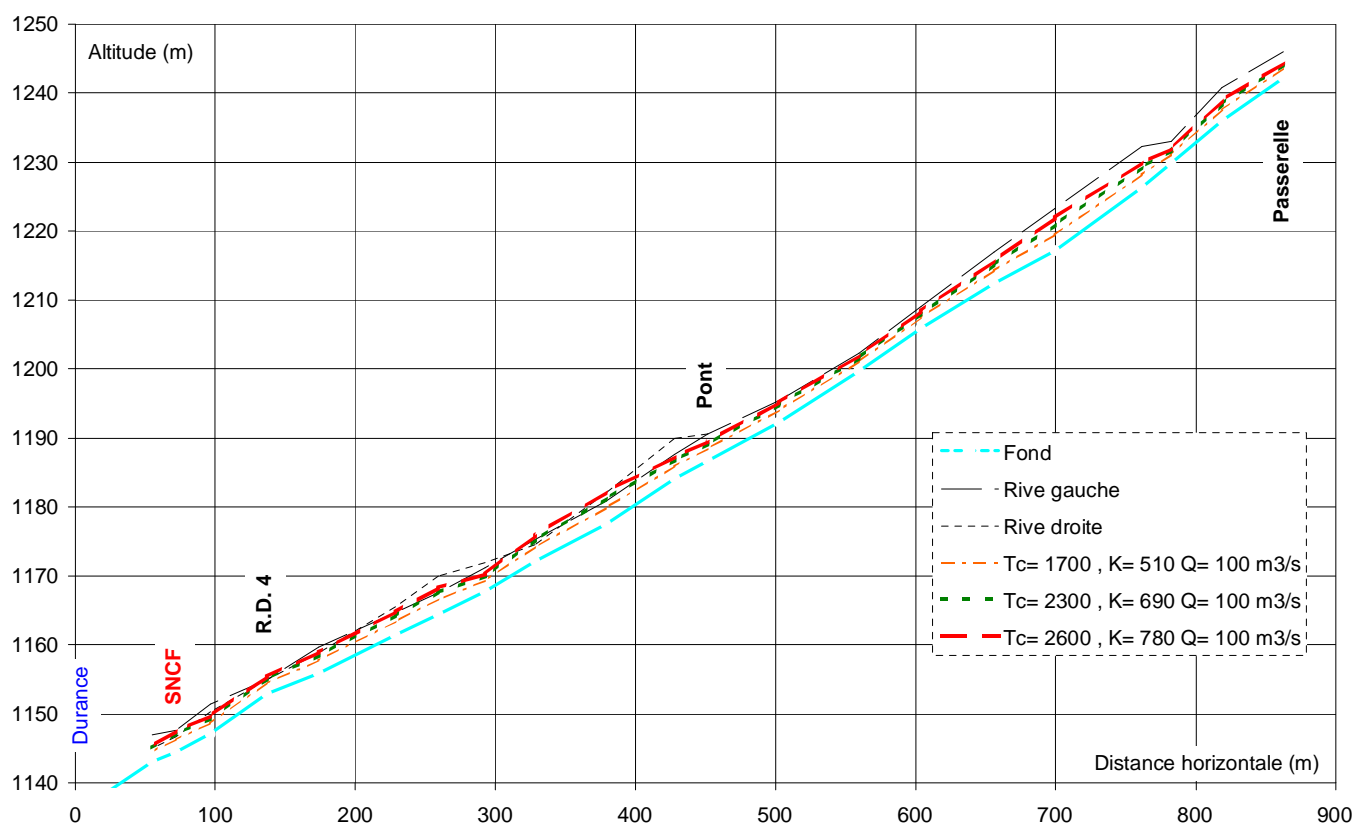


Figure 25 : Niveaux atteints par la lave

Ce graphique conduit aux résultats suivants :

- Dans la partie amont, les risques de débordement semblent faibles. Ils correspondent à un bourrelet frontal exceptionnel ou à l'arrêt d'un très gros bloc. Ils ne peuvent cependant pas être exclus pour les laves les plus visqueuses. C'est notamment le cas pour le point faible correspondant à l'ancien chemin au sommet du cône de déjection.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

- Les trois profils en amont du pont communal présentent des risques particulièrement élevés avec un débordement sur les deux rives.
- Le pont communal présente une revanche comprise entre 1 et 2.2 mètres suivant les caractéristiques de la lave torrentielle, toujours en l'absence de dépôt dans le lit. C'est a priori suffisant, mais le transport d'un arbre ou d'un très gros bloc peut arracher le tablier de cet ouvrage.
- Sur l'ensemble du cours aval, la revanche est très faible pour la lave la plus fluide (généralement inférieure au mètre) et le débordement se produit avec une hauteur de l'ordre du mètre pour la lave la plus visqueuse. Les profils 13 et 15 (de part et d'autre de l'ancien moulin) ainsi que les deux ponts constituent les points les plus critiques.

Il convient d'être très prudent par rapport à ce type de calcul et au risque - important - de bourrelet frontal augmentant considérablement les sections. D'autre part, ce calcul correspond à une hauteur "normale", c'est à dire sans tenir compte des sections situées en amont ou en aval. Les phénomènes de ralentissement ou d'accélération sont donc négligés.

Les calculs ont été réalisés avec la topographie actuelle, ce qui est plutôt favorable car les variations du niveau du fond par érosion ou par dépôts de matériaux ne sont pas prises en compte. Ainsi, les dépôts au confluent avec la Durance n'ont pas été considérés. Leur influence, pour les laves torrentielles, serait vraisemblablement cantonnée en aval du pont de la R.D. 4.

De plus, le risque d'engravement préliminaire par des phénomènes de charriage n'a pas été intégré bien qu'il s'agisse de variations très importantes de niveau (voir ci-dessous).

Enfin, les érosions éventuelles des berges ne sont pas prises en compte, alors que, dans le cas du Gros Riou, le transport solide par charriage peut causer des érosions d'autant plus importantes que la plupart des "digues" sont constituées en tout venant.

Il apparaît que les risques de débordement sont importants dans le cours aval du Gros Riou, en particulier en aval du pont communal. Cette dégradation est d'abord liée à la réduction de pente qui augmente nettement les hauteurs d'écoulement.

Il est difficile de prévoir l'étalement de la lave en aval du pont communal et de savoir si les habitations en retrait seront touchées. Par contre, l'habitation en amont de la R.D. 4 et surtout l'ancien moulin seraient atteints.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.4.2 Crue avec charriage**2.4.2.1 HYPOTHESES DE MODELISATION**

Les phénomènes de charriage présentent des différences essentielles avec les laves torrentielles :

Les hauteurs d'écoulement sont beaucoup plus réduites et dépassent difficilement 1.5 mètres dans un chenal régulier de plus de 5 mètres de largeur. C'est l'ordre de grandeur de la hauteur de la lave la plus fluide.

Les dépôts – et éventuellement les érosions – peuvent être très importants dans le lit et peuvent dépasser nettement les hauteurs d'eau.

Il est nécessaire de modéliser l'évolution du fond durant une crue avec charriage. Ce travail a été conduit avec le logiciel SELTEC qui permet le calcul des évolutions du fond à chaque pas de temps durant la crue.

Ce calcul permet de prendre en compte les éléments suivants :

- Géométrie du lit,
- Évolution de la granulométrie le long du torrent,
- Modification de la géométrie du lit en fonction des dépôts,
- Calcul des conditions d'écoulement à chaque pas de temps en tenant compte de la spécificité des écoulements torrentiels. Ce calcul n'a pas été réalisé dans la Durance.
- Apport – ou non – de la Durance en amont du confluent.

Pour les apports de la Durance, trois configurations sont retenus :

- Sans apport amont de la Durance. La simulation retient un apport de 3 m³/s sans transport solide. Ce cas reste envisageable car d'une part le bassin versant de la Durance est nettement plus grand que celui du Gros Riou et n'a pas la même orientation. La rivière peut donc rester à l'étiage même durant une crue centennale du Gros Riou. Surtout, ce tronçon est court-circuité par l'aménagement hydroélectrique et les débits ordinaires sont donc déviés.
- Avec un débit liquide constant de 30 m³/s dans la Durance dès le début de la crue. Cette configuration est plus favorable - et surtout plus probable - car les apports de la Durance permettent de réduire les dépôts au confluent, la rivière emportant les matériaux plus en aval. Dans ce cas, l'hypothèse retenue est l'absence d'apport solide par la rivière.
- Avec un débit liquide de 230 m³/s soit le débit de pointe de période de retour 30 ans. Ce débit liquide est associé à un débit solide de 0.25 m³/s.

Pour tenir compte du dépôt massif, un tri granulométrique est introduit sur l'ensemble du linéaire avec un diamètre divisé par 2 entre l'amont et l'aval du cône de déjection.

2.4.2.2 CONFIGURATION DE BASE

Cette simulation est réalisée avec les hypothèses suivantes :

- Crue centennale longue du Gros Riou soit un apport solide de 100 000 m³.
- Débit constant de 30 m³/s dans la Durance.
- Topographie actuelle.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

La figure suivante indique les éléments suivants :

- Niveau du fond au début de la crue (temps = 0)
- Niveau du fond à différents instants de la crue (le débit maximum intervient 5 heures après le début de la crue),

Le graphique suivant montre les profils en long de l'ensemble de la zone modélisée :

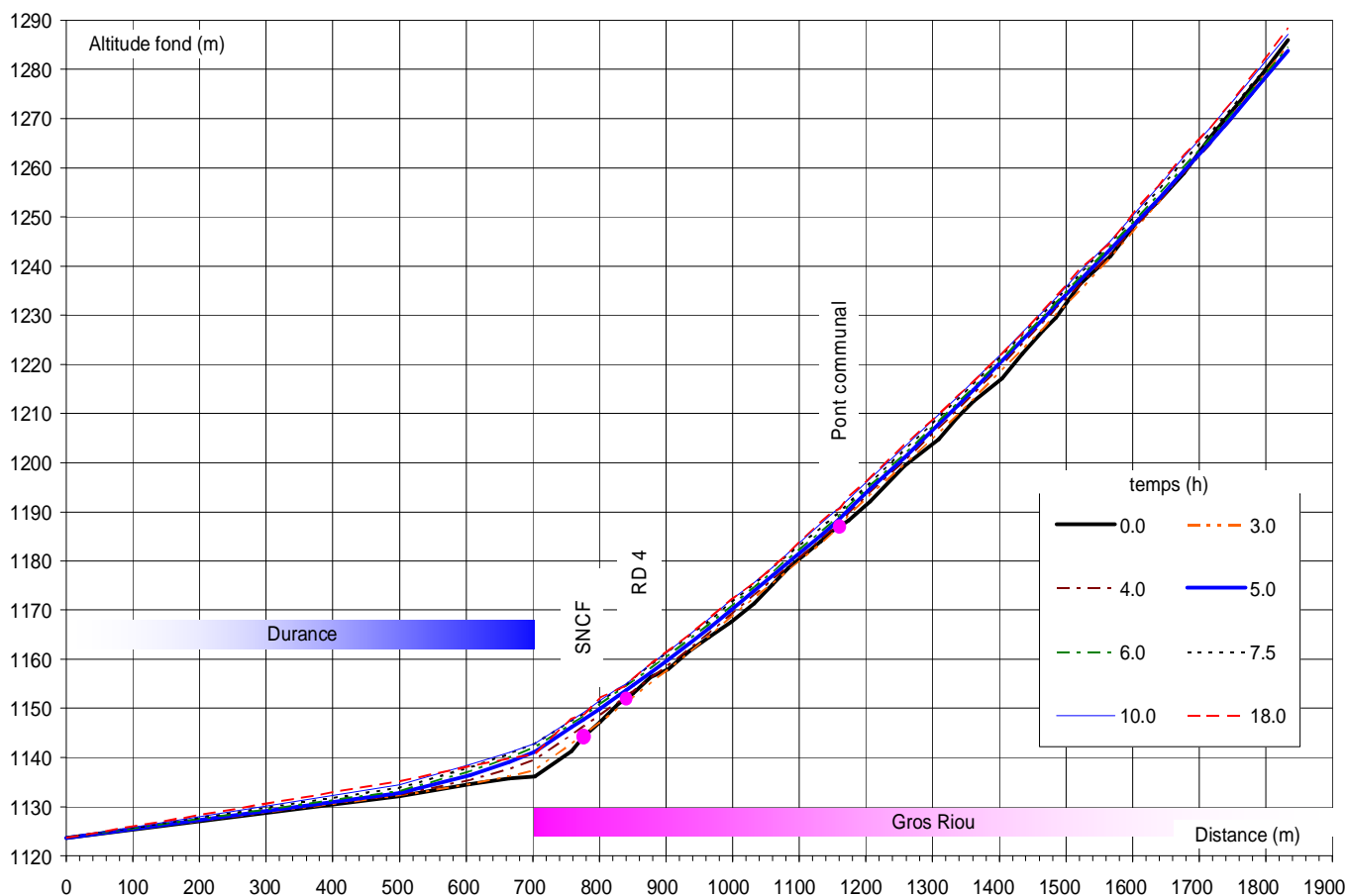


Figure 26 : Evolution des profils en long dans la configuration de base

Ce graphique conduit aux remarques suivantes :

- L'engravement est très important sur l'ensemble du linéaire. Il dépasse localement 5 mètres. Ce résultat est notamment lié au lit, particulièrement étroit sur l'ensemble du cône de déjection alors que les apports sont très importants. Cependant, sur une forte fraction du linéaire, les dépôts remplissent le lit mineur et s'étalent dans le lit majeur y permettant le dépôt de volumes importants. Cet étalement réduit considérablement la vitesse d'engravement et permet une relative stabilisation des niveaux, conduisant à un résultat très robuste.
- Dans la partie amont, l'engravement est plus modéré et correspond à un dépôt régressif imposé depuis l'aval. Ce résultat montre que les apports amont - bien que considérables - ne sont pas excessifs par rapport à la capacité de transport du torrent.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- Dans la Durance, les dépôts sont très élevés à la confluence mais s'atténuent rapidement vers l'aval. Ce résultat montre que le linéaire aval de la zone modélisée est largement suffisant pour reproduit correctement les phénomènes de crue.

La figure suivante compare les résultats obtenus ici à ceux de l'étude de 2002 :

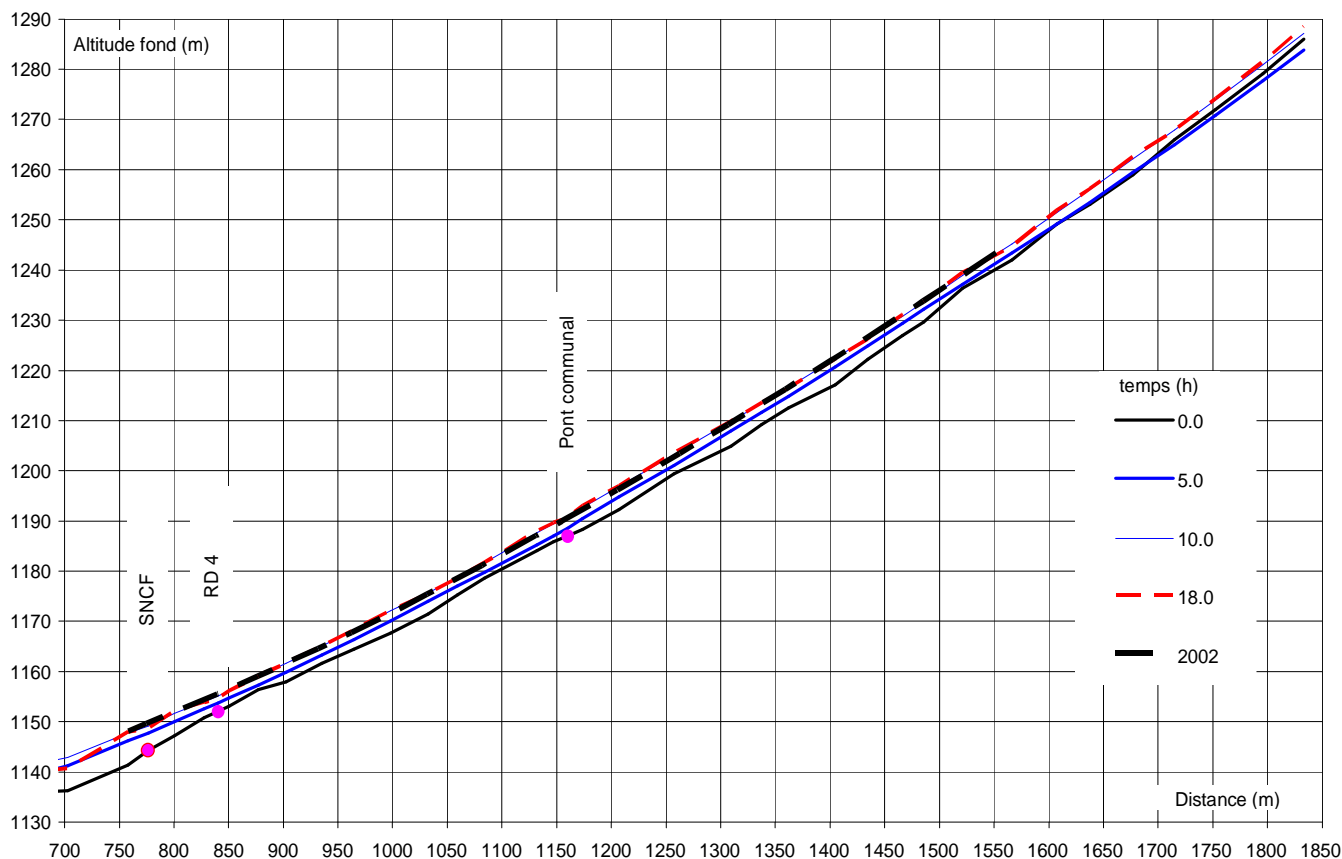


Figure 27 : Comparaison des résultats sur le cône de déjection

Il apparaît que malgré un apport supplémentaire de 20 000 m³, les engravements sont peu différents de ceux calculés en 2002. Ce résultat illustre notamment l'effet de l'étalement des dépôts dans le lit majeur.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Le graphique suivant l'évolution de l'engravement en fonction du temps dans la partie amont du cône de déjection. L'hydrogramme de crue est indiqué pour faire le lien entre la vitesse d'engravement et le débit de la crue :

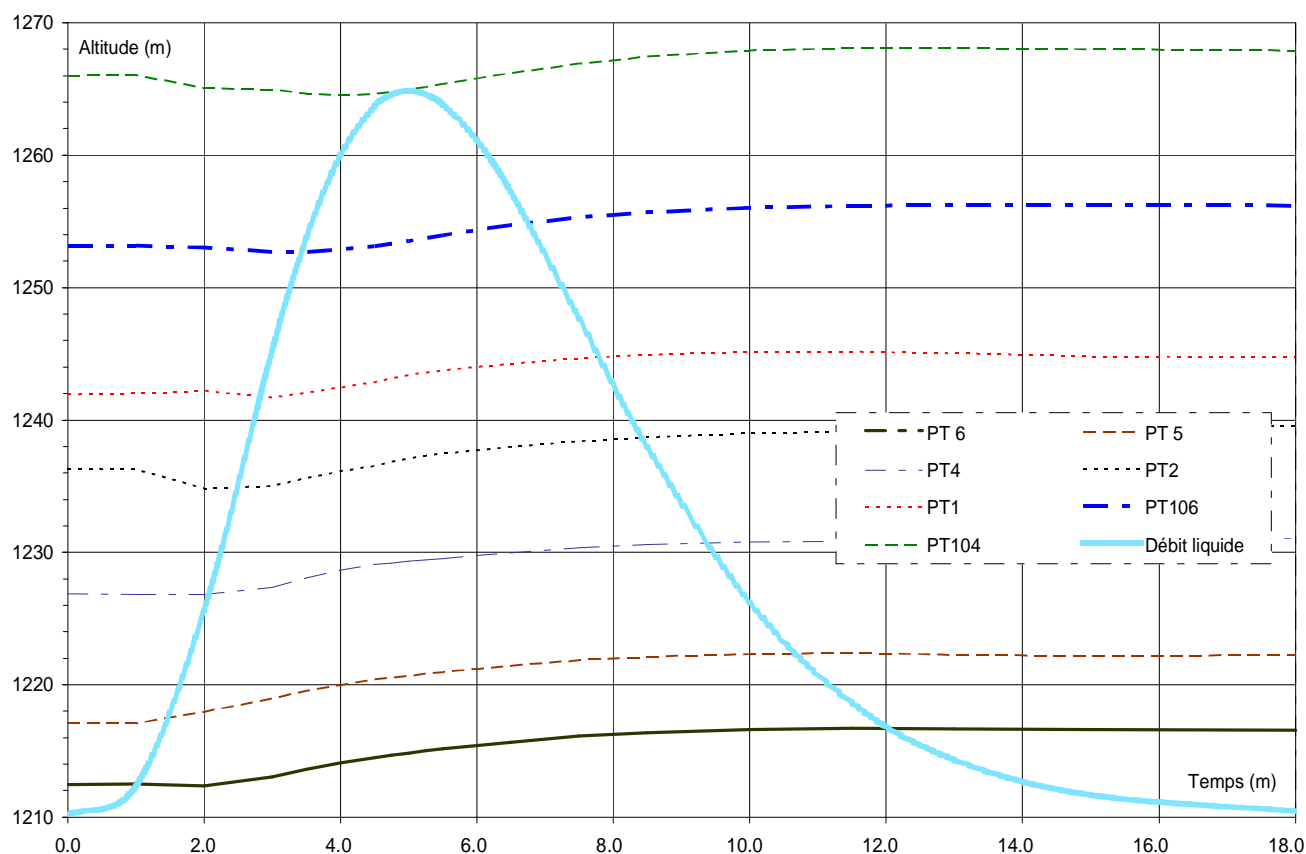


Figure 28 : Dynamique de l'évolution des fonds à l'amont du cône de déjection

Ce graphique montre que pour la pointe de crue, le lit amont connaît plutôt une tendance au creusement en début de crue. Ce résultat illustre une pente localement un peu plus forte en amont. Dans les faits, il est probable que le pavage du lit limite ici ce creusement temporaire.

Cependant, le lit amont s'engrave rapidement sous l'effet des dépôts plus en aval.

Ce graphique montre que l'évolution du lit correspond à une dynamique d'ensemble avec des dépôts qui évoluent dans toutes les sections de la même façon. Dans l'ensemble, les dépôts sont ici de l'ordre de 3 à 5 mètres et se produisent durant toute la crue.

Les dépôts sont les plus importants dans la zone étroite actuellement protégée par des gabions (PT4 à PT 6) avec un engravement de 3 à 5 mètres. Cette évolution importante correspond à l'absence de large zone permettant le dépôt.

Les graphiques page suivante illustrent l'engravement généralisé et coordonnée dans les différentes sections, autour du pont communal et dans la partie aval du cône de déjection. C'est à la confluence que l'engravement est maximum.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

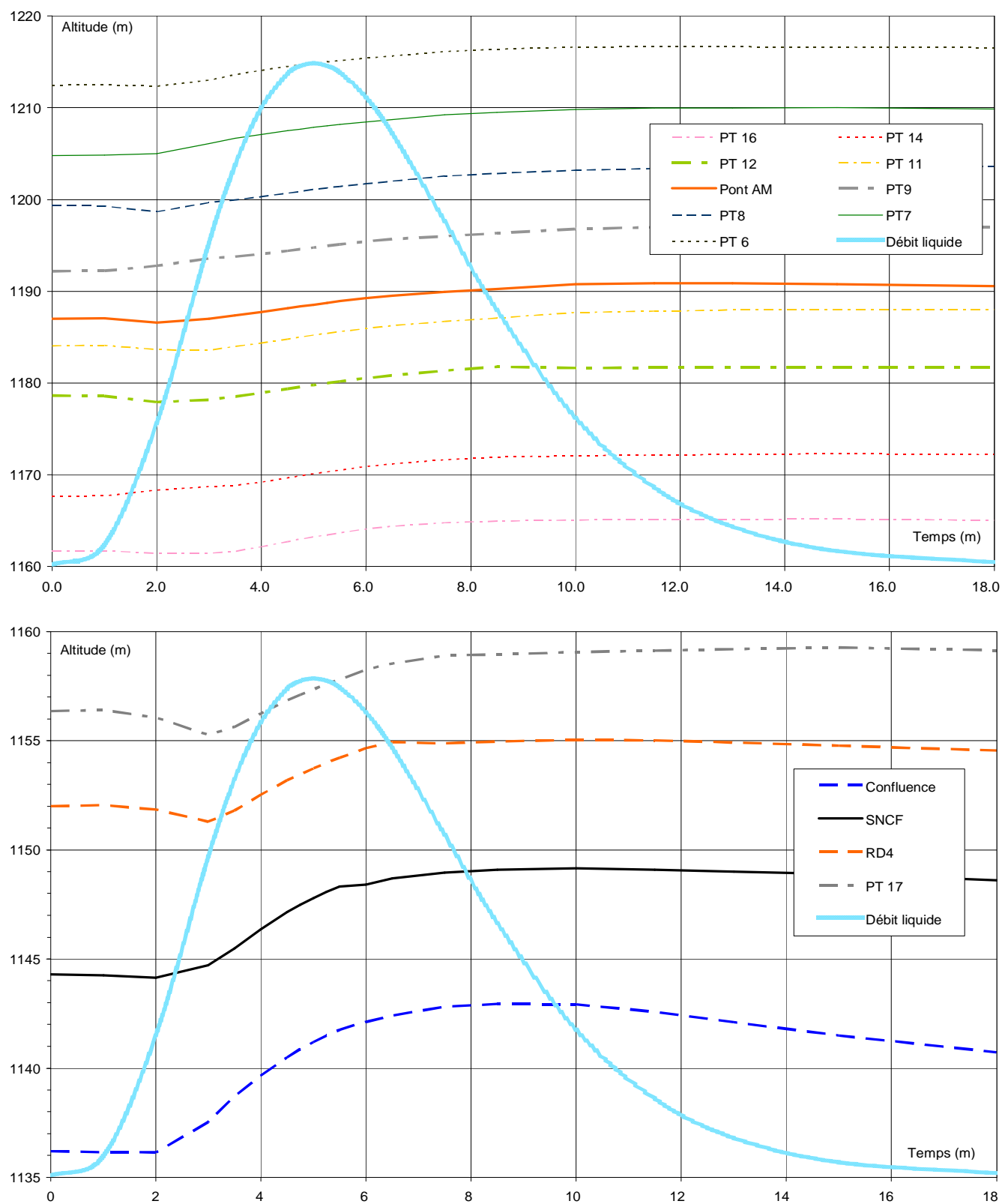


Figure 29 : Dynamique de l'évolution des fonds dans les parties centrale et aval

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.4.2.3 EFFET DE LA GRANULOMETRIE

Il s'agit ici de tester l'effet du tri granulométrique sur les résultats obtenus. Les hypothèses de cette simulation sont en tous points semblables à celles de la simulation précédente à l'exception de la granulométrie des matériaux qui considère un diamètre moyen constant de 10 centimètres sur l'ensemble du cône de déjection et non une décroissance progressive de 10 à 5 centimètres de l'amont vers l'aval. La granulométrie dans le lit de la Durance est inchangée à 5 centimètres.

La figure suivante compare les résultats obtenus ici à ceux de la simulation de référence sur le cône de déjection :

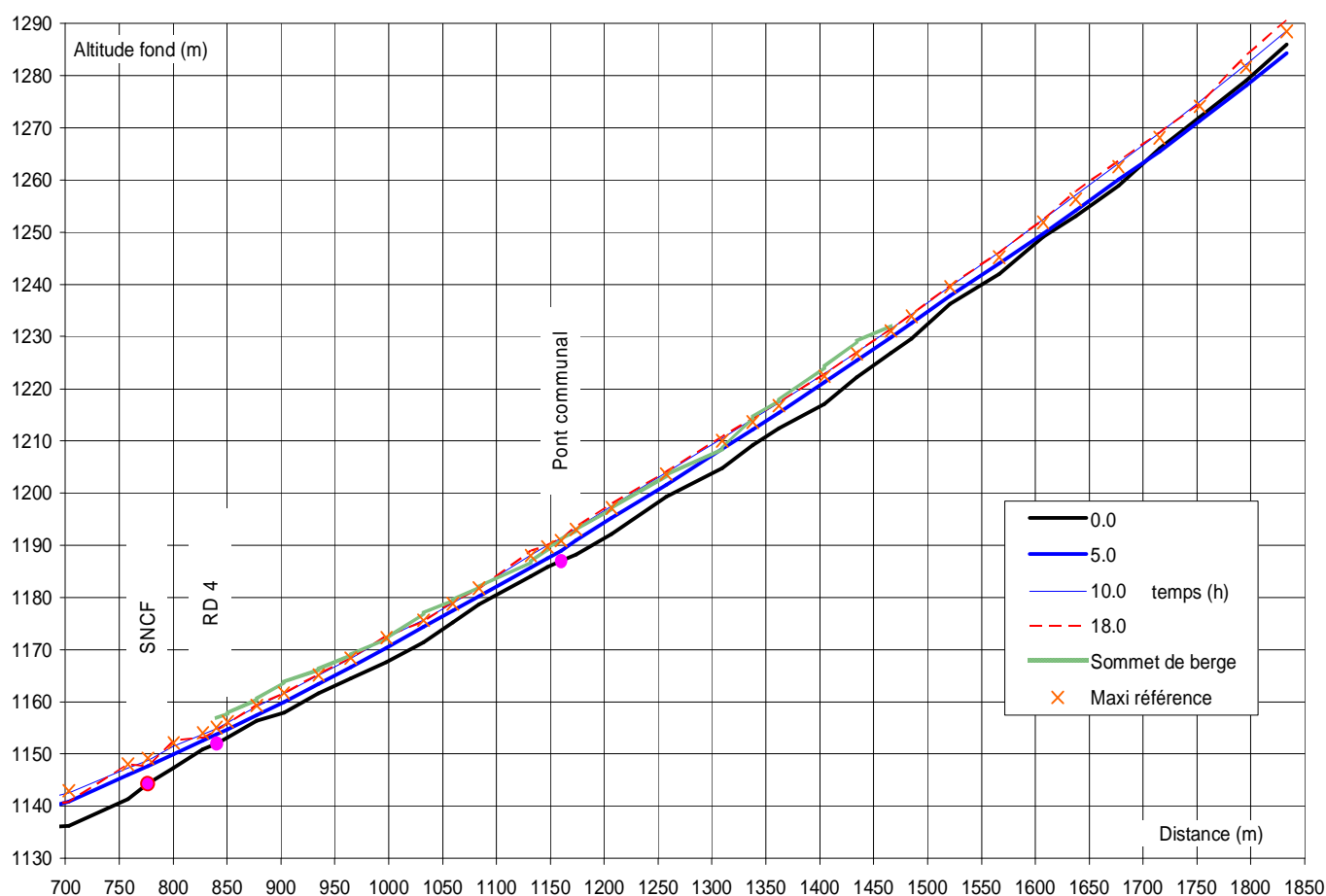


Figure 30 : Impact d'une granulométrie constante

Ce graphique montre que les écarts avec la simulation de référence ne sont pas significatifs, l'engravement étant majoré dans l'extrémité aval du cône de déjection de quelques décimètres. Ce résultat n'est guère surprenant, la granulométrie ayant peu d'influence pour des débits liquides aussi élevés.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.4.2.4 DEBIT REDUIT EN DURANCE GR13

Cette simulation est réalisée avec les hypothèses suivantes :

- Crue centennale longue du Gros Riou soit un apport solide de 100 000 m³.
- Débit constant de 3 m³/s seulement dans la Durance.
- Topographie actuelle.

La figure suivante compare les résultats obtenus ici à ceux de la simulation de référence avec un débit liquide constant de 30 m³/s :

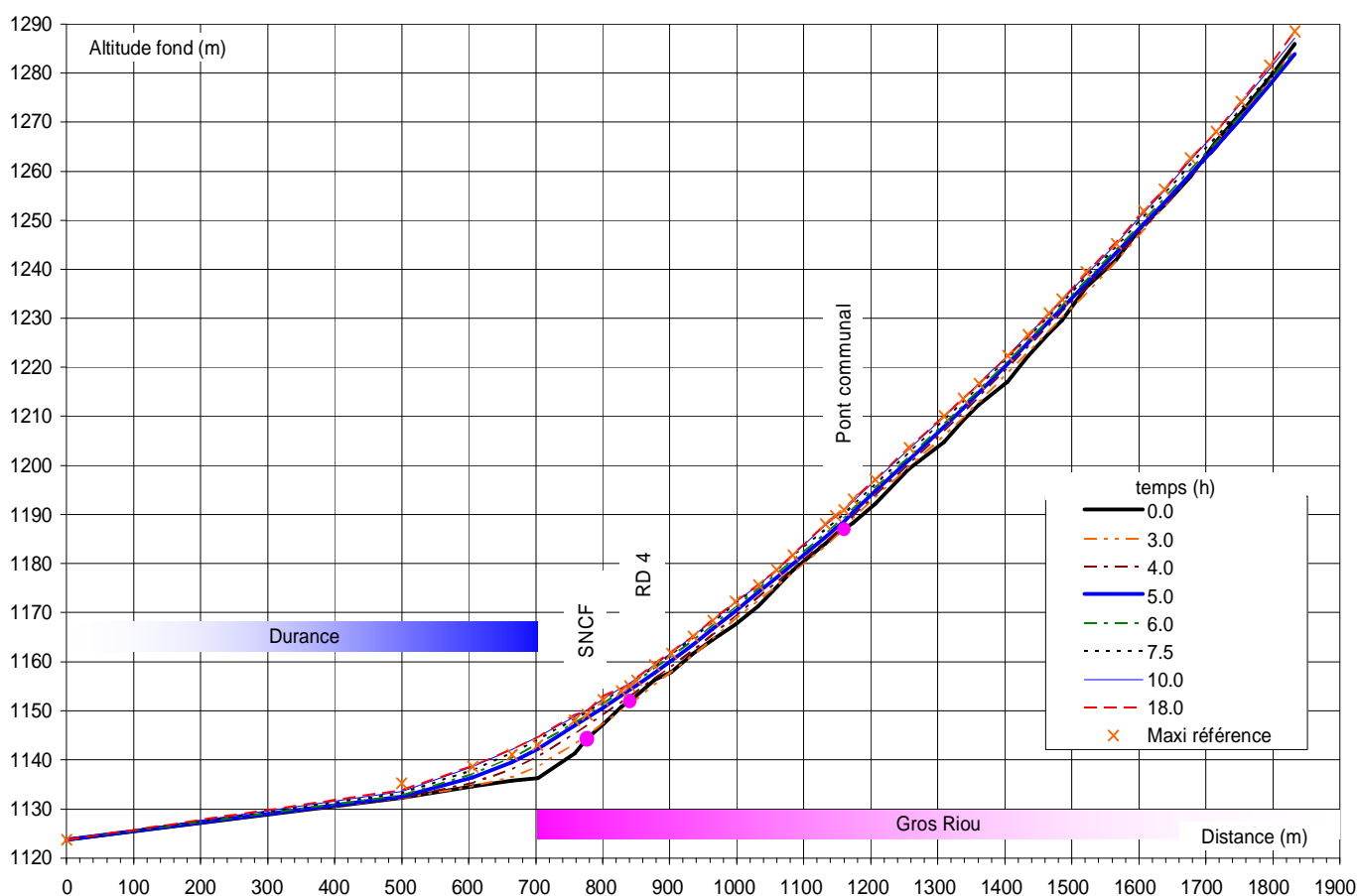


Figure 31 : Impact sur l'ensemble de la zone d'un débit de 3 m³/s en Durance

Ce graphique montre que les engravements en Durance sont nettement plus importants à la confluence qu'avec le débit de 30 m³/s. L'ensemble des niveaux sur le cône de déjection est alors majoré sur le cône de déjection comme le montre la figure page suivante.

Par contre, les débits plus faibles en Durance ne parviennent pas à "tirer" les matériaux plus en aval et le dépôt reste localisé à la confluence, avec un engrèvement nettement plus faible en aval.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Le graphique suivant montre l'évolution des niveaux sur le cône de déjection avec un engravement effectivement plus important à la confluence... mais qui s'amenuise en remontant pour être à peine perceptible en amont du pont de la RD 4 :

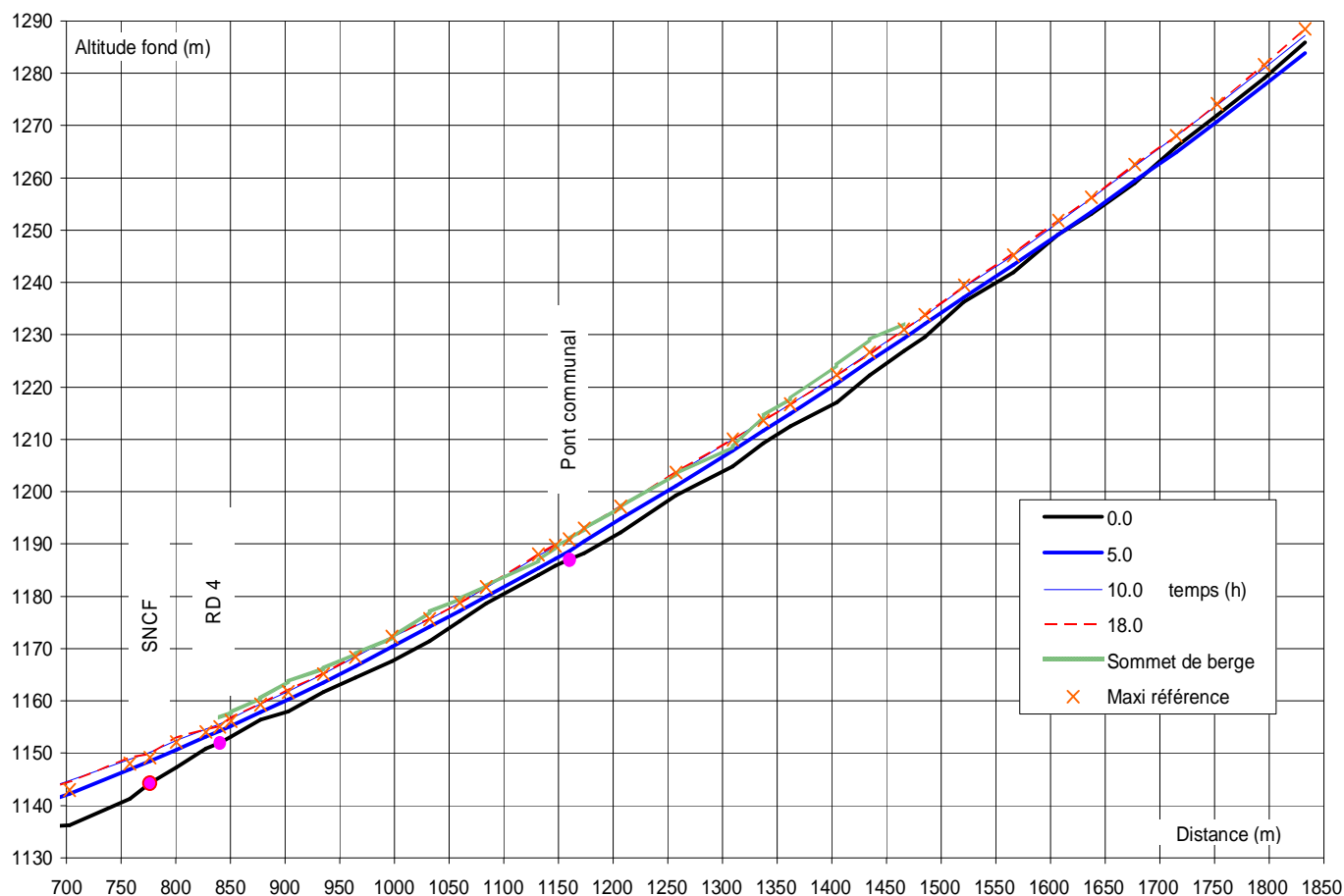


Figure 32 : Dépôt majoré en aval du pont de la RD 4

Notons que la majoration du dépôt est généralisée sur l'ensemble du cône de déjection, même si l'écart n'est théoriquement que de 2 centimètres dans la partie amont du cône de déjection.

Dans la partie amont (amont du profil transversal PT 7) le calcul montre que le risque de débordement est faible, car les digues sont calées nettement au-dessus du lit. Il convient cependant d'être prudent à cause du risque d'apport brutal lié à des laves torrentielles.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

2.4.2.5 CRUE DE LA DURANCE

Cette simulation est réalisée avec les hypothèses suivantes :

- Crue centennale longue du Gros Riou soit un apport solide de 100 000 m³.
- Débit constant de 230 m³/s dans la Durance ce qui correspond - sur la durée - à une forte crue. Il est associé à un apport solide correspondant à une pente de 0.7 % qui est la pente d'équilibre de la Durance en amont de la confluence avec le Gros Riou.
- Topographie actuelle.

La figure suivante compare les résultats obtenus ici à ceux de la simulation de référence avec un débit liquide constant de 230 m³/s :

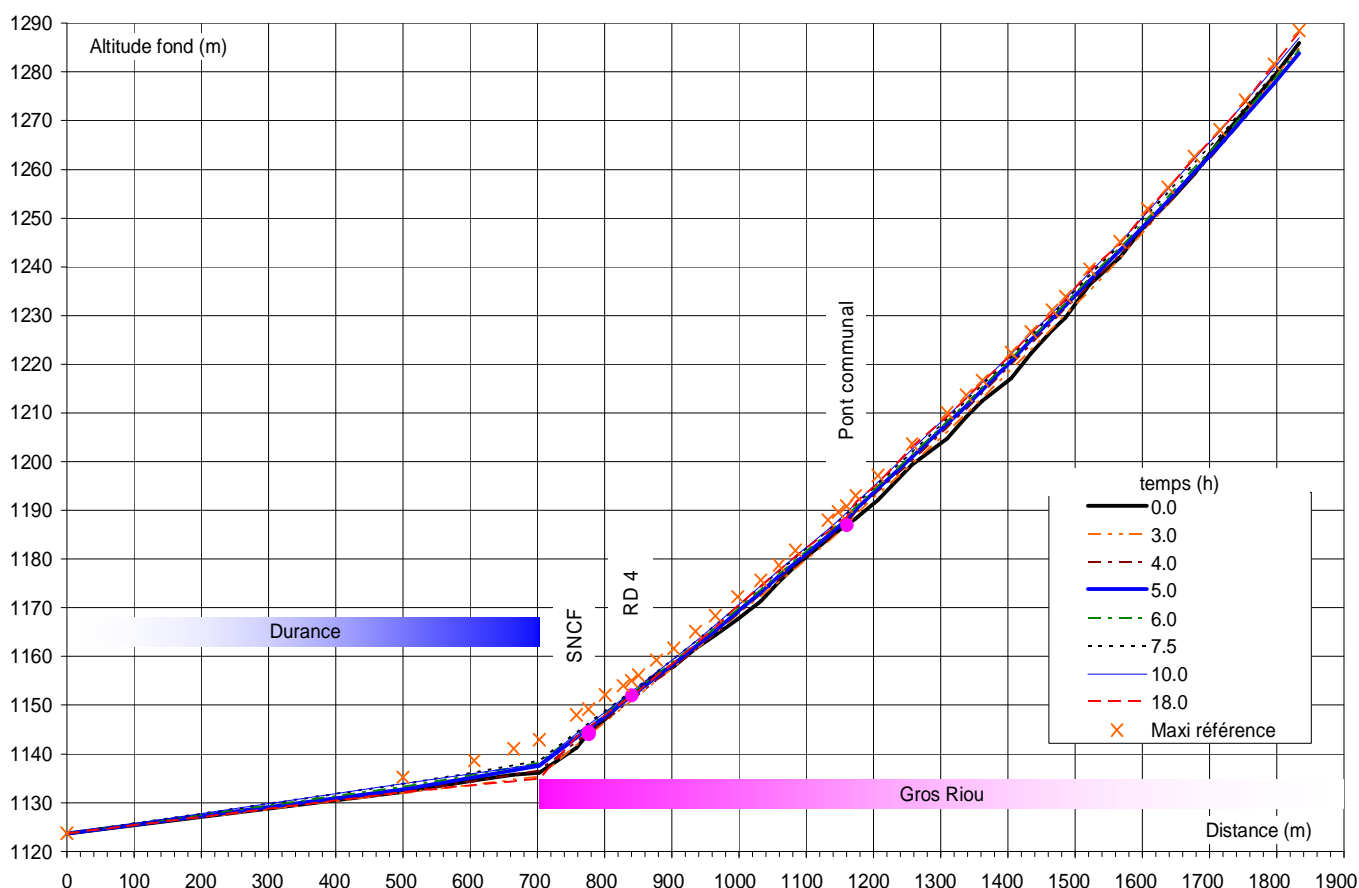


Figure 33 : Impact sur l'ensemble de la zone d'un débit de 230 m³/s en Durance

Ce graphique montre que les engravements en Durance sont considérablement réduits dans la zone de confluence. Il est même possible d'observer un creusement du lit à la confluence vers la fin de la crue. Dans les faits, le pavage réduirait fortement cette - faible - tendance au creusement. Ce creusement ne remonte guère dans le lit du Gros Riou.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Le graphique suivant montre l'évolution des niveaux sur le cône de déjection avec la quasi-suppression des dépôts dans la partie aval du cône de déjection :

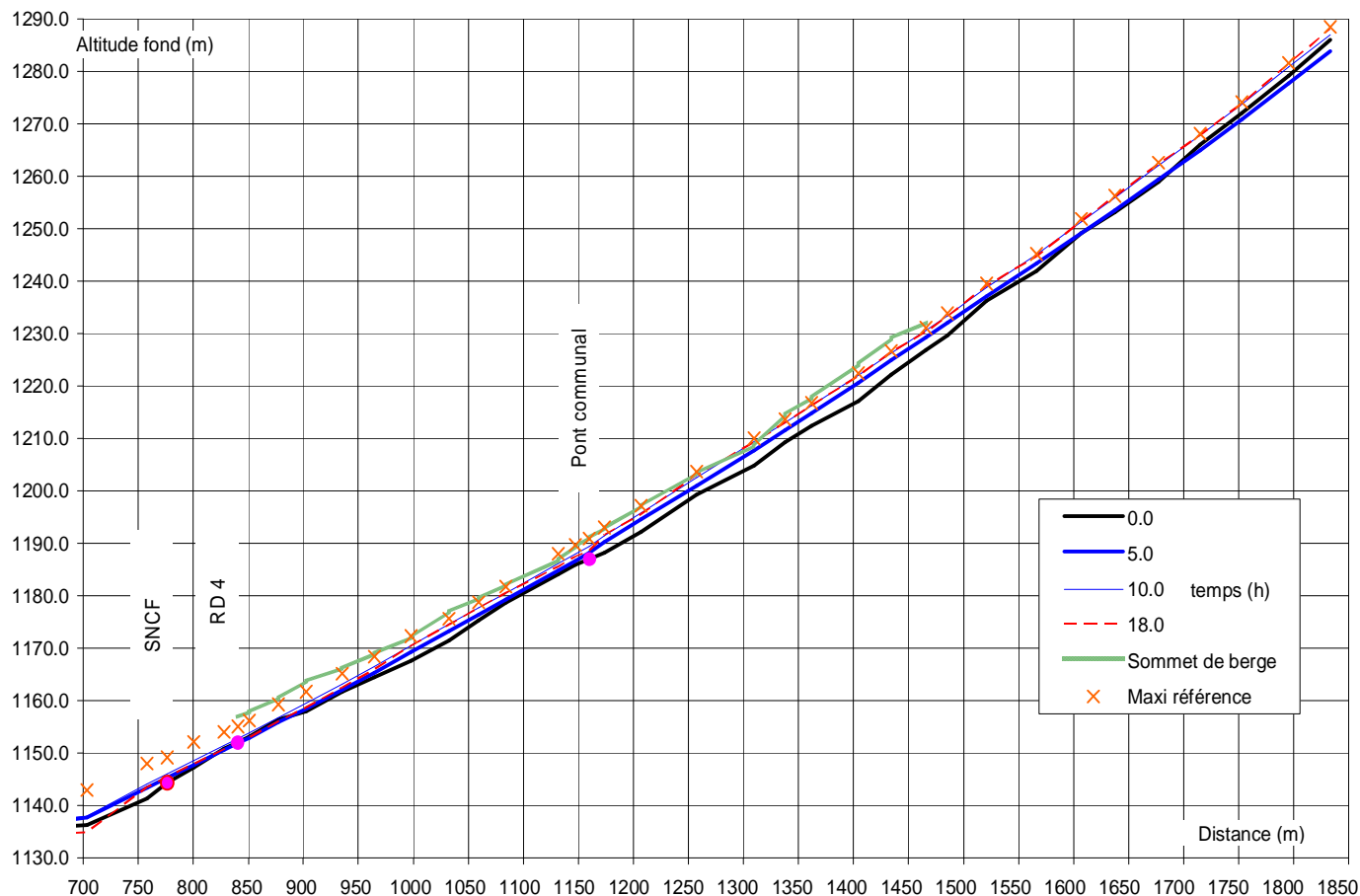


Figure 34 : Dépôt fortement réduit sur l'ensemble du linéaire aval

Notons que la réduction du dépôt est généralisée sur l'ensemble du cône de déjection, même si l'écart n'est théoriquement que de 2 centimètres dans la partie amont du cône de déjection.

À la confluence, le gain sur les niveaux dépasse 4 mètres. Il est encore de quelques décimètres dans la partie amont du cône de déjection.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

La figure suivante montre la dynamique des dépôts dans la partie aval du cône de déjection.

Il apparaît que la Durance, même en crue, ne parvient pas à reprendre immédiatement les apports du Gros Riou lorsque le débit dans le torrent est élevé. Par contre, la reprise est très efficace pour les débits intermédiaires, avant et après la pointe de crue, ce qui réduit fortement l'ampleur global des dépôts.

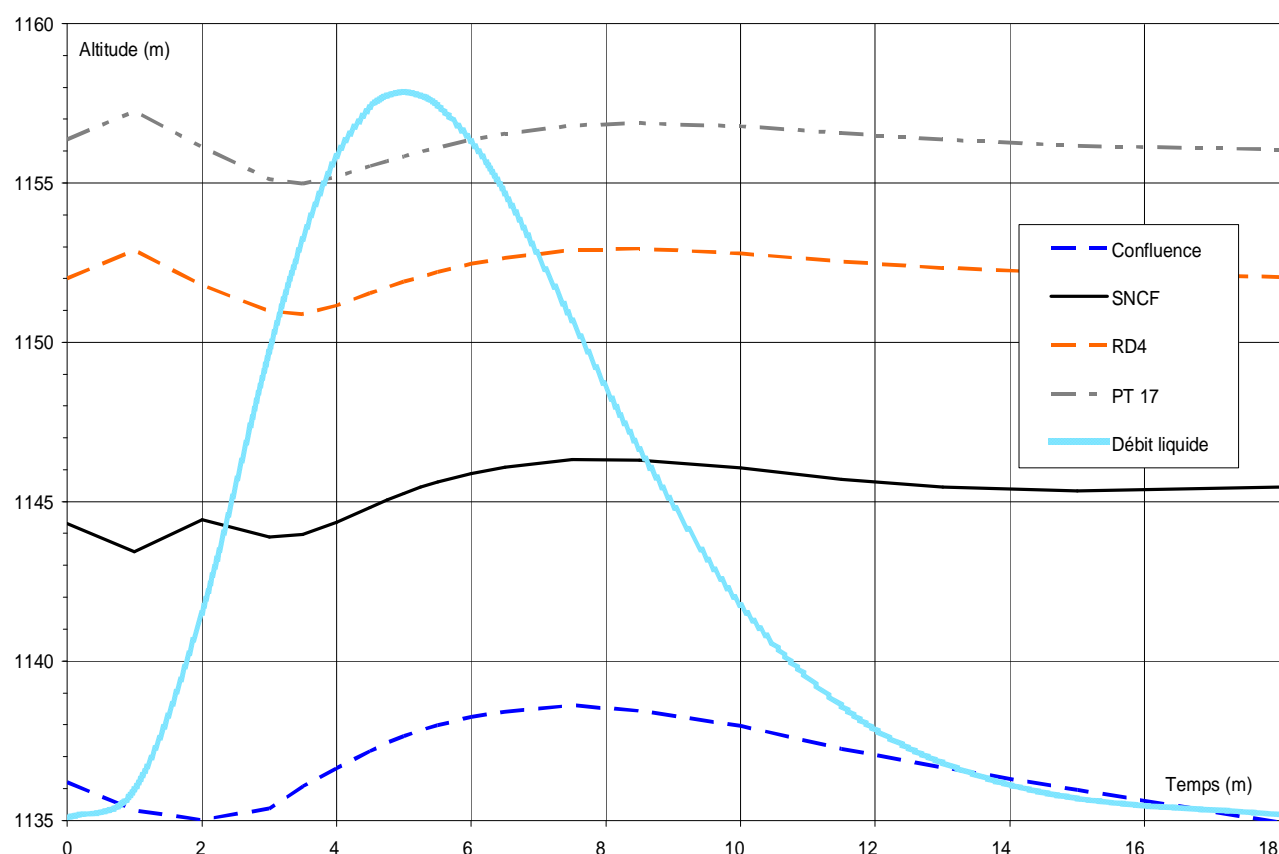


Figure 35 : Evolution des niveaux à l'aval du cône avec la Durance en crue

Des débits liquides élevés dans la Durance permettent donc de réduire fortement les dépôts dans le lit du Gros Riou. Il convient donc, en cas de crue du torrent, de mettre en transparence le barrage de prise d'eau en amont immédiat afin de maximiser les débits dans la rivière.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.4.3 Conditions d'écoulement

Les analyses précédentes concernent le niveau du fond du lit. Il convient cependant de ne pas oublier la hauteur d'eau lors des crues.

Ce point est théoriquement secondaire car dans le cas du Gros Riou, le lit s'engrave durant toute la crue : l'engravement maximum est atteint pour un débit faible. Cependant, cette configuration est basée sur un hydrogramme avec une pointe unique et il n'est pas exclu - bien que ce soit peu probable - d'observer un débit élevé alors que le volume écoulé - et donc le dépôt de matériaux - est déjà important.

Ainsi, il paraît préférable de définir le niveau maximum d'engravement - lié au volume écoulé - puis de rajouter la hauteur d'eau - liée au débit de pointe de la crue.

La hauteur d'eau est calculée de la façon suivante :

1. On retient, comme c'est le cas dans les cours d'eau à forte pente avec le transit de blocs - un écoulement critique au sens de Froude, c'est-à-dire un Nombre de Froude égal à l'unité qui correspond à une forte dissipation de l'énergie de l'écoulement par des ressauts.
2. Le calcul est réalisé en considérant une section trapézoïdale de fruit unitaire, ce qui est proche des sections actuelles du lit... et surtout de celles qui se formeraient durant la crue.
3. La hauteur de charge est aussi calculée car elle est plus représentative du niveau qui peut être atteint au droit des obstacles ou en tenant compte de la formation de vagues. Notons que les conditions d'écoulement critiques correspondent à la hauteur de charge minimum. Cette hypothèse nécessite la prise en compte d'une revanche significative pour le dimensionnement des ouvrages.
4. Lorsque le lit est large, l'écoulement reste concentré dans un - ou plusieurs - bras. Dans ce cas, la hauteur d'eau ne diminue plus avec l'augmentation de largeur du lit. Ainsi, les hauteurs réelles d'eau et de charge ont été calculées en considérant que le rapport Largeur / Hauteur reste inférieur à 15.

Le graphique page suivante montre les hauteurs obtenues pour le débit centennal en fonction de la largeur du lit.

Il apparaît que la largeur n'a plus d'impact sur l'écoulement (mais elle en a un sur le transport solide et le volume de dépôt) dès que la largeur du lit est supérieure à 13 mètres, ce qui est le cas sur l'essentiel du linéaire.

La hauteur à prendre en compte est alors de l'ordre de 1.3 mètres pour le débit centennal. Notons que la prise en compte d'une revanche conduit à une hauteur par rapport au niveau du dépôt toute proche des 2 mètres imposés par la prise en compte des laves torrentielles.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

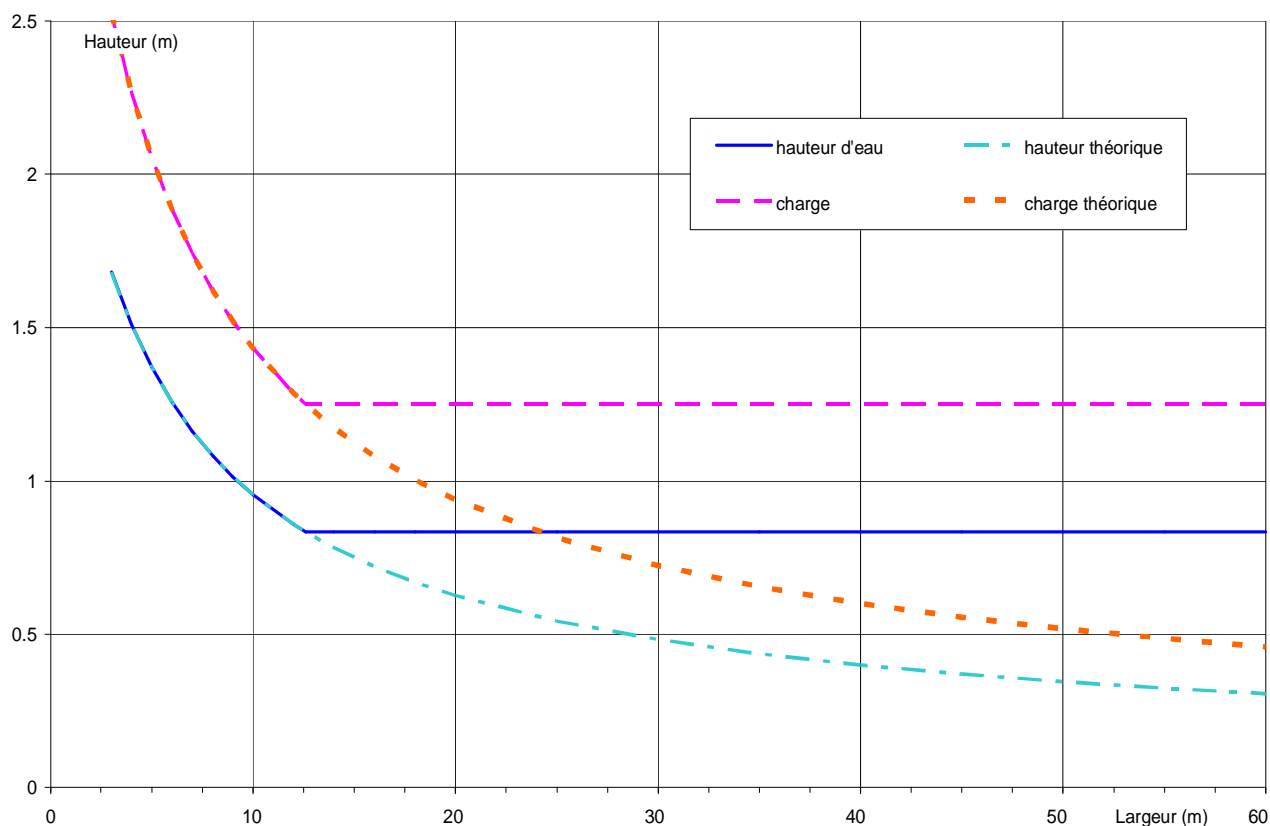


Figure 36 : Conditions d'écoulement pour le débit centennal de 32 m³/s

2.4.4 Points de débordement

2.4.4.1 LOCALISATION DES POINTS CRITIQUES

Les analyses précédentes ont permis de dégager plusieurs points critiques sur le cône de déjection. Il convient de noter que dans cette zone la limite du lit est peu marquée et qu'il est difficile de différencier un débordement d'un étalement - favorable - dans le lit majeur.

- En aval du profil PT 4, la revanche est inférieure au mètre, c'est à dire qu'elle n'est pas significative dans un torrent tel que le Gros Riou.
- Au droit des trois profils en amont du pont communal, le débordement ne fait guère de doute avec un niveau d'eau généralement plus d'un mètre au-dessus du sommet de berge. Par contre, le pont communal offre une section théoriquement tout juste suffisante.
- En aval du pont communal jusqu'au pont de la RD 4, le débordement est généralisé, les berges étant généralement au moins un mètre trop basses.
- En aval du pont de la RD 4, le débordement est très important sur les deux rives et dépasse 3 mètres au droit du pont de la SNCF. C'est dans ce secteur qu'un apport de la Durance est très bénéfique. Il n'est cependant pas suffisant pour éviter le débordement sauf en cas de crue de la rivière.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- Les hauteurs de dépôt dans la Durance sont très importantes (jusqu'à de 8 mètres au confluent) surtout en l'absence d'apport amont de la rivière.

Ces résultats sont présentés dans les profils en long suivant, avec le repérage de la numérotation des profils en travers. La cote de protection en l'état actuel correspond à l'engravement maximal en crue de charriage augmenté de 2 m, cette marge de 2 m permettant de prendre en compte un écoulement de lave torrentielle en fin de crue sur un lit engravé, ce qui semble correspondre au scénario de 1995.

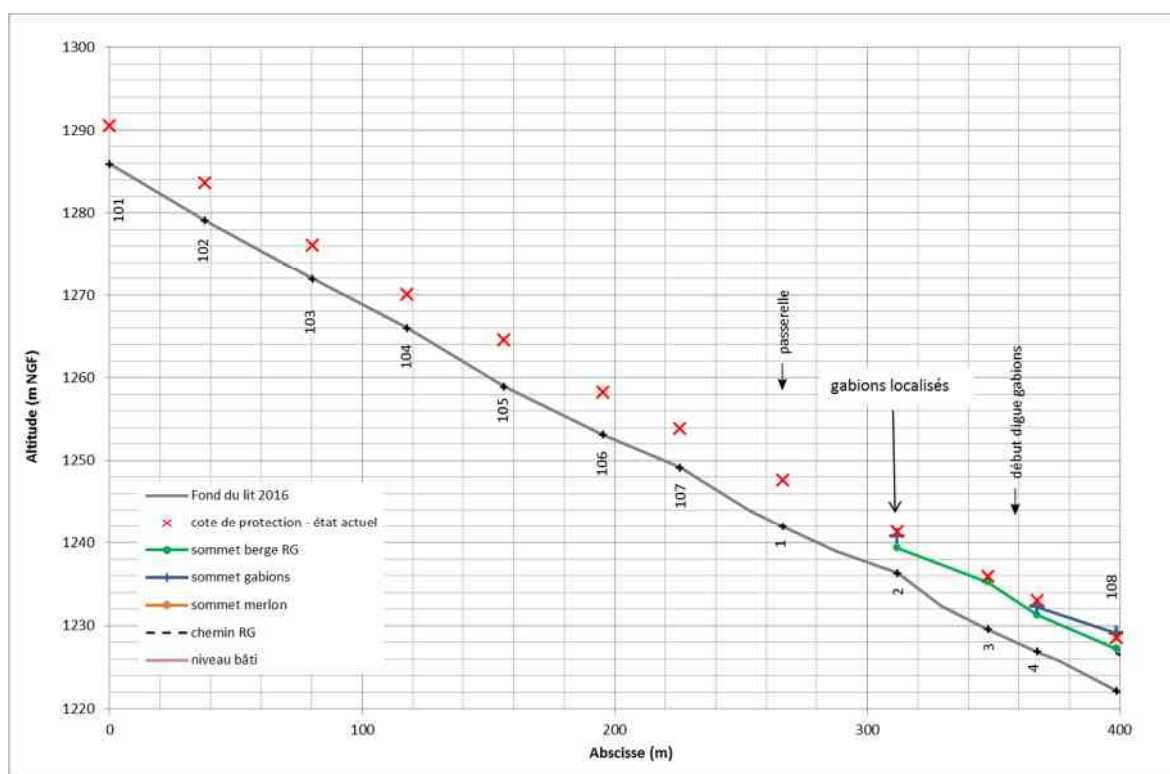


Figure 37 : Profil en long de la cote de protection requise en état actuel (partie amont)

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

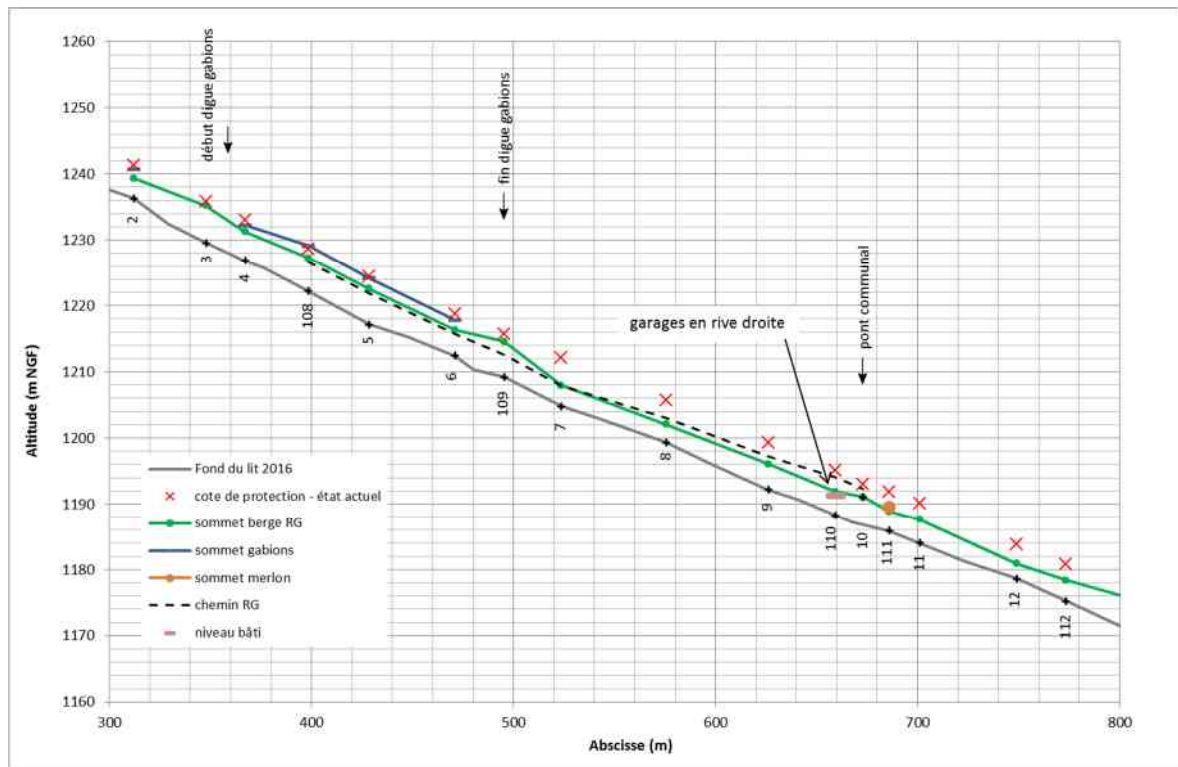


Figure 38 : Profil en long de la cote de protection requise en état actuel (partie médiane)

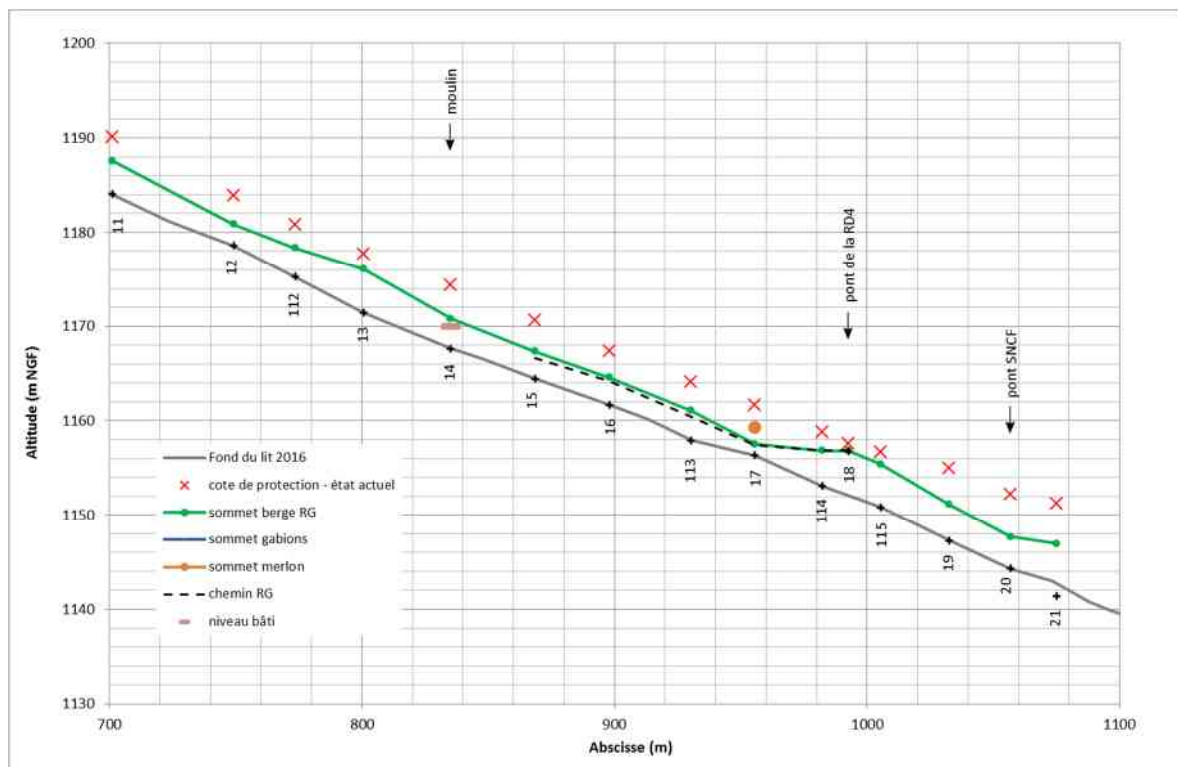


Figure 39 : Profil en long de la cote de protection requise en état actuel (partie aval)

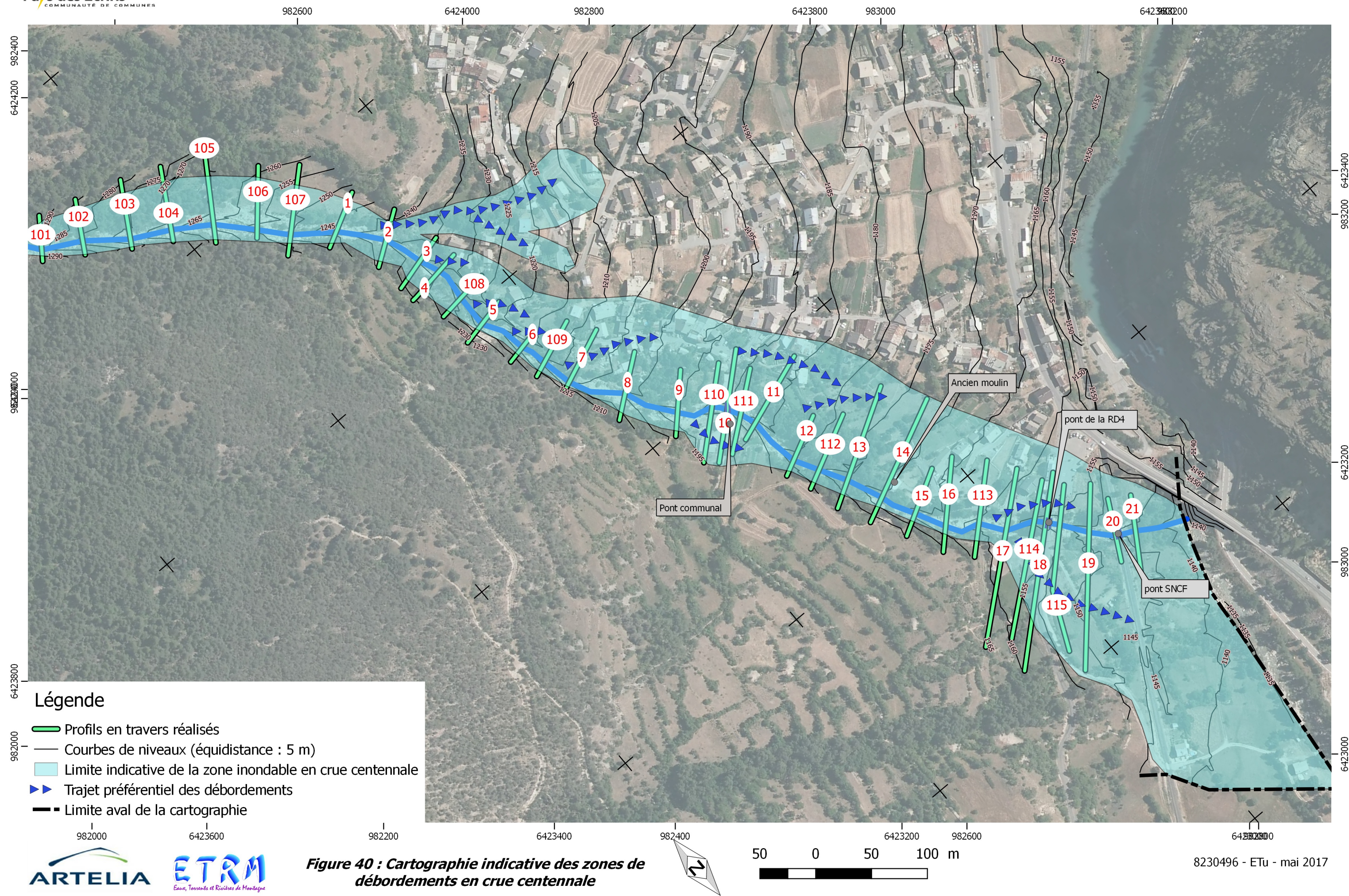
Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

2.4.4.2 TRACE DES DEBORDEMENTS

On trouvera page suivante la localisation probable des zones inondables.

La cartographie ne prend en compte que les débits élevés et à forte pente pouvant causer des dégâts importants. Les ruissellements résiduels ne sont donc pas considérés. Il s'agit donc de la zone inondable la plus probable en cas de forte crue. On sait en effet, qu'au contraire de l'hydraulique de plaine, l'hydraulique torrentielle présente un caractère aléatoire marqué, les écoulements étant très dépendants de la disposition des dépôts. Il est donc possible, mais peu probable, qu'une forte crue puisse s'écouler en dehors des zones mises en évidence. Dans ce cas, même si les débits sont centennaux, la combinaison de phénomènes conduisant à un tel débordement rend l'inondation - ou l'érosion - beaucoup plus rare.

Il convient d'être particulièrement prudent par rapport à ce zonage à cause de la combinaison de charriage et de lave torrentielle que l'on peut observer dans le Gros Riou et qui peuvent à des débordements plus étendus pour une configuration très défavorable.



3 ANALYSE DES SCENARIOS D'AMENAGEMENT ET CHOIX D'UNE SOLUTION

3.1 ACTIONS ENVISAGEABLES

Ces principes d'actions sont repris de l'étude de 2002 (Réf. 2).

Plusieurs actions peuvent être entreprises pour réduire les risques pour les biens et les personnes :

- **Protection active.** Il s'agit ici de réduire les risques par traitement du bassin versant afin de diminuer les débits liquides et les apports solides. Les deux méthodes classiquement employées sont le reboisement et la correction du lit par une série de barrages. Étant donnée l'altitude du bassin versant, le boisement ne peut faire espérer un gain significatif par rapport à l'état actuel. L'érosion étant très étendue, il paraît difficile de réduire fortement les apports sans la réalisation de nombreux ouvrages de correction sur un linéaire important. Par contre, il semble envisageable de réaliser une correction du torrent de la Trancoulette vers 1710 m d'altitude, en amont avec le confluent avec le Riou des Pras, là où il a formé une érosion très importante. Cette intervention est détaillée ci-dessous mais elle n'a qu'une influence modeste sur l'aval.
- **Arrêt des matériaux dans une plage de dépôt.** La tendance au dépôt est relativement modérée sur le cône de déjection, la réduction de pente étant assez faible. Ainsi, plus de la moitié des matériaux provenant de l'amont en charriage parvient au bas du cône de déjection. Pour les laves torrentielles, ce pourcentage est vraisemblablement supérieur sous réserve de l'absence de débordements importants. Ainsi, deux solutions peuvent être envisagées :
 - La réalisation d'une plage de dépôt qui arrête la quasi-totalité des matériaux. Cela nécessite la mise en place d'un ouvrage très imposant au sommet du cône de déjection (arrêt de 100 000 m³ avec une pente du terrain naturel de l'ordre de 16 %). De plus, cet arrêt des matériaux va causer un creusement du lit en aval qui nécessitera la mise en place de seuils. Enfin, cette solution impose un curage régulier des matériaux arrêtés dans la plage de dépôt. Cette solution paraît donc très mal adaptée au cas du Gros Riou.
 - La mise au point d'une plage de dépôt capable de n'arrêter qu'une fraction des matériaux transportés en charriage (~ 50 %) et les bourrelets frontaux de laves torrentielles mais qui laisse transiter les matériaux vers l'aval. Les connaissances actuelles rendent un tel dimensionnement hasardeux dans un contexte tel que celui du Gros Riou, même avec l'emploi d'un modèle réduit physique. Cette solution paraît donc difficilement envisageable.
- **Recalibrage du chenal** pour permettre le transit des débits. Cette solution ne peut être envisagée que si elle prend en compte le dépôt des matériaux dans le lit du torrent, ce qui impose des sections et surtout des largeurs d'écoulement très importantes. La dissymétrie

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

des enjeux dans ce secteur autorise la réalisation d'un chenal permettant le débordement préférentiel sur une seule rive.

3.2 PRINCIPE D'AMENAGEMENT RETENU

Seul le recalibrage du chenal paraît adapté au Gros Riou sous réserve que le lit soit suffisamment large pour permettre les dépôts lors des crues. Cette solution ne s'oppose pas – bien au contraire – à la réalisation d'une zone de dépôt potentielle entre la sortie des gorges et l'entrée du chenal en aval de la passerelle.

Le principe d'aménagement retenu est donc de combiner l'aménagement d'une zone de dépôt entre la sortie des gorges et l'entrée du chenal, et l'aménagement du chenal dans la traversée du hameau.

Cette solution est développée ci-après. Auparavant, il est rappelé et détaillé les interventions possibles dans le bassin versant.

3.3 INTERVENTIONS DANS LE BASSIN VERSANT

3.3.1 Correction active

La zone d'érosion active est située sur le torrent de la Trancoulette, en amont du confluent avec le Riou des Pras, vers 1710 m d'altitude. Dans ce secteur, La correction du lit par la mise en place d'une série de barrages RTM peut être envisagée.

Malheureusement, il n'apparaît pas d'affleurement rocheux pour établir le barrage aval sur une base fixe. La solution est alors la suivante :

- Réalisation d'un barrage en amont immédiat du confluent avec le Riou des Pras. Ce barrage sera du type auto-stable afin de bien résister à un affouillement en aval. Il sera conçu en prenant en compte un abaissement d'au moins trois mètres en aval par rapport au lit actuel. Dans la mesure du possible, il sera atterri, avec une pente proche de 10 %.
- Un second barrage pourra être établi en amont du premier, lorsque le transport solide aura été restauré et que la pente du dépôt en amont du premier ouvrage aura atteint 13 %. De plus, il est nécessaire de vérifier qu'il n'y a pas d'affouillement exagéré en aval du premier barrage. Dans le cas contraire, le second barrage sera d'abord établi en aval du premier.
- La correction du lit sera ensuite réalisée en réalisant un ouvrage à chaque fois que le précédent est atterri. On profitera alors de la construction de ces ouvrages pour éloigner le lit de la rive gauche où l'érosion est actuellement très active.

Il est possible d'aller plus vite en construisant plusieurs barrages en même temps. Cependant, il paraît impératif de les atterrir lors de la construction, ce qui impose des terrassements importants, mais aussi des apports de matériaux sur le site.

La difficulté de cette réalisation, son coût élevé et le risque limité d'érosion régressive conduisent à considérer qu'il s'agit d'une intervention de seconde urgence.

Cette intervention ne sera pas retenue pour la présente opération.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

3.3.2 Entretien de la végétation

L'étude de 2002 préconisait, afin de prévenir la formation d'embâcles et de ne pas favoriser la formation de laves torrentielles en cas de crue, d'exploiter ou – à défaut – de billonner les arbres en travers du lit ou susceptibles d'y tomber à moyen terme et ce en particulier, sur le torrent de la Trancoulette mais aussi sur le torrent de la Combe Brune.

Aujourd'hui, les embâcles ont été retirés sur le Gros Riou dans la traversée du hameau, jusqu'en amont de la plage de dépôt (limite amont du levé topographique).

L'intervention recommandée en amont reste donc d'actualité.

Ce travail devra être refait tous les 5 ans environ et après chaque forte crue.

3.4 DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

La vue en plan des aménagements est présentée au stade esquisse sur les Figure 46, Figure 47 et Figure 48 pages 109 et suivantes.

Les profils en travers sont présentés en annexe 1.

3.4.1 Aménagement d'une zone de dépôt en sortie des gorges

Cette zone de transition, située entre les profils 101 à 107, a un rôle prépondérant de régulation des apports solides, et d'arrêt des plus gros blocs en cas de laves torrentielles. Deux types d'aménagements peuvent y être envisagés :

- La maximisation des dépôts en conservant la pente actuelle. Dans ce cas, tous les merlons doivent être supprimés et la largeur du lit doit être la plus large possible. Les aménagements doivent plutôt favoriser les dépôts dans ce tronçon afin de protéger les aménagements disposés en aval sur le cône de déjection. La figure suivante illustre ce type d'intervention. Évidemment, tous les matériaux prélevés pour l'élargissement du lit devront être extraits du site.
- La réalisation de quelques seuils en béton, d'une hauteur de 1 à 2 mètres peut permettre de réduire la hauteur du lit actuel et de favoriser les dépôts en cas de crue, surtout s'ils sont associés à des terrasses. Cette solution est plus efficace mais est nettement plus coûteuse et nécessite un entretien régulier.

La figure suivante correspond à des sections transversales des deux types de protection. C'est le premier type d'aménagement qui sera retenu par la suite.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

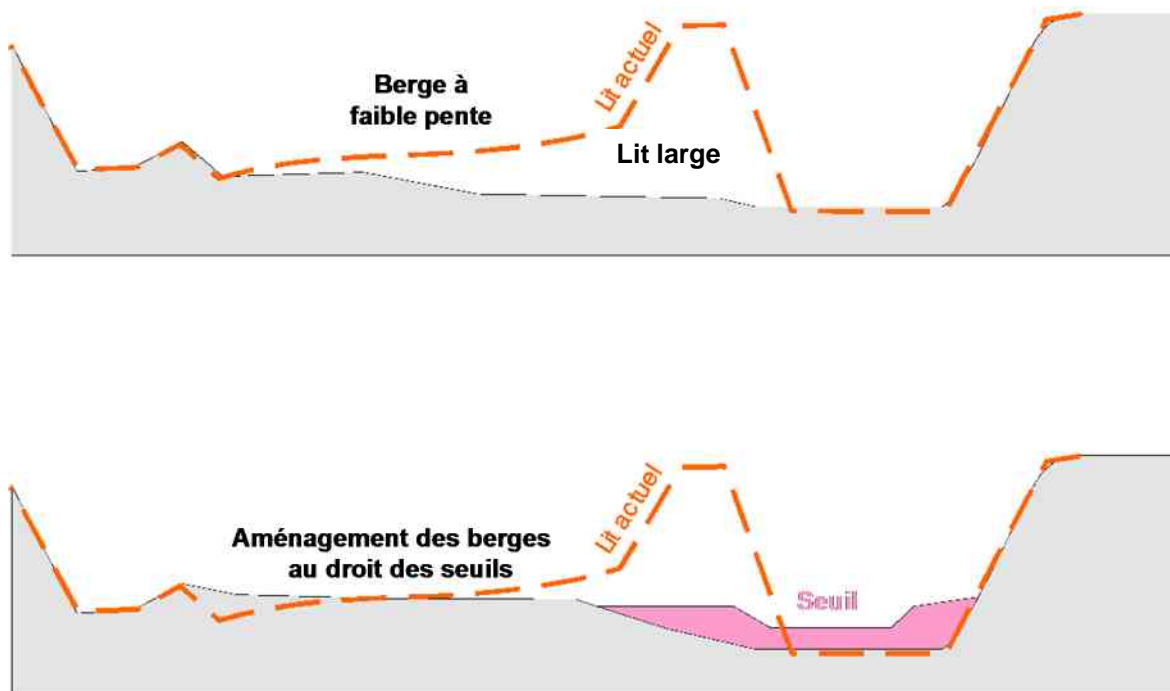


Figure 41 : Principes d'aménagement en sortie des gorges (zone de dépôt)

Au niveau de la passerelle le lit sera élargi. Deux solutions peuvent être envisagées :

- Réaliser une passerelle d'une portée supérieure,
- Conserver une passerelle modeste et permettre l'accès grâce à un remblai localisé. Une faible protection en enrochements permettra de réduire les risques d'érosion lors des petites crues. Pour les crues rares, le torrent retrouvera toute sa largeur.

C'est cette dernière solution qui sera retenue par la suite.

3.4.2 Aménagement du chenal

3.4.2.1 CONFORTEMENT DE LA DIGUE AMONT

La digue en rive gauche en amont du PT 7 constitue l'élément essentiel de la protection actuelle de Prelles. Cependant, cette digue hétérogène est constituée de gabions et est affouillée en de nombreux endroits. D'autre part, le lit est particulièrement étroit, ce qui facilite les érosions sur les berges.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Photo 36 : Digue en gabions vers le profil 5

Les calculs, en l'état actuel, montrent que le niveau des berges est tout juste suffisant dans ce tronçon. Deux solutions peuvent être envisagées :

- Conserver la protection actuelle et la renforcer dans les points qui paraissent le plus critique. Cette solution est probablement la plus économique, mais elle pose deux problèmes :
 - D'une part, il paraît difficile d'obtenir un ouvrage résistant et fiable à partir de la digue actuelle. Des reprises délicates en sous œuvre doivent être envisagées.
 - D'autre part, le lit est déjà étroit. Des reprises en sous œuvre vont conduire à son rétrécissement, ce qui va augmenter les niveaux dans le lit lors des crues, augmenter les érosions déjà préoccupantes en rive droite et abaisser le niveau du lit, ce qui risque de déstabiliser les ouvrages déjà réalisés.
- Construire une nouvelle protection en enrochements rangés partiellement liaisonnés. Cette technique permet d'optimiser le rapport efficacité / coût. Cette solution est évidemment plus coûteuse, mais elle permet de maximiser la largeur du chenal et d'obtenir une protection beaucoup plus fiable que dans l'état actuel. C'est cette solution qui sera retenue par la suite.

Le sommet de cette nouvelle protection sera grossièrement implanté au sommet de la digue actuelle, ce qui permet de ne pas modifier l'utilisation des terrains en retrait. Dans la partie amont, une protection en enrochements libres avec un fruit de 3H/2V peut être envisagée. La largeur du lit sera maximisée, y compris en rive droite, en conservant une marge par rapport au pied de versant.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Durant les opérations de curage, tous les blocs de plus d'une tonne devront être laissés dans le lit afin de prévenir des affouillements lors des prochaines crues. Ces blocs ne pourront pas être utilisés pour les protections de berges.

Dans le secteur des profils 5 & 6, le lit est beaucoup plus étroit. Sa largeur sera alors "seulement" de 8 à 15 mètres (contre 3 dans l'état actuel). Ce résultat sera obtenu par le dégagement des terrains disposés devant l'actuelle protection.

3.4.2.2 AMONT DU PONT COMMUNAL

Dans ce secteur, les berges sont trop basses pour permettre l'écoulement des crues. Le principe retenu est le suivant :

- Réalisation d'une protection en enrochements en rive gauche. Elle sera suffisamment en retrait pour maximiser la largeur du lit. Cette protection sera localement plus d'un mètre au-dessus du niveau du terrain actuel (et formera donc une digue). Le tracé de la protection doit permettre la réalisation d'un entonnement progressif du pont communal avec un angle de 20 ° maximum par rapport à la direction générale de l'écoulement. De plus ces travaux doivent permettre de recentrer l'écoulement et d'obtenir un tracé plus rectiligne.
- En rive droite, les enjeux sont limités aux garages, situés bien en retrait. Ainsi, par mesure d'économie, aucune protection de berge n'y est à prévoir, sauf pour assurer l'entonnement du pont (cf. ci-après). Le long du versant, aucun aménagement n'est à prévoir à part la suppression des merlons.

Cette protection est très dissymétrique, à l'image des enjeux sur les deux rives. Il est bien évident que les garages sont exposés, ce qui incite à leur déplacement. A défaut, les usagers doivent être avertis des risques importants dans ce secteur en cas de crue. Il ne faut pas chercher à accéder à ce secteur en cas de crue, le débordement pouvant y être particulièrement brutal.

3.4.2.3 PONT COMMUNAL

Il s'agit d'un point critique car la revanche y est très faible. Le risque d'écoulement sur la chaussée est important en cas de forte crue. Plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- **La suppression du pont.** C'est évidemment la meilleure solution sur le plan hydraulique étant donnée l'ampleur des phénomènes dans ce tronçon. En effet, cette suppression permettrait de réaliser un lit d'au moins 20 mètres de largeur à ce niveau, ce qui est très favorable. Cela sous-entend le déplacement des garages. Cette solution paraît cependant difficilement acceptable par la commune.
- **La construction d'un nouveau pont.** Il s'agit d'une intervention coûteuse car sa portée devrait être considérablement augmentée. De plus, une élévation de la sous poutre et surtout de la chaussée est à prévoir. Les travaux nécessaires paraissent disproportionnés par rapport au gain que l'on peut en attendre.
- **La réalisation d'un passage à gué.** Cette solution est très séduisante car elle est à la fois économique et elle accepte très bien une très forte crue. Cependant, le site est actuellement très contraint, avec des garages sur les deux rives. Même en positionnant le gué plus en amont pour limiter les pentes (voir Figure 47 page 110), cette nouvelle solution de franchissement paraît difficilement compatible avec l'accès à ces garages. D'autre part, cette réalisation impose de canaliser les eaux ordinaires pour permettre le franchissement en l'absence de crue. Il s'agit d'une contrainte réelle pour des débits aussi importants que ceux du Gros Riou, par exemple en période de fonte de neige. Enfin, le passage à gué

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

imposerait une remontée du lit au droit de l'ouvrage mais aussi en amont dans un secteur critique.

- **La conservation de l'ouvrage actuel**, et la gestion d'éventuels débordements. Cette solution est plus économique et paraît plus sûre qu'un nouveau pont aux dimensions peu différentes. Là encore, la protection doit être dissymétrique :
 - En rive gauche, le village est menacé. Le profil en long de la route paraît présenter une pente suffisante vers le lit pour éviter l'étalement du débordement. D'autre part, la chaussée devra présenter vers l'aval un dévers de 4 % minimum. Enfin, les digues aval devront être ancrées très en retrait par rapport au pont afin de ne pas être contourné par un éventuel débordement.
 - En rive droite, seuls les garages, inondés par l'amont, sont menacés. Une modification modérée du niveau du chemin, entre le pont et les garages paraît possible : un abaissement localisé du profil en long, associé à un décaissement des terrains en amont et en aval, permet un passage en crue préférentiel en rive droite, ce qui est bénéfique pour la rive gauche.

Les deux dernières solutions font l'objet de variantes de dimensionnement ci-après.

3.4.2.4 AMONT DU PONT DE LA R.D. 4

Ce secteur s'étend jusqu'à l'entonnement du pont de la R.D. 4. Deux situations doivent être distinguées :

- En amont, le versant rive droite est en bordure immédiate du lit. L'élargissement du lit ne peut être obtenu qu'au détriment de la rive gauche. Cette zone s'étend jusqu'au profil PT 113.
- En aval, le terrain rive droite est nettement plus bas et est favorable au débordement. L'on se situe alors dans la zone d'entonnement du pont.

Il est très facile, dans le cours amont, d'élargir le lit au détriment de la rive gauche, ce qui permet une nette réduction de la hauteur des dépôts sur ce site. Seul l'ancien moulin fait obstacle à un tel élargissement. Ce moulin est situé à moins de 5 mètres du lit du torrent.

Deux solutions peuvent alors être envisagées :

- Conserver cette construction. Dans un tel cas, un rétrécissement du lit très important doit être réalisé au droit de celle-ci, la largeur étant inférieure à une dizaine de mètres. Localement, pour prévenir un lit trop étroit, une protection massive en enrochements maçonnés doit être construite à proximité immédiate de la construction. Cette protection sera probablement très haute. De plus, une telle réalisation impose un entonnement progressif en amont et ne permet pas une divagation du torrent sur une grande largeur en aval. La réduction du volume de stockage potentiel est alors considérable, ce qui augmente les risques dans les secteurs critiques, en amont et en aval. Une protection est également à prévoir sur la rive opposée en aval de cet entonnement. Dans ce cas, il reste très difficile d'assurer la protection de cette construction et une évacuation est à prévoir en cas de crue ou de fortes précipitations.
- Supprimer ce moulin. Dans ce cas, il est facile de réaliser un chenal large et régulier favorable au dépôt d'un volume important de matériaux et facilitant l'entonnement du pont en aval.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Il ne fait pas de doute que la seconde solution est nettement préférable sur le plan hydraulique et qu'elle est globalement plus économique.

Dans un tel cas, les éléments suivants sont à prévoir :

- Protection en enrochements en retrait de la berge rive gauche. Elle devra former localement une digue. Localement, si un recul est acceptable, la berge peut être laissée non protégée ;
- Recalibrage du lit afin de maximiser sa largeur ;
- Aucune protection n'est à prévoir le long de la rive droite.

3.4.2.5 PONT DE LA R.D. 4

Il s'agit d'un point faible, en particulier parce que ce pont est voûté, ce qui est peu favorable à l'écoulement des crues. La meilleure solution, pour réduire les niveaux en amont de l'ouvrage et réduire les risques de débordement sur la chaussée consiste à construire un nouveau pont à la section nettement majorée. Cette solution est nettement plus chère que l'aménagement de l'ouvrage actuel, même si elle est la seule à permettre d'éviter un débordement sur la route en cas de crue. Elle n'est pas retenue.

Là encore, il est possible de réaliser une protection dissymétrique :

- En rive gauche – où sont concentrés les enjeux – la protection amont sera prolongée de façon à permettre un entonnement très progressif du pont. Cette protection formera un angle de 20 ° maximum par rapport à la direction principale de l'écoulement. Sur les vingt derniers mètres, les enrochements seront liaisonnés avec du béton et leur fruit sera progressivement réduit pour être nul en amont du pont et se raccorder avec la culée du pont. Le sommet de cette protection sera calé au-dessus au niveau de protection requis, et au-dessus du sommet de la berge de la rive droite. Entre les profils 15 et 113, le chemin existant sera réhaussé à cet effet. Entre le profil 113 et la RD4, pour ne pas modifier le profil du chemin et l'accès aux propriétés, la digue sera réalisée par un mur entre le Gros Riou et le chemin ;
- Le lit sera recalibré afin d'offrir un écoulement rectiligne dans l'axe du pont. Ce recalibrage sera réalisé par arasement des terrasses au-dessus du niveau du fil d'eau d'étiage.
- En rive droite, aucun aménagement n'est à prévoir, un débordement dans ce secteur étant très favorable en cas de très forte crue. La route d'accès au passage à niveau, en aval, doit être modifiée afin de prévenir une éventuelle inondation de la maison correspondant au passage à niveau sur la voie ferrée. Il s'agit de travaux modestes qui consistent à réaliser un dévers de 3 à 5 % vers l'aval, sur les cinquante mètres en aval de la RD 4. Les éventuels débordements sont alors conduits vers la Durance.

3.4.2.6 AVAL DE LA R.D. 4

Dans ce tronçon, seule la voie ferrée est menacée. Deux solutions très différentes peuvent y être envisagées :

- Conserver l'ouvrage actuel et mettre en place un système d'alerte afin d'interrompre la circulation des trains en cas de crue. Dans l'état actuel, l'arrivée d'une lave torrentielle pendant le passage d'un convoi pourrait avoir des conséquences dramatiques. La mise en place d'un détecteur de laves torrentielles en amont du village pourrait être très efficace. Pour les phénomènes de charriage, les évolutions du lit sont assez lentes pour offrir un

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

délai suffisant sans système automatique, sous réserve qu'une procédure soit mise au point. A défaut, un autre détecteur sous le pont peut être envisagé.

- Construire un nouvel ouvrage offrant un niveau de sous poutre très supérieur. Une telle solution risque d'être difficile à mettre en œuvre car elle impose une modification importante du profil en long de la voie ferrée. Or, les contraintes sur le site sont fortes, notamment à cause du passage sous la RN 94.

La destruction de la prise d'eau en aval du pont de la voie ferrée est un élément très favorable pour l'écoulement des laves torrentielles ou des petites crues (l'ouvrage est totalement engravé pour les crues exceptionnelles).

D'autre part, les niveaux dans la partie basse du cône de déjection sont nettement inférieurs si les eaux de la Durance ne sont pas dérivées au droit du barrage de Prelles durant la crue. Ainsi, il paraît souhaitable de mettre en place un repère à proximité du confluent. Pour des raisons de sécurité, il est préférable que ce repère soit lisible de la berge rive gauche de la Durance.

Un niveau d'eau majoré de plus de 1.5 mètres par rapport à l'état actuel entre le pont SNCF et le confluent pourrait ainsi être un élément objectif déclenchant l'ouverture des vannes du barrage EDF. Une procédure doit être mise en place afin de minimiser le délai entre le dépassement de cette cote et l'ouverture effective de l'ouvrage.

3.4.3 Risque résiduel

Le risque zéro ne peut être garanti par de tels aménagements, et il est nécessaire de prendre en compte les risques présentés par un dépassement de la crue de projet. Cela est particulièrement vrai pour les écoulements de laves torrentielles dont la combinaison avec les phénomènes de charriage est très mal connue.

Il semble nécessaire de prévoir l'évacuation des personnes dans les secteurs suivants :

- Garages en rive droite dès le début de la crue ou en cas de fortes pluies.
- Ensemble du village de Prelles lorsque la revanche le long de la rive gauche est inférieure à 1.5 mètres ou que le débordement débute en rive droite. Des repères peuvent être disposés le long de la protection pour mettre en évidence une telle situation. Cette évacuation est aussi à prévoir en cas d'écoulement d'une lave torrentielle. Un tel événement doit être très exceptionnel (quelques fois par siècle).

3.5 ANALYSE DES VARIANTES ENVISAGEABLES

3.5.1 Introduction

Pour appliquer le principe d'aménagement retenu, plusieurs variantes sont possibles, notamment à certains points particuliers.

Les principes suivants sont communs aux différentes variantes :

- Maximiser l'élargissement du lit, tout en tenant compte des enjeux présents. Cet élargissement sera particulièrement important au niveau de la plage de dépôt (profils 101 à 107) : d'une part parce que la topographie des lieux le permet, d'autre part parce qu'un élargissement à ce niveau sera très profitable en aval, où sont situés les enjeux ;

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- Protéger les berges au niveau d'enjeux (bâti, infrastructure) par des enrochements libres ou liés en fonction de l'emprise disponible ;
- Réaliser localement (ou conforter) une digue pour empêcher les débordements vers les zones à enjeux (dont le calage sera précisé) ;

La solution de référence et les variantes étudiées (par rapport à la solution de référence) sont les suivantes :

- **Solution de référence :**
 - Dimensionnement pour un événement centennal,
 - Elargissement maximal au niveau de la plage de dépôt en amont,
 - Remplacement du pont communal par un passage à gué,
 - Suppression du moulin ;
- **Variante 1 :** conservation du pont communal et aménagement facilitant les débordements en rive droite ;
- **Variante 2 :** conservation du moulin ;
- **Variante 3 :** dimensionnement pour un événement cinquantennal.

La solution de référence et les variantes 1 et 2 prennent en compte un événement centennal.

3.5.2 Principe retenu pour le dimensionnement

Il s'agit ici du dimensionnement du lit du torrent depuis l'aval de la sortie des gorges. Le lit aménagé doit remplir une double fonction :

- Assurer les écoulements des crues, en particulier des laves torrentielles,
- Permettre le dépôt des matériaux qui ne peuvent arriver en bas du cône de déjection.

Il n'est pas possible de dimensionner précisément les ouvrages pour les écoulements et les dépôts de laves torrentielles :

- D'une part, les caractéristiques de ces écoulements dans le cas des laves torrentielles du Gros Riou ne sont pas connues avec une précision suffisante pour pouvoir réaliser un dimensionnement précis ;
- D'autre part, il n'existe pas de moyen autre que le modèle réduit pour l'étude du transit mais aussi des dépôts de lave torrentielle sur un cône de déjection.

A partir de l'analyse précédente et des conclusions de l'analyse de l'état actuel, la méthode suivante a été retenue :

- Les seuls apports solides en charriage sont retenus par la suite. Les volumes estimés paraissent en effet représenter une valeur élevée pour un épisode de charriage centennal (cinquantennale pour la variante 3) ;
- Les ouvrages sont dimensionnés afin de prendre en compte un écoulement de lave torrentielle en fin de crue sur un lit engravé, ce qui semble correspondre au scénario de 1995. **Ainsi une hauteur de 2 mètres sera retenue pour le dimensionnement des ouvrages par rapport au niveau maximum de l'engravement ;**

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- Les caractéristiques des aménagements doit être compatibles avec l'écoulement d'une lave torrentielle en évitant notamment tout choc frontal et en privilégiant les ouvrages massifs ;
- Une évacuation du cône de déjection doit être envisagé en cas d'écoulement de lave torrentielle, quel qu'en soit son ampleur.

Enfin, les ouvrages sont définis pour améliorer la situation par rapport à l'état actuel, quel que soit le type d'écoulement rencontré.

Il convient de garder à l'esprit que cette démarche correspond à l'état actuel du bassin versant. Une dégradation le long du torrent, en particulier la mise en mouvement de volumes très importants en rive gauche pourrait conduire à des apports nettement supérieurs.

3.5.3 Modélisation des écoulements en charriage

A partir des éléments précédents, mais aussi de la définition de l'aménagement proposé (solution de référence et variantes), une modélisation numérique d'une crue centennale (cinquantennale pour la variante 3) du Gros Riou a été conduite en faisant l'hypothèse de l'absence de débit dans la Durance (cas le plus défavorable).

Il s'agit d'un travail itératif, chaque modification de section conduisant à une évolution des niveaux qui modifie le calage des ouvrages.

Les figures suivantes indiquent les niveaux ainsi obtenus pour **la solution de référence, en comparaison avec l'état actuel**.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

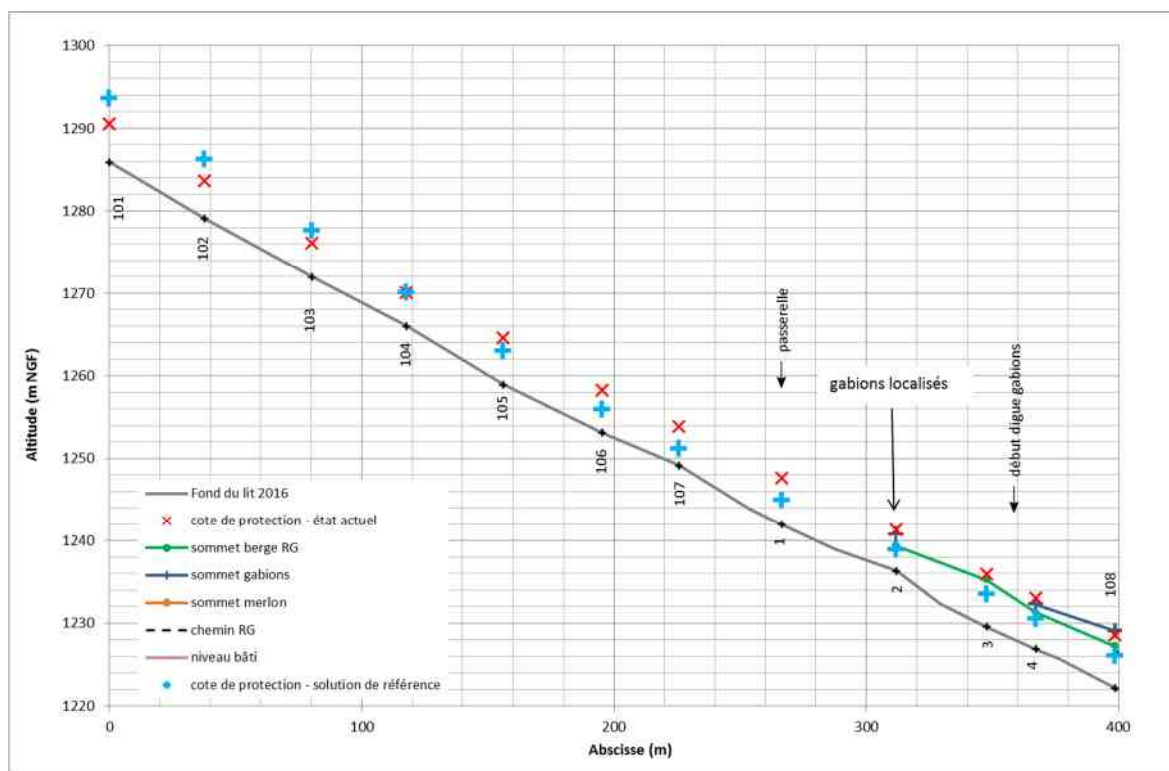


Figure 42 : Simulation de la crue centennale pour la solution de référence (partie amont)

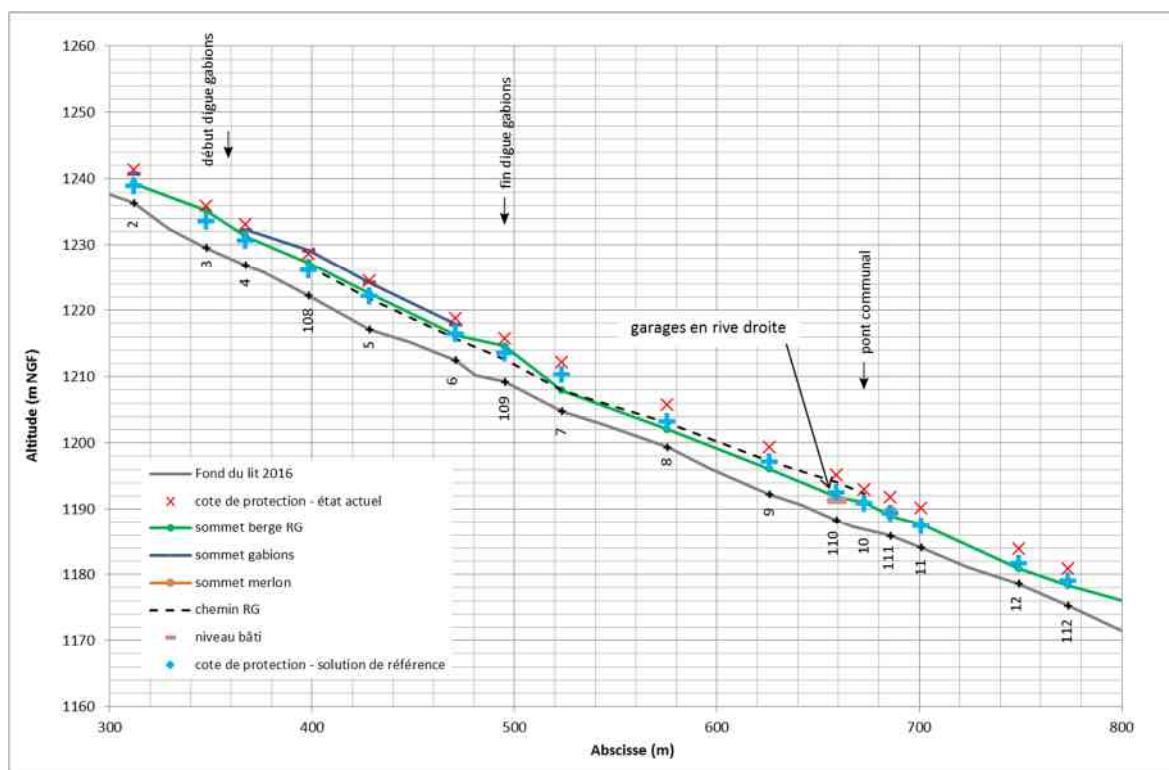


Figure 43 : Simulation de la crue centennale pour la solution de référence (partie médiane)

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

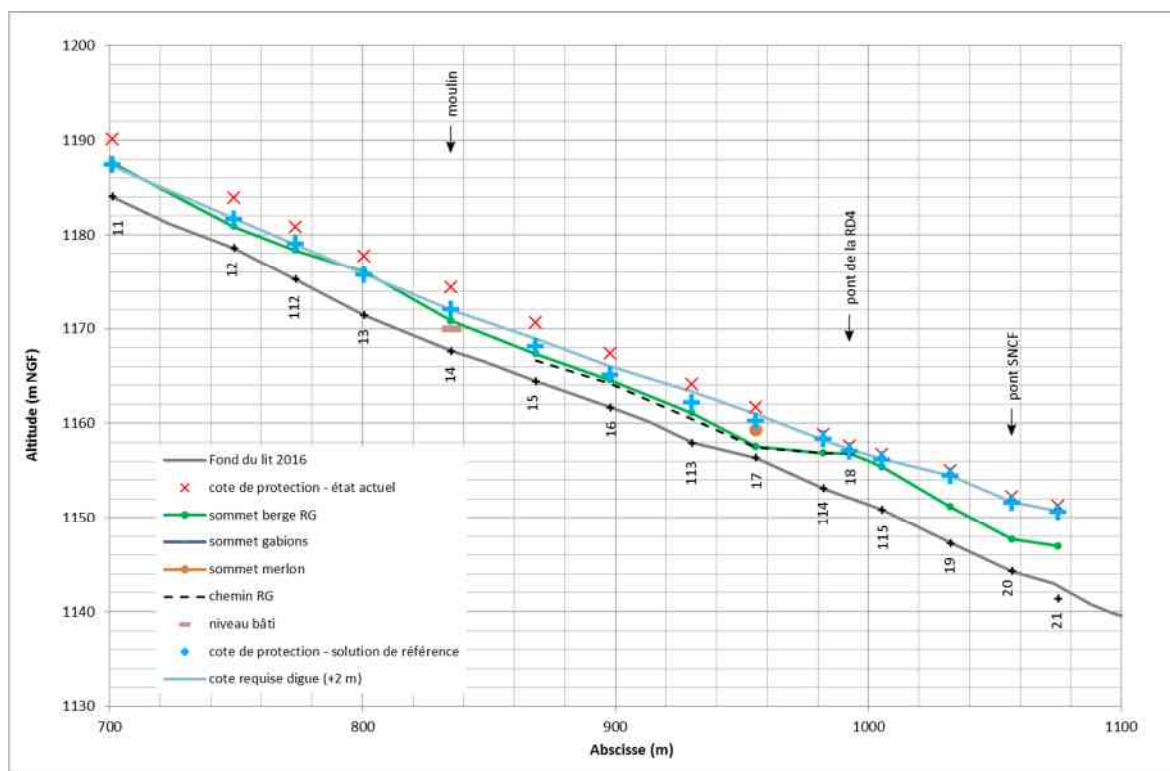


Figure 44 : Simulation de la crue centennale pour la solution de référence (partie aval)

Ces graphiques conduisent aux remarques suivantes :

- L'aménagement permet un abaissement de la ligne d'eau de 1 à 2 mètres. Ce résultat est la conséquence directe de l'augmentation de la capacité de stockage dans le lit qui permet un abaissement de la hauteur de ces dépôts ;
- Ainsi l'abaissement des niveaux n'est pas très sensible dans le bas du cône de déjection où les voies de communications ne permettent pas un élargissement du lit ;
- La position de la cote de protection par rapport à la berge rive droite indique les tronçons sur lesquels une digue sera nécessaire, et le calage de cette digue :
 - De 109 au pont communal,
 - De l'aval du pont communal à l'amont du Moulin,
 - Du moulin au pont de la RD4
- Cette digue est généralement peu élevée (de l'ordre du mètre) mais est plus importante à son extrémité amont (2 m au profil 7) et surtout à son extrémité aval (plus de 2 m au profil 17) ;

Les variantes ont été également calculés, leurs résultats sont comparés sur la figure suivante : ce graphique montre l'écart entre, d'une part, la cote d'engravement (ou de protection) pour la solution de référence et les différentes variantes, et d'autre part, la cote d'engravement (ou de protection) en l'état actuel.

Pour rappel, la numérotation variantes est la suivante :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- Variante 1 : variante avec conservation du pont,
- Variante 2 : variante avec conservation du moulin,
- Variante 3 : avec crue cinquantennale.

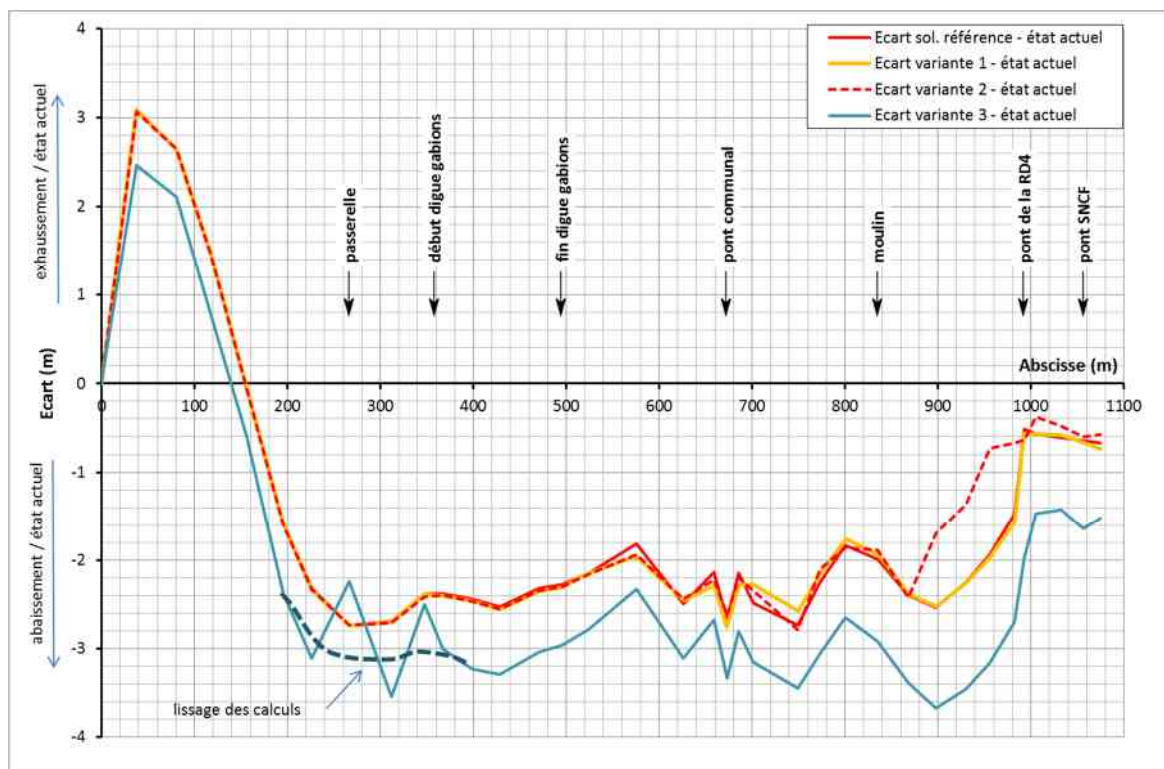


Figure 45 : Comparaison de la solution de référence et des différentes variantes avec l'état actuel

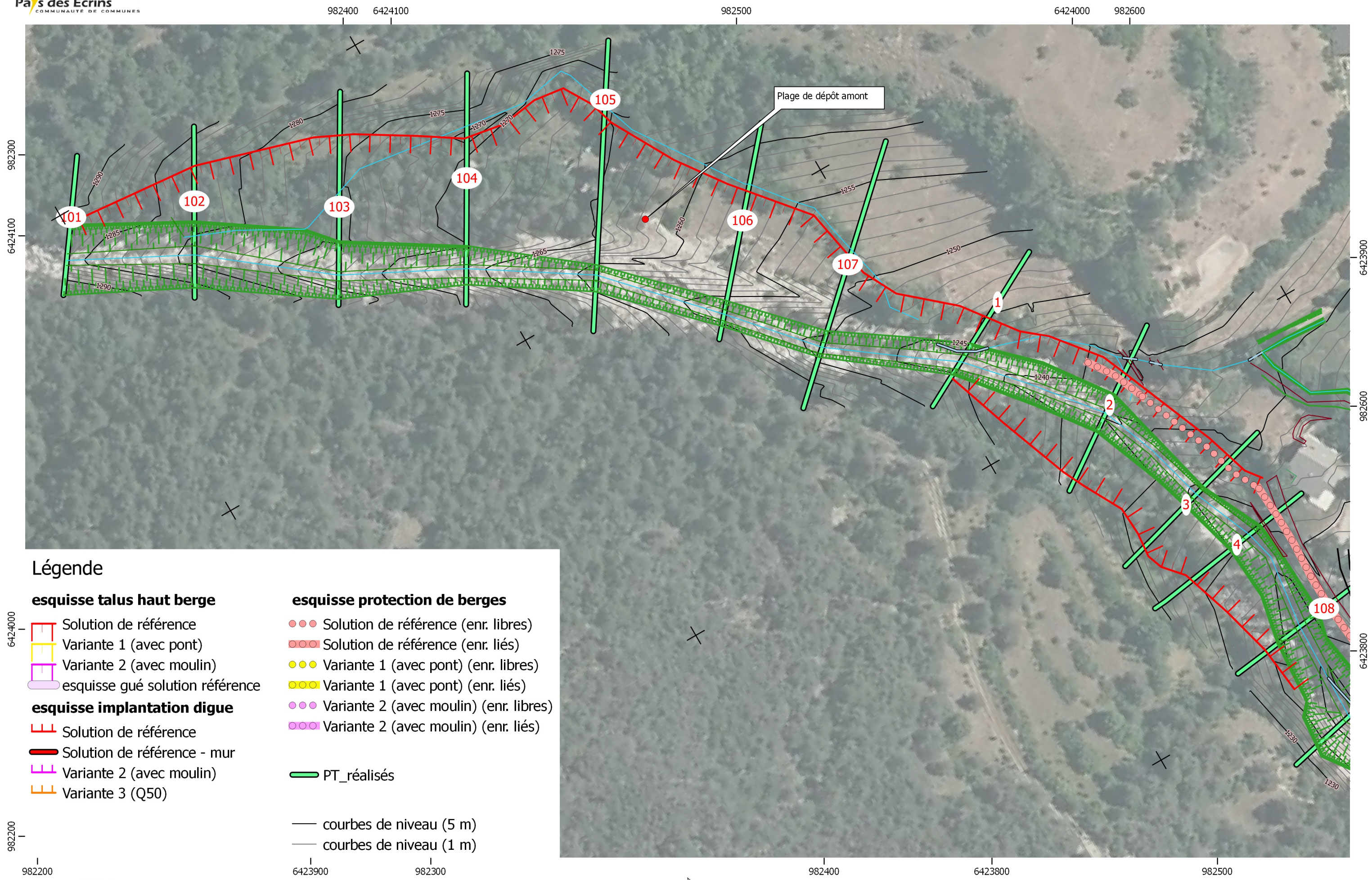
Ce graphe montre que :

- Le choix de la solution au niveau du pont communal influence peu les niveaux d'engravement calculés. L'écart est marginal sauf au niveau du pont (20 cm). Le vrai gain est sur l'aménagement de la zone, la gestion du débordement éventuel et les risques d'obstruction du pont ;
- Au niveau du moulin, si l'écart est aussi marginal en amont de celui-ci, il est nettement plus significatif en aval où la dégradation atteint 1.2 m ;
- L'événement cinquantennal permet un gain moyen de l'ordre de 50 centimètres (plus vers le P14).

3.5.4 Comparaison technique des variantes

La solution de référence et les variantes font l'objet d'une première conception technique (stade esquisse). Ces éléments sont présentés sur les planches pages suivantes, et en profils en travers en annexe 1.

Un chiffrage à ce stade esquisse est également établi, sur la base d'une évaluation sommaire des quantités requises par type de travaux et par profil en travers. Il est indiqué dans le tableau page 112, avec quelques grandeurs caractéristiques de la solution de référence et des variantes.



Légende

esquisse talus haut berge

- Solution de référence
- Variante 1 (avec pont)
- Variante 2 (avec moulin)
- esquisse gué solution référence

esquisse implantation digue

- Solution de référence
- Solution de référence - mur
- Variante 2 (avec moulin)
- Variante 3 (Q50)

esquisse protection de berges

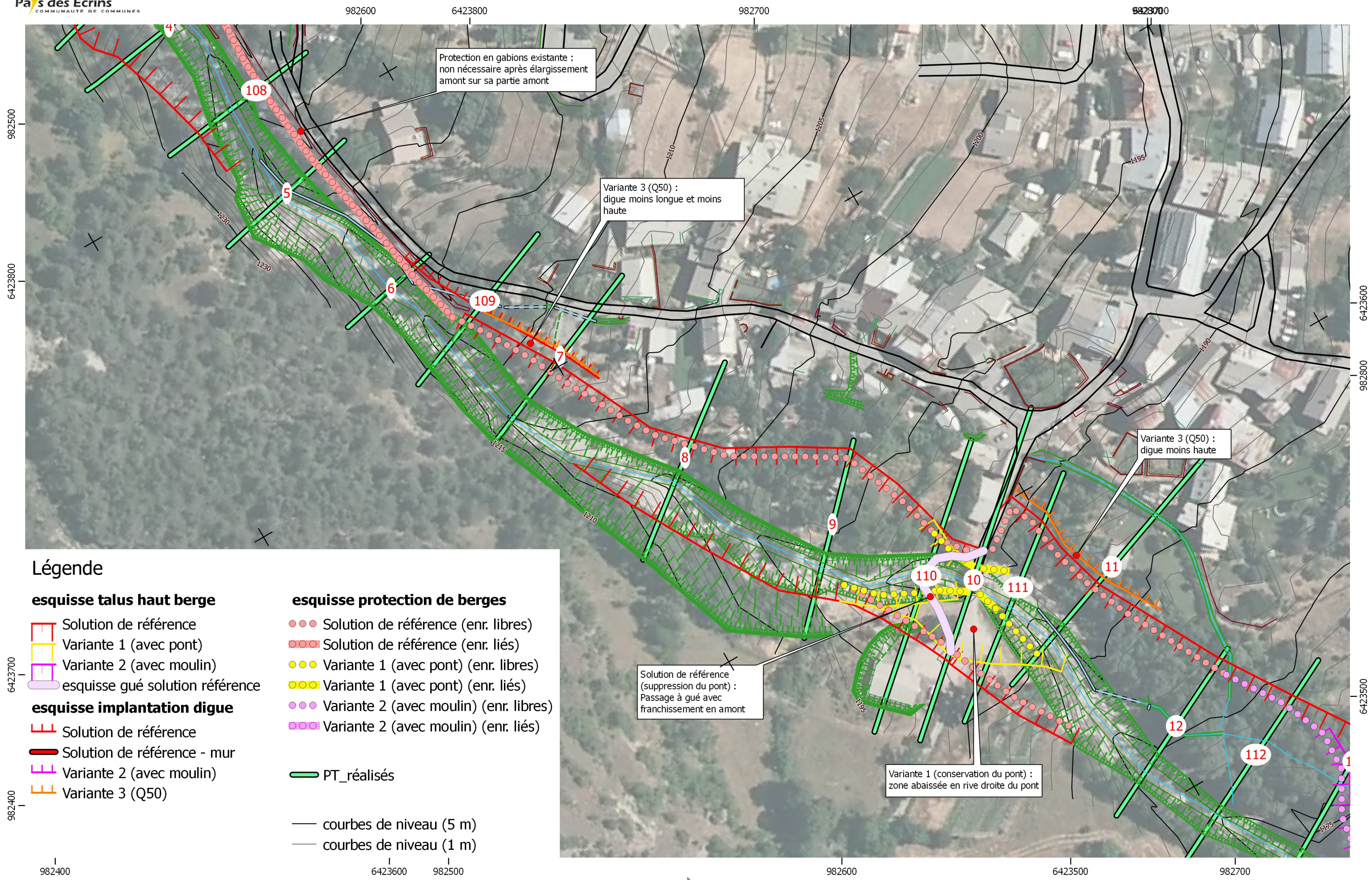
- Solution de référence (enr. libres)
- Solution de référence (enr. liés)
- Variante 1 (avec pont) (enr. libres)
- Variante 1 (avec pont) (enr. liés)
- Variante 2 (avec moulin) (enr. libres)
- Variante 2 (avec moulin) (enr. liés)

PT_réalisés

courbes de niveau (5 m)

courbes de niveau (1 m)

Figure 46 : Esquisse de la solution de référence et des variantes (planche 1)



Légende

esquisse talus haut berge

- Solution de référence
- Variante 1 (avec pont)
- Variante 2 (avec moulin)
- esquisse gué solution référence

esquisse implantation digue

- Solution de référence
- Solution de référence - mur
- Variante 2 (avec moulin)
- Variante 3 (Q50)

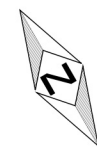
esquisse protection de berges

- Solution de référence (enr. libres)
- Solution de référence (enr. liés)
- Variante 1 (avec pont) (enr. libres)
- Variante 1 (avec pont) (enr. liés)
- Variante 2 (avec moulin) (enr. libres)
- Variante 2 (avec moulin) (enr. liés)

PT_réalisés

- courbes de niveau (5 m)
- courbes de niveau (1 m)

Figure 47 : Esquisse de la solution de référence et des variantes (planche 2)



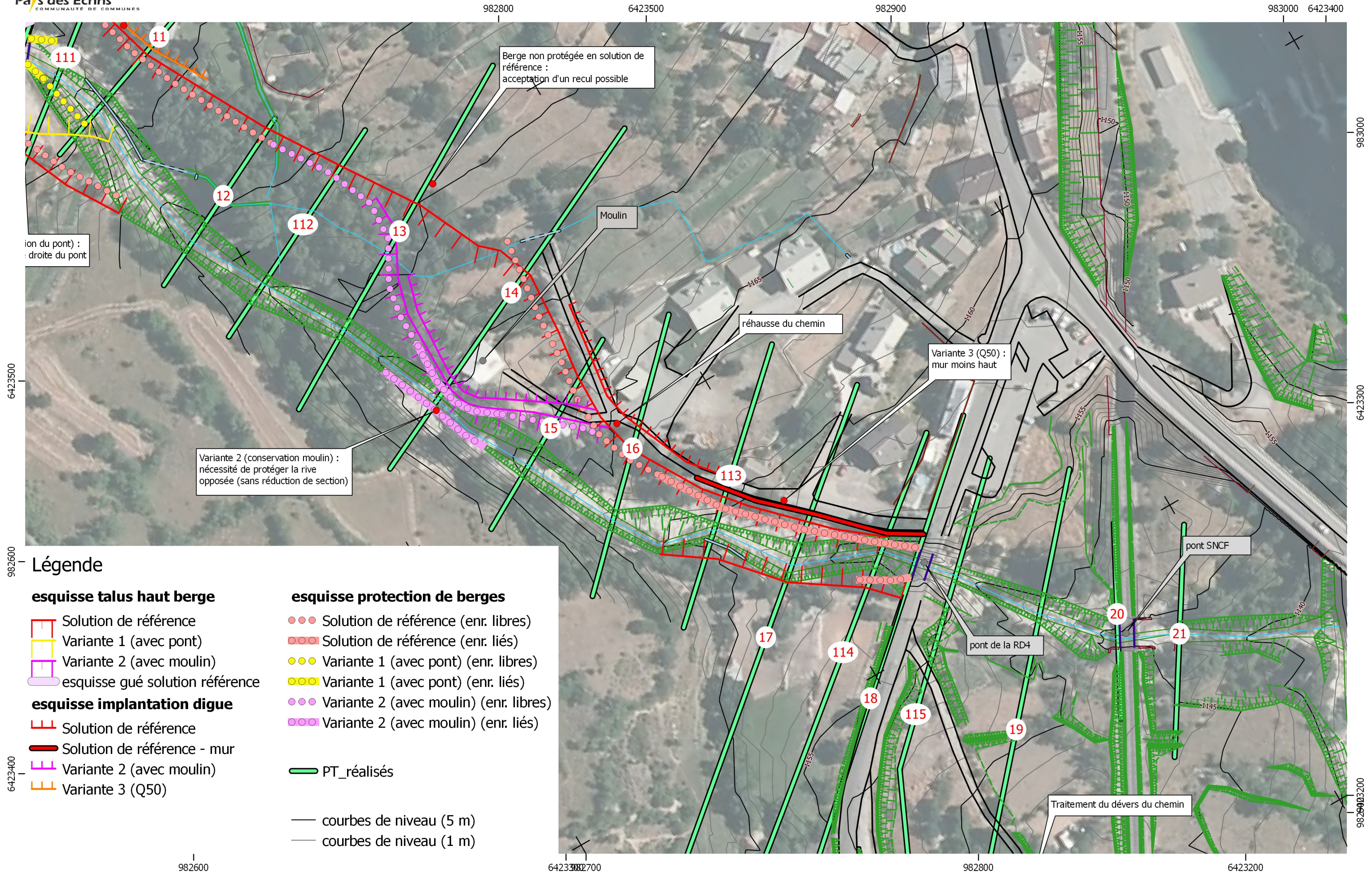


Figure 48 : Esquisse de la solution de référence et des variantes (planche 3)

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Tableau 3 : Quantification et estimation de la solution de référence et des variantes

Intitulé	Solution de référence	Variante 1 (conservation du pont)	Variante 2 (conservation moulin)	Variante 3 (50 ans)
Déblais (m ³)	69 300	68 000	71 600	67 600
Linéaire digue (m)	197	197	244	82
Hauteur maxi digue (m)	2	2	2	2
Volume digue	1 124	1 124	2 374	
Hauteur maxi mur aval (m)	3	3	4	
Volume approché mur (m ³)	119	119	205	
Enrochements libres (m ³)	14 500	14 000	15 900	12 800
Enrochements liés (m ³)	3 300	3 700	4 300	3 300
Création gué au pont communal	20 000.00 €		20 000.00 €	
Traitement du dévers du chemin en aval de la RD 4	10 000.00 €	10 000.00 €	10 000.00 €	10 000.00 €

coûts unitaires (€ HT/m ³)	
Fourchette basse	Fourchette haute
6	12
6	12
400	600
60	80
120	150

Coût estimatif brut (€ HT)	Fourchette basse	1 770 000.00 €	1 760 000.00 €	2 030 000.00 €	1 580 000.00 €
	Fourchette haute	2 600 000.00 €	2 590 000.00 €	2 960 000.00 €	2 340 000.00 €
Coût estimatif (y compris prix généraux et accès [10 %] et divers/imprévus [15 %]) (€ HT)	Fourchette basse	2 240 000.00 €	2 230 000.00 €	2 570 000.00 €	2 000 000.00 €
	Fourchette haute	3 290 000.00 €	3 280 000.00 €	3 740 000.00 €	2 960 000.00 €

Coût des déblais seuls	Fourchette basse	416 000.00 €	408 000.00 €	430 000.00 €	406 000.00 €
	Fourchette haute	832 000.00 €	816 000.00 €	859 000.00 €	811 000.00 €

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

3.6 CHOIX D'UNE VARIANTE

3.6.1 Niveau de protection en amont immédiat de la RD 4

La plus haute de digue se situe en amont immédiat de la RD 4, en rive gauche, alors que l'emprise disponible est restreinte (chemin, habitations). La prise en compte à cet endroit d'un niveau de protection cinquantennale au lieu de centennale permet d'abaisser la crête du mur requise de 0,8 m, réduisant la hauteur du mur de 2,8 m à 1,6 m (exemple au profil 17).

Seule une maison est impactée par ce choix (une deuxième est en limite). Le choix d'abaisser le niveau de protection à l'arrivée sur la RD 4 peut ainsi être une solution intéressante, permettant de diminuer l'ampleur des ouvrages, leur coût et leur impact paysager, tout en ayant un impact limité sur la probabilité d'occurrence des dommages.

3.6.2 Aménagement du pont communal

La solution de référence à cet endroit (remplacement du pont communal par un gué) n'apporte pas de réduction des niveaux de crue significative, si le pont actuel n'est pas obstrué. Elle impacte fortement les accès à la rive droite et aux garages présents.

3.6.3 Devenir du moulin

La conservation de ce bâti a des implications importantes sur les niveaux d'engravement en aval, et sur les travaux à réaliser au droit et aux abords du moulin. Outre le surcoût sur les ouvrages de protection qu'engendre la conservation du moulin (330 à 450 k€), cette solution conduit à des ouvrages imposants, à fort impact paysager et visuel, y compris directement pour le moulin lui-même, et à une forte restriction de la largeur du lit. Très probablement ce secteur devra faire l'objet de mesures de réparation et de confortement lors des crues importantes.

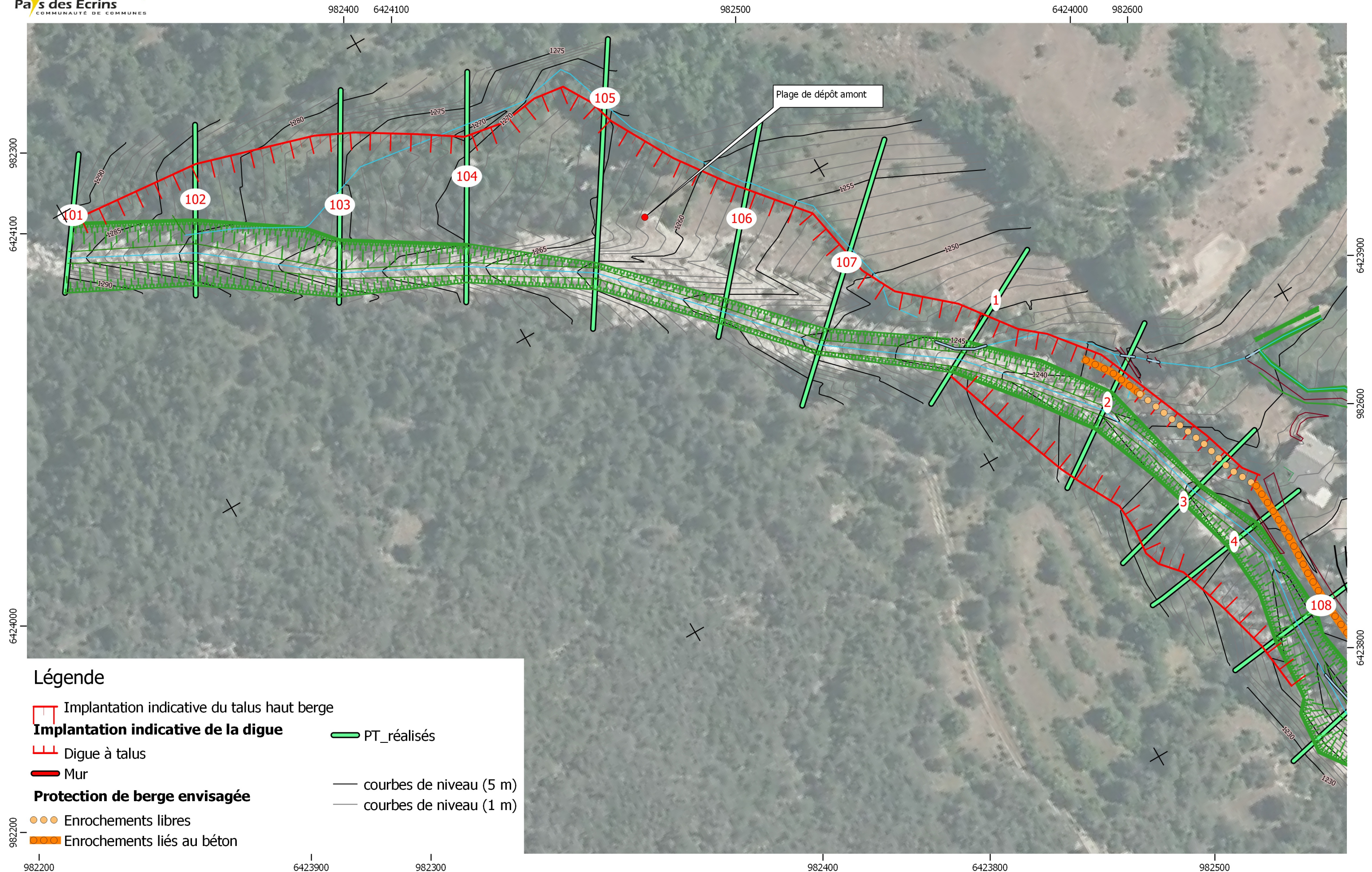
3.6.4 Choix d'une solution

En tenant compte de ces arguments, il a été proposé de retenir la variante 1 (conservation du pont communal et aménagement facilitant les débordements en rive droite), intégrant donc la suppression du moulin. Le niveau de protection correspond à une crue centennale en amont du profil 113 (situé 70 m en amont du pont de la RD4), et à une crue cinquantennale en aval de ce profil.

Le choix de cette solution a fait l'objet d'une délibération du Conseil Municipal du 21 février 2017.

Elle est présentée sur les planches pages suivantes.

Le tableau suivant présente un chiffrage à ce stade esquisse de cette solution, sur la base d'une évaluation sommaire des quantités requises par type de travaux et par profil en travers. Il est également indiqué quelques grandeurs caractéristiques.



**Figure 49 : Esquisse de la solution retenue
(planche 1)**

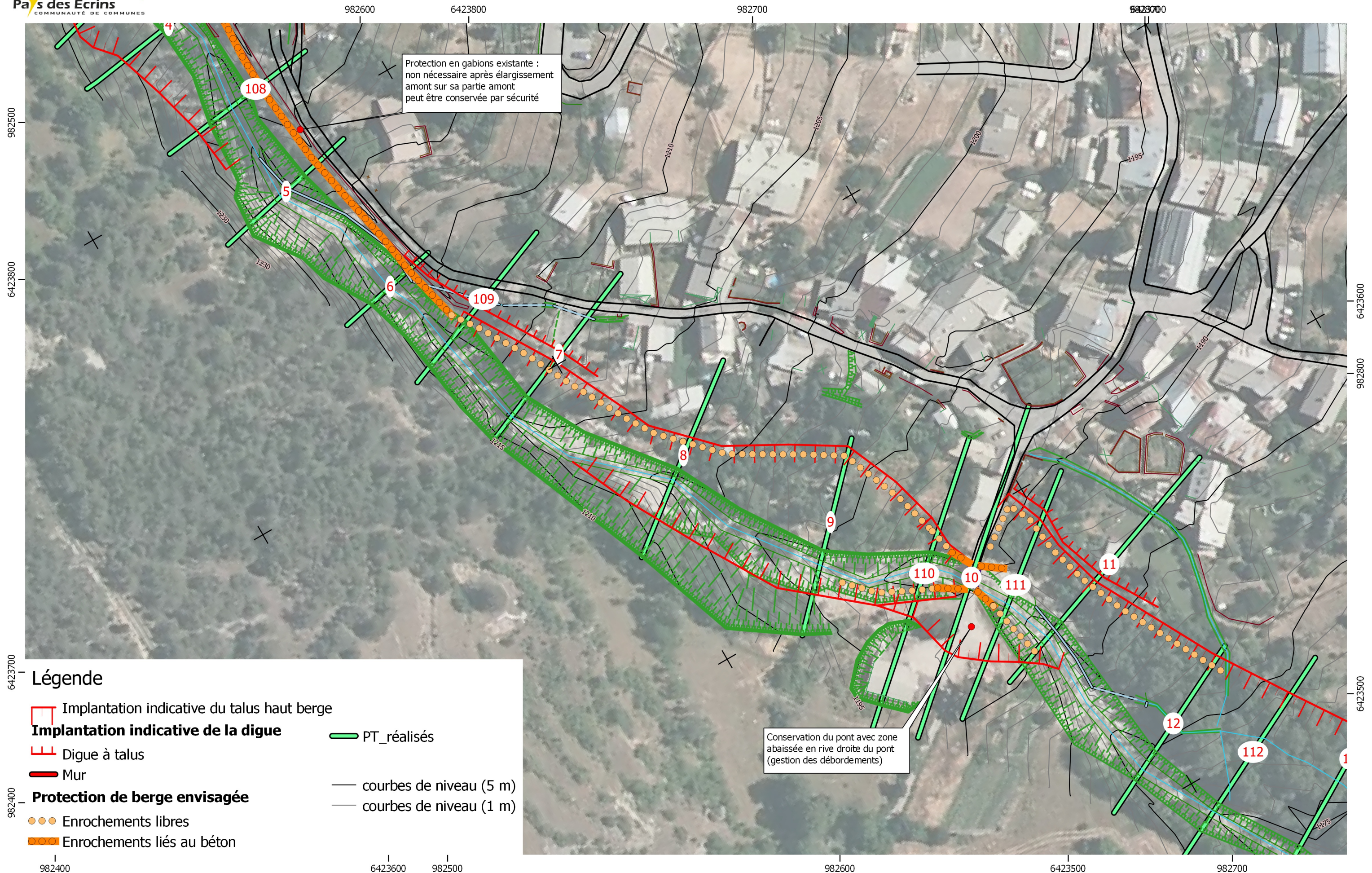
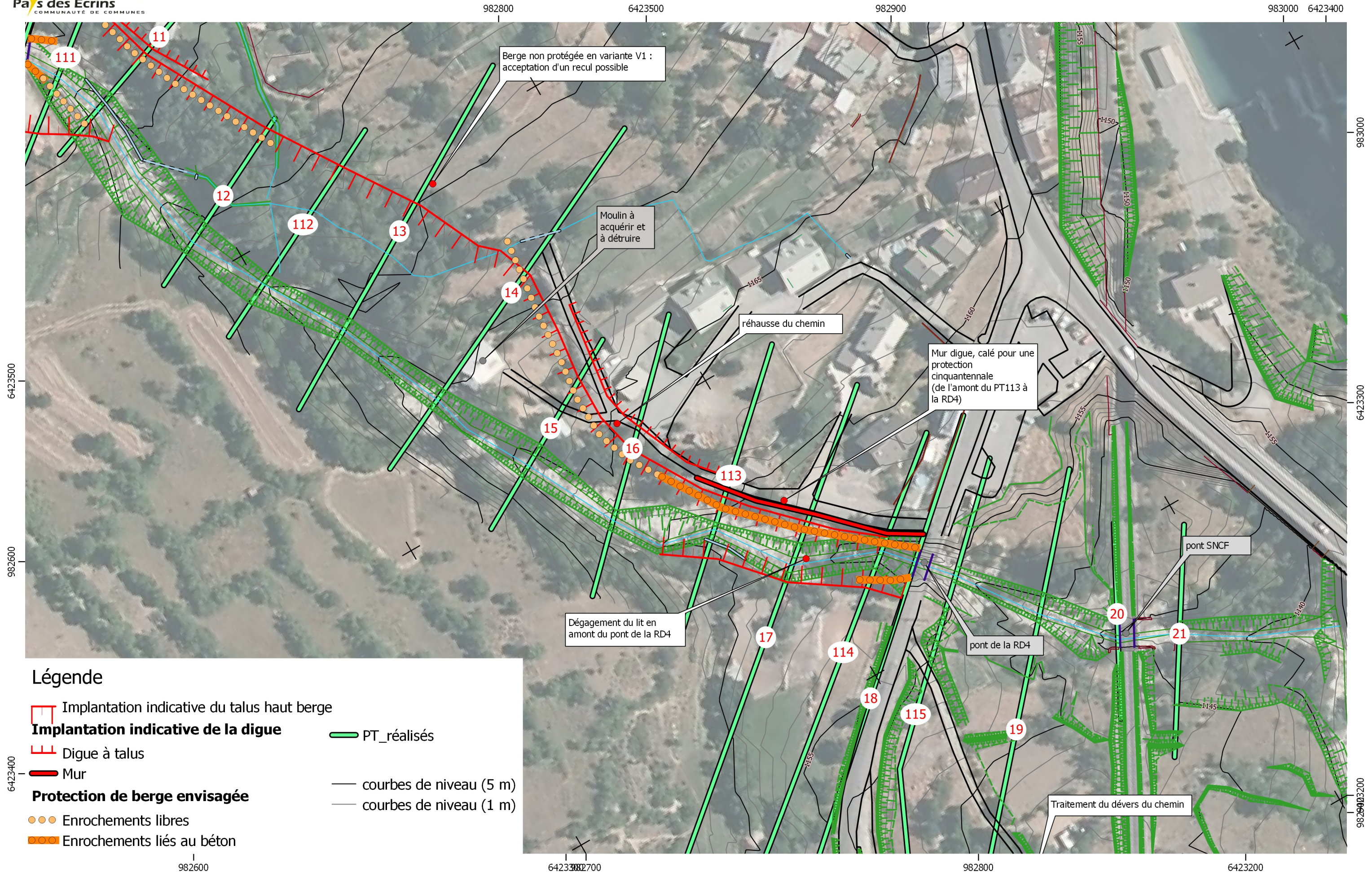


Figure 50 : Esquisse de la solution retenue (planche 2)



Légende

Implantation indicative du talus haut berge

Implantation indicative de la digue

Digue à talus

Mur

Protection de berge envisagée

Enrochements libres

Enrochements liés au béton

PT_réalisés

courbes de niveau (5 m)

courbes de niveau (1 m)

**Figure 51 : Esquisse de la solution retenue
(planche 3)**

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Tableau 4 : Quantification et estimation de la solution retenue

Intitulé	Solution retenue
Déblais (m ³)	68 000
Linéaire digue (m)	197
Hauteur maxi digue (m)	2
Volume digue	1 124
Hauteur maxi mur aval (m)	2
Volume approché mur (m ³)	33
Enrochements libres (m ³)	14 000
Enrochements liés (m ³)	3 700
Création gué au pont communal	
Traitement du dévers du chemin en aval de la RD 4	10 000.00 €

Coût estimatif brut (€ HT)	Fourchette basse	1 720 000.00 €
	Fourchette haute	2 530 000.00 €
Coût estimatif (y compris prix généraux et accès [10 %] et divers/imprévus [15 %]) (€ HT)	Fourchette basse	2 180 000.00 €
	Fourchette haute	3 200 000.00 €

Coût des déblais seuls	Fourchette basse	408 000.00 €
	Fourchette haute	816 000.00 €

coûts unitaires (€ HT/m ³)	
Fourchette basse	Fourchette haute
6	12
6	12
400	600
60	80
120	150

Solution proposée : solution de référence avec conservation pont, protection Q50 au droit et en aval du PT 113

4 MODALITES DE REALISATION

4.1 NATURE DES PROTECTIONS DE BERGE

4.1.1 Principe retenu

L'écoulement des laves torrentielles peut conduire à des contraintes considérables sur les berges. Ainsi, on considère généralement que seules des protections en béton ou en enrochements maçonnés peuvent résister à de tels écoulements.

Cette solution est idéale, mais elle présente un coût très élevé. Ainsi, plusieurs autres solutions alternatives ont été proposées en fonction du fruit acceptable. Il est bien évident qu'elles sont nettement moins coûteuses, mais offrent une plus faible résistance aux crues, en particulier aux laves torrentielles.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Ces ouvrages doivent donc faire l'objet d'un suivi attentif durant la crue afin de permettre de procéder à l'évacuation des secteurs éventuellement menacés par une rupture de digue.

4.1.2 Ouvrage en section courante

Dans ce cas, on considère qu'il n'y a pas de contrainte latérale forte. La mise en place d'une protection de berge avec un fruit de 3H/2V (ou de 2H/1V de préférence) est envisageable. Il est possible d'utiliser des enrochements libres. La figure suivante schématise ce type de construction :

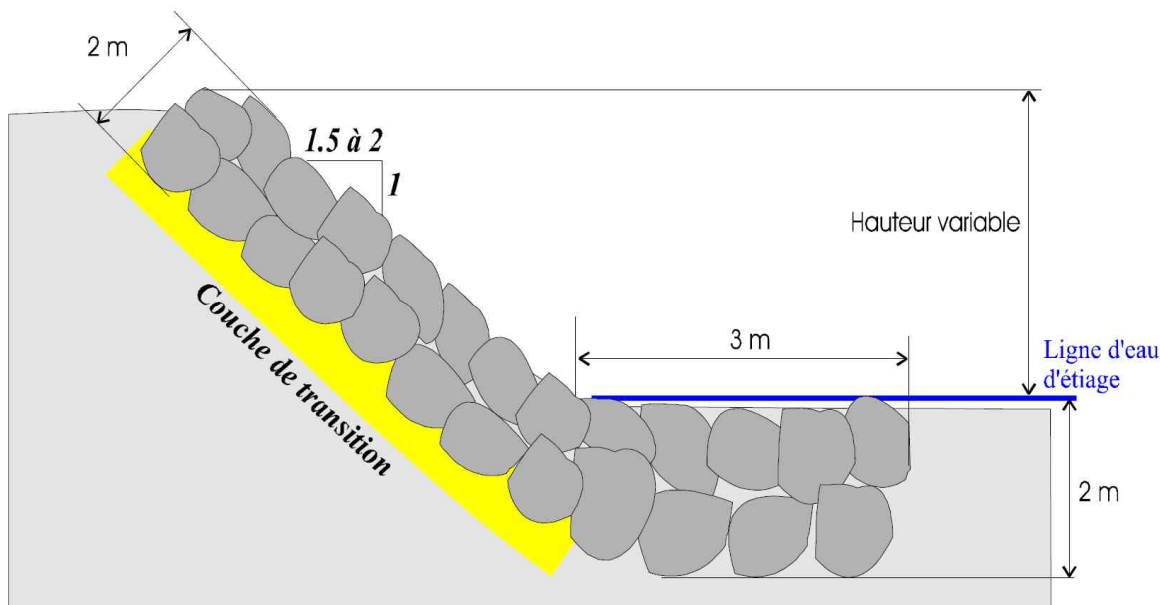


Figure 52 : Coupe schématique des perrés en enrochements libres

Ces protections auront les caractéristiques suivantes :

- Enrochements libres d'un poids de 500 à 5000 kg (poids moyen 1500 kg) disposés en vrac sur deux rangées (épaisseur 2 mètres) ;
- Couche de transition composée d'un géotextile ou d'une couche de 20 centimètres de déchets de carrière (diamètre moyen de 35 mm). Les matériaux grossiers du lit peuvent être utilisés, ce qui réduit le coût de l'ouvrage ;
- Sabot de pied de 3 mètres de largeur et de 2 mètres d'épaisseur avec des blocs de 500 à 5000 kg. Les enrochements seront disposés sur deux couches ;
- La mise en place des enrochements est un facteur essentiel pour leur tenue. En effet, le transit de lave risque d'arracher tous les blocs proéminents. Ainsi, les blocs seront arrangés de façon à présenter la surface la plus régulière possible ;
- Dans le parement, il est souhaitable de disposer les blocs avec leur grand axe perpendiculaire au plan de la protection.

4.1.3 Ouvrage en section étroite

Ces protections concernent les zones où le fruit doit être réduit pour maximiser la section de passage. Elles auront les caractéristiques suivantes :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- Enrochements d'un poids de 500 à 5000 kg (poids moyen 1500 kg) disposés en vrac sur deux rangées (épaisseur 2 mètres) ;
- Liaisonnement des blocs du parement par percolation soignée de béton ;
- Couche de transition composée d'un géotextile ou d'une couche de 20 centimètres de déchets de carrière (diamètre moyen de 35 mm). Cette couche de transition est moins nécessaire que pour des enrochements libres. Là encore, les matériaux du lit peuvent être utilisés ;
- Ce type de protection doit être utilisé chaque fois que le fruit est inférieur à $3H/2V$. Pour un fruit inférieur à $1/1$, les enrochements devront être maçonnés (maçonnerie savoyarde) ;
- Sabot de pied de 4 mètres de largeur et de 2.5 mètres d'épaisseur avec des blocs de 500 à 5000 kg. Les blocs sont disposés sur trois couches ;
- La mise en place des enrochements est un facteur essentiel pour leur tenue. En effet, le transit de lave risque d'arracher tous les blocs proéminents. Ainsi, les blocs seront arrangés de façon à présenter la surface la plus régulière possible. Le liaisonnement des blocs avec le béton facilitera l'obtention d'une surface régulière.

La figure suivante schématise ce type de construction :

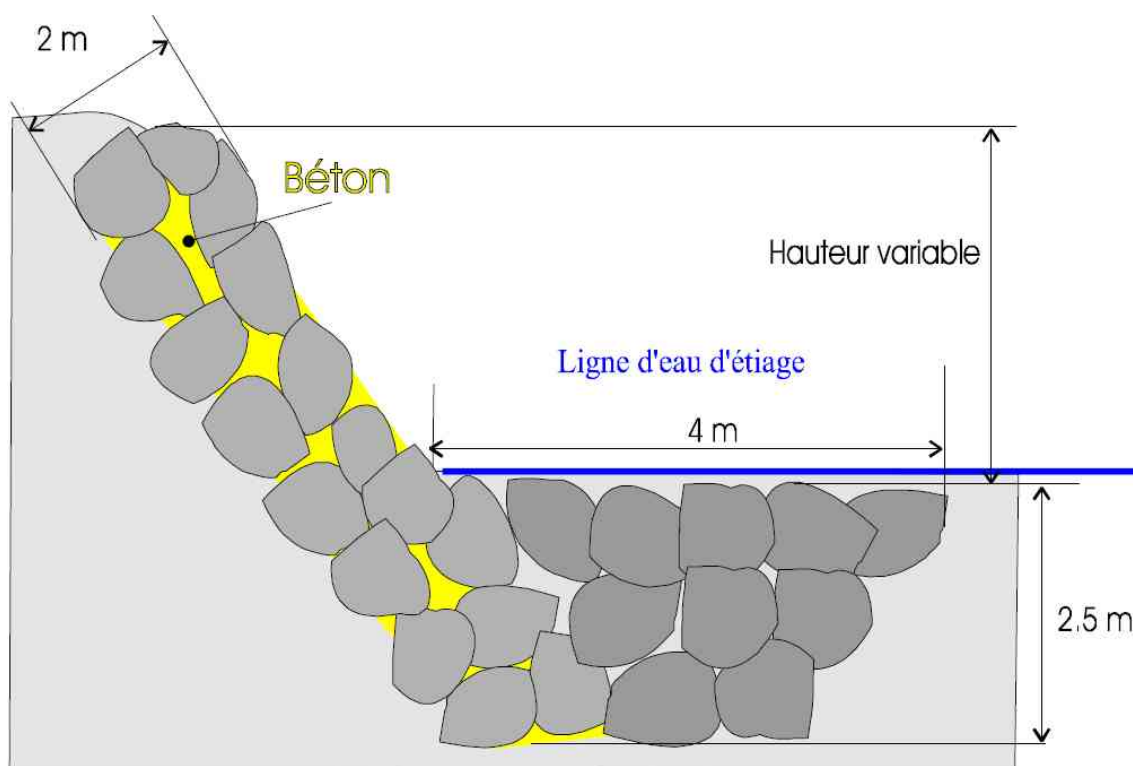


Figure 53 : Coupe schématique des perrés en enrochements liaisonnés

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

4.2 DEFINITION DES INTERVENTIONS PAR PROFIL

4.2.1 Caractéristiques générales

Les travaux préconisés ne prévoient pas d'évolution du fil d'eau d'étiage actuel, celui-ci étant suffisamment régulier. Des évolutions locales de quelques décimètres sont cependant acceptables lors des travaux.

Le tableau ci-dessous reprend les principales caractéristiques des différents profils. Il indique les éléments suivants :

- Abscisse du profil compté depuis l'amont ;
- Niveau du fil d'eau, qui est également le niveau du sommet du sabot de la protection ;
- Cote de protection : niveau du sommet de protection en rive gauche. Il s'agit de la cote minimum permettant d'éviter le débordement pour la crue de projet ;
- La largeur du lit correspondant au fond du lit ;
- La présence d'une digue et sa hauteur sur le terrain en arrière (mur en partie aval) ;
- Le type de protection et sa hauteur en rive droite et en rive gauche.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Tableau 5 : Caractéristiques principales du projet par profils

PT	Abscisse (m)	Fil d'eau 2016 (m NGF)	Cote de protection (m NGF)	Largeur en base du lit (m)	Hauteur digue ou mur RG (m)	Type protection RD	hauteur (m)	Type protection RG	hauteur (m)
101	0.0	1285.9	1293.6	actuelle					
102	37.5	1279.1	1286.3	25					
103	80.3	1272.0	1277.6	40					
104	117.8	1266.0	1270.1	43					
105	156.0	1259.0	1263.0	46					
106	195.3	1253.1	1255.9	33					
107	225.7	1249.2	1251.2	29					
1	266.6	1242.0	1244.9	15					
2	311.9	1236.3	1238.9	31				liés	2.6
3	347.6	1229.6	1233.5	30				libres	4.0
4	367.2	1226.9	1230.6	26				liés	3.7
108	398.5	1222.2	1226.1	15				liés	3.9
5	428.5	1217.1	1222.1	13				liés	5.0
6	471.0	1212.4	1216.5	8	0.8			liés	4.0
109	495.2	1209.2	1213.5	9	0.9			libres	4.3
7	523.6	1204.8	1210.3	19	1.8			libres	5.5
8	575.6	1199.3	1203.2	19				libres	3.9
9	626.1	1192.2	1197.1	36				libres	5.0
110	659.2	1188.3	1192.4	18		libres	4.2	libres	4.2
10	673.0	1186.7	1190.8	6		liés	4.1	liés	4.1
111	685.9	1185.9	1189.3	46	0.4	libres	3.5	libres	3.5
11	701.1	1184.1	1187.4	31	0.9	libres	3.3	libres	3.3
12	749.2	1178.6	1181.6	32				libres	3.0
112	773.5	1175.3	1179.0	39					
13	800.7	1171.4	1175.7	39					
14	835.1	1167.6	1172.0	48				libres	4.3
15	868.3	1164.5	1168.1	30	0.7			libres	3.6
16	898.0	1161.7	1165.1	18	0.9			libres	3.5
113	930.3	1157.9	1160.9	actuelle	0.5			liés	2.5
17	955.5	1156.4	1159.0	actuelle	1.6			liés	1.0
114	982.3	1153.1	1156.8	actuelle	0	liés	3.0	liés	3.8
18	992.7	1156.8	1157.1	actuelle					
115	1005.3	1150.8	1156.1	actuelle					
19	1032.5	1147.3	1154.4	actuelle					
20	1056.7	1144.3	1151.6	actuelle					
21	1075.0	1141.3	1150.6	actuelle					

On trouvera en annexe le tracé de tous les profils avec les modifications de la section d'écoulement.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

4.2.2 Points particuliers

A l'amont du profil 2, l'objectif est de restaurer une zone d'épandage aussi large que possible afin de permettre le dépôt des matériaux lors des crues extrêmes et un étalement des laves torrentielles. Cette zone doit permettre le dépôt d'un bourrelet frontal imposant en permettant le changement de lit pour l'écoulement.

Il est proposé de conserver la digue en gabions actuelle, même si elle n'est plus strictement nécessaire. Cela offre une sécurité supplémentaire en cas de dépassement de la crue de projet.

Au droit des profils 9 et 10, l'aménagement doit privilégier le débordement en rive droite, du côté des garages, ce qui impose – entre autres – le minage du très gros bloc en amont immédiat des garages. Comme déjà évoqué, cette dissymétrie dans la protection est indispensable pour protéger la zone urbanisée en rive gauche. Le recentrage du lit mineur est souhaitable lors des travaux.

Entre les deux ponts routiers, des aménagements légers sont possibles dans le lit (jardins par exemples), celui-ci étant particulièrement large. Cependant, il est nécessaire d'avoir à l'esprit que ces aménagements peuvent être détruits lors des fortes crues, en moyenne une fois tous les 20 à 40 ans, mais ils peuvent l'être deux années de suite. Ils ne doivent pas limiter le volume de stockage dans le lit majeur. D'autre part, il convient d'être prudent afin d'éviter l'obstruction du pont de la R.D. 4 par la fourniture d'éléments de grande taille. Ainsi, dans le lit majeur, on proscrira tous les arbres de plus de 8 mètres de hauteurs.

Il est nécessaire de reprendre le profil de la piste routière conduisant au passage à niveau afin de réduire l'ampleur des débordements et protéger cette construction. Pour cela, un dévers de 5 % vers l'aval sera réalisé sur les 50 premiers mètres de cette piste à partir de la R.D. 4. Il s'agit d'une intervention modeste.

En aval du pont de la R.D. 4, l'objectif de l'aménagement est de favoriser l'écoulement et le dépôt des matériaux de façon à protéger la traversée urbaine. Notons que l'aménagement proposé, en ménageant de vastes zones de dépôts réduire la fréquence et l'ampleur des débordements dans ce secteur.

4.3 POSSIBILITE DE PHASAGE DES TRAVAUX

La réalisation en plusieurs tranches des travaux est possible, sachant qu'il est évident qu'un aménagement partiel n'offrira pas le même niveau de protection que l'aménagement complet.

L'aménagement en premier lieu de la plage de dépôt amont permettra ainsi de disposer d'une capacité importante de stockage des matériaux pour une prochaine crue. Cela améliorera significativement la protection de la zone urbanisée en aval, mais sans atteindre la capacité requise pour un événement important, et sans sécurisation des berges actuelles, très sensibles.

4.4 ACCES

Les voies existantes ne permettent qu'un accès ponctuel (RD4) ou présentent de fortes contraintes de gabarit (accès au pont communal, rue du Paroir pour accéder à la digue en gabions). Compte-tenu de l'ampleur des travaux et des volumes de terrassements et d'enrochements, il est donc nécessaire d'aménager des accès spécifiques au torrent pour les travaux.

Deux moyens d'accès à la zone des travaux paraissent envisageables :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

- Depuis la RD4, par la création d'une piste dans le torrent même ;
- Par l'amont, en se servant du chemin existant dans le versant rive gauche pour accéder à la zone de la plage de dépôt.

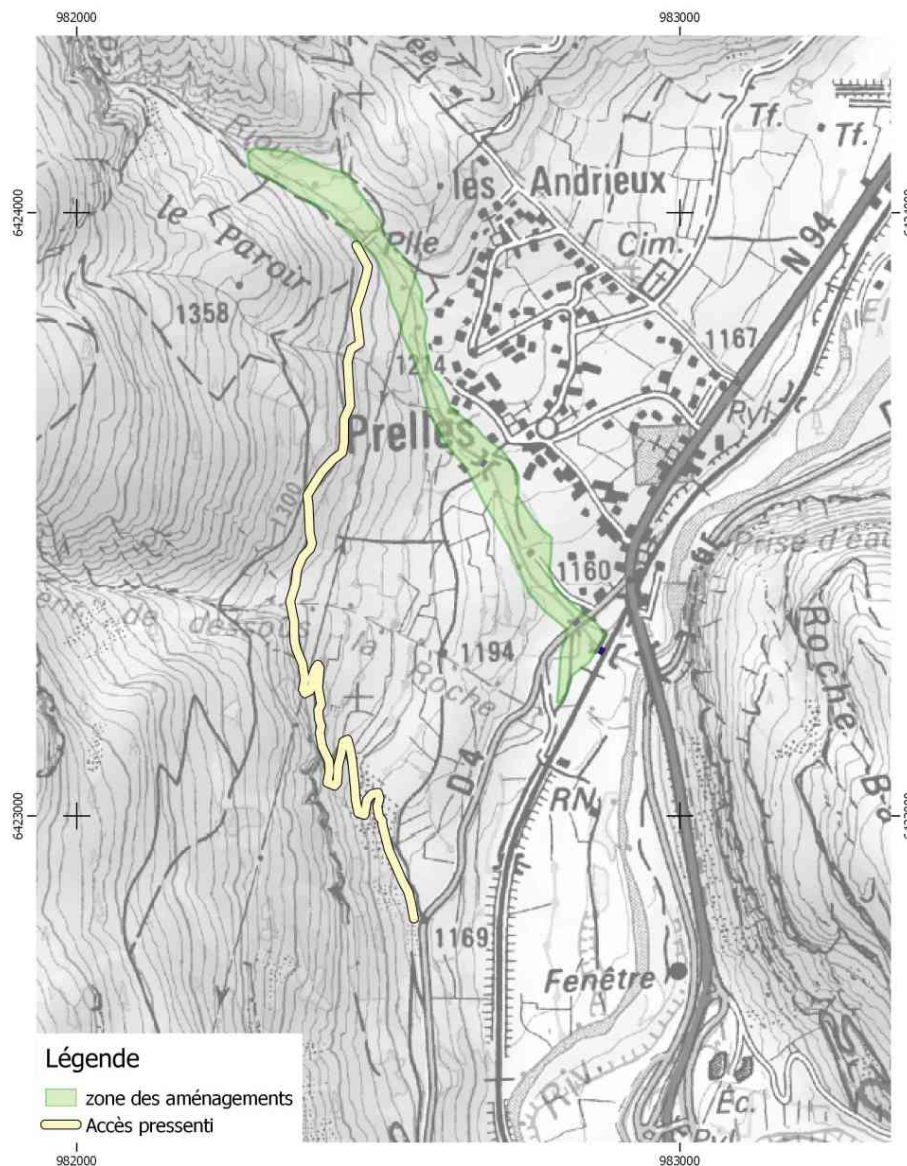


Figure 54 : Tracé du chemin existant pouvant servir d'accès travaux à la plage de dépôt

4.5 RESEAUX, PRISES D'EAU ET CANAUX

La carte page 125 présente :

- Sur la base des DT réalisés en janvier 2017, les réseaux recensés à proximité du projet,
- Sur la base des levés topographiques de septembre 2016 (Réf. 9) les réseaux d'irrigation en lien avec le Gros Riou.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

Cette carte est indicative et devra être affinée et complétée lors des phases ultérieures de conception du projet, notamment dans le détail des réseaux d'irrigation prélevant dans le Gros Riou, ou encore pour l'éclairage public aérien (candélabre existant en rive gauche en amont de la RD4, et non indiqué par les DT).

Le projet d'aménagement du Gros Riou devra prendre en compte les réseaux d'irrigation existant et les rétablir. Les prises d'eau dans le Gros Riou doivent être considérées comme des ouvrages temporaires. En cas de traversée de la digue par un réseau, le diamètre de la canalisation sera le plus réduit possible et des écrans amont et aval seront disposés.

4.6 VALORISATION DES MATERIAUX

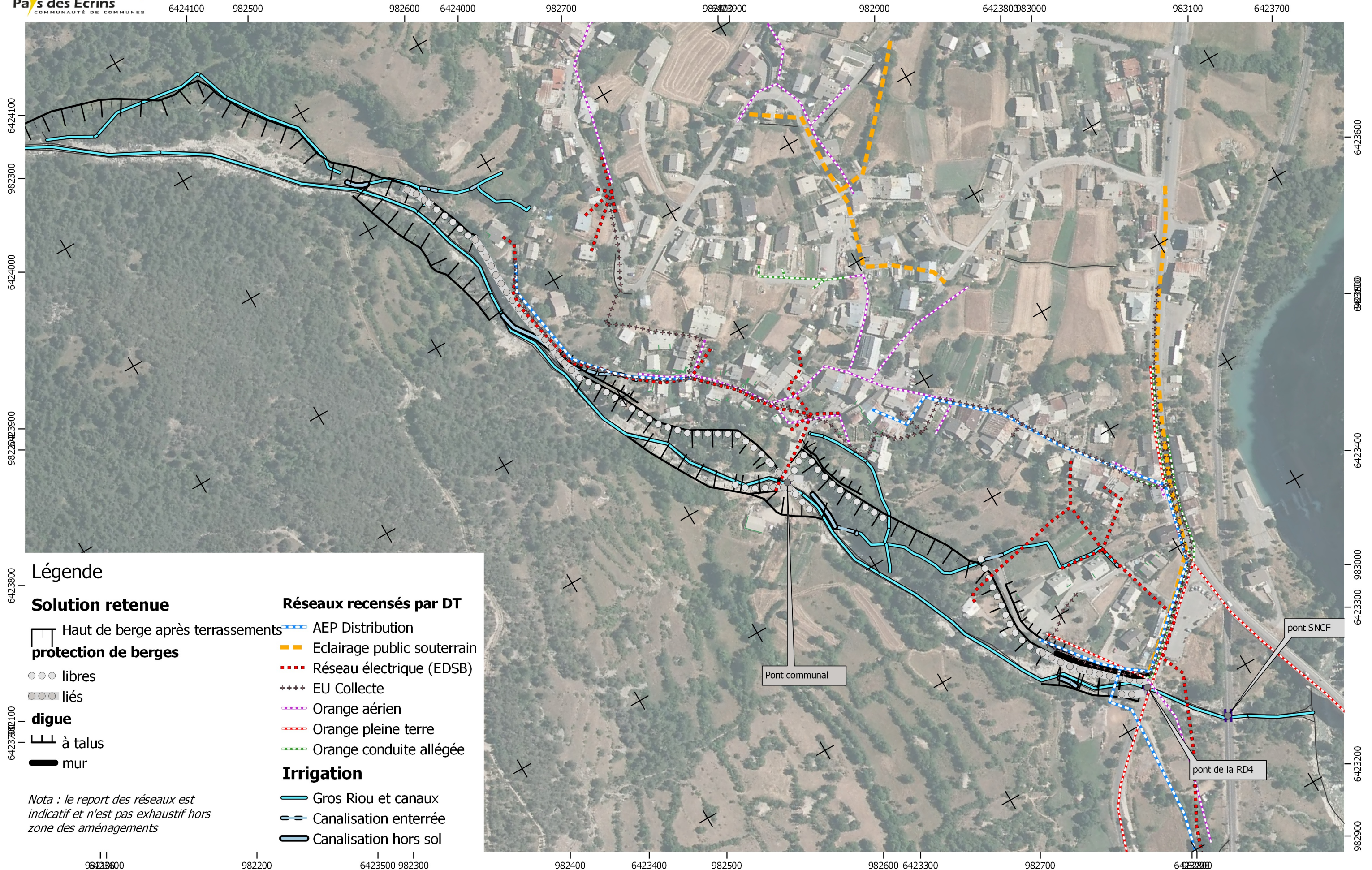
Le projet d'aménagement du Gros Riou comporte d'importantes quantités de déblais à évacuer : plus de 65 000 m³ selon les estimations réalisées à ce stade des études. Ces matériaux pourront servir à réaliser la digue, mais ce poste ne demande qu'environ 1 000 m³ de remblais.

Tout en conservant le pavage en place du lit du Gros Riou, les blocs présents dans les volumes à déblayer, si leurs caractéristiques sont adaptées, pourront également être utilisés pour constituer les protections en enrochements.

Même avec ces possibilités de valorisation au sein de l'aménagement, le bilan des matériaux sera très excédentaire.

A la fois pour diminuer le coût du projet et trouver un débouché à ces matériaux, il sera pertinent de les valoriser économiquement comme ressource de granulats.

Une analyse pétrographique des matériaux à déblayer est proposée, afin de mieux connaître leur qualité et la faisabilité de leur valorisation économique.



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

4.7 INTERFACE AVEC LE PROJET HYDROELECTRIQUE

Un projet communal d'équipement hydroélectrique est en cours d'étude par EDSB (Energie Développement Services du Briançonnais).

Ce projet comporte une prise d'eau sur le Gros Riou à la cote 1313 m NGF (en amont de la plage de dépôt projetée), une conduite en limite rive gauche de la plage de dépôt, puis empruntant le chemin d'accès en rive droite, pour le quitter et plonger sur la micro-centrale située en rive droite du Gros Riou en amont de la RD4 et de la zone basse voisine.

Ce projet a pris en compte le présent projet d'aménagement du Gros Riou, à la fois dans le tracé des ouvrages (partie amont de la conduite en limite de la plage de dépôt), et dans l'emplacement de la micro-centrale, plus à l'abri des crues du torrent que l'emplacement initialement envisagé (en aval immédiat de la RD4).

La réalisation conjointe (ou à suivre) des deux projets serait pertinente pour bénéficier du même accès aux parties amont et pour limiter les impacts en phase travaux.

4.8 ENTRETIEN DES OUVRAGES

Un des grands principes de l'aménagement étant d'élargir le torrent pour favoriser le stockage des matériaux, le corollaire est de réaliser un suivi régulier du lit et son entretien en tant que de besoin.

Cet entretien sera a priori peu fréquent si l'on se base sur l'historique des crues : a priori tous les 10 à 20 ans. L'accès à la plage de dépôt amont devra être conservé après travaux pour faciliter les opérations d'entretien.

Un profil en long objectif sera défini sur la base du profil en long actuel. L'avant-projet précisera les modalités de suivi du lit (repères, modalités de réalisation des levés...).

Les protections en enrochements devront faire l'objet d'une visite complète après chaque événement de crue important. En fonction des évolutions constatées, des rechargements ou réparations pourront être nécessaires.

Les dossiers à établir pour la digue (voir ci-après) définiront les consignes de surveillance des ouvrages en toutes circonstances et les consignes d'exploitation en période de crue.

4.9 POSITIONNEMENT REGLEMENTAIRE

4.9.1 Au titre des articles L.214-1 à 6 du Code de l'Environnement

Le référentiel cartographique des cours d'eau, établi par les services de l'Etat (DDT) début 2017 considère le Gros Riou comme un cours d'eau au sens du code de l'Environnement.

Au regard de l'article R.214-1 du Code de l'Environnement (loi sur l'eau du 3 janvier 1992), et en application des articles L. 214-1 à L.214-6, le projet d'aménagement du Gros Riou relèvent des rubriques suivantes :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

Tableau 6 : Rubriques Loi sur l'Eau concernées par le projet

TITRE 3 : IMPACTS SUR LE MILIEU AQUATIQUE OU SUR LA SÉCURITÉ PUBLIQUE			
N° Rubrique	Désignation de l'opération	Procédure	Justification
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 (A) ; 2. Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m (D). Le lit mineur d'un cours d'eau est l'espace recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement.	Autorisation	Le projet prévoit l'élargissement du lit du Riou, et donc la modification de son profil en travers, sur un linéaire de 990 ml
3.1.4.0	Consolidation ou protection des berges, à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales vivantes : 1. Sur une longueur supérieure ou égale à 200 m (A) ; 2. Sur une longueur supérieure ou égale à 20 m mais inférieure à 200 m (D)	Autorisation	Les berges seront renforcées par enrochements libres ou liés sur un linéaire total de 640 m.
3.1.5.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant 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 m² de frayères (A) ; 2. Dans les autres cas (D).	A déterminer	Le Gros Riou n'est pas classé au titre de l'article L214-17 du Code de l'Environnement, ni classé comme réservoir biologique dans le SDAGE. Le projet ne prévoit pas de modification du lit d'étiage. La présence de frayères, de zones de croissance ou de zones d'alimentation ; ainsi que l'impact du projet sur celles-ci sera à vérifier.
3.2.6.0	Ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions : 1. système d'endiguement au sens de l'article R. 562-13 (A) 2. aménagement hydraulique au sens de l'article R. 562-18 (A)	Autorisation	Les tronçons de digues prévus par le projet constitueront un système d'endiguement

Si le maître d'ouvrage du projet et de sa maintenance obtient la maîtrise foncière de l'emprise du projet, l'entretien du lit du Gros Riou, et de la plage de dépôt amont, pourra se faire selon l'article L 215-14 du Code de l'Environnement et sera basé sur un respect du profil objectif (profil en long actuel), sans limite de validité. Les modalités de cet entretien seront portées dans le dossier d'autorisation.

Le projet d'aménagement du Gros Riou relève donc d'une procédure d'autorisation au titre des articles L.214-1 à 6 du Code de l'Environnement.

Il se situe en partie dans la zone de conservation spéciale Natura 2000 FR9301502 « Steppique Durancien et Queyrassin » et nécessitera la réalisation d'un dossier d'évaluation des incidences Natura 2000.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS



Figure 56 : Localisation de la zone Natura 2000 vis-à-vis du projet

4.9.2 Au titre de l'article R.122-2 du Code de l'Environnement

Cet article précise les projets qui font l'objet d'une évaluation environnementale, de façon systématique ou après un examen au cas par cas, en application du II de l'article L. 122-1.

Sont soumis à examen au cas par cas, les ouvrages de canalisation, de reprofilage et de régularisation des cours d'eau s'ils entraînent une artificialisation du milieu sous les conditions de respecter les critères et seuils d'autorisation des rubriques loi sur l'eau 3.1.2.0, 3.1.4.0, 3.1.5.0.

Le projet est donc soumis à un examen au cas par cas.

4.9.3 Relatif à la maîtrise foncière des terrains

L'aboutissement du projet doit passer par la maîtrise foncière des terrains. Même si une procédure d'acquisition à l'amiable des terrains pourra être privilégiée, une déclaration d'utilité publique paraît inévitable pour sécuriser cette acquisition. Un dossier de DUP sera donc à établir.

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS

4.9.4 Relatif au système d'endiguement

Le dossier d'autorisation au titre de l'article R.214-1 sera complété par les éléments suivants (voir détail de l'article R241-6 pour le texte complet) :

- Estimation de la population de la zone protégée et indication du niveau de protection,
- Liste, descriptif et localisation des ouvrages préexistants de protection contre les inondations,
- Les études d'avant-projet des ouvrages à modifier ou à construire,
- L'étude de dangers,
- Des consignes de surveillance des ouvrages en toutes circonstances et des consignes d'exploitation en période de crue.

L'étude de dangers (EDD) justifie que les ouvrages sont adaptés à la protection annoncée (diagnostic complet des ouvrages, définition de la zone protégée et justification du niveau de protection) et qu'il en va de même de leur entretien et de leur surveillance (organisation du gestionnaire).

Le système d'endiguement projeté serait a priori de classe C :

- La hauteur maximale de la crête de l'ouvrage au-dessus du terrain naturel dépasse 1,5 m (1,8 m au droit du profil 7) ;
- La zone protégée (en tenant compte du gain réalisé par ailleurs par l'élargissement du lit) concernerait environ 15 à 20 habitations, soit une population très probablement supérieure à 30 personnes.

L'EPCI à fiscalité propre ayant la compétence GEMAPI (soit la CCPE depuis le 1er janvier 2017) sera le gestionnaire du système d'endiguement ainsi défini. Elle devra établir un dossier technique de l'ouvrage, ainsi qu'un « *document décrivant l'organisation mise en place pour assurer l'exploitation de l'ouvrage, son entretien et sa surveillance en toutes circonstances, notamment les vérifications et visites techniques approfondies, le dispositif d'auscultation, les moyens d'information et d'alerte de la survenance des crues [...] conformes aux prescriptions fixées par l'arrêté préfectoral autorisant l'ouvrage [...]* ». (Code de l'Environnement, art R214-122).

Dans le cas d'un ouvrage de classe C, l'EDD est actualisée tous les 20 ans. Le rapport de surveillance est établi tous les 6 ans.

Le choix du niveau de protection est important, car la collectivité s'engage sur la pérennité de l'efficacité de l'ouvrage pour ce niveau de protection. En contrepartie, elle sera exonérée de responsabilité pour les crues au-delà de ce niveau de protection (sous réserve qu'elle conçoit, surveille et entretient ces ouvrages dans les règles de l'art).

Le choix du niveau de protection étant libre pour le GEMAPIEN, et compte tenu que pour les systèmes d'endiguement neufs de classe C, la probabilité d'occurrence annuelle minimale exigée sera de 50 ans à compter du 01/01/2020, le choix d'un niveau cinquantennal en partie aval est conforme à la réglementation pour un ouvrage de classe C.

4.9.5 Relatif à la valorisation des matériaux

S'il est possible de valoriser les matériaux extraits (ce qui est pertinent comme vu précédemment), cette opération sera concernée par la rubrique 2510-3 de la nomenclature des ICPE :

Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières**ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS**

"Affouillements du sol (à l'exception des affouillements rendus nécessaires pour l'implantation des constructions bénéficiant d'un permis de construire et des affouillements réalisés sur l'emprise des voies de circulation), lorsque les matériaux prélevés sont utilisés à des fins autres que la réalisation de l'ouvrage sur l'emprise duquel ils ont été extraits et lorsque la superficie d'affouillement est supérieure à 1000 mètres carrés ou lorsque la quantité de matériaux à extraire est supérieure à 2000 tonnes".

Elle nécessite alors une procédure d'autorisation. D'autres rubriques pourraient alors être concernées :

- 2515 : Broyage concassage, criblage de matériaux minéraux ;
- 2517 : Station de transit de produits minéraux ou de déchets non dangereux inertes.

Afin que le dossier d'autorisation prenne bien en compte les caractéristiques de l'opération, il pourra être plus judicieux que celui-ci soit établi et porté par l'entreprise valorisant les matériaux.

4.10 POURSUITE DES ETUDES

Après validation de la présente étude préliminaire des aménagements, l'avant-projet sera établi et servira de base technique pour l'élaboration des dossiers réglementaires.

En préalable à ceux-ci, des inventaires du milieu naturel sont menés (un cahier des charges a été établi en ce sens).

Pour privilégier la valorisation des déblais, une analyse pétrographique des matériaux (évoquée plus haut) sera menée. Des contacts avec les entreprises locales pour statuer sur la faisabilité de cette valorisation seront pris.

A l'issue de la phase AVP, des essais géotechniques plus complets seront menés pour la conception détaillée des ouvrages.

En parallèle des études AVP et réglementaires, les procédures foncières en vue d'une acquisition des terrains seront menées.




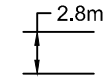
Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du torrent du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

ETUDE PRELIMINAIRE DES AMENAGEMENTS





ANNEXE 1

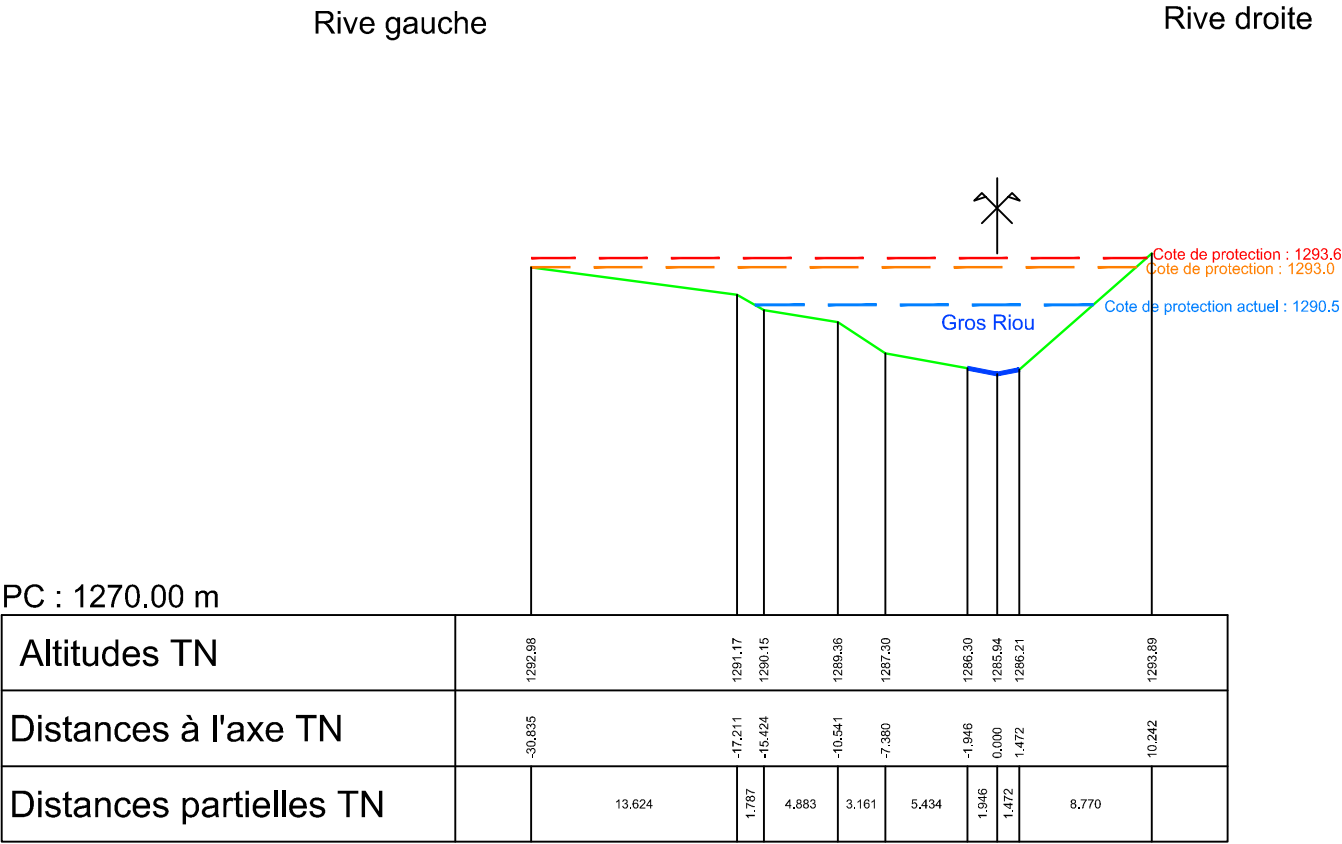
Profils en travers (état actuel, solution de référence et variantes)

Légende :




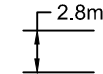
-  Terrain naturel existant
-  Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
-  Elargissement du lit du torrent (Variante)
-  Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)





-  Etat actuel
-  Solution de référence (Q100)
-  Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
-  Variante 3 (Q50)

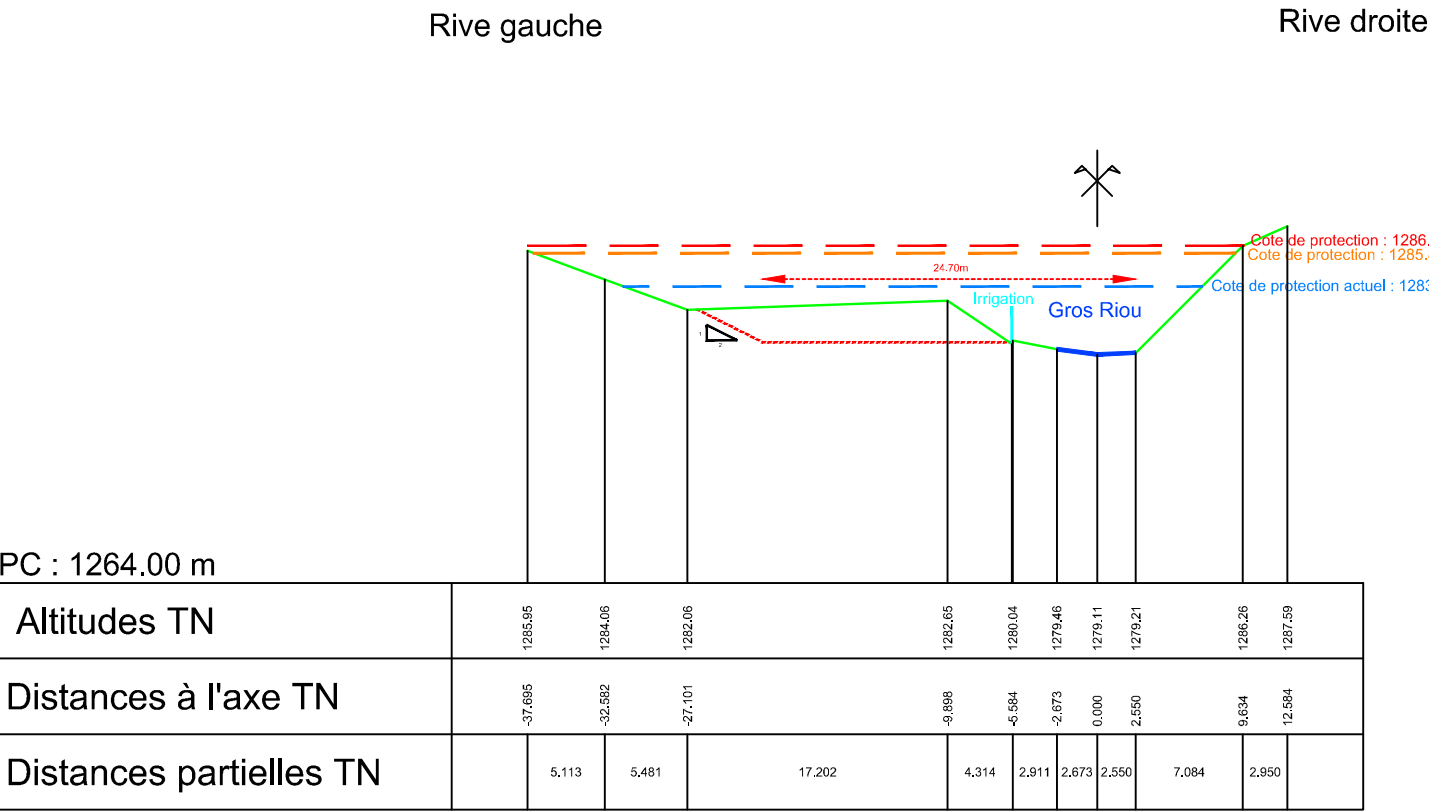


Légende :

-  Terrain naturel existant
-  Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
-  Elargissement du lit du torrent (Variante)
-  Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

-  Etat actuel
-  Solution de référence (Q100)
-  Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
-  Variante 3 (Q50)





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 103

Abscisse : 80.309 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

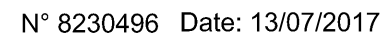
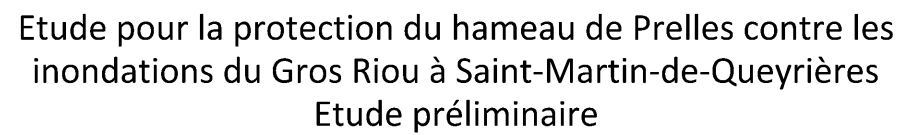
- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1256.00 m

Altitudes TN	1281.12	1279.01	1277.37	1275.48	1275.25	1275.73	1275.57	1273.22	1272.28	1271.98	1272.25	1277.48	1276.46
Distances à l'axe TN	-43.865	-47.531	-45.177	-36.272	-24.445	-21.789	-9.986	-6.385	-0.990	0.000	1.727	7.042	8.791
Distances partielles TN		6.324	2.354	8.904	11.827	2.656	11.804	3.601	5.395	0.990	1.727	5.315	1.750



Terrain naturel existant

Élargissement du lit du torrent (Solution de référence)

Élargissement du lit du torrent (Variante)

2.8m

Hauteur de digue lorsque nécessaire

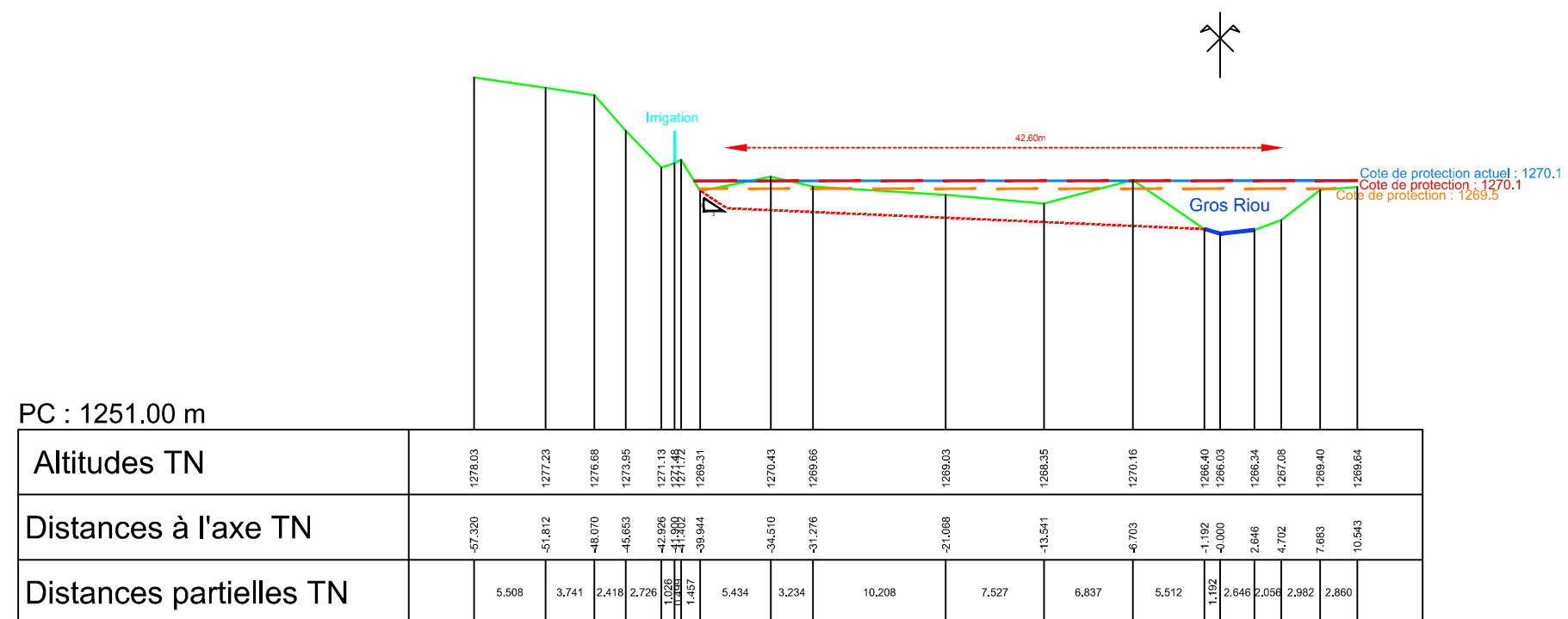
— — Etat actuel
— — Solution de référence (Q100)
— — Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
— — Variante 3 (Q50)

Abscisse : 117.811 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 105

Abscisse : 156.036 m

Echelle des longueurs : 1/500

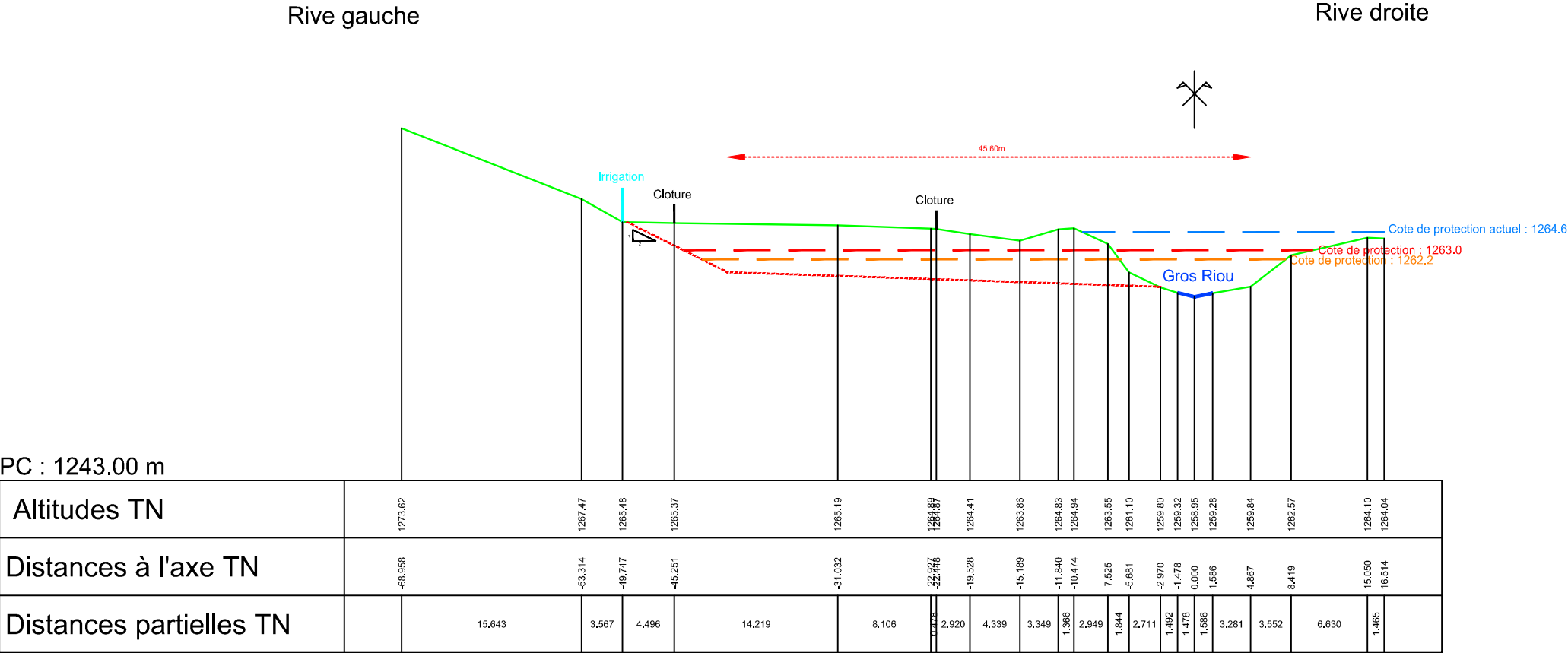
Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 106

Abscisse : 195.328 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1238.00 m

Altitudes TN	1261.78	1260.98	1258.97	1258.35	1257.51	1257.33	1256.89	1256.32	1256.09	1254.27	1253.49	1253.12	1253.56	1256.22	1257.27
Distances à l'axe TN	-57.266	-65.025	-46.696	-42.094	-38.606	-29.855	-21.221	-13.884	-10.326	-3.995	-1.310	0.000	1.919	3.564	7.504
Distances partielles TN	2.241	8.329	4.602	1.635	0.997	8.057	8.634	7.357	3.538	6.331	2.685	1.310	1.919	1.645	3.940



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 107

Abscisse : 225.716 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

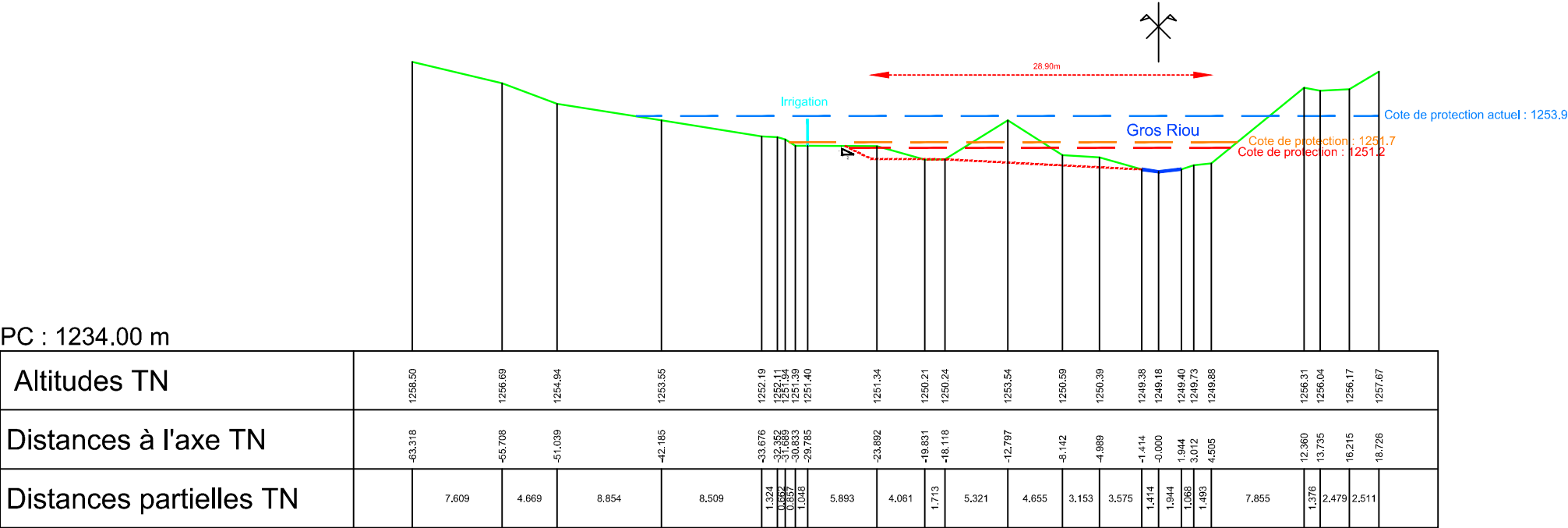
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières
Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 1

Abscisse : 266.623 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1226.00 m

Altitudes TN	1248.13	1246.59	1244.79	1245.19	1242.24	1241.96	1242.05	1245.87	1249.55
Distances à l'axe TN	-38.000	-28.335	-14.668	-6.228	-2.272	-0.000	2.525	4.503	15.464
Distances partielles TN		9.665	13.646	8.461	3.956	2.272	2.525	1.977	10.961



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 2

Abscisse : 311.875 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1219.00 m

Altitudes TN	1242.33		1240.95		1239.34		1239.26		1239.32		1238.09		1235.62		1236.32		1234.99		1237.82		1238.35		1239.41	
Distances à l'axe TN	-28.422		-23.383		-18.937		-17.437		-16.243		-15.077		-13.489		-12.121		-9.486		-6.156				25.198	
Distances partielles TN	5.039		4.697		0.857		0.993		0.993		1.767		0.814		2.634		3.331		4.855				11.578	



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 3

Abscisse : 347.649 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

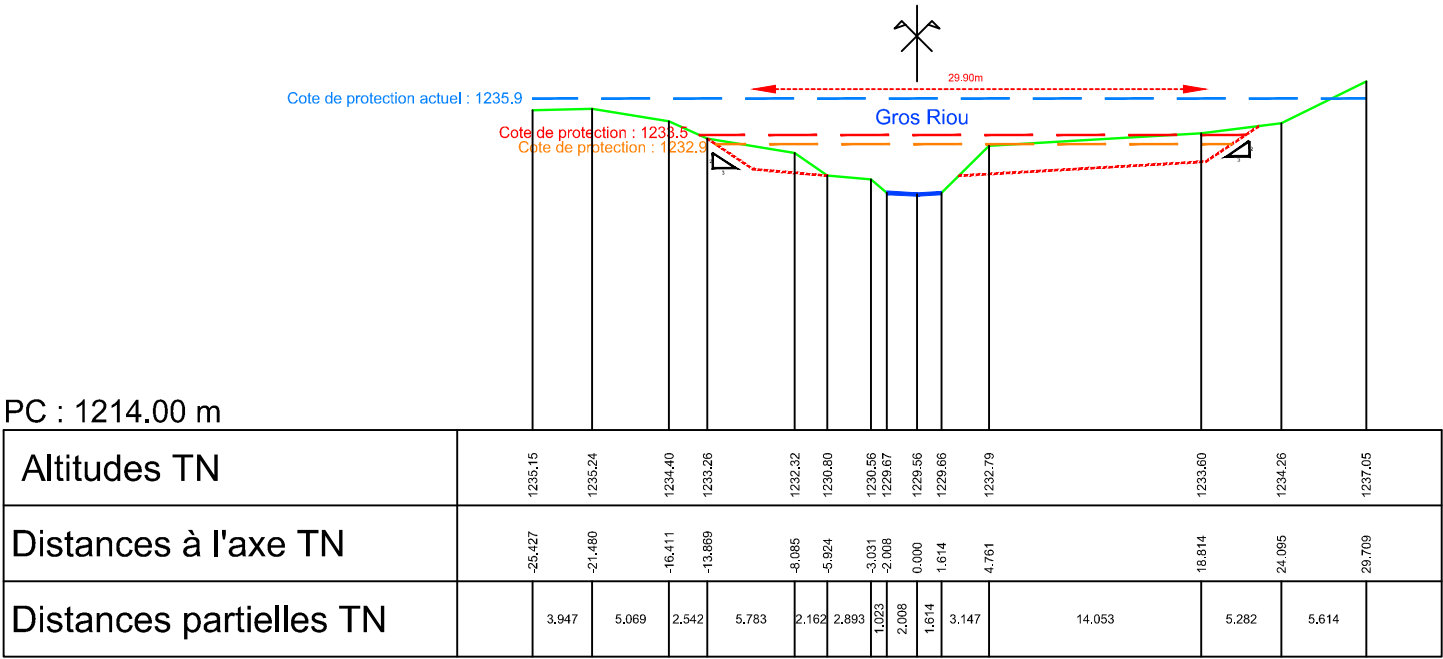
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 4

Abscisse : 367.184 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1211.00 m

Altitudes TN	1231.25	1231.30	1232.28	1232.09	1230.96	1230.48	1228.65	1228.17	1227.00	1226.88	1227.15	1230.23	1230.62	1233.53	1236.46
Distances à l'axe TN	-19.482	-13.884	-13.001	-11.747	-10.629	-5.634	-4.300	-2.120	0.000	1.851	7.310	22.613	31.540	35.151	
Distances partielles TN		5.597	0.883	1.254	1.118	4.995	0.666	1.782	2.180	2.120	0.851	5.459	15.303	8.928	3.611



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 108

Abscisse : 398.464 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

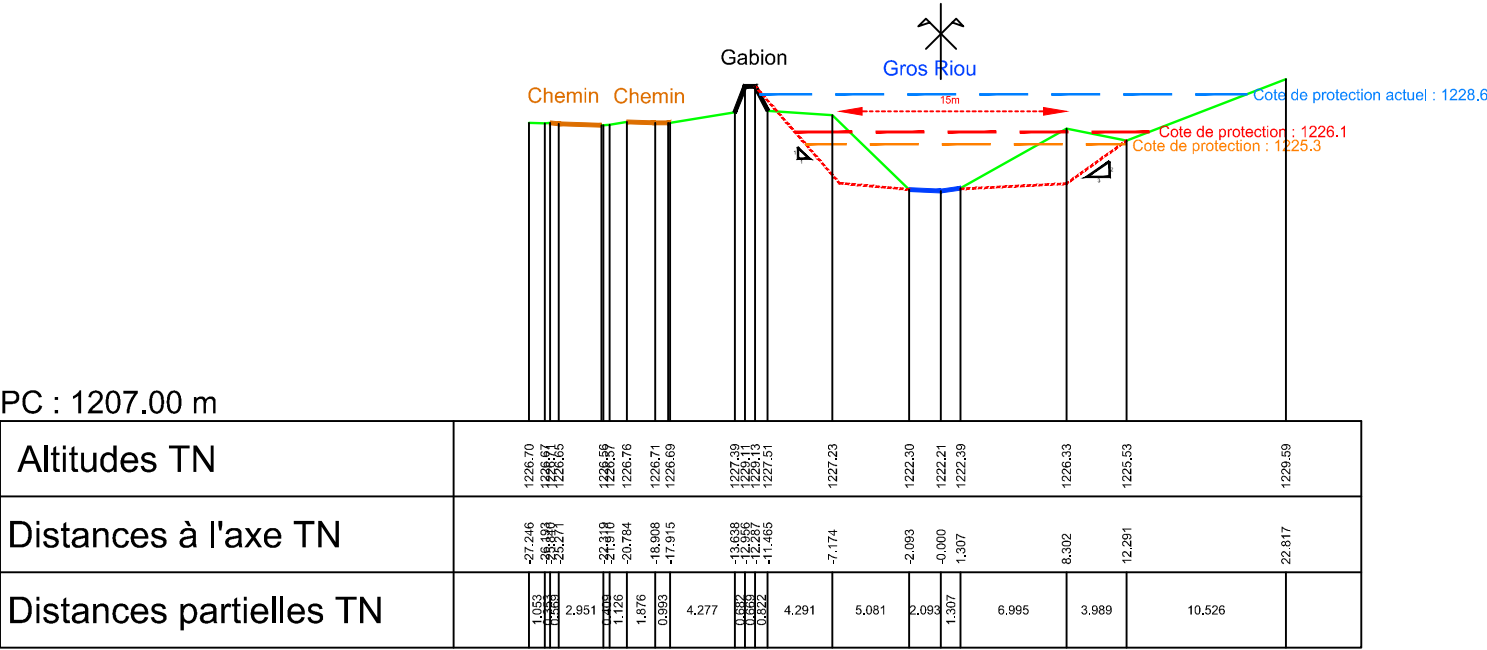
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 5

Abscisse : 428.534 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1202.00 m

Altitudes TN	1221.85	1221.87	1221.83	1222.21	1223.16	1222.53	1222.24	1217.33	1217.11	1217.51	1227.28	1232.66
Distances à l'axe TN	-25.137	-21.135	-17.992	-17.124	-16.888	-14.737	-9.705	-1.462	0.000	1.902	12.975	20.989
Distances partielles TN		4.002	3.143				5.032	8.243	1.462	1.902	11.073	7.994



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 6

Abscisse : 471.021 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

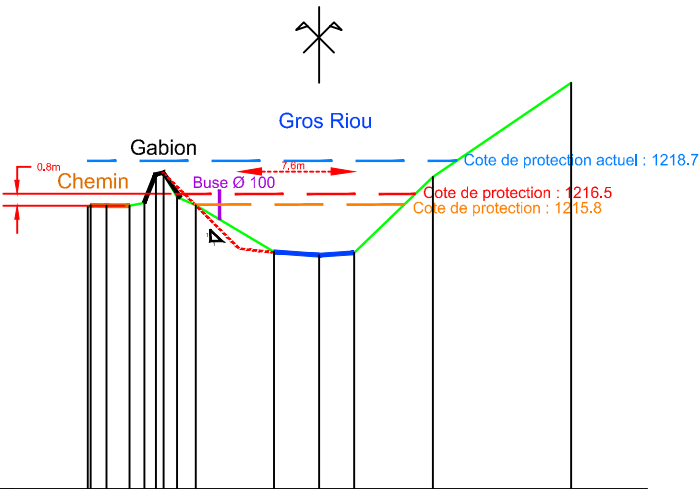
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite



PC : 1197.00 m

Altitudes TN	1215,62	1215,72	1215,73	1215,83	1217,84	1216,30	1215,75	1212,66	1212,45	1212,62	1217,62	1223,85
Distances à l'axe TN	-15,307	-14,058	-12,522	-11,555	-10,280	-9,376	-8,140	-2,976	0,000	2,315	7,540	16,686
Distances partielles TN	1,248	1,537	0,987	0,774	0,905	1,237	5,161	2,978	2,315	5,225	9,145	



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 109

Abscisse : 495.223 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

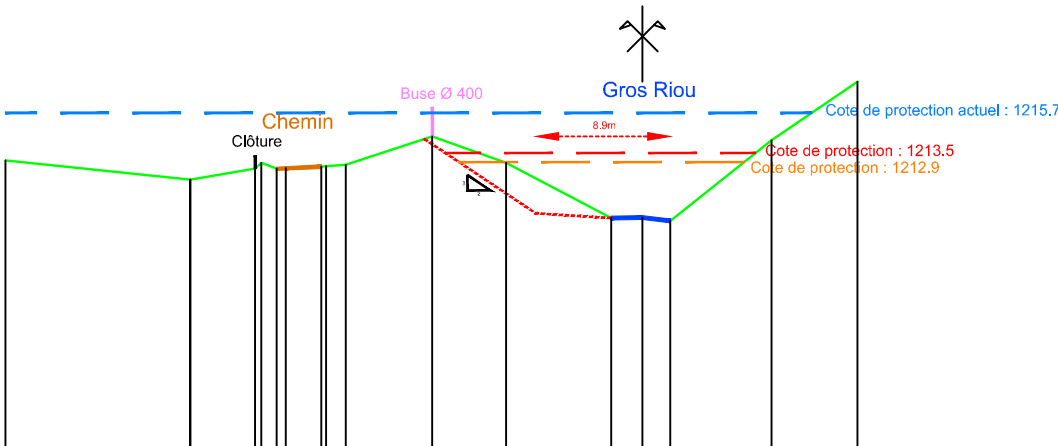
- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1194.00 m

Altitudes TN	1213.02	1211.75	1212.47	1212.48	1212.59	1212.72	1214.60	1212.84	1209.20	1209.23	1209.00	1214.33	1218.21
Distances à l'axe TN	-42.133	-29.899	-25.616	-23.193	-21.436	-19.630	-13.901	-9.032	-2.078	0.000	1.856	8.554	14.214
Distances partielles TN	12.234	4.282	1.016	2.356	1.280	5.729	4.869	6.954	2.078	1.856	6.698	5.860	





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 7

Abscisse : 523.568 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1189.00 m

Altitudes TN	1207.39	1207.33	1207.53	1207.78	1207.62	1207.62	1207.91	1208.08	1207.98	1208.14	1208.49	1208.37	1207.93	1205.54	1204.78	1204.75	1207.76	1215.92
Distances à l'axe TN	-52.823	-50.725	-47.671	-44.223	-43.924	-42.345	-40.816	-39.673	-38.074	-37.178	-29.526	-24.638	-7.564	-1.085	0.000	1.058	5.964	9.141
Distances partielles TN	2.098	3.055	3.448	1.199	0.080	1.469	1.318	0.945	0.939	0.897	7.652	5.417	16.075	6.479	1.085	1.058	4.906	3.177



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 8

Abscisse : 575.580 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1184.00 m

Altitudes TN	1203.47	1202.82	1203.45	1201.94	1201.98	1202.05	1199.50	1199.53	1199.25	1203.32	1207.21
Distances à l'axe TN	-38.071	27.124	22.875	-15.247	-13.548	-3.799	1.078	0.000	1.251	13.883	24.807
Distances partielles TN		10.948	4.247	7.128	1.699	9.174	2.721	1.078	1.251	12.432	10.923



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 9

Abscisse : 626.096 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

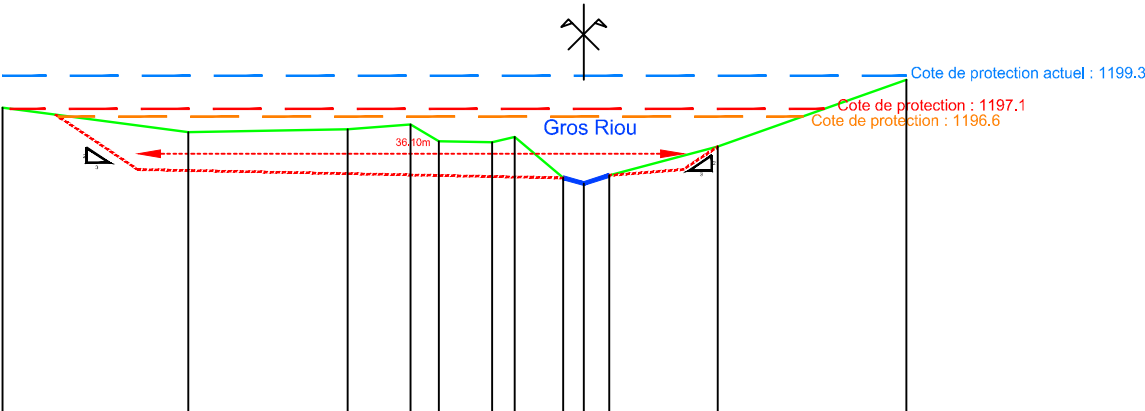
- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1177.00 m

Altitudes TN	1197.17	1195.57	1195.75	1196.07	1194.97	1194.89	1195.25	1192.54	1192.17	1192.71	1194.61	1199.01
Distances à l'axe TN	-38.445	-26.157	-15.636	-11.467	-9.599	-6.057	-4.567	-1.379	-0.000	1.685	8.870	21.324
Distances partielles TN		12.287	10.521	4.170	1.867	3.542	1.490	3.188	1.379	1.685	7.185	12.453





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 110

Abscisse : 659.228 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1173.00 m

Altitudes TN	1192,97	1193,01	1192,98	1192,51	1192,66	1192,46	1192,15	1191,64	1191,86	1191,09	1188,66	1188,25	1188,34	1191,48	1192,09	1191,53	1191,34	1191,26	1191,25	1191,27	1191,30	1192,95	1194,36		
Distances à l'axe TN	-39,701	-36,721	-33,331	-32,247	-30,846	-27,804	-24,025	-16,470	-8,275	-4,703	-1,619	0,000	2,446	10,096	16,596	19,354	20,114	24,518	29,861	31,192	31,771	35,733	40,193	43,712	50,458
Distances partielles TN		2,980	3,389	1,084	1,401	3,042	3,780	7,554	8,195	3,572	3,084	1,619	2,446	7,649	6,500	2,759	0,760	4,403	5,344	1,331	0,574	3,962	4,460	2,686	7,244



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 10

Abscisse : 672.978 m

Echelle des longueurs : 1/500

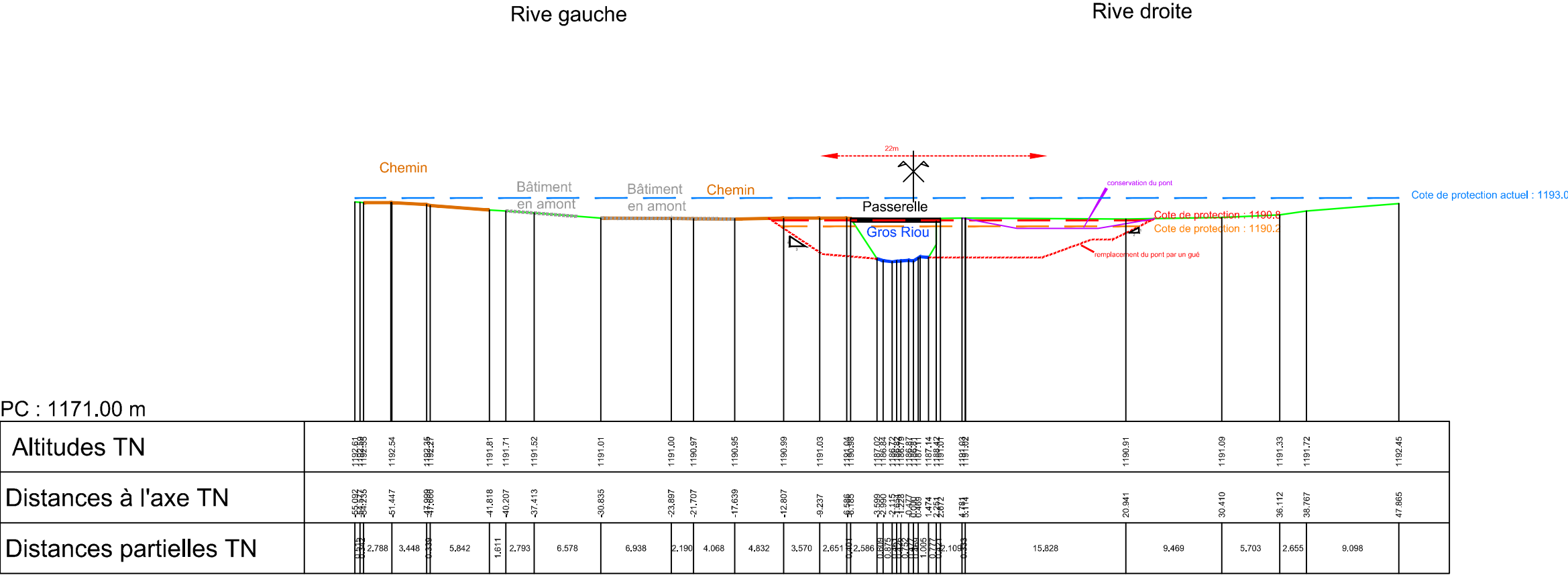
Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 111

Abscisse : 685.862 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1170.00 m

Altitudes TN	1189.39	1188.86	1187.54	1188.26	1189.51	1189.26	1187.07	1186.18	1185.99	1185.66	1185.88	1190.59	1190.65	1190.68	1190.87	1190.14
Distances à l'axe TN	-42.161	-31.240	-16.910	-13.575	-12.518	-10.560	-7.253	-3.534	-1.890	0.000	1.329	8.030	9.377	16.248	27.077	36.318
Distances partielles TN		10.921	14.330	3.335	1.057	1.958	3.306	3.719	1.644	1.890	1.329	6.701	1.348	6.871	10.828	9.241



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 11

Abscisse : 701.074 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

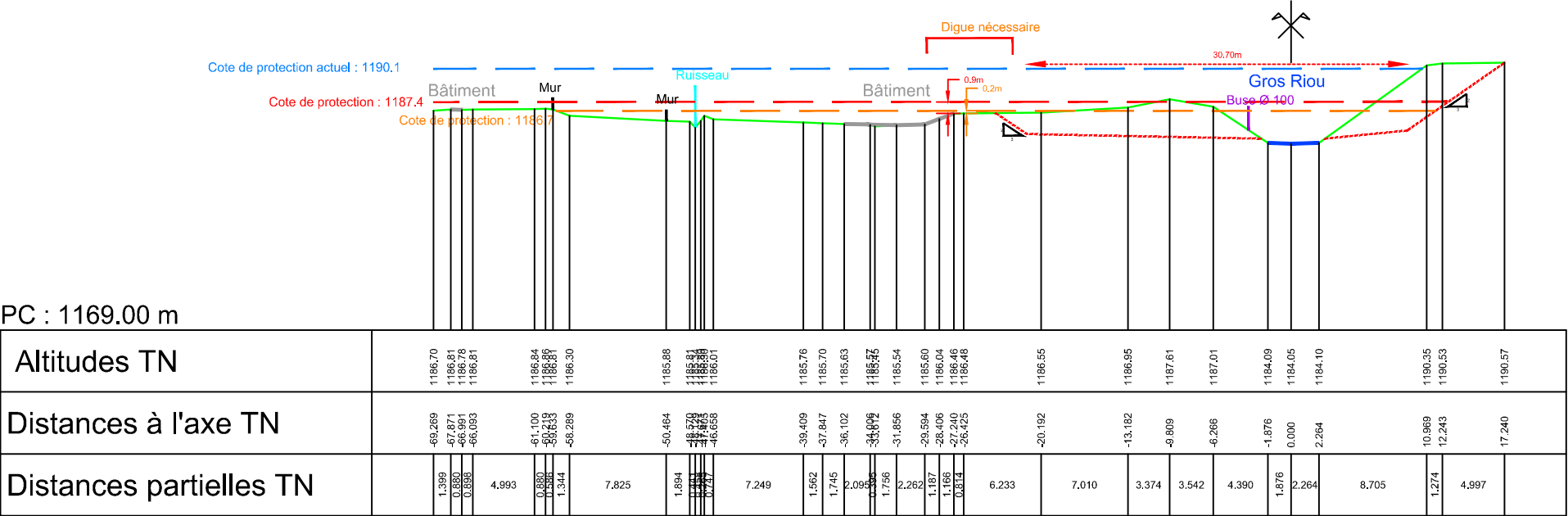
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 12

Abscisse : 749.168 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1163.00 m

Altitudes TN	1182.68 1182.19		1181.57		1180.93		1180.58 1180.53 1180.33 1180.32	1180.72	1180.88	1179.58	1178.73	1178.61	1178.63	1179.86	1180.37	1182.45	1182.85
Distances à l'axe TN	43.718 32.749 10.969		-31.503		-25.463		-16.788 -13.579 -3.209	-11.568	-9.891	-6.743	-3.045	-0.000	1.872	3.817	7.092	11.805	15.192
Distances partielles TN	0.000	11.246	6.039		6.675		0.000	3.002	1.876	2.948	3.699	3.045	1.872	1.945	3.275	4.713	3.387



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 112

Abscisse : 773.459 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1160.00 m

Altitudes TN	1178.50	1178.96	1177.92	1179.48	1178.39	1178.99	1177.80	1176.83	1176.90	1175.90	1175.24	1175.51	1179.35	1179.03	1179.21	1179.87	1180.64
Distances à l'axe TN	-54.300	-47.454	-43.135	-41.065	-36.575	-35.865	-16.610	-8.654	-7.706	-2.960	-0.368	1.911	6.947	9.373	11.396	13.980	18.508
Distances partielles TN		6.846	4.319	2.070	4.490	10.414	8.995	7.956	0.948	4.746	2.620	3.911	5.036	2.426	2.023	2.584	4.527



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 13

Abscisse : 800.651 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

-
- Terrain naturel existant

Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)Elargissement du lit du torrent (Variante)Hauteur de digue lorsque nécessaire

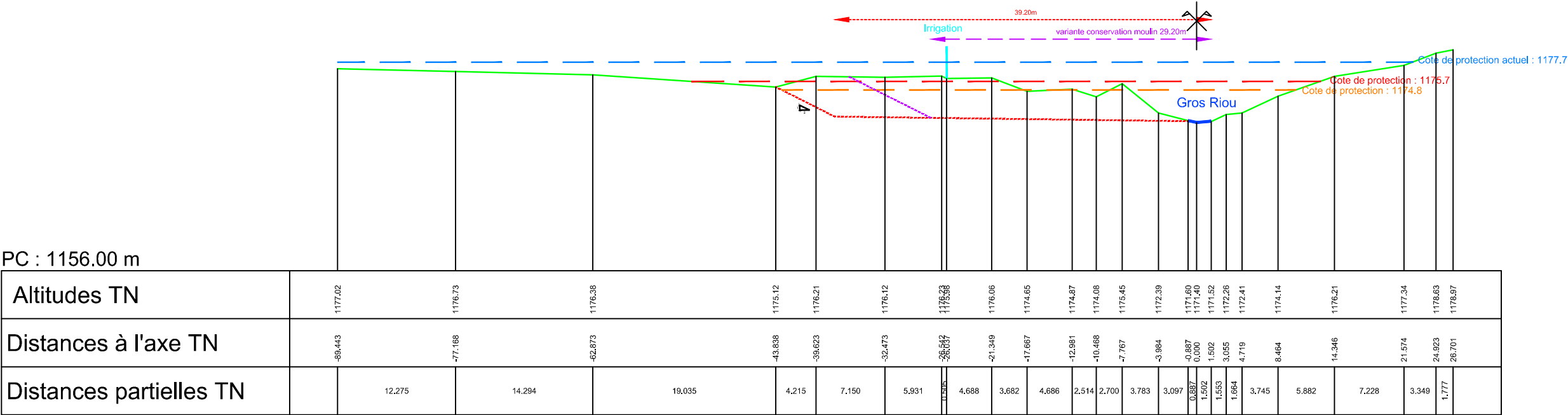
Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

-
- Etat actuel

Solution de référence (Q100)Variante 2 (Conservation et protection du moulin)Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 14

Abscisse : 835.067 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

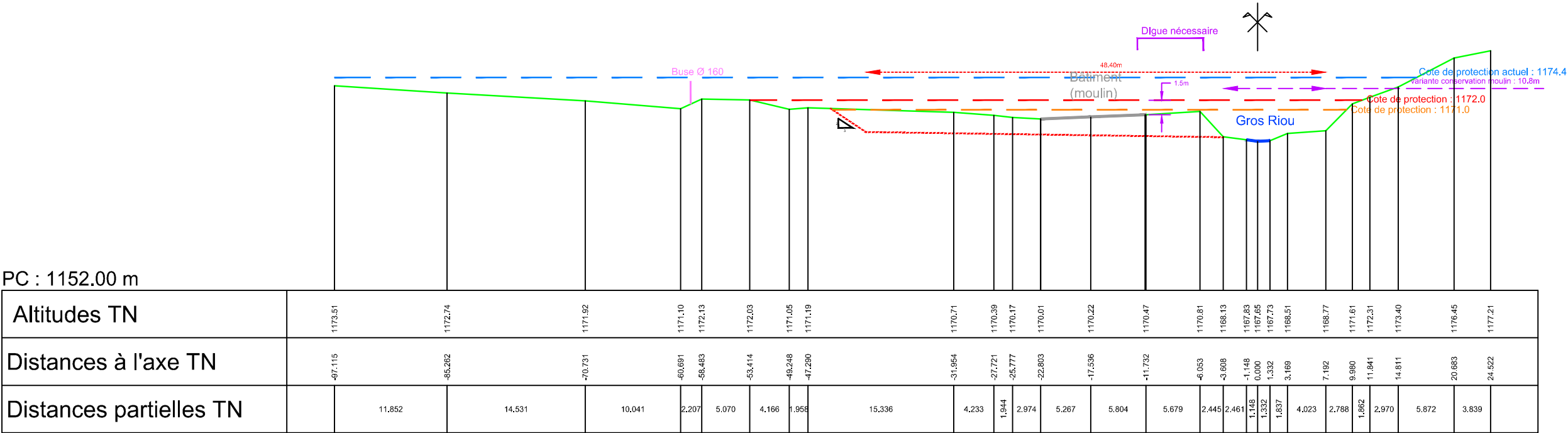
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 15

Abscisse : 868.333 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1149.00 m

Altitudes TN	1169.10	1169.05	1167.87	1167.49	1167.30	1166.16	1165.96	1166.04	1166.58	1166.61	1167.36	1166.87	1167.52	1164.39	1164.45	1164.57	1165.09	1174.19	1174.76	
Distances à l'axe TN	-43.036	-39.215	-38.198	-34.400	-32.950	-30.704	-26.815	-22.350	-21.380	-20.726	-18.591	-13.742	-9.320	-7.222	-3.337	0.000	1.115	3.895	15.913	21.639
Distances partielles TN	3.821	0.716	0.716	3.730	1.450	2.246	3.888	4.466	0.989	2.136	5.410	3.422	2.098	3.885	3.337	1.115	2.780	12.018	5.726	



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 16

Abscisse : 897.969 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

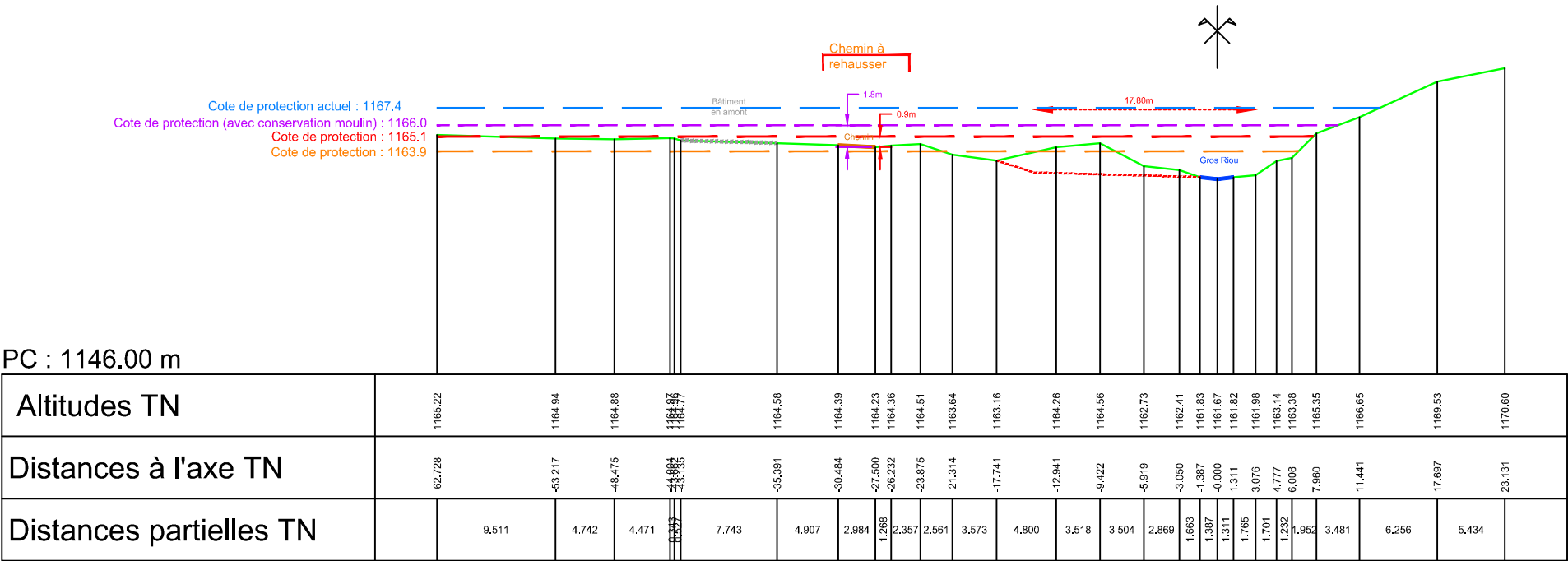
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 113

Abscisse : 930.336 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1142.00 m

Altitudes TN	1163.84	1163.51	1163.43	1163.20	1162.83	1162.96	1162.63	1161.09	1160.63	1160.50	1160.42	1161.08	1159.12	1159.57	1159.37	1157.93	1159.00	1158.98	1160.38	1160.35	1161.27	1161.62	1163.15	1164.11
Distances à l'axe TN	-57.008	-48.654	-46.860	-42.811	-34.023	-25.975	-25.139	-22.334	-18.726	-15.506	-12.831	-6.816	-3.314	-2.043	-1.089	0.000	1.575	3.556	6.518	9.316	12.186	19.604	24.908	30.313
Distances partielles TN		8,354	1,794	4,049	8,788	8,147	0,837	2,805	3,608	3,220	2,576	6,115	3,502	1,271	0,974	1,069	1,575	1,980	2,962	2,798	2,870	7,418	5,303	5,405



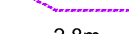

Profil n°: 17

Abscisse : 955.514 m





Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

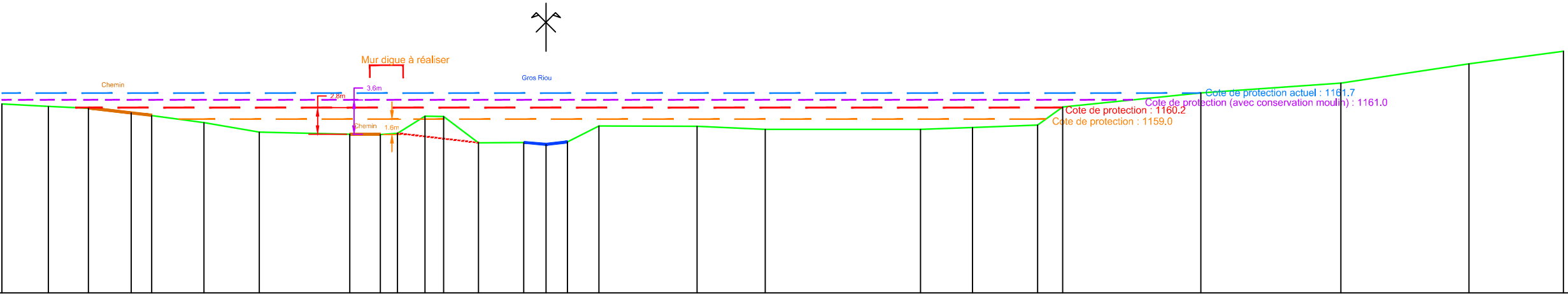
-  Terrain naturel existant
-  Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
-  Elargissement du lit du torrent (Variante)
-  Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

-  Etat actuel
-  Solution de référence (Q100)
-  Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
-  Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite



PC : 1141.00 m

Altitudes TN	1160.59	1160.33	1160.14	1159.66	1159.38	1158.65	1157.66	1157.43	1157.41	1157.54	1159.30	1159.28	1156.56	1156.58	1156.36	1156.63	1158.29	1158.25	1157.94	1157.94	1158.15	1158.39	1160.27	1161.71	1162.75	1164.74	1166.03	
Distances à l'axe TN	-56.512	-51.688	-47.517	-43.087	-40.949	-35.526	-29.787	-20.383	-17.204	-15.435	-12.581	-10.633	-7.021	-2.297	0.000	2.232	5.514	15.662	22.782	38.907	44.306	51.069	53.666	68.029	82.550	95.864	105.676	
Distances partielles TN		4.824	4.171	4.431	2.138	5.423	5.739	9.404	3.179	1.770	2.854	1.947	3.612	4.724	2.297	2.232	3.283	10.168	7.099	16.125	5.399	6.762	2.598	14.362	14.521	13.314	9.812	



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 114

Abscisse : 982.271 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1138.00 m

Altitudes TN	1159.54 1159.48		1159.11	1157.80		1157.39 1157.28		1157.00	1156.89	1156.89 1156.83	1153.27 1153.09 1153.33	1156.51	1155.75	1156.35	1156.18	1156.08	1156.27		1155.84		1155.60		1155.31		1155.10		1155.09		1155.80		1156.45 1157.44	1159.86	1159.75 1159.95	1159.06	1159.29
Distances à l'axe TN	-37.195 -36.236		-30.965	-28.264		-18.832 -18.382		-12.527	-10.587	-6.631 -5.239	-1.367 0.000 1.091	5.463	9.096	11.347	13.541	15.939	18.127		29.126		39.866		50.699		59.483		68.933		77.536		82.644 84.390	90.375	95.121 96.608	101.776	107.334
Distances partielles TN	0.959	5.271	2.701	8.432	1.746	6.755	1.940	3.956	1.392	3.872	1.367 1.091	4.372	3.633	2.251	2.194	2.398	2.188	10.999	10.740	10.833	8.784	9.450	8.602	5.108	1.746	5.985	4.746	1.487	5.168	5.558					



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 115

Abscisse : 1005.293 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1135.00 m

Altitudes TN	1157.23	1157.10	1157.06	1157.12	1156.97	1156.94	1156.65	1155.59	1155.43	1155.41	1151.38	1151.13	1150.83	1151.12	1151.69	1151.70	1155.75	1156.38	1156.38	1155.13	1153.85	1153.77	1154.29	1154.67	1154.66	1154.76	1154.54	1154.37	1153.85	1153.77	1153.53	1152.65	1152.85	1152.33	1152.30	1152.10	1151.16	1151.35	1151.40	1152.12	1152.67	1152.62	1152.88	1152.45	1152.27	1152.45										
Distances à l'axe TN	0.000	5.552	5.102	1.797	2.307	0.830	0.053	2.333	0.676	5.968	8.044	2.722	1.486	1.236	0.000	1.192	3.673	1.015	5.322	8.908	10.459	1.914	4.506	16.263	3.709	0.684	23.572	1.188	1.538	1.728	1.464	0.893	0.000	2.158	1.572	3.444	3.444	1.078	36.166	1.764	2.391	3.443	6.209	3.326	5.363	12.867	4.156	6.231	9.841	9.555	3.099	2.777	0.000	2.237	0.750	2.746
Distances partielles TN	0.000	5.552	5.102	1.797	2.307	0.830	0.053	2.333	0.676	5.968	8.044	2.722	1.486	1.236	0.000	1.192	3.673	1.015	5.322	8.908	10.459	1.914	4.506	16.263	3.709	0.684	23.572	1.188	1.538	1.728	1.464	0.893	0.000	2.158	1.572	3.444	3.444	1.078	36.166	1.764	2.391	3.443	6.209	3.326	5.363	12.867	4.156	6.231	9.841	9.555	3.099	2.777	0.000	2.237	0.750	2.746





Profil n°: 19

Abscisse : 1032.486 m





Echelle des longueurs : 1/500

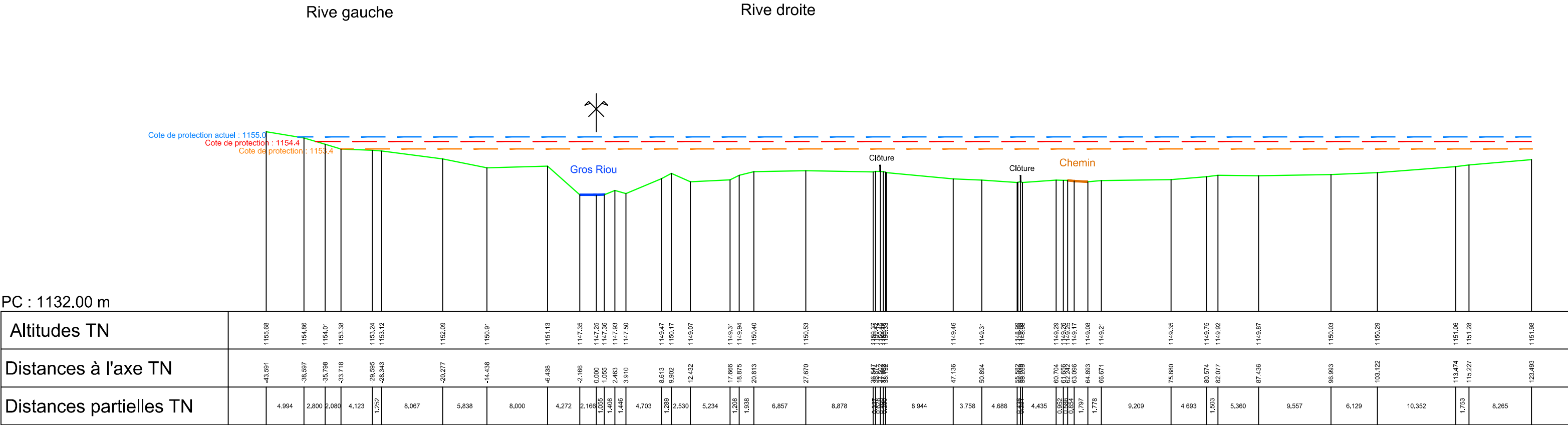
Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

-  Terrain naturel existant
-  Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
-  Elargissement du lit du torrent (Variante)
-  Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

-  Etat actuel
-  Solution de référence (Q100)
-  Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
-  Variante 3 (Q50)



PC : 1132.00 m



Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 20

Abscisse : 1056.741 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

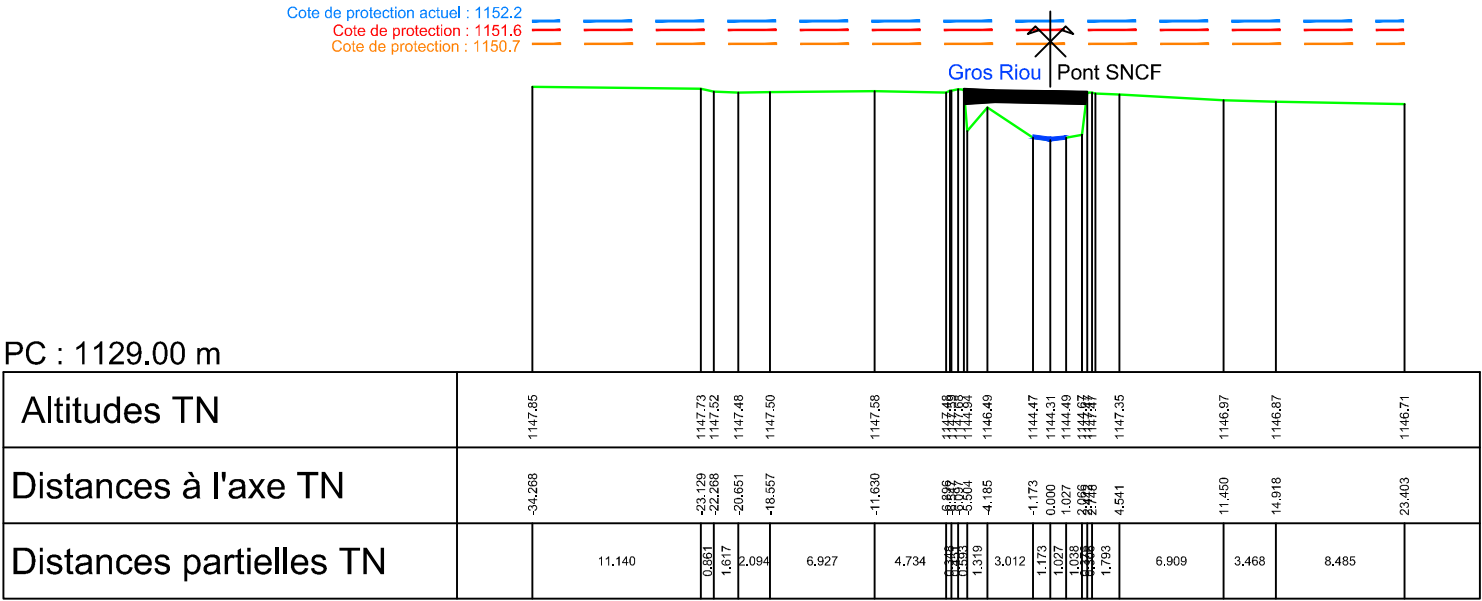
- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- 2.8m
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite





Etude pour la protection du hameau de Prelles contre les inondations du Gros Riou à Saint-Martin-de-Queyrières

Etude préliminaire



N° 8230496 Date: 13/07/2017

Profil n°: 21

Abscisse : 1074.951 m

Echelle des longueurs : 1/500

Echelle des altitudes : 1/500

Légende :

- Terrain naturel existant
- Elargissement du lit du torrent (Solution de référence)
- Elargissement du lit du torrent (Variante)
- Hauteur de digue lorsque nécessaire

Cotes de protection (Niveau d'engravement calculé + 2 m)

- Etat actuel
- Solution de référence (Q100)
- Variante 2 (Conservation et protection du moulin)
- Variante 3 (Q50)

Rive gauche

Rive droite

PC : 1126.00 m

Altitudes TN	1149.42	1148.67	1147.40	1147.32	1146.70	1147.04	1146.95	1144.58	1143.04	1142.54	1142.88	1141.33	1141.87	1145.02	1144.47	1144.00	1145.19	1146.87	1146.79	1146.86	1146.03	1146.79	1146.49	1146.05	1146.17	
Distances à l'axe TN	-32.135	-27.312	-23.170	-18.204	-16.295	-13.279	-9.767	-5.983	-4.416	-3.700	-3.239	0.000	2.504	6.580	11.540	14.479	20.207	21.346	26.040	28.647	30.560	31.540	33.596	33.969	36.309	
Distances partielles TN		4.823	4.142	4.966	1.908	3.017	3.512	3.783	1.567	0.718	1.402	0.839	1.647	2.504	4.076	4.960	2.939	5.727	0.843	4.593	2.607	2.018	0.886	1.539	0.433	2.340