

Conseil Général des Hautes-Alpes

Plan de gestion Guisane - Clarée - Gyronde Apports des torrents 3. Bassin versant de la Guisane

AVRIL 2013



Eaux, Torrents & Rivières de Montagne

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

SOMMAIRE

1.	COMMUNE DU MONËTIER LES BAINS	1
1.1.	PETIT TABUC	1
1.1.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	1
1.1.1.1.	Zone d'érosion	1
1.1.1.2.	Cône de déjection	4
1.1.1.3.	Confluence	5
1.1.1.4.	Historique des crues	5
1.1.2.	Nature des phénomènes	6
1.1.3.	Hydrologie	6
1.1.4.	Transport solide.....	9
1.1.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	9
1.1.4.2.	Granulométrie	10
1.1.4.3.	Volume solide transporté	11
1.1.5.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	12
1.1.6.	Principes de gestion	13
1.2.	TORRENT DE LA PISSE.....	14
1.2.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	14
1.2.1.1.	Zone d'érosion	14
1.2.1.2.	Cône de déjection	15
1.2.1.3.	Confluence	16
1.2.1.4.	Historique des crues	17
1.2.2.	Nature des phénomènes	17
1.2.3.	Hydrologie	17
1.2.4.	Transport solide.....	20
1.2.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	20
1.2.4.2.	Granulométrie	21
1.2.4.3.	Volume solide transporté	22
1.2.5.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	23
1.2.6.	Principes de gestion	23

1.3.	SAINT JOSEPH	24
1.3.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	24
1.3.1.1.	Zone d'érosion	24
1.3.1.2.	Cône de déjection	25
1.3.1.3.	Confluence	27
1.3.1.4.	Historique des crues	28
1.3.2.	Nature des phénomènes	30
1.3.3.	Hydrologie	30
1.3.4.	Transport solide.....	33
1.3.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	33
1.3.4.2.	Granulométrie	34
1.3.4.3.	Volume solide transporté	35
1.3.5.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	36
1.3.6.	Principes de gestion	36
1.4.	GRAND TABUC	37
1.4.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	37
1.4.1.1.	Zone d'érosion	37
1.4.1.2.	Cône de déjection	40
1.4.1.3.	Confluence	42
1.4.1.4.	Historique des crues	43
1.4.2.	Nature des phénomènes	43
1.4.3.	Hydrologie	43
1.4.4.	Transport solide.....	46
1.4.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	46
1.4.4.2.	Granulométrie	47
1.4.4.3.	Volume solide transporté	48
1.4.5.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	49
1.4.6.	Principes de gestion	49

1.5.	TORRENT DE CHANTELOUBE	50
1.5.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	50
1.5.1.1.	Zone d'érosion	50
1.5.1.2.	Cône de déjection	53
1.5.1.3.	Confluence	55
1.5.1.4.	Historique des crues	56
1.5.2.	Transport solide.....	57
1.5.2.1.	"Pente d'équilibre" - Profils en long	57
1.5.2.2.	Détermination des volumes transportés	58
1.5.3.	Synthèse	59
1.5.3.1.	Phénomène de charriage	59
1.5.3.2.	Comportement à la confluence	59
1.5.4.	Principes de gestion	59
1.6.	TORRENT DU MERDAREL.....	60
1.6.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	60
1.6.1.1.	Zone d'érosion	60
1.6.1.2.	Cône de déjection	63
1.6.1.3.	Confluence	65
1.6.1.4.	Historique des crues	66
1.6.2.	Transport solide.....	67
1.6.2.1.	"Pente d'équilibre" - Profils en long	67
1.6.2.2.	Détermination des volumes transportés	68
1.6.3.	Synthèse	69
1.6.3.1.	Phénomène de charriage	69
1.6.3.2.	Comportement à la confluence	69
1.6.4.	Principes de gestion	70
1.6.4.1.	Aménagement du cône de déjection	70
1.6.4.2.	Aménagement de la confluence	71

1.7.	TORRENT DE GROS RIF	72
1.7.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	72
1.7.1.1.	Zone d'érosion	72
1.7.1.2.	Cône de déjection	74
1.7.1.3.	Confluence	74
1.7.1.4.	Historique des crues	74
1.7.2.	Nature des phénomènes	75
1.7.3.	Hydrologie	75
1.7.4.	Transport solide.....	76
1.7.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	76
1.7.4.2.	Granulométrie	76
1.7.4.3.	Volume solide transporté	77
1.7.5.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	77
1.7.6.	Principes de gestion	77

2. COMMUNE DE LA SALLE 78

2.1.	LE BEZ.....	78
2.1.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	78
2.1.1.1.	Zone d'érosion	78
2.1.1.1.1.	Caractéristiques générales	78
2.1.1.1.2.	Torrent de Fréjus	79
2.1.1.1.3.	Torrent de Glaize	83
2.1.1.1.4.	Gorges aval	84
2.1.1.2.	Cône de déjection	86
2.1.1.3.	Confluence	89
2.1.1.4.	Historique des crues	90
2.1.2.	Nature des phénomènes	91
2.1.3.	Hydrologie	91
2.1.4.	Transport solide.....	94
2.1.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	94
2.1.4.2.	Granulométrie	95
2.1.4.3.	Volume solide transporté	96
2.1.5.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	97
2.1.6.	Principes de gestion	97

2.1.6.1.	Dépôt sur le cône de déjection	97
2.1.6.2.	Dépôt sur le cône de déjection	97
2.2.	TORRENT DE LA SALLE	98
2.2.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	98
2.2.1.1.	Zone d'érosion	98
2.2.1.2.	Cône de déjection	101
2.2.1.3.	Confluence	103
2.2.1.4.	Historique des crues	104
2.2.2.	Nature des phénomènes	104
2.2.3.	Hydrologie	105
2.2.4.	Charriage torrentiel	106
2.2.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	106
2.2.4.2.	Granulométrie	107
2.2.4.3.	Volume solide transporté	108
2.2.5.	Détermination des volumes de lave	109
2.2.6.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	110
2.2.7.	Principes de gestion	110

3. COMMUNE DE SAINT CHAFFREY 112

3.1.	TORRENT DE SAINT BERNARD	112
3.1.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	112
3.1.1.1.	Zone d'érosion	112
3.1.1.2.	Cône de déjection	114
3.1.1.3.	Confluence	116
3.1.1.4.	Historique des crues	116
3.1.2.	Nature des phénomènes	117
3.1.3.	Hydrologie	117
3.1.4.	Transport solide.....	118
3.1.4.1.	Pente d'équilibre - Profil en long	118
3.1.4.2.	Volume solide transporté	119
3.1.5.	Synthèse - Comportement à la confluence.....	120
3.1.6.	Principes de gestion	120

3.2.	PEYTAVIN	121
3.2.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	121
3.2.1.1.	Zone d'érosion	121
3.2.1.2.	Cône de déjection	123
3.2.1.3.	Confluence	125
3.2.1.4.	Historique des crues	126
3.2.2.	Nature des phénomènes	126
3.2.3.	Transport solide.....	127
3.2.3.1.	"Pente d'équilibre" - Profils en long	127
3.2.3.2.	Détermination des volumes transportés	128
3.2.4.	Synthèse	129
3.2.4.1.	Phénomène de charriage	129
3.2.4.2.	Comportement à la confluence	129
3.2.5.	Principes de gestion	130
3.3.	VERDAREL.....	131
3.3.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	131
3.3.1.1.	Zone d'érosion	131
3.3.1.2.	Cône de déjection	134
3.3.1.3.	Confluence	137
3.3.1.4.	Historique des crues	139
3.3.2.	Transport solide.....	140
3.3.2.1.	"Pente d'équilibre" - Profils en long	140
3.3.2.2.	Détermination des volumes transportés	141
3.3.3.	Synthèse	142
3.3.3.1.	Phénomène de charriage	142
3.3.3.2.	Comportement à la confluence	142
3.3.4.	Principes de gestion	143

3.4.	SAINTE ÉLISABETH	144
3.4.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	144
3.4.1.1.	Zone d'érosion	144
3.4.1.2.	Cône de déjection	147
3.4.1.3.	Confluence	148
3.4.1.4.	Historique des crues	149
3.4.2.	Transport solide.....	150
3.4.2.1.	"Pente d'équilibre" - Profils en long	150
3.4.2.2.	Détermination des volumes transportés	151
3.4.3.	Synthèse	152
3.4.3.1.	Phénomène de charriage	152
3.4.3.2.	Comportement à la confluence	152
3.4.4.	Principes de gestion	152
3.5.	TORRENT DE RÉGUNIER.....	153
3.5.1.	Description rapide du bassin versant et du lit	153
3.5.1.1.	Zone d'érosion	153
3.5.1.2.	Cône de déjection	155
3.5.1.3.	Confluence	155
3.5.1.4.	Historique des crues	156
3.5.2.	Nature des phénomènes	156

4. SYNTHÈSE SUR LES AFFLUENTS DE LA GYRONDE

157

Ce rapport détaille, dans le cadre du bassin versant de la Guisane, l'application de la méthodologie générale aux principaux torrents du bassin versant et développée dans le rapport

1. Méthodologie

1. COMMUNE DU MONËTIER LES BAINS

1.1. Petit Tabuc

1.1.1. Description rapide du bassin versant et du lit

1.1.1.1. Zone d'érosion

Le Petit Tabuc draine un bassin versant de 20 km² dans un milieu de haute montagne. Bien qu'ils aient vraisemblablement beaucoup régressés, les glaciers constituent le caractère dominant dans ce bassin versant notamment par l'héritage morphologique et la formation de lacs à l'amont du bassin versant.

La photo suivante montre l'ensemble de ce bassin versant à partir des données du Géoportail :

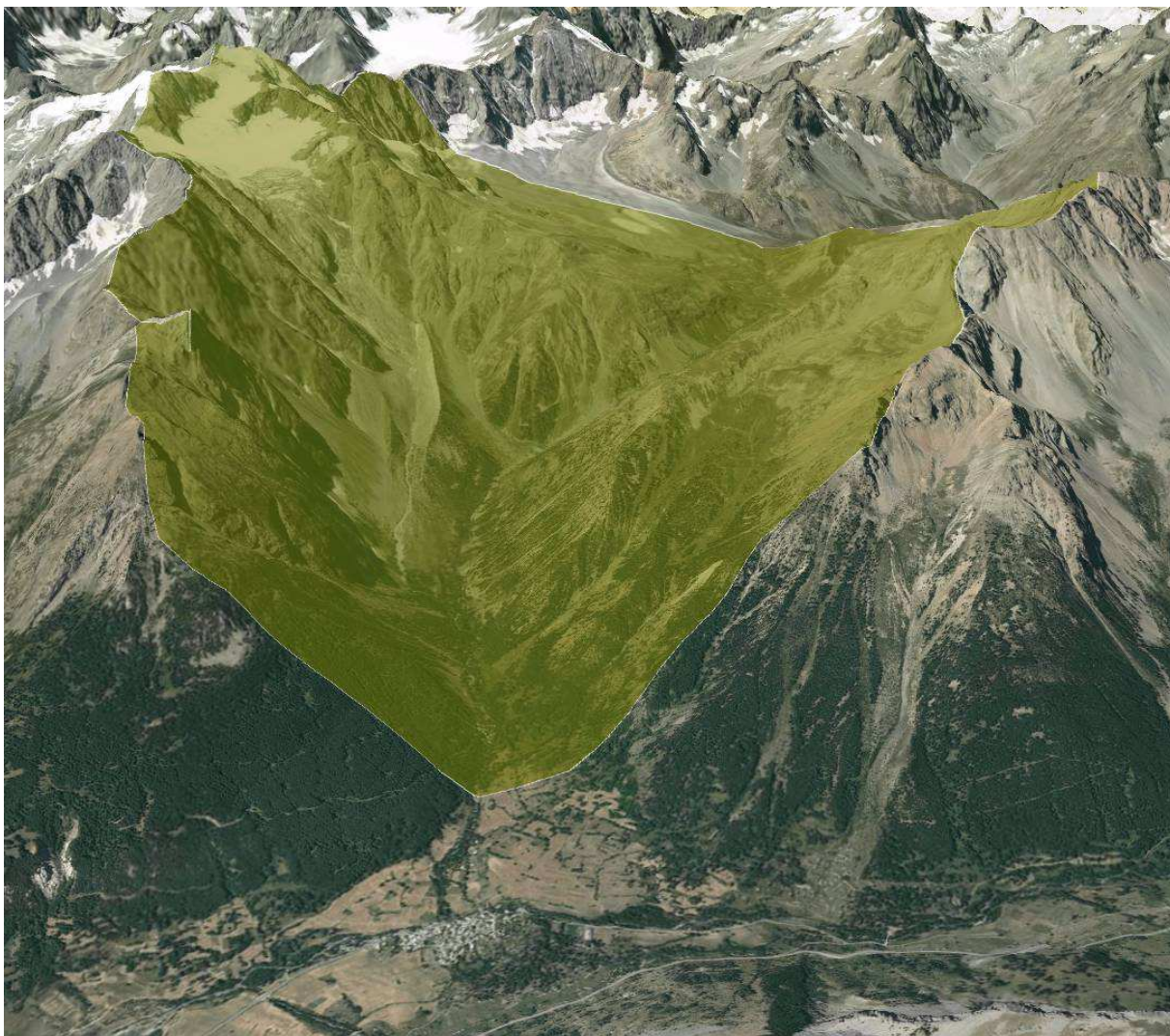


Figure 1 : Ensemble du bassin versant du Petit Tabuc.

La vue suivante montre le recul important des glaciers par rapport au milieu du XIX^{ème} siècle, lors de l'établissement de la carte d'état major :



Figure 2 : Ensemble du bassin versant du Petit Tabuc au XIX^{ème} siècle.

Dans le secteur du lac d'Arsine, les mouvements du glacier ont formé un lac il y a une trentaine d'années qui menaçait le hameau du Casset en cas de débâcle. Cette situation a nécessité la création d'un déversoir sur la moraine frontale pour éviter une rupture en cas de surverse.

Le recul des glaciers met à disposition du torrent des volumes considérables de matériaux qui sont repris lors des crues, la pente étant particulièrement forte sur ces moraines. L'infiltration est importante et réduit - voir supprime - les écoulements d'étiages.

La photo page suivante montre le lit du torrent du Glacier du Casset, affluent rive droite et principal contributeur en matériaux du Petit Tabuc. Le lit présente une pente particulièrement élevée, signe d'un transport solide très intense. La partie amont du Petit Tabuc ne contribue pas - pour l'instant - au transport solide l'infiltration y étant prépondérante et de petits lacs interceptent le transport solide.

L'autre caractéristique du Petit Tabuc est le pavage par des très gros blocs issus des moraines. Ces blocs stabilisent le lit - au moins pour les crues ordinaires - mais le transport solide reste très importants. La seconde photo montre un lit pavé avec un transport solide très intense.



Photo 1 : Volume mobilisable considérable dans une ancienne moraine.



Photo 2 : Lit du Petit Tabuc pavé par des blocs avec fort transport solide.

1.1.1.2. Cône de déjection

La transition entre les gorges pavées et le cône de déjection est progressive. Il est remarquable que le lit sur le cône de déjection reste particulièrement stable et relativement étroit alors que le transport ordinaire solide est important.

La photo suivante montre le lit dans la zone terminale :

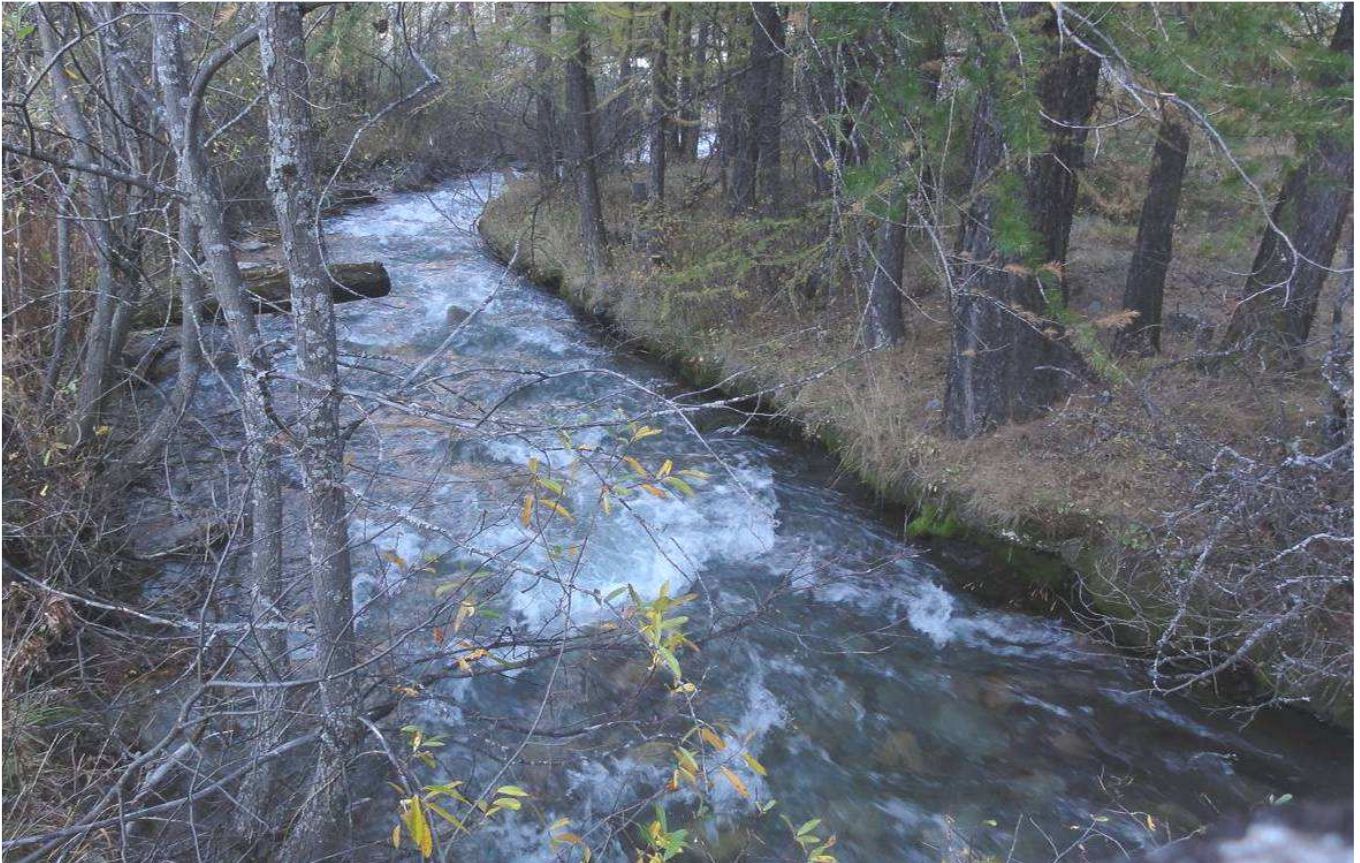


Figure 3 : Lit stable du Petit Tabuc peu en amont de la confluence.

Les enjeux sur le cône de déjection sont très faibles (près et quelques pistes).

1.1.1.3. Confluence

La vue suivante montre la confluence du Petit Tabuc (très chargé en matériaux) avec la Guisane amont où le transport solide est beaucoup plus faible :

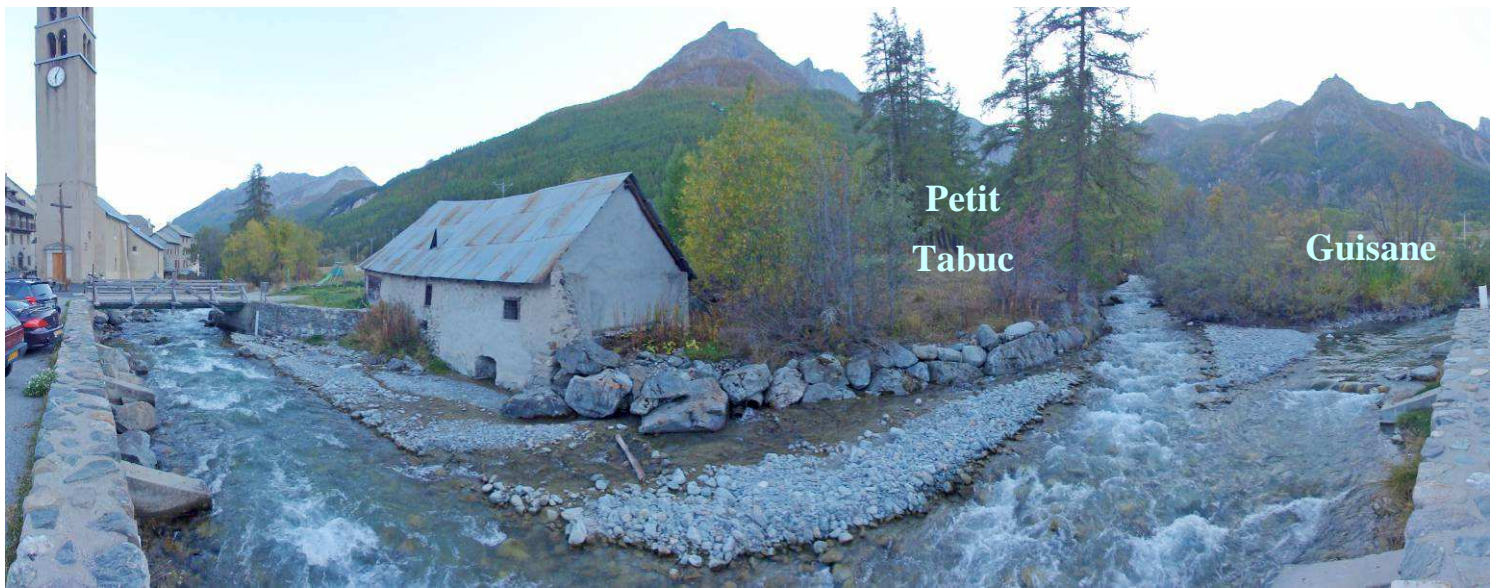


Figure 4 : Confluence du Petit Tabuc avec la Guisane au Casset.

Cette confluence présente un lit de faibles sections - peu profond et étroit - dans la partie centrale du Casset. Cette configuration suggère une rareté exceptionnelle des crues, bien en rapport avec la situation très abritée de la Guisane.

1.1.1.4. Historique des crues

Seule la crue - très générale - de mai 1856 est mentionnée pour le Petit Tabuc, ce qui illustre l'abri derrière le massif des Écrins, mais aussi la forte infiltration dans le bassin versant. Une maison et un moulin avait été emportés au Casset, vraisemblablement par la Guisane, et la plaine avait été submergée.

Outre cette crue, les dégâts au Casset correspondent aux évènements suivants :

- 20-05-1951 : destruction de la digue - très abimée - en face de la confluence avec le Petit Tabuc.
- Mai 2008. débit mesuré au Casset de 33 m³/s au limnigraphe en aval de la confluence avec le Petit Tabuc.

Ce maigre historique, par rapport à un lit visiblement sous dimensionné, confirme la faible exposition aux crues de la haute vallée.

1.1.2. Nature des phénomènes

Le Petit Tabuc se caractérise par un transport solide par charriage particulièrement intense avec notamment la reprise de matériaux plutôt granulaires dans les moraines récentes. Le phénomène prépondérant est donc le transport solide par charriage torrentiel.

1.1.3. Hydrologie

Le bassin versant du Petit Tabuc étant inséré dans le massif des Écrins, il reçoit vraisemblablement des précipitations supérieures à celles de la vallée. Ainsi, les paramètres suivants sont retenus :

P ₁₀ journalière (mm)	80
P ₁₀₀ journalière (mm)	120
Gradex journalier (mm)	17
P ₁₀ horaire - Coef a (mm)	22.4
Gradex horaire - Coef a' (mm)	4.8
Coef b	0.6

Les tableaux pages suivantes montrent les étapes de l'étude hydrologique. Les résultats retenus sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
20	15	45

Petit Tabuc

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	Déni velée spécifique (m)	Hauteur d'infiltration (Méthode SCS)	$Pluie = \frac{a \text{ duré } e}{(\text{duré } e + c)^b}$		
					a	b	c
20	80	1.5	1900	100	26.3	0.65	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)
1.0	5	10	0.1	0.3	600	3	0.01

Calcul du temps de concentration

	temps de concentration calculé (en heure)
Formule de Passini	1.47
Formule de Giandotti	1.16
Méthode de Zeller	1.80

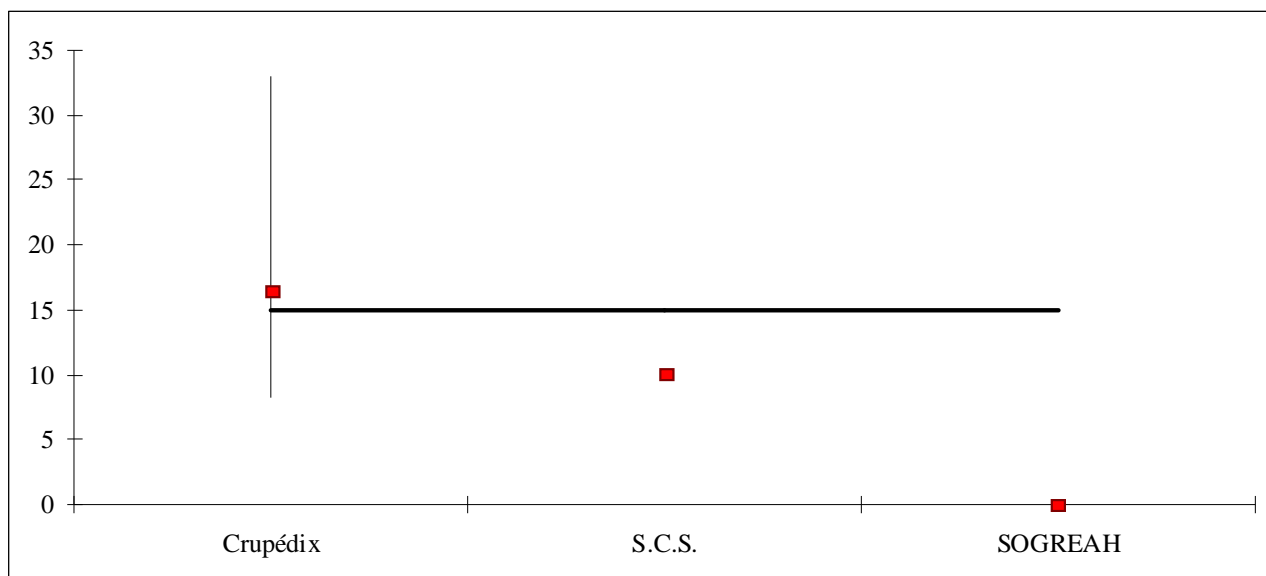
temps de concentration retenu (en heure)	2
---	----------

Calcul du débit décennal

Nom de la méthode	débit de pointe calculé (m ³ /s)
Crupédix	16.5
S.C.S.	10.0
SOGREAH	-

débit de pointe décennal retenu (en m³/s)	15
---	-----------

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



Petit Tabuc
Calcul des débits de différentes périodes de retour

Caractéristiques du bassin versant (méthode du gradex)

$Gradex = \frac{a' \text{ duré } e}{(\text{duré } e + c')^{b'}}$			Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la crue
a	b	c'	
5.60	0.65	0	2.0

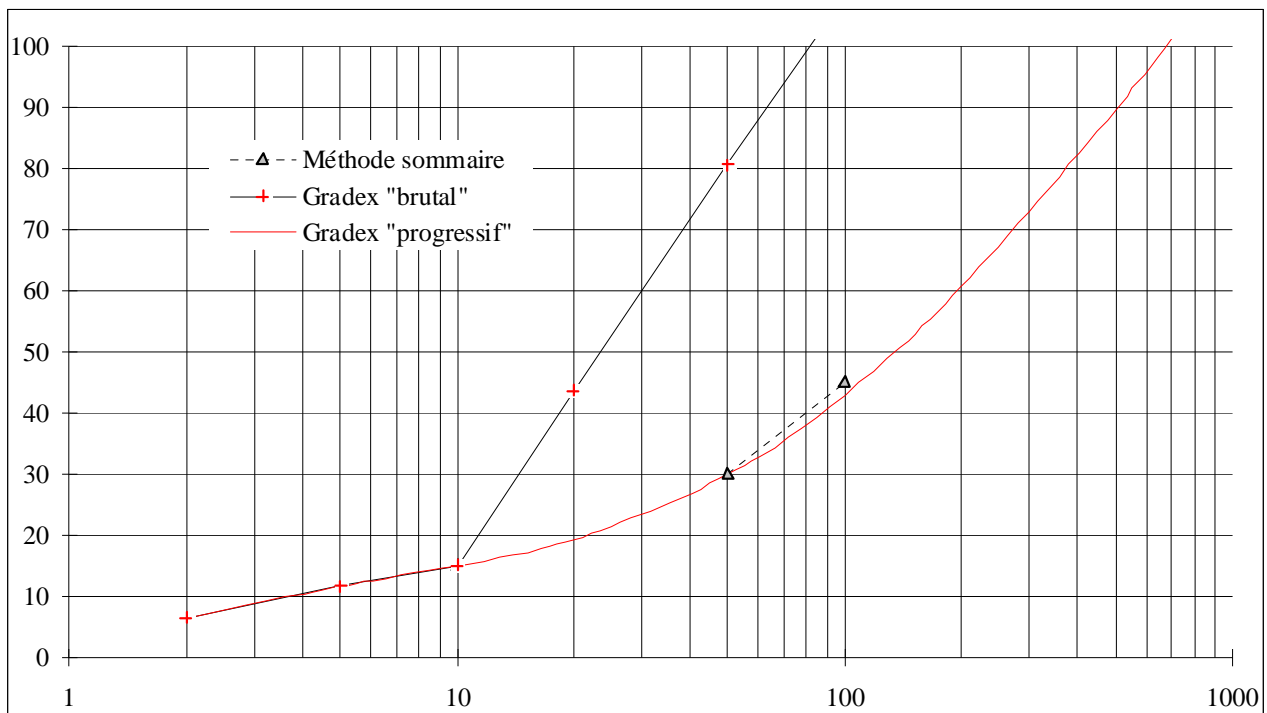
Calcul du gradex des débits

Période de retour inférieure à 10 ans	4.5
Période de retour supérieure à 10 ans	40

Calcul des débits de pointe

Période de retour (années)	Méthode sommaire	Gradex "brutal"	Gradex "progressif"
2		7	7
5		12	12
10	15	15	15
20		44	19
50	30	81	30
100	45	108	43

Période de retour	Débit retenu
10	15
100	45



1.1.4. Transport solide

1.1.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

La figure suivante montre le profil en long du Petit Tabuc levé à l'occasion de cette étude :

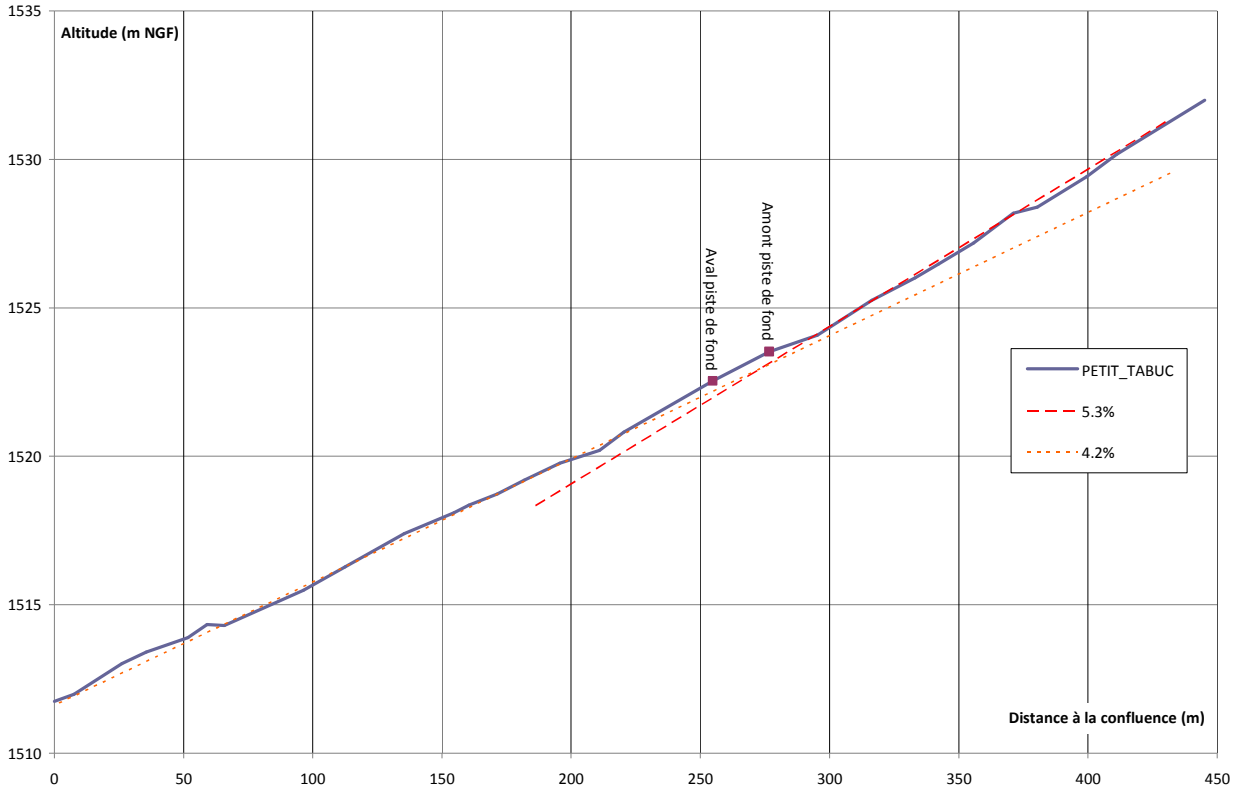


Figure 5 : Profil en long de la partie terminale du Petit Tabuc.

Ce graphique ne couvre d'un linéaire très restreint pour un tel torrent. Il apparaît cependant que la pente d'équilibre est proche de 4.2 % dans la zone de confluence.

1.1.4.2. Granulométrie

Le lit étant très peu mobile sur son cône de déjection, et sans doute un peu pavé, il est difficile d'y réaliser une mesure de granulométrie qui soit très représentative. Il a été cependant possible de réaliser une mesure donc les résultats sont indiqués dans le graphique suivant :

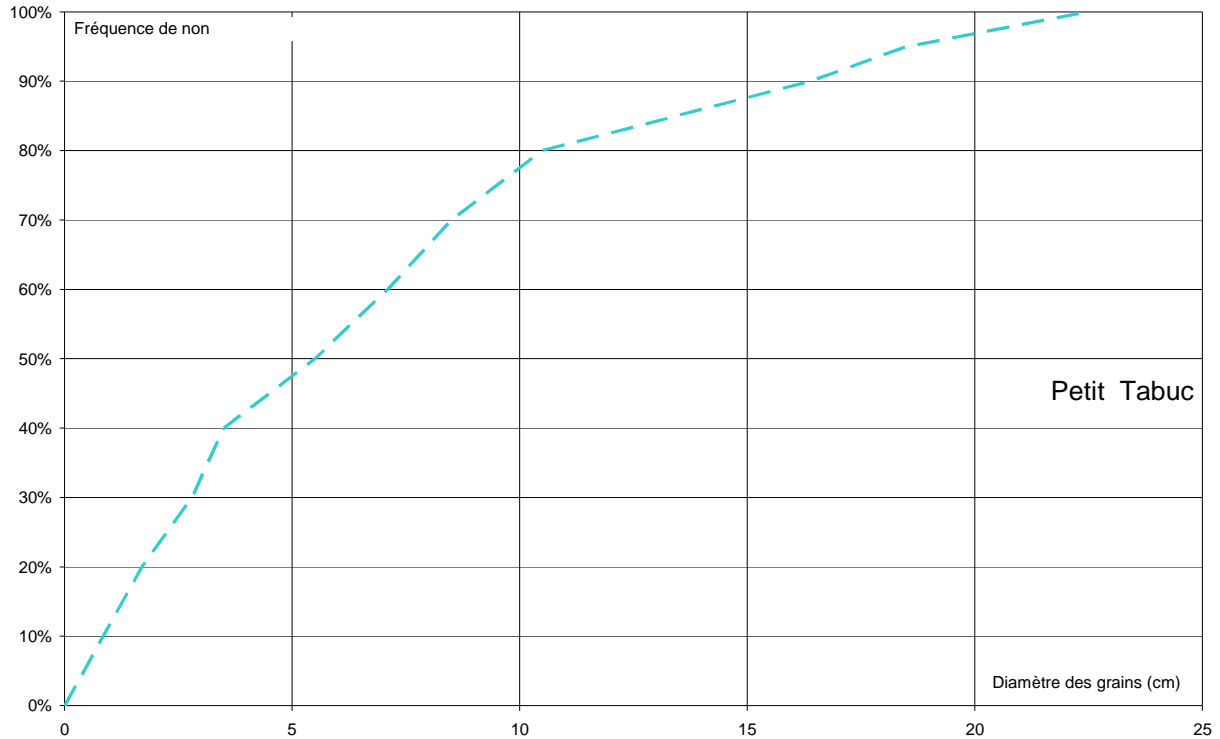


Figure 6 : Mesures granulométriques sur le petit Tabuc.

Ces mesures conduisent aux paramètres suivants :

d_{30} (cm)	2.8
d_m (cm)	7.0
d_{90} (cm)	16.4
d_{90}/d_{30}	6

1.1.4.3. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale :

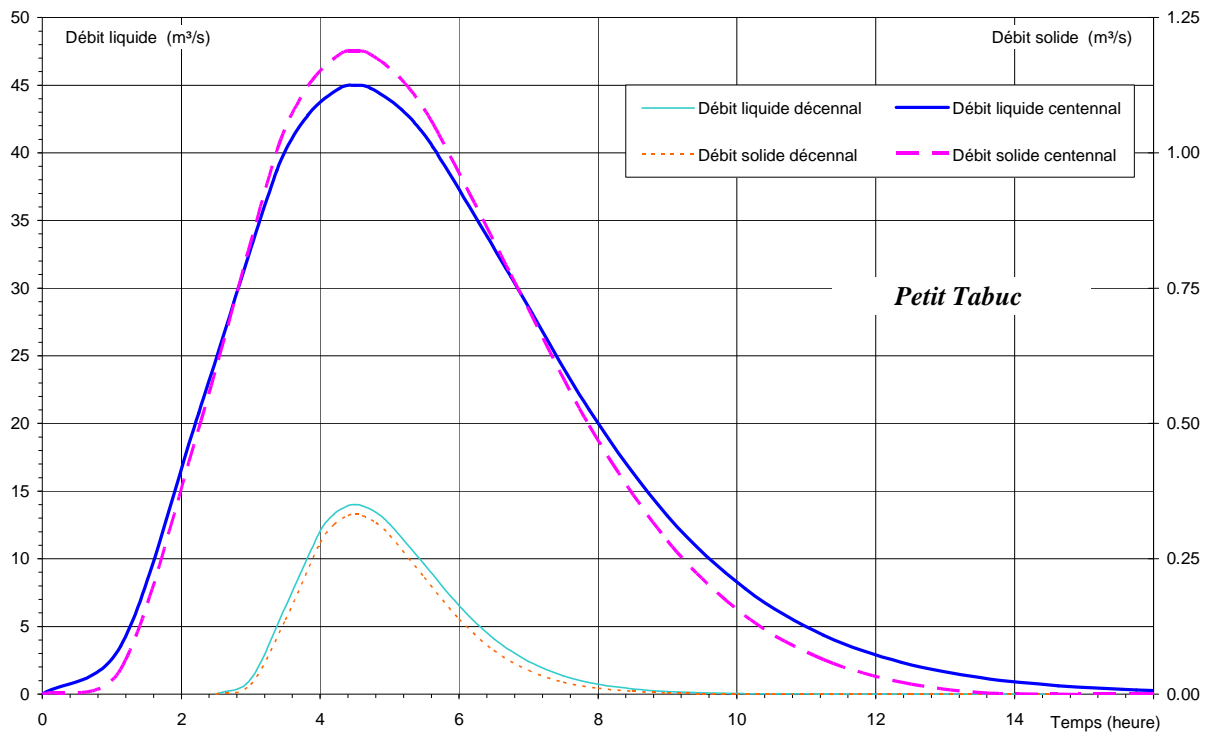


Figure 7 : Hydrogrammes liquides et solides du Petit Tabuc.

Les volumes transportés sont les suivants :

	Volume transité lors de la crue (m ³)
Crue décennale	3 000
Crue centennale	23 000

Il s'agit évidemment d'un volume finalement assez réduit pour un bassin versant de haute montagne et qui est le plus étendu des affluents de la Guisane.

1.1.5. Synthèse - Comportement à la confluence

Le Petit Tabuc est capable d'apports relativement volumineux dans le lit étroit et peu profond de la Guisane. Or, la confluence est située dans la traversé du village du Casset. Les enjeux sont donc importants et les risques paraissent élevés, même si les crues sont particulièrement rares dans l'historique des crues.

D'autre part, des divagations relativement importantes du Petit Tabuc sont probables pour les fortes crues, déplaçant la confluence avec la Guisane et la localisation des dépôts et débordement.

Le profil en long de la Guisane à la confluence montre un gonflement en amont de la confluence - qui n'est vraisemblablement pas liée exclusivement au Petit Tabuc - et une augmentation de la pente en aval de la confluence.

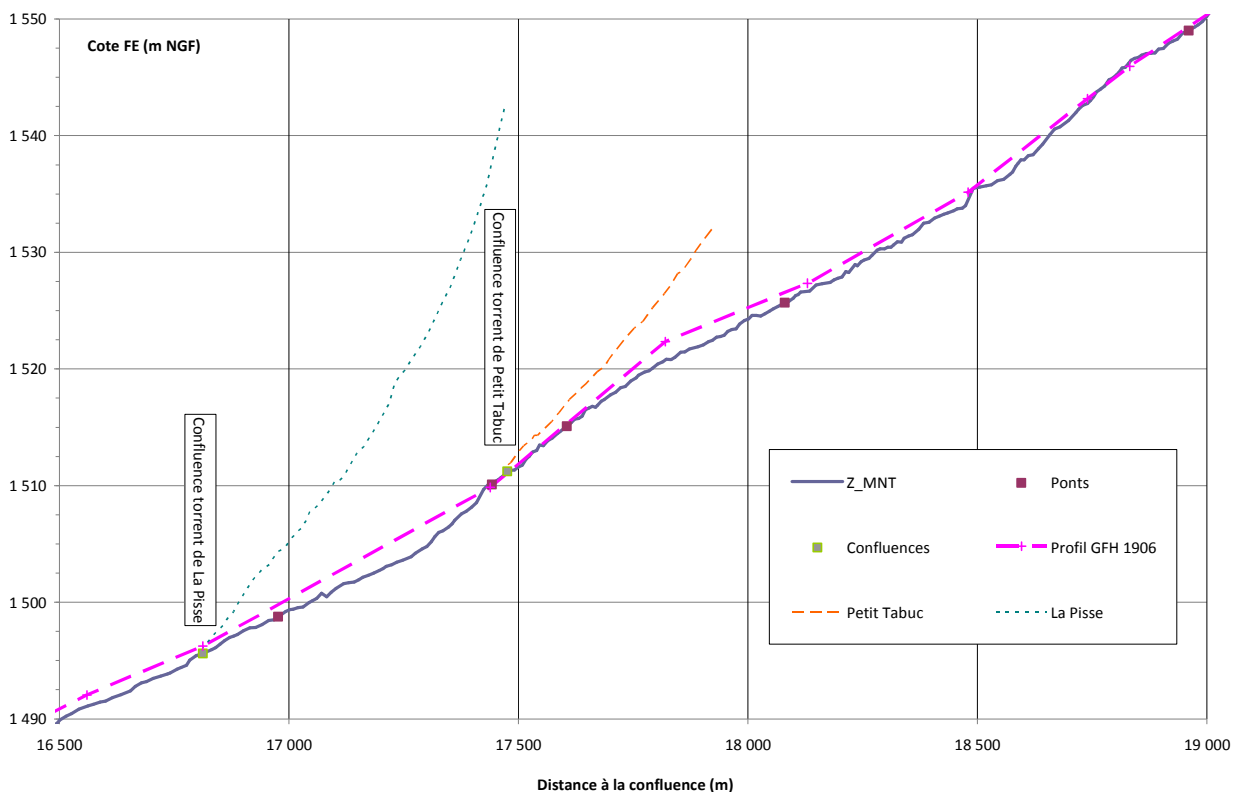


Figure 8 : Profil en long de la confluence du Petit Tabuc avec la Guisane.

Cette configuration est plutôt favorable car elle facilite la reprise des matériaux à la confluence... et leur étalement dans la vaste plaine en aval où les enjeux sont très réduits. Cependant, une modélisation de la traversée urbaine paraît nécessaire afin de définir le comportement de la Guisane à partir des éléments fournis précédemment.

1.1.6. Principes de gestion

Trois niveaux d'interventions très différents sont envisageables dans la zone de confluence entre le Petit Tabuc et la Guisane :

- Curer les matériaux en cas d'engravement. Cette opération a minima est facile à mettre en œuvre et elle est peu coûteuse. Par contre, elle n'apporte pas d'amélioration sensible par rapport au risque de débordement dans le village, l'intervention étant réalisée après coup.
- Réduire les apports à la confluence par la mise en place d'une zone de dépôt sur le cône de déjection (une intervention dans le bassin versant semble être exclue). Il s'agirait plutôt de mettre en place une vaste zone de dépôt - un peu à l'image de ce qui a été réalisé sur le St Joseph - que de construire une plage de dépôt haute avec un ouvrage de contrôle. Cependant, le site se prête mal à un tel aménagement, notamment car il impose l'utilisation de vastes superficies agricoles et que son impact paysager peut être fort. De plus, le lit étant peu marqué, le débordement - et le dépôt associé - paraissent très probables en cas de crue, créant de fait une telle plage de dépôt.
- Déplacer la confluence en aval du village ce qui réduirait considérablement les zones potentiellement inondables. La création d'un "nouveau" lit correspondrait alors à la restauration d'un ancien tracé, aujourd'hui totalement effacé par l'exploitation des prés. Il s'agit évidemment de travaux importants mais très efficaces pour la protection du village. Une étude de faisabilité est alors évidemment nécessaire.

1.2. Torrent de la Pisse

1.2.1. Description rapide du bassin versant et du lit

1.2.1.1. Zone d'érosion

Le torrent de la Pisse draine un petit bassin versant de 0.9 km² seulement. Sa principale caractéristique est d'être constitué d'une large griffe d'érosion qui entaille les falaises sur le versant Nord de la vallée de la Guisane.

La photo suivante la partie amont de ce petit bassin versant :



Figure 9 : Ensemble du bassin versant du torrent de la Pisse.

L'érosion est localisée dans les falaises du lit principal, la géologie y étant complexe et hétérogène. Les pentes sont très fortes jusqu'au pied de versant ce qui explique que la capacité de transport soit très élevée même si les débits liquides sont réduits.

Le principal aménagement, et le plus amont, est constitué par le pont de la RD1091 qui est visible sur la photo page suivante. Le lit semble alors alluvionnaire mais partiellement pavé par des blocs.

Cet ouvrage marque le sommet du cône de déjection avec une pente supérieure à 16 %.



Photo 3 : Pont de la RD1091 dans le secteur à forte pente du torrent de la Pisse.

1.2.1.2. Cône de déjection

Le torrent de la Pisse présente un lit de section très régulière - un peu comme les torrents écoulant des laves torrentielles - mais il s'agit vraisemblablement d'un recalibrage du lit suite aux dernières crues. La pente diminue progressivement et régulièrement, engendrant une forte tendance au dépôt. Ainsi, les matériaux du lit ont été curés et constituent des digues hautes mais largement illusoires.

La photo suivante montre ce lit, actuellement très boisé :



Photo 4 : Lit dans la zone de dépôt du torrent de la Pisse.

Les boisements actuellement visibles le long du lit - et qui témoignent des dernières zones atteintes - constituent une bonne illustration des risques de débordement le long de ce torrent :



Figure 10 : Vue de l'ensemble du cône de déjection du torrent de la Pisse.

La pente et la section du lit diminuent progressivement en allant vers l'aval. Il est probable que, lors des fortes crues, le torrent déborde plus en amont, épargnant le lit aval.

1.2.1.3. Confluence

La photo suivante montre le lit de très faible capacité peu en amont de la confluence avec la Guisane :



Photo 5 : Lit terminal du torrent de la Pisse.

Cette photo montre que la capacité de transport est ici nettement réduite, comme la granulométrie des matériaux apportée à la Guisane. Le tracé de la rivière - comme son profil en long - ne sont visiblement pas impactés par ces apports, très réduits dans la zone de confluence.

1.2.1.4. Historique des crues

05-1856	Crue généralisée - notamment en haute Guisane - y compris sur la Pisse.
21-06-1872	Digue endommagée, terres engravées, canal coupé.
07-06-1955	Crue avec charriage important. Débordement dans les cultures. RD1091 engravée sur 1 mètre d'épaisseur et 30m de long. Engrèvement du canal de Ville sur 150m de long. Berges détruites et prise d'eau du canal emportée.
13-06-1957	Pont obstrué et ravinement de la plate-forme du CD 300 L sur une longueur de 200 mètres.
13-07-1987	Crue avec engrèvement de 2 à 3 ares de forêt, vraisemblablement peu en aval du pont de la RD1091.

L'historique confirme l'analyse de terrain avec des dégâts essentiellement causés par des dépôts en aval de la RD1091. Il est remarquable pour un bassin versant aussi peu étendu, que les crues correspondent à des précipitations longues et pas à des intensités fortes comme lors des orages d'été.

Pour la crue de 1987, la question d'un écoulement de lave torrentielle est posée. En effet, la morphologie de la zone de débordement lors de cette crue - peu en aval du pont de la RD1091 - suggère un écoulement de lave torrentielle mais aucun élément ne permet d'être affirmatif.

1.2.2. Nature des phénomènes

Il n'est pas exclu que des laves torrentielles s'écoulent dans le lit amont. Par contre, elles s'arrêteraient dans la zone de réduction de pente, entre le pont de la RD1091 et le canal.

Dans la zone de confluence, seul le transport solide par charriage paraît probable. Ce seul phénomène est retenu par la suite.

1.2.3. Hydrologie

Les tableaux pages suivantes montrent les étapes de l'étude hydrologique. Les résultats retenus sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
0.9	1.0	3.2

Torrent de la Pisse

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)	$Pluie = \frac{a \text{ duré } e}{(\text{duré } e + c)^b}$		
					a	b	c
0.9	80	1.5	900	100	26.3	0.65	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)
1.0	9	9	0.1	0.3	600	3	0.01

Calcul du temps de concentration

	temps de concentration calculé (en heure)
Formule de Passini	0.67
Formule de Giandotti	1.15
Méthode de Zeller	2.21

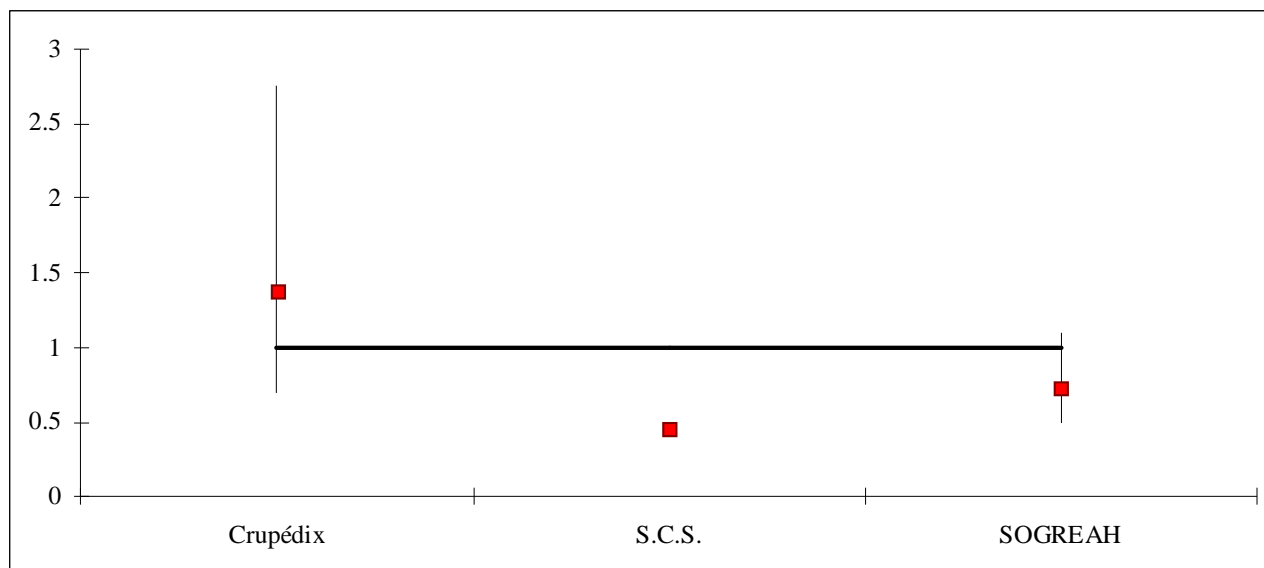
temps de concentration retenu (en heure)	2
--	----------

Calcul du débit décennal

Nom de la méthode	débit de pointe calculé (m ³ /s)
Crupédix	1.4
S.C.S.	0.5
SOGREAH Pivot	0.7

débit de pointe décennal retenu (en m ³ /s)	1
--	----------

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



Torrent de la Pisse
Calcul des débits de différentes périodes de retour

Caractéristiques du bassin versant (méthode du gradex)

$Gradex = \frac{a' \text{ duré } e}{(duré \ e + c')^{b'}}$			Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la crue
a'	b'	c'	
5.60	0.65	0	2.0

Calcul du gradex des débits

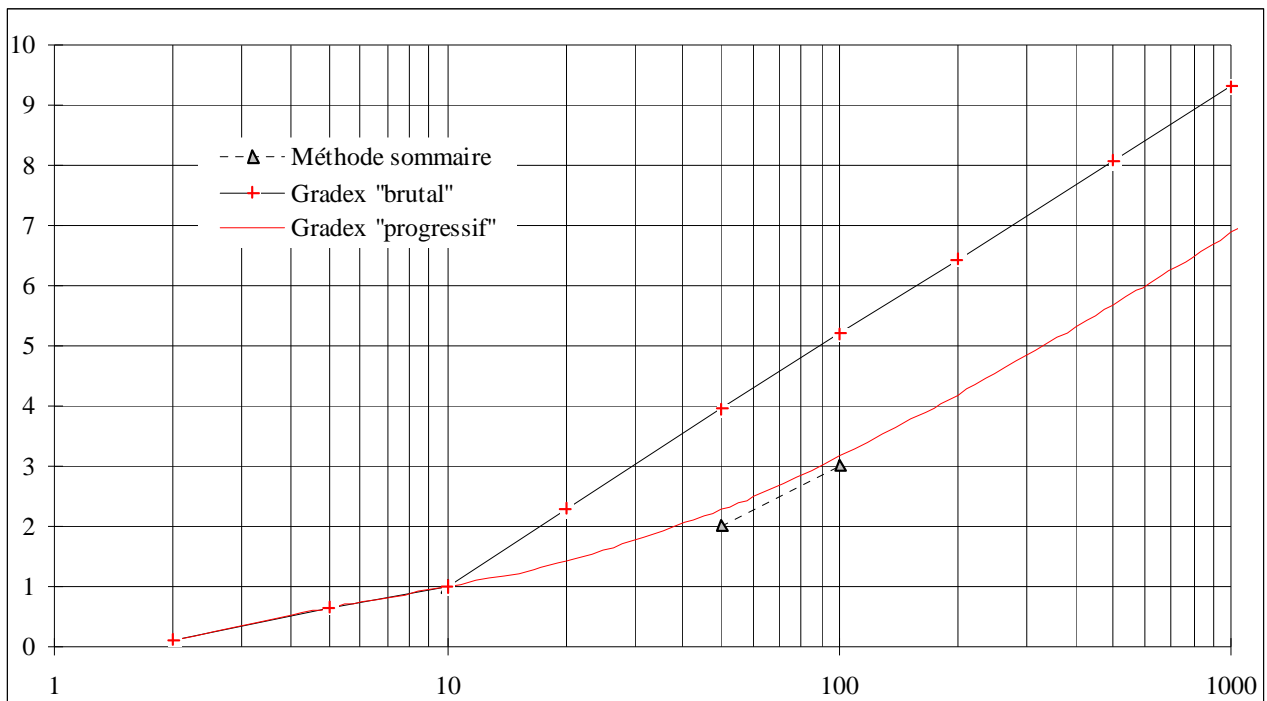
Période de retour inférieure à 10 ans	0.5
Période de retour supérieure à 10 ans	2

SOGREAH (méthode pivot)	3.1
-------------------------	-----

Calcul des débits de pointe

Période de retour (années)	Méthode sommaire	Gradex "brutal"	Gradex "progressif"
2		0.1	0.1
5		0.7	0.7
10	1	1.0	1.0
20		2.3	1.4
50	2	3.9	2.3
100	3	5.2	3.2

Période de retour	Débit retenu
10	1.0
100	3.2



1.2.4. Transport solide

1.2.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

La figure suivante montre le profil en long du torrent de la Pisse levé à l'occasion de cette étude :

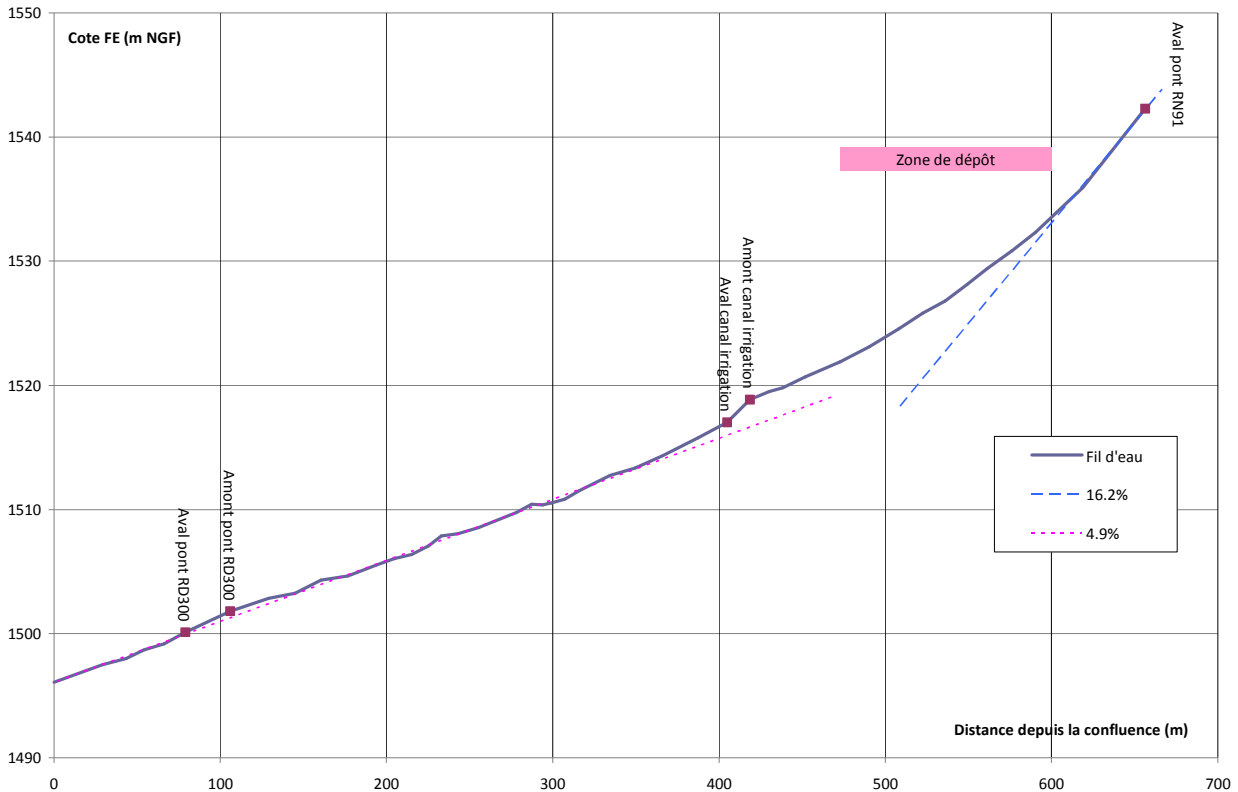


Figure 11 : Profil en long de la Pisse.

Ce graphique met clairement en évidence une réduction de pente progressive entre le pont de la RD1091 et le canal. Cette réduction de pente correspond ici à un dépôt de l'essentiel des matériaux. Une fois les matériaux déposés, la pente est régulière - et relativement faible - jusqu'à la Guisane.

Cette morphologie correspond à des apports du torrent faibles par rapport à l'espace disponible pour le dépôt des matériaux : le torrent de la Pisse n'a fait qu'esquisser un cône de déjection dans la large vallée de la Guisane. Il est encore très loin d'un équilibre et l'essentiel des matériaux se déposent sur le cône de déjection.

Cette situation est très différente des gros appareils torrentiels comme - par exemple - le grand et le petit Tabuc.

La pente d'équilibre est ici de l'ordre de 4.9 % pour la quantification des apports à la Guisane.

1.2.4.2. Granulométrie

Des mesures ont été réalisées de la Pisse :

L'une en amont dans la zone de dépôt au droit de la rupture de pente.

L'autre en aval, à proximité de la confluence avec la Guisane.

Les mesures sont indiquées dans le graphique suivant :

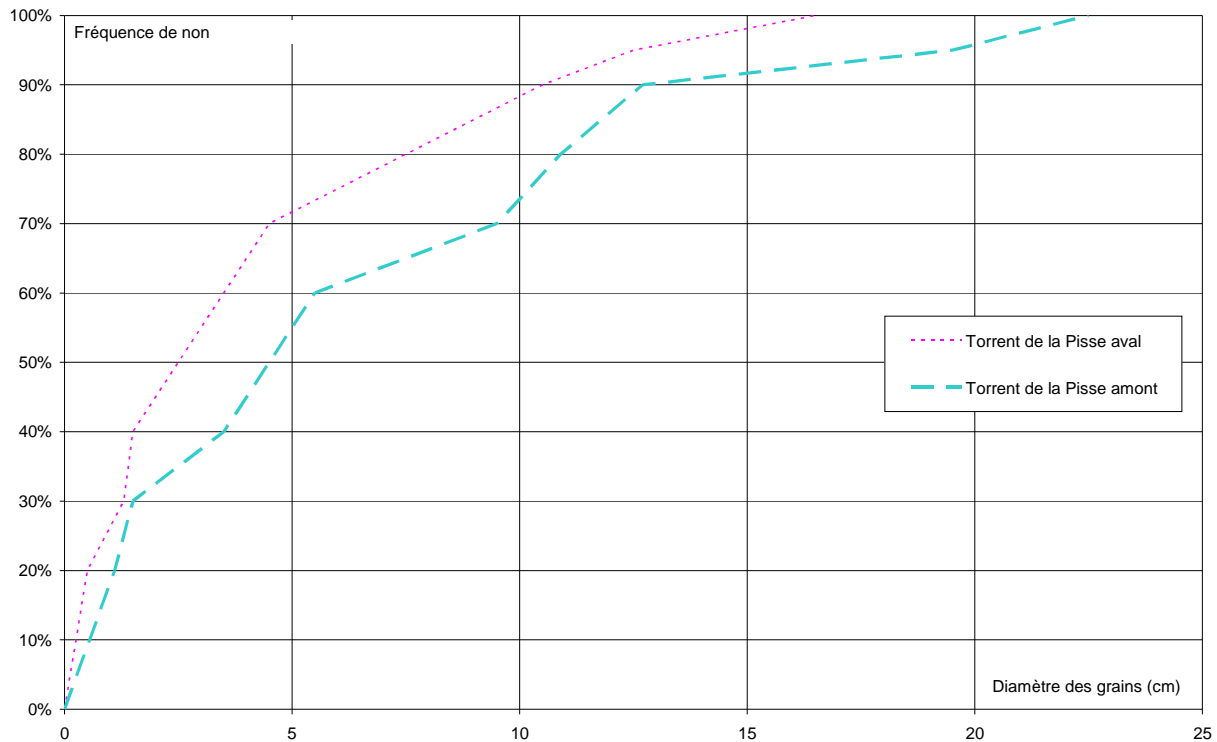


Figure 12 : Mesures granulométriques sur la Pisse.

Ces mesures confirment le diagnostic précédent, avec un tri granulométrique important entre la zone de dépôt et le lit aval. Ce sont évidemment les paramètres correspondant au lit aval qui sont retenus pour la quantification des apports à la Guisane :

d_{30} (cm)	1.3
d_m (cm)	4.1
d_{90} (cm)	10.5
d_{90}/d_{30}	8

1.2.4.3. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale :

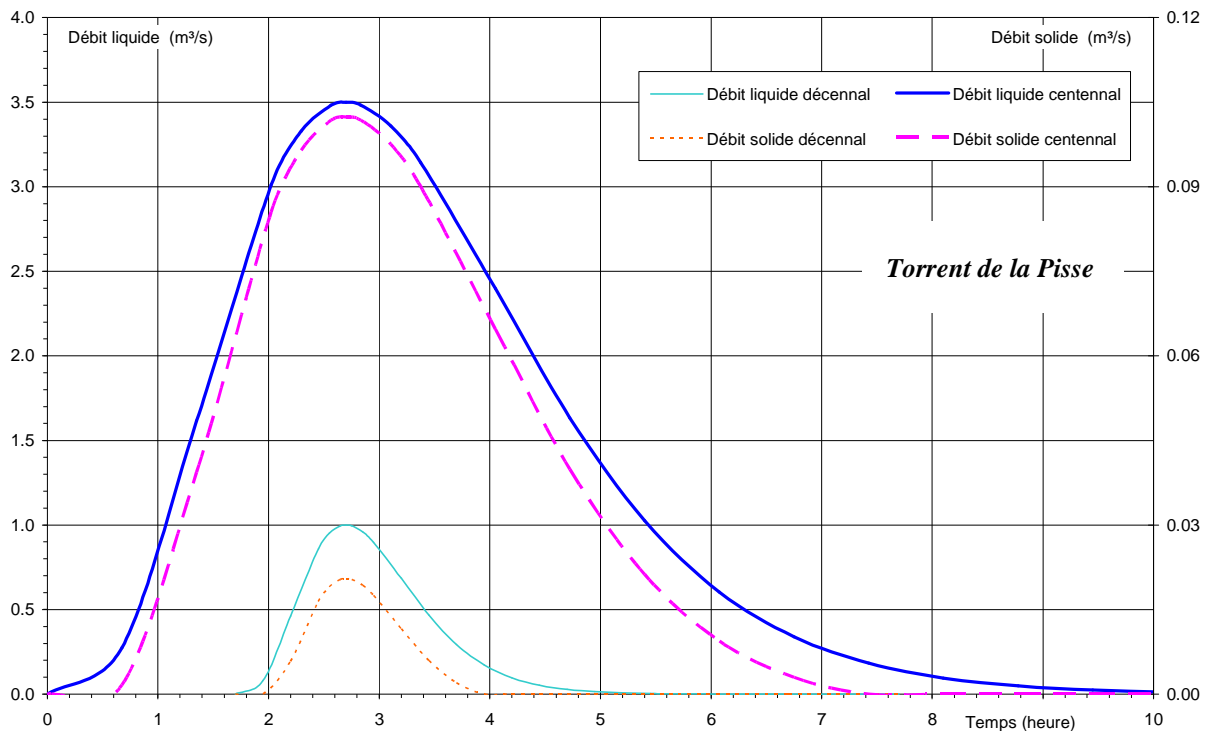


Figure 13 : Hydrogrammes liquides et solides du torrent de la Pisse.

La pente et le débit liquide étant réduits, les volumes transportés sont faibles :

	Volume transité lors de la crue (m ³)
Crue décennale	100
Crue centennale	1 100

Dans les faits, le transit peut concerner des volumes un peu supérieurs si les matériaux sont plus fins, notamment après le tri granulométrique dans la zone de la rupture de pente.

En cas de lave torrentielle dans la partie amont, le dépôt serait massif à la rupture de pente et les apports à la Guisane encore plus faibles.

1.2.5. Synthèse - Comportement à la confluence

Les apports solides sont faibles et la confluence est implantée dans une zone où les enjeux sont réduits. Les principaux dégâts seraient liés à un débordement du torrent de la Pisse, vraisemblablement bien en amont de la confluence.

Une modélisation de la zone de confluence du torrent de la Pisse avec la Guisane ne semble pas présenter d'intérêt.

1.2.6. Principes de gestion

Étant donnée la faiblesse des dépôts et des enjeux, la démarche qui paraît la mieux adaptée consiste à curer d'éventuels dépôts entre la sortie des gorges et la confluence avec la Guisane afin de restaurer la section actuelle. Elle permet notamment de prévenir une augmentation des risques de débordement dans le canal d'irrigation.

1.3. Saint Joseph

1.3.1. Description rapide du bassin versant et du lit

1.3.1.1. Zone d'érosion

Le torrent de St Joseph draine un bassin versant sur le versant nord de la vallée de la Guisane. Dans la partie aval, des glissements de terrain ont - par le passé - apporté des volumes importants de matériaux. Aujourd'hui cette partie du bassin versant fait l'objet d'une correction par les ouvrages RTM, et l'activité des glissements de terrain est fortement ralentie.

La photo suivante montre l'essentiel de ce bassin versant :



Figure 14 : Ensemble du bassin versant du torrent de St Joseph.

La zone qui était la plus active a été reboisée et des barrages imposants stabilisent les versants. La photo suivante montre un ouvrage récent et un lit très refermé, témoignant d'un transport solide très faibles depuis plusieurs années.



Photo 6 : Barrage et lit apparemment sans transport solide important.

1.3.1.2. Cône de déjection

Le cône de déjection débute brutalement à la sortie des gorges et présente un volume et une étendue très importants. Cependant, il apparaît deux cônes de déjection distincts :

- Un cône de déjection fossile correspond à la rive gauche du lit, particulièrement dans la partie amont. Il est calée très au dessus du lit actuel et correspond vraisemblablement à une période de forte activité du torrent.
- Un cône de déjection actif correspond plutôt à la rive droite du lit et à la partie aval. C'est dans cette zone que le torrent du St Joseph divagueraient en cas de crue. Un camping est aujourd'hui implanté dans la partie aval de ce cône de déjection.

Ainsi, le torrent de St Joseph a été récemment aménagé en vue de la protection du camping. Cet aménagement vise deux objectifs, a priori contradictoires :

- Préserver le fonctionnement naturel du torrent en permettant un dépôt important. En effet, le cône de déjection présente une réduction de pente sensible en allant vers l'aval. Il est alors nécessaire de préserver un lit suffisamment large.
- Limiter l'extension des débordements et des dépôts afin de protéger les terrains riverains et notamment le camping dans la partie aval. Ainsi, dans la partie aval, la protection est plus haute en rive droite qu'en rive gauche où les enjeux sont très faibles.

Notons que les merlons latéraux, dépourvus de protection de berge en enrochements, paraissent trop étroits pour éviter un affouillement lors d'une crue exceptionnelle.

Cet aménagement impose donc une forte empreinte au sol, comme le montre la photo suivante :



Photo 7 : Zone de dépôt / régulation en amont torrent de St Joseph du pont de la RD1091.

La même morphologie est aujourd'hui visible en aval du pont, au droit du camping :



Photo 8 : Zone de dépôt / régulation entre le pont de la RD1091 et la Guisane.

1.3.1.3. Confluence

En amont de la confluence, les protections latérales s'effacent pour maximiser les possibilités de dépôt dans le lit aval. La Guisane témoigne de l'impact du torrent de S^t Joseph dans la zone de confluence. En effet, le lit est large et divaguant en amont et plus étroit en aval. Par contre, la pente de la Guisane est globalement régulière. L'effet du torrent est donc faible et n'est sensible que sur le tracé en plan.

Le pont des Granges - situé en aval de la confluence - limite localement la capacité du lit et favorise le dépôt en amont. Les berges de la Guisane sont peu élevées, ce qui est favorable à un étalement des apports solides, d'autant plus que l'aménagement amont permet une régulation des apports.

La photo suivante montre le large lit en amont de la confluence :



Photo 9 : Guisane large en amont de la confluence avec le torrent de S^t Joseph.

1.3.1.4. Historique des crues

1434	
1447	Engrèvement de terres agricoles.
1449	
1667	Crue généralisée sur la commune. 678 ha sont ensevelis. Il n'est pas fait de
1673	mention particulière du torrent de S ^t Joseph.
11-07-1725	Engrèvement de terres agricoles.
04-06-1731	Route coupée par une "lave torrentielle". Engrèvement probable des terrains
01-06-1733	riverains.
30-.5-1856	Quelques maisons inondées ou engravées. Église menacée.
1872	RD1091 coupée. Il s'agit peut être du même épisode du 21 juin que sur le torrent de la Pisse.
1880	Route coupée. Engrèvement probable des terrains riverains.

D'autre part, des travaux importants ont été conduits dans le bassin versant par le RTM :

- ↻ Reboisement de toute la partie centrale du torrent (zone d'érosion la plus active).
- ↻ Drainage de la branche Ouest vers 2100 m d'altitude.
- ↻ Correction du talweg inférieur par neufs barrages constitués de blocs bétons entre 1675 et 1639 m d'altitude. Ces barrages ont été construits entre 1987 et 1988. Trois barrages en aval, plus anciens, stabilisent le lit avant son arrivée sur le cône de déjection.

L'efficacité de ces ouvrages, même si elle est difficile à quantifier, ne fait guère de doute, les ouvrages étant situés dans une zone d'érosion active. Il est probable qu'une réduction sensible des risques d'apports solides très importants a été obtenue par drainage de la partie centrale du bassin versant.

Cet historique conduit à plusieurs remarques :

- ❖ Le torrent du S^t Joseph semble fonctionner par crise avec des crues autour de 1440, 1670, 1730 et 1860. Ce comportement est vraisemblablement à rapprocher des glissements de terrain dans le bassin versant : en période de forte activité des glissements, le torrent cause des dégâts importants. Au contraire, si les glissements sont très ralentis, la fourniture de matériaux au torrent est modérée, réduisant alors considérablement les risques d'inondation.
- ❖ Aucune crue n'est mentionnée depuis 1880, ce qui suggère que le torrent soit - au moins partiellement - éteint, ce qui est cohérent avec un lit encaissé au sommet du cône de déjection et l'absence de trace de crue dans le lit. Cette absence de crue montre l'efficacité des travaux réalisés par le RTM.
- ❖ Les éléments historiques font mention de laves torrentielles. Il convient d'être prudent, la définition rigoureuse de ce type de phénomène étant encore de nos jours très discutée et cette notion était vraisemblablement mal établie en 1733.

La photo suivante montre un drain réalisé en 1906 dans le bassin versant en vue de stabiliser les glissements de terrain (document RTM) :



Figure 15 : Drain réalisé par le RTM dans le bassin versant du St Joseph.

1.3.2. Nature des phénomènes

Si l'écoulement d'une lave torrentielle doit être pris en compte pour le dimensionnement d'ouvrages - notamment dans le cadre du dépassement de la crue de projet - ce type d'écoulement paraît trop rare ici pour être intégré dans un plan de gestion, notamment parce qu'il est probable que la lave s'arrête dans le nouvel aménagement du lit.

La grande rareté des laves torrentielles est attestée par le confluent avec la Guisane qui ne montre aucune rupture de pente, ce qui suggère que les apports de très gros blocs pas le S^t Joseph n'ont pas été très importants depuis plusieurs décennies. La rupture de pente est située un peu en aval, au confluent avec le torrent du Grand Tabuc, nettement plus actif.

Ainsi, l'analyse du transport solide du torrent de S^t Joseph sera réalisée en considérant uniquement les phénomènes de charriage.

1.3.3. Hydrologie

Les tableaux pages suivantes montrent les étapes de l'étude hydrologique. Les résultats retenus sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
4.3	4.5	12

Saint Joseph

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)	$Pluie = \frac{a \text{ duré } e}{(\text{duré } e + c)^b}$		
					a	b	c
4.3	80	1.5	900	100	26.3	0.65	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)
1.0	9	9	0.1	0.3	600	3	0.01

Calcul du temps de concentration

	temps de concentration calculé (en heure)
Formule de Passini	1.13
Formule de Giandotti	1.45
Méthode de Zeller	2.21

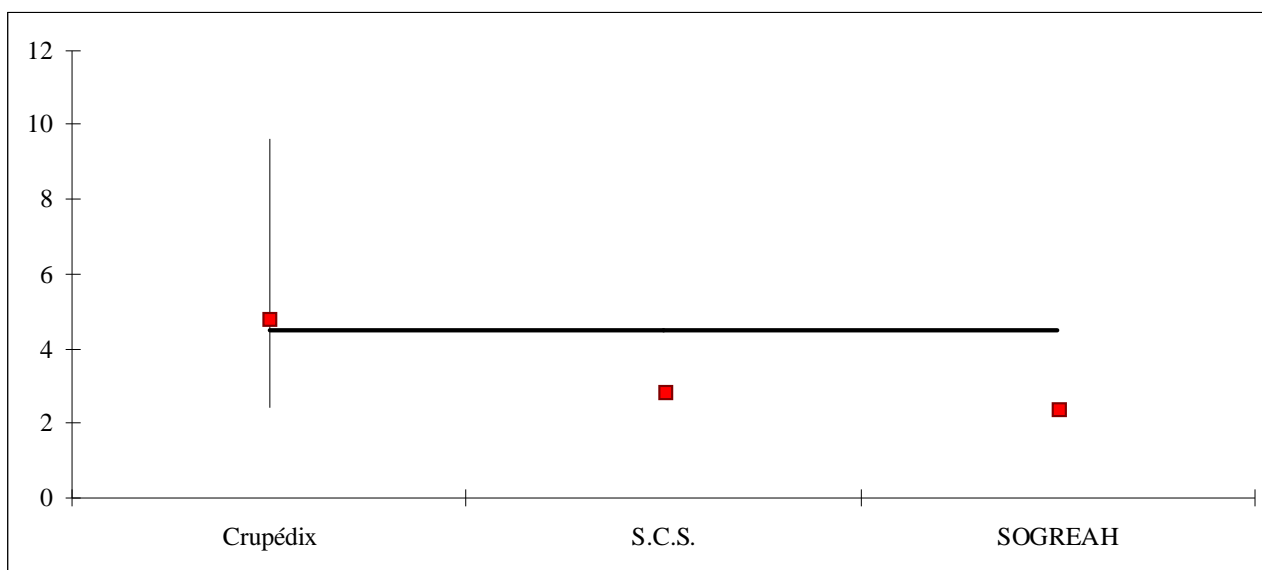
temps de concentration retenu (en heure)	1.5
---	------------

Calcul du débit décennal

Nom de la méthode	débit de pointe calculé (m ³ /s)
Crupédix	4.8
S.C.S.	2.9
SOGREAH Pivot	2.4

débit de pointe décennal retenu (en m³/s)	4.5
---	------------

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



Saint Joseph
Calcul des débits de différentes périodes de retour

Caractéristiques du bassin versant (méthode du gradex)

$Gradex = \frac{a' \text{ duré } e}{(duré e + c')^{\frac{b'}{c'}}$			Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la crue
a'	$\frac{b'}{c'}$	c'	
5.60	0.65	0	2.0

Calcul du gradex des débits

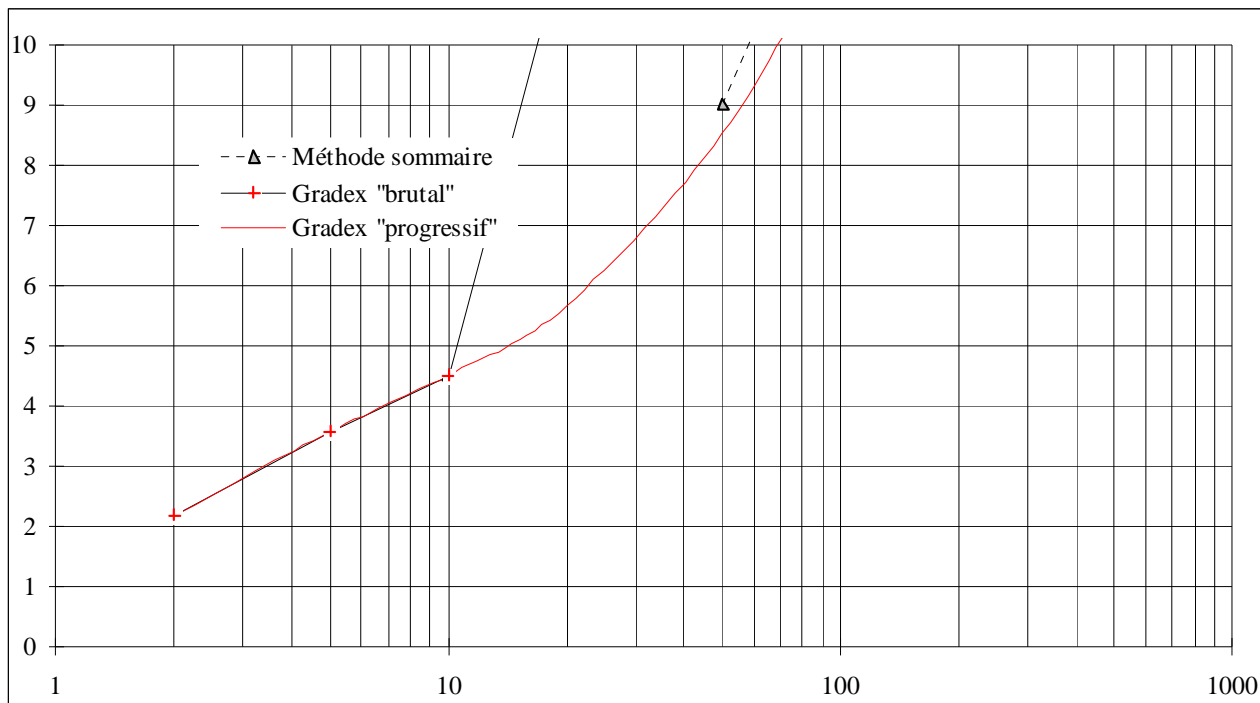
Période de retour inférieure à 10 ans	1.2
Période de retour supérieure à 10 ans	10.3

SOGREAH (méthode pivot)	10.1
-------------------------	------

Calcul des débits de pointe

Période de retour (années)	Méthode sommaire	Gradex "brutal"	Gradex "progressif"
2		2.2	2.2
5		3.6	3.6
10	5	4.5	4.5
20		11.9	5.7
50	9	21.5	8.5
100	14	28.7	12.0

Période de retour	Débit retenu
10	4.5
100	12



1.3.4. Transport solide

1.3.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

La figure suivante montre le profil en long réalisé sur l'ensemble du cône de déjection lors de l'étude de la protection du camping en 2000 :

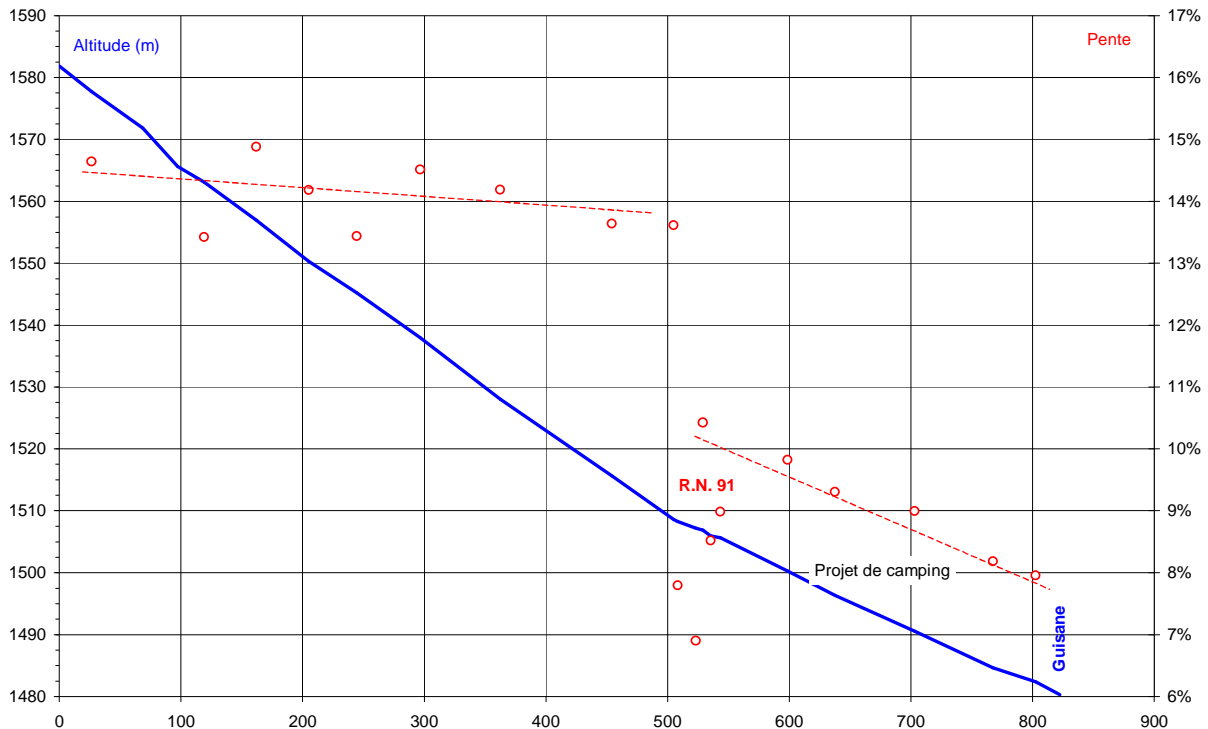


Figure 16 : Profil en long du torrent de St Joseph sur son cône de déjection.

Il apparaît nettement deux zones :

- ↙ Amont de la R.N. 91. Dans cette zone, la pente est forte (14 à 15 %) et faiblement décroissante. Le phénomène essentiel est le transit des matériaux, la capacité de transport étant peu variable. Cette zone correspondrait à un pavage du lit après la réduction de l'activité du torrent. La pente est alors plus représentative du cône de déjection fossile qui couvre la rive gauche dans la partie amont du cône de déjection.
- ↙ Aval de la R.N. 91. La pente est alors nettement décroissante (de 10 à 7 %) et beaucoup plus faible que dans le cours amont. De plus, la décroissance indique une réduction de la capacité de transport et un dépôt important lors des crues. Cette zone correspond plutôt au "cône de déjection actif" depuis la réduction de l'activité du bassin versant.

Le risque de dépôt prépondérant est donc situé à proximité du pont de la RD1091, ce qui est cohérent avec des débordements fréquents sur cette route dans l'historique des crues.

Pour la détermination des apports à la confluence avec la Guisane, la quantification est réalisée avec une pente de 9 %. Il paraît très probable que ces apports soient supérieurs en amont.

1.3.4.2. Granulométrie

Des mesures ont été réalisées dans la zone de divagation aval du torrent de St Joseph et sont indiqués dans le graphique suivant :

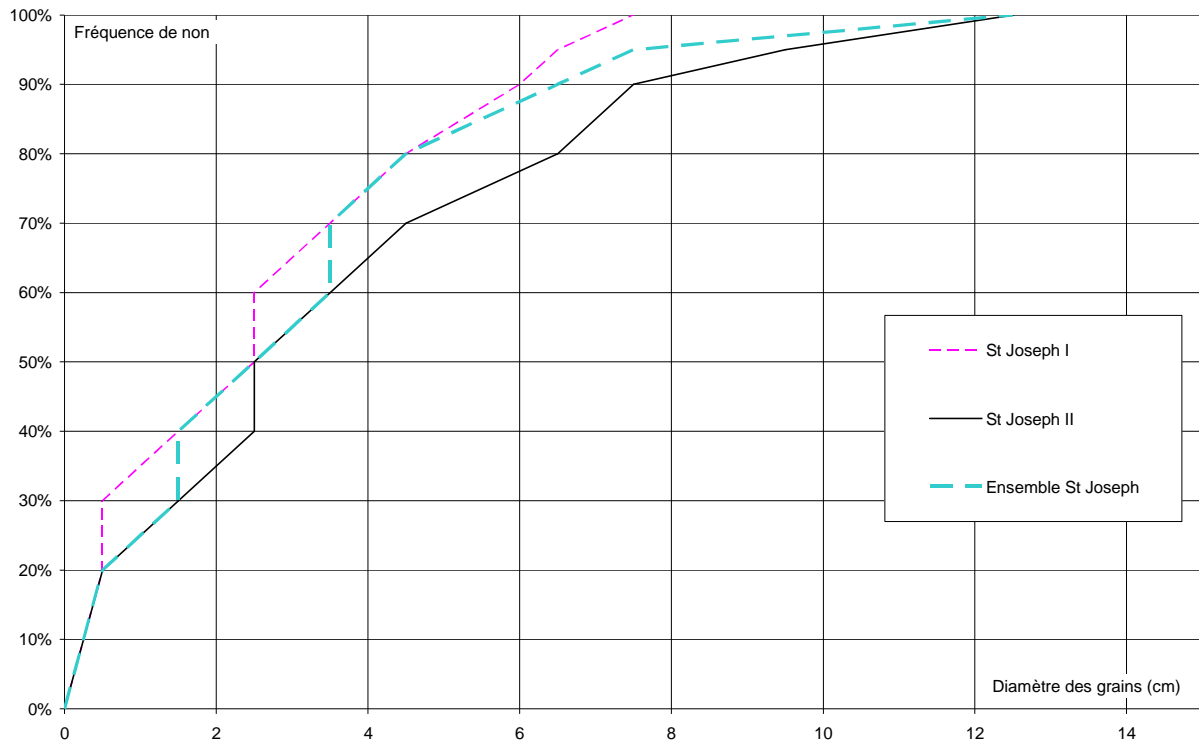


Figure 17 : Mesures granulométriques sur le torrent de St Joseph.

Ces mesures conduisent aux paramètres suivants :

d_{30} (cm)	1.5
d_m (cm)	3.0
d_{90} (cm)	6.5
d_{90}/d_{30}	4.3

Ces valeurs paraissent exagérément faibles. En effet, les mesures ont été réalisées sur des terrains très remaniés par les aménagements du lit sur le cône de déjection. Ainsi, les valeurs suivantes sont retenues pour la quantification des apports solides en crue :

d_m (cm)	6.0
d_{90}/d_{30}	8

1.3.4.3. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale :

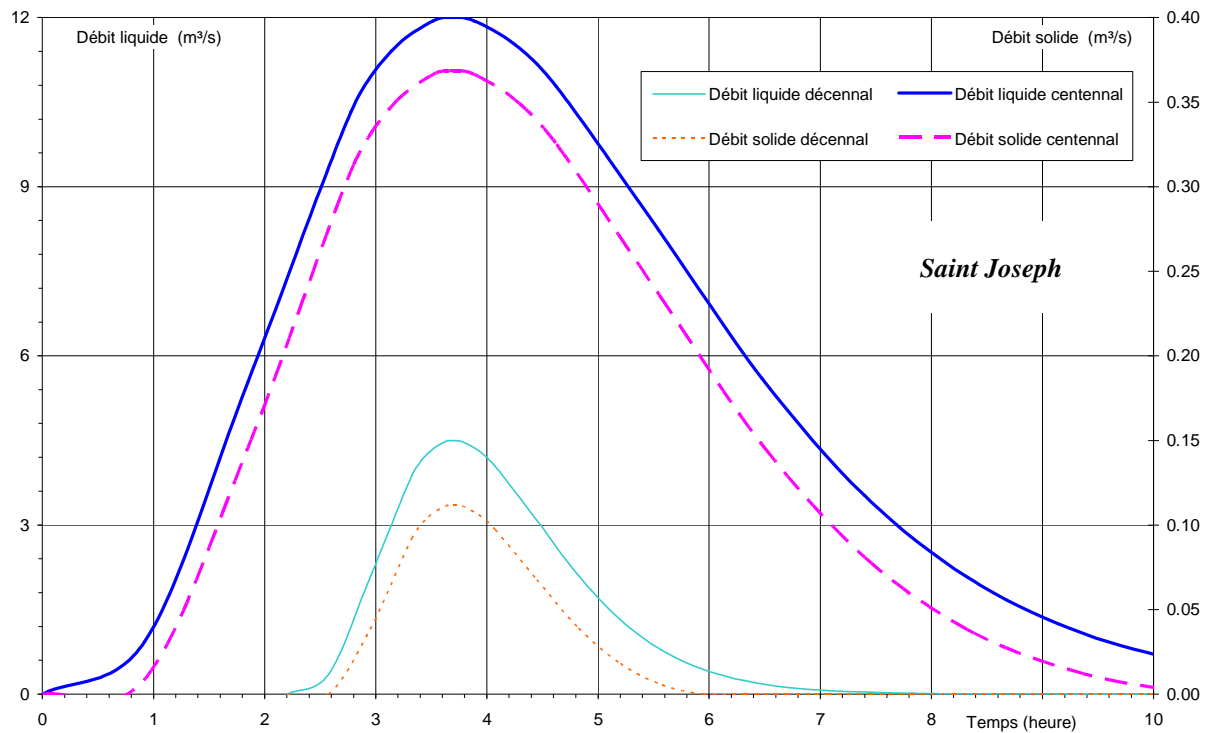


Figure 18 : Hydrogrammes liquides et solides du torrent de St Joseph.

Les volumes transportés sont les suivants :

	Volume transité lors de la crue (m ³)
Crue décennale	700
Crue centennale	6 000

1.3.5. Synthèse - Comportement à la confluence

Les apports du torrent du S^t Joseph peuvent s'étaler largement dans la zone de confluence où le pont des Granges constitue le principal - mais faible - enjeu. Depuis la réduction de l'activité du glissement de terrain grâce aux travaux RTM, les apports de ce torrent sont modérés.

Ainsi, les apports de ce torrent devraient avoir un impact faible, notamment parce que la zone de dépôt amont permet la régulation d'un éventuel apport exceptionnel.

La pente de la Guisane est régulière et la granulométrie réduite des apports du torrent facilite la reprise des matériaux. Une modélisation de la zone de confluence présente un d'intérêt limité et très local.

1.3.6. Principes de gestion

La principale opération est de préserver la capacité de stockage de l'aménagement par le curage des dépôts après les crues. Cette opération devrait être très peu fréquente et d'ampleur limitée. Aucun besoin de curage n'est d'ailleurs apparu depuis la réalisation de cet aménagement.

D'autre part, le camping - et en amont la RD1091 - présente les principaux enjeux. Le risque principal correspond à une érosion de la digue. Ainsi, deux solutions sont envisageables :

- ➔ Augmenter considérablement la largeur des digues, notamment avec les matériaux issus des curages. Cette opération présente l'avantage d'être très économique mais elle nécessite une forte emprise foncière.
- ➔ Mettre en place des enrochements pour éviter l'érosion des digues. Cette solution est plus sûre.

1.4. Grand Tabuc

1.4.1. Description rapide du bassin versant et du lit

1.4.1.1. Zone d'érosion

Le Grand Tabuc draine un bassin versant de 17.5 km² dans un milieu de haute montagne. L'héritage glaciaire constitue le caractère dominant dans ce bassin versant.

La photo suivante montre l'ensemble de ce bassin versant à partir des données du Géoportail :

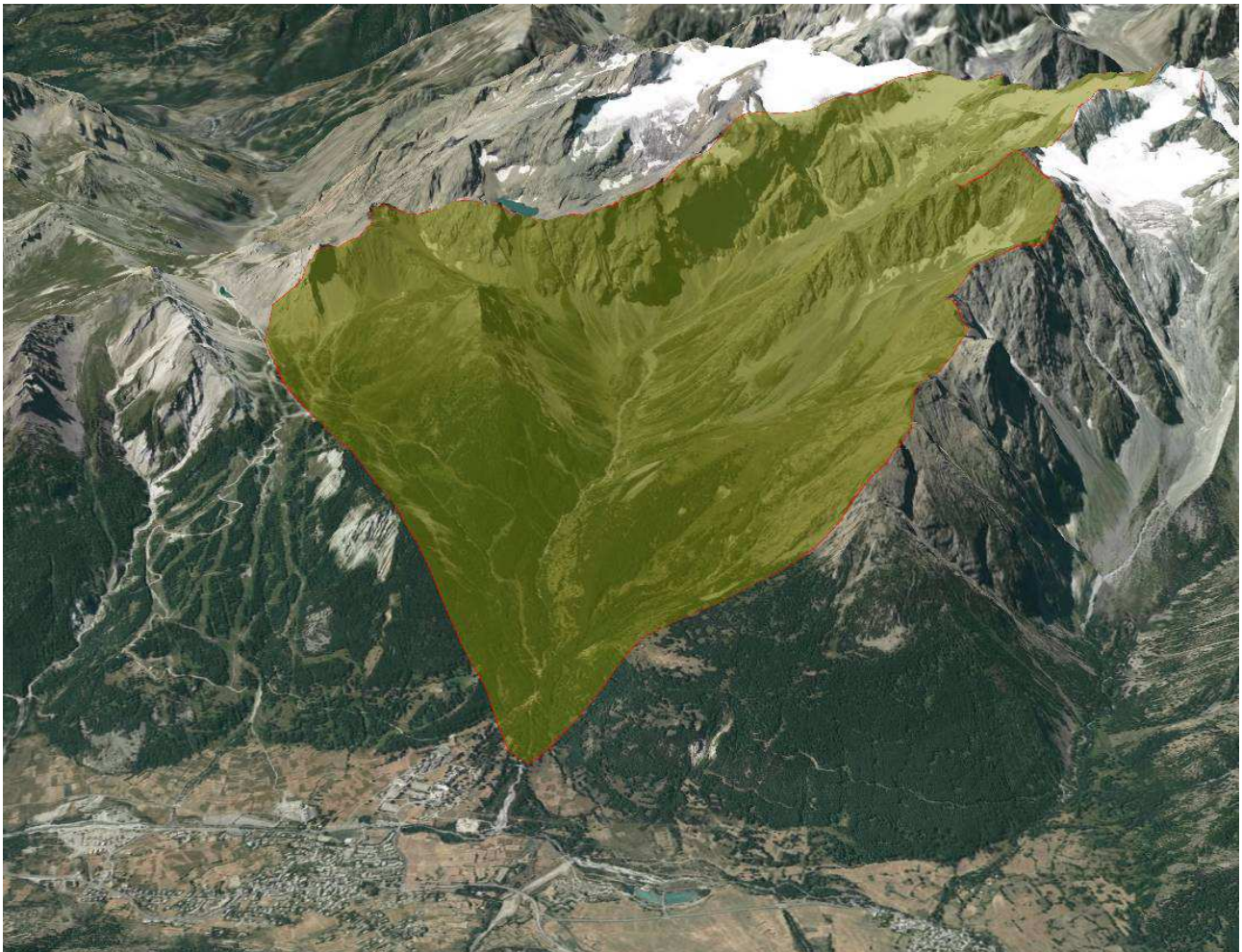


Figure 19 : Ensemble du bassin versant du Grand Tabuc.

Dans la partie amont, le relief est particulièrement jeune, le recul des glaciers étant - ici aussi - relativement récent. C'est notamment le cas du Glacier des Près les Fonts ou le Glacier du Monétier bien visibles au milieu du XIX^{ème} siècle mais qui ont presque totalement disparus aujourd'hui.

Vers 1900 m d'altitude, les apports provenant des moraines forment un vaste dépôt à forte pente avec un lit très divaguant lors des crues mais où l'infiltration des débits ordinaires est totale, comme le montre la photo suivante :



Photo 10 : Zone alluvionnaire du Grand Tabuc dans la partie amont.

Ce secteur joue un rôle de régulation du transport solide... mais assure aussi des apports solides intenses en cas de crue. Un captage d'alimentation en eau potable en rive droite à l'aval de cette zone de régulation explique qu'une piste routière longe le lit dans toute la partie aval.

La transition avec les gorges aval est progressive et le Grand Tabuc s'encaisse dans un lit étroit pavé par des très gros blocs, provenant des versants - et à plus long terme - des moraines. La première photo page suivante montre cette transition et un lit pavé... mais avec les traces d'un transport solide intense.

Dans le cours aval, le pavage devient plus marqué avec des chutes importantes, mais le transport solide reste intense et clairement visible, comme le montre la seconde photo. Ce transport paraît très intense et la morphologie après la crue de 1995 évoquait même le transit de lave torrentielle, ce qui paraît très surprenant !



Photo 11 : Entrée dans les gorges du Grand Tabuc.



Photo 12 : Lit pavé et fort transport solide dans les gorges du Grand Tabuc.

Les apports par les affluents paraissent secondaires par rapport au transport solide général du Grand Tabuc. La photo suivante montre l'effet d'un modeste trop plein d'alimentation en eau potable mal maîtrisé et illustre la fragilité des terrains :



Photo 13 : Effet d'un trop plein et érosion de la berge du Grand Tabuc.

1.4.1.2. Cône de déjection

Au sommet de son cône de déjection, le Grand Tabuc est franchi par plusieurs passerelles qui paraissent vulnérables à une forte crue. Le lit est ensuite peu marqué mais le Grand Tabuc suit un tracé globalement rectiligne jusqu'au confluent avec la Guisane.

Les enjeux sont ici réduits.... À l'exception d'un centre de vacances audacieusement implanté en rive droite. La faiblesse des enjeux anciens explique vraisemblablement que ce bassin versant n'ait pas bénéficié d'une correction par le RTM.

Une décharge dans la zone de confluence limite aujourd'hui les possibilités de divagation du torrent et d'étalement des matériaux. Son déplacement est évidemment souhaitable.

La photo page suivante montre une vue d'ensemble du cône de déjection :



Photo 14 : Cône de déjection bien marqué du Grand Tabuc.

Le terrain actuel, sous la végétation, est encore très marqué par les divagations du torrent :



Figure 20 : Carte et LIDAR du cône de déjection du Grand Tabuc.

La carte d'état major du XIX^{ème} siècle montre d'ailleurs un lit très divaguant sur le cône de déjection... particulièrement dans la zone récemment urbanisée.

La piste de fond de vallée franchit le Grand Tabuc au moyen de deux buses qui forment un obstacle à l'écoulement des crues et favorisent le dépôt de matériaux pour les crues ordinaires (il est d'ailleurs nettement visible sur la photo précédente). Cette zone montre une granulométrie réduite des apports solides ordinaires. Cette configuration nécessite évidemment des interventions régulières.

1.4.1.3. Confluence

La photo suivante montre la confluence avec la Guisane et un lit relativement large, les divagations étant localement favorisées par la granulométrie réduite des apports solides :



Photo 15 : Confluence du Grand Tabuc avec la Guisane.

Cette photo montre aussi le merlon en tout venant le long de la rive droite qui correspond à la prise d'eau du canal Guilbertin. Le graphique suivant correspond à la zone de confluence.

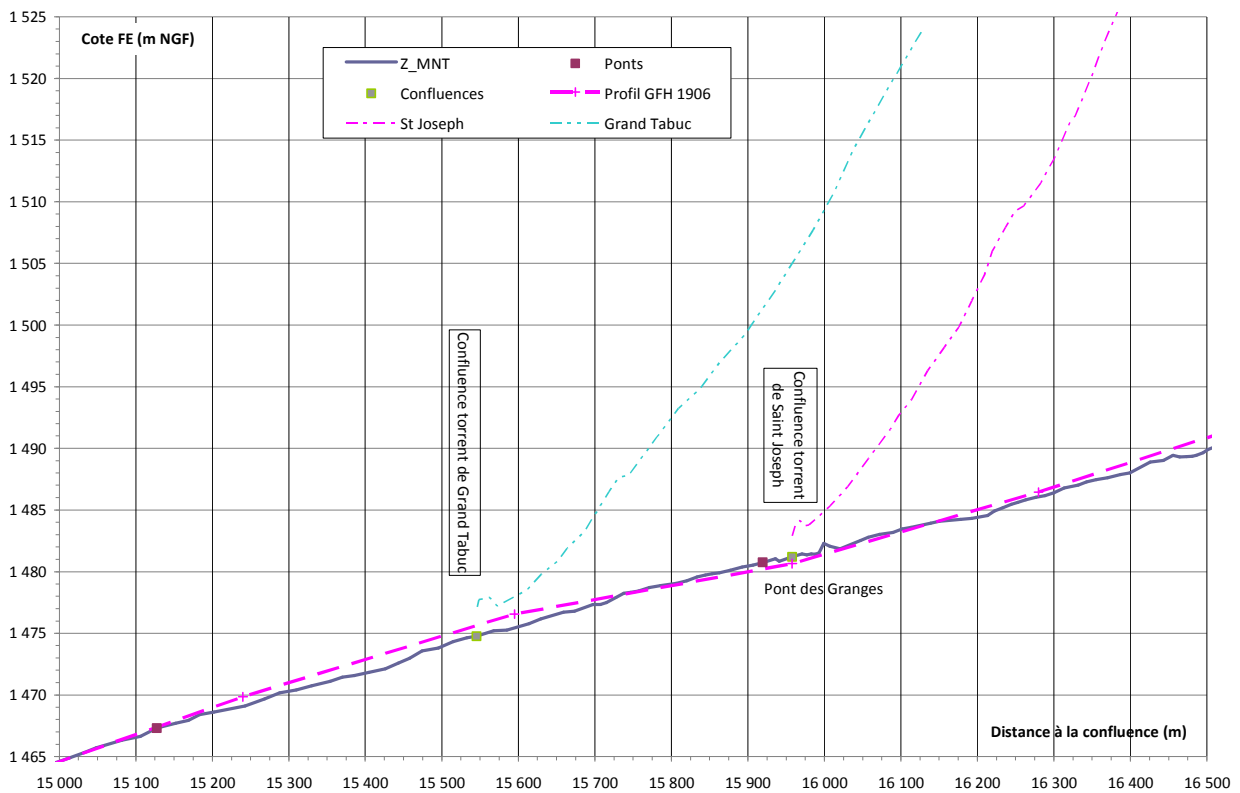


Photo 16 : Profils en long du Grand Tabuc, du St Joseph et de la Guisane.

Ce profil en long montre que la faible granulométrie des apports n'entraîne pas d'augmentation de pente forte et localisée. Par contre, l'augmentation du transport solide dans la Guisane génère un accroissement faible, mais généralisé, de la pente de la Guisane.

1.4.1.4. Historique des crues

1447	Terres agricoles emportées lors d'une crue généralisée. Plusieurs crues générales sont mentionnées sur le Monétier, notamment en 1667, 1673, 1856
6-10-1744	Crue du Grand Tabuc.
7-06-1955	Crue longue avec fonte. Pont détruits. Trois passerelles détruites ou endommagées.
5-08-1997	Conduite d'alimentation en eau potable et piste affouillées. Dépôt important sur l'aval du cône de déjection et creusement du lit amont.
28-05-2008	Crue atténuée par l'enneigement. Busage contourné et affouillé à la confluence. Prise d'eau engravée.

Outre d'anciennes crues catastrophiques et généralisées, cet historique se caractérise par l'absence de forte crue aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècle, les enjeux sur le cône de déjection étant finalement assez réduits.

Cet historique montre que le charriage torrentiel est - classiquement - le phénomène prépondérant sur le cône de déjection, ce qui est cohérent avec la morphologie du torrent.

1.4.2. Nature des phénomènes

Le Grand Tabuc se caractérise par un transport solide par charriage intense. Des laves torrentielles se forment sur les affluents dans le bassin versant mais elles correspondent à des volumes modérés et ne se propagent pas le long du torrent. Elles n'ont donc qu'un impact local.

1.4.3. Hydrologie

Les tableaux pages suivantes montrent les étapes de l'étude hydrologique. Les résultats retenus sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
17.5	10	30

Grand Tabuc

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)	$Pluie = \frac{a \text{ duré } e}{(\text{duré } e + c)^b}$		
					a	b	c
17.5	80	1.5	900	100	26.3	0.65	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)
1.0	9	9	0.1	0.3	600	3	0.01

Calcul du temps de concentration

	temps de concentration calculé (en heure)
Formule de Passini	1.80
Formule de Giandotti	2.02
Méthode de Zeller	2.21

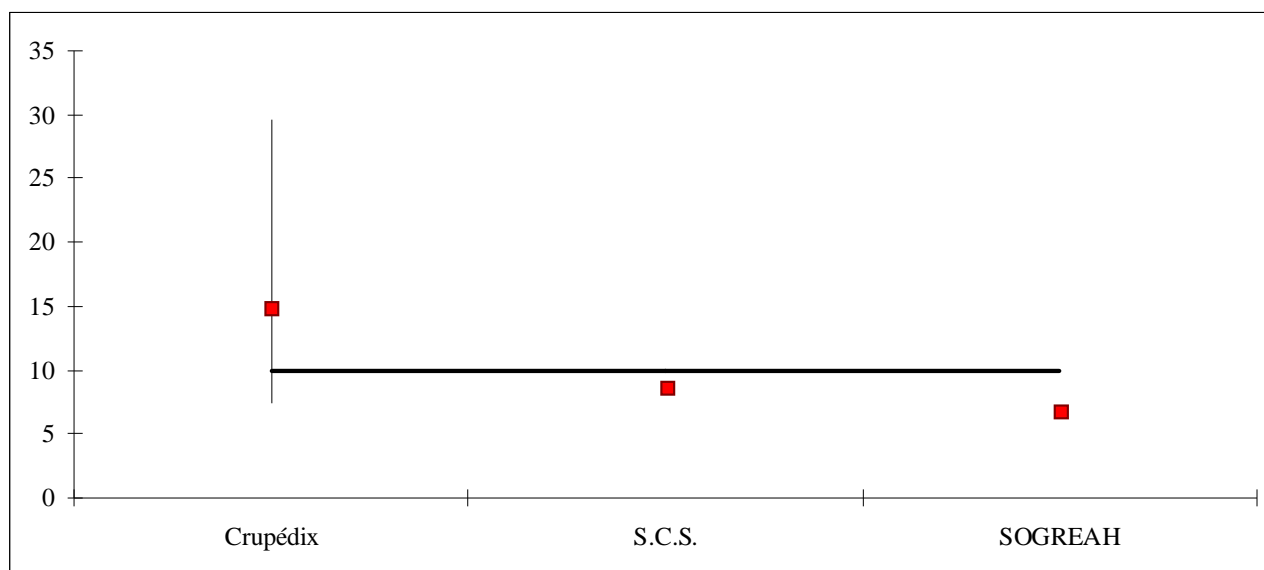
temps de concentration retenu (en heure)	2.0
---	------------

Calcul du débit décennal

Nom de la méthode	débit de pointe calculé (m ³ /s)
Crupédix	14.8
S.C.S.	8.8
SOGREAH Pivot	6.8

débit de pointe décennal retenu (en m³/s)	10
---	-----------

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



Grand Tabuc

Calcul des débits de différentes périodes de retour

Caractéristiques du bassin versant (méthode du gradex)

$Gradex = \frac{a' \text{ duré } e}{(duré \text{ } e + c')^{\frac{b'}{c'}}$			Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la crue
a	b	c	
5.60	0.65	0	1.8

Calcul du gradex des débits

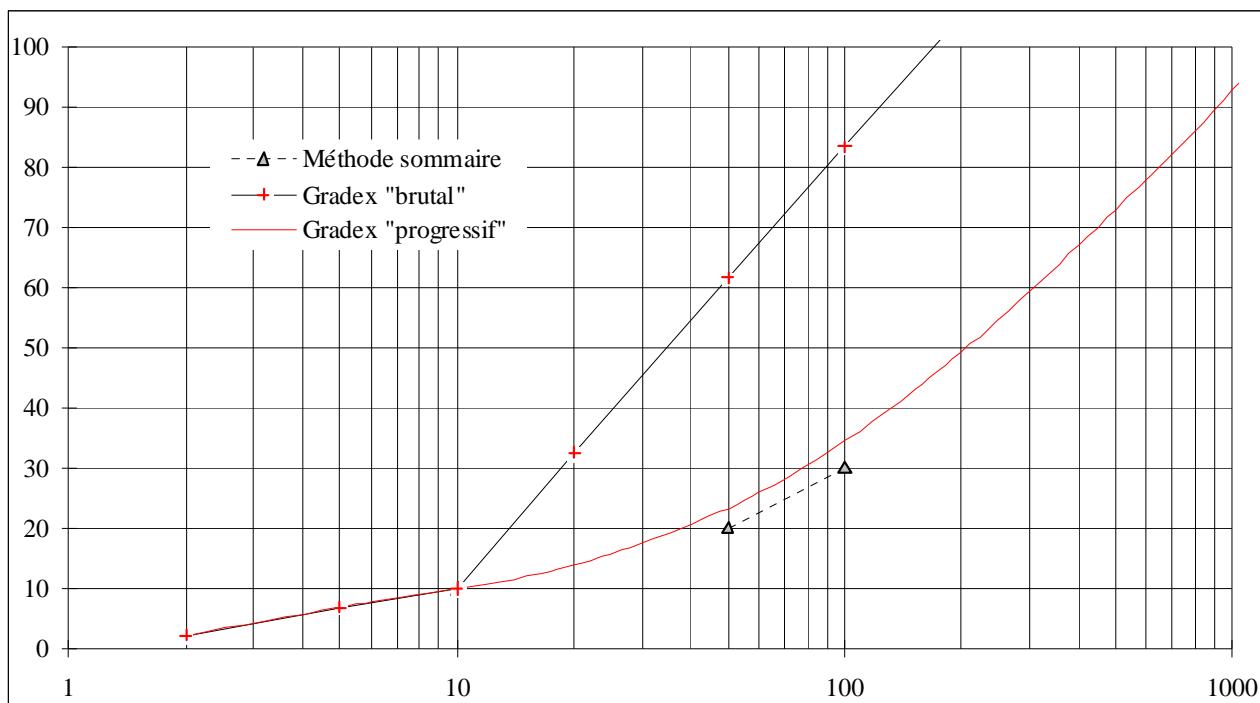
Période de retour inférieure à 10 ans	4
Période de retour supérieure à 10 ans	31

SOGREAH (méthode pivot)	29
-------------------------	----

Calcul des débits de pointe

Période de retour (années)	Méthode sommaire	Gradex "brutal"	Gradex "progressif"
2		2.2	2.2
5		6.9	6.9
10	10	10	10
20		32	14
50	20	62	23
100	30	83	35

Période de retour	Débit retenu
10	10
100	30



1.4.4. Transport solide

1.4.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

La figure suivante montre le profil en long du Grand Tabuc sur une partie de son cône de déjection :

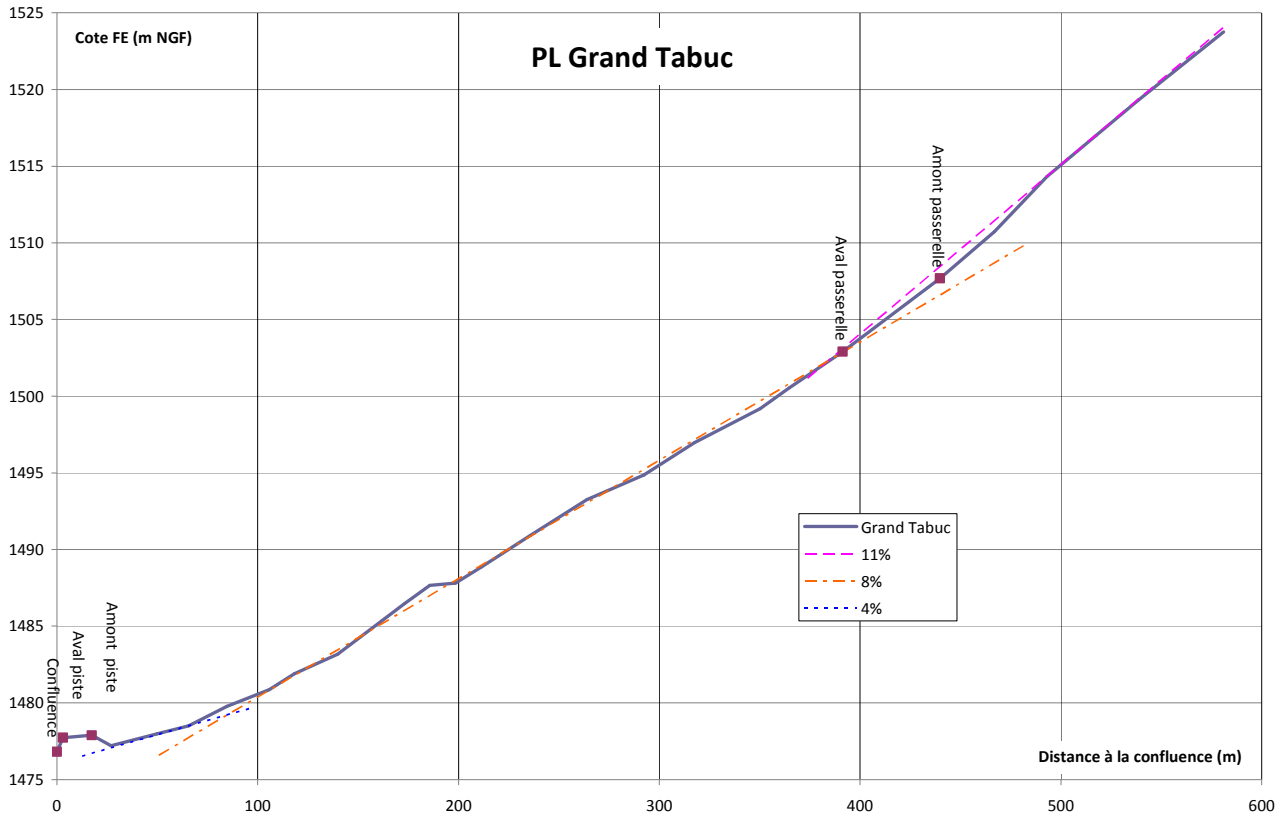


Figure 21 : Profil en long du Grand Tabuc.

Ce graphique met clairement en évidence trois parties :

- 1** Amont du cône de déjection avec une pente de 11 % qui est vraisemblablement influencée par les blocs provenant des gorges. Il s'agit probablement d'un majorant de la pente d'équilibre, un profil en long plus étendu serait nécessaire pour être affirmatif.
- 2** Partie centrale, purement alluvionnaire, avec une pente de 7.5 %. Cette valeur doit être représentative du transport solide lors des fortes crues, avec notamment une granulométrie étendue.
- 3** Zone de remous aval en amont des passages busés avec une pente de 3.6 %. Cette zone fait vraisemblablement l'objet de curages. Elle n'est donc pas à l'équilibre et semble être formée en dehors des fortes crues. Cette pente n'est pas représentative du transport solide en crue.

Il apparaît donc que la pente d'équilibre est proche de 7.5 %, valeur retenue dans la suite de l'étude.

1.4.4.2. Granulométrie

Des mesures ont été réalisées sur le Grand Tabuc, dans la zone de divagation en amont des gorges, sur le cône de déjection, en amont des buses (transport ordinaire) et à la confluence avec la Guisane. Elles sont indiquées dans le graphique suivant :

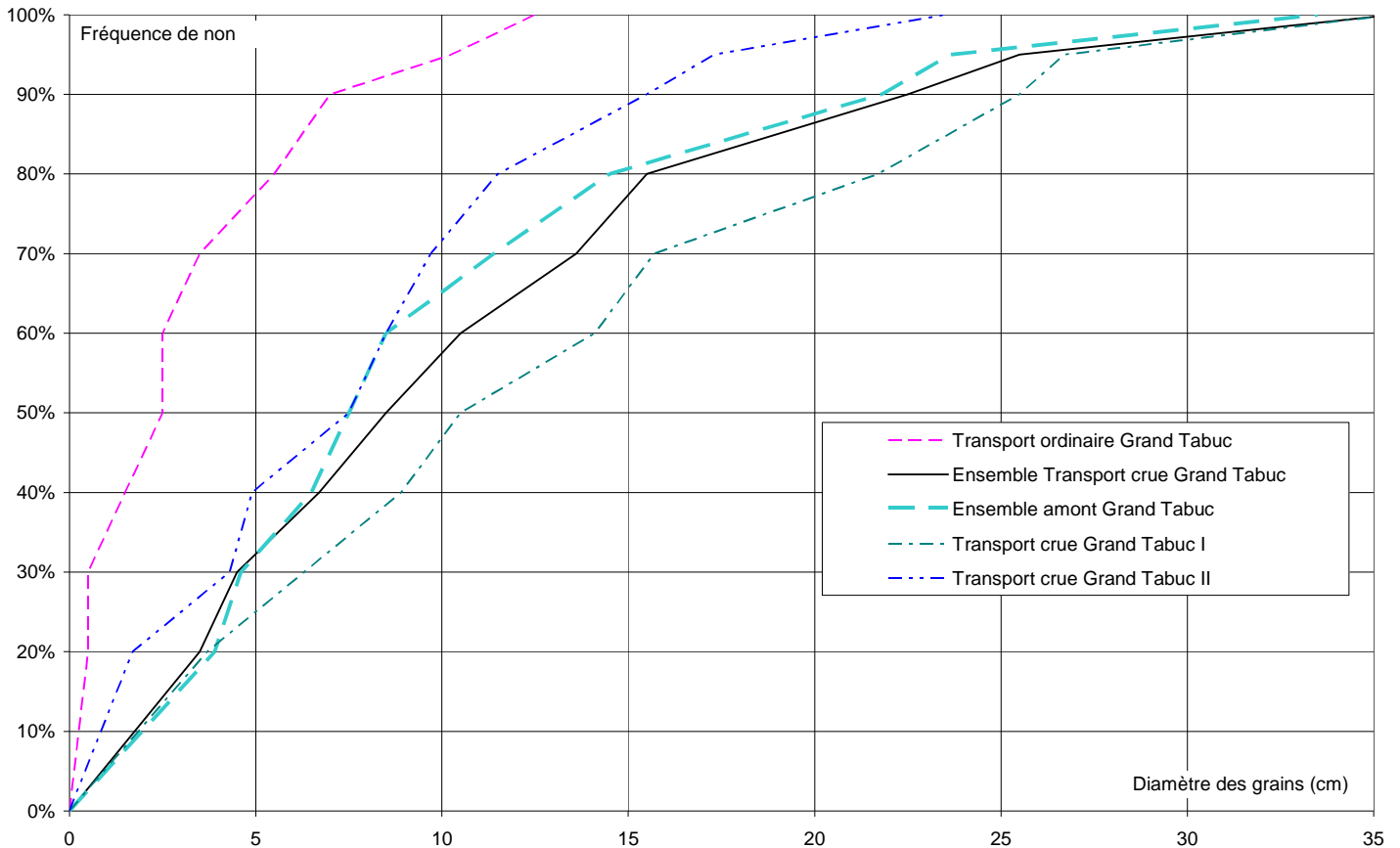


Figure 22 : Mesures granulométriques le Grand Tabuc.

Les mesures en aval de la zone de divagations sont très comparables à celles réalisées sur le cône de déjection pour les écoulements de crues, pourtant plusieurs kilomètres en aval. Cela montre que le transit est - de loin - le phénomène prépondérant dans les gorges.

Ces mesures conduisent aux paramètres suivants pour les phénomènes de crue à la confluence avec la Guisane :

d_{30} (cm)	4.5
d_m (cm)	10.1
d_{90} (cm)	25.5
d_{90}/d_{30}	5

La valeur du d_{30} paraît ici trop faible par rapport aux observations réalisées et les estimations du transport solide seront réalisées en considérant un rapport d_{90}/d_{30} de 10.

1.4.4.3. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale :

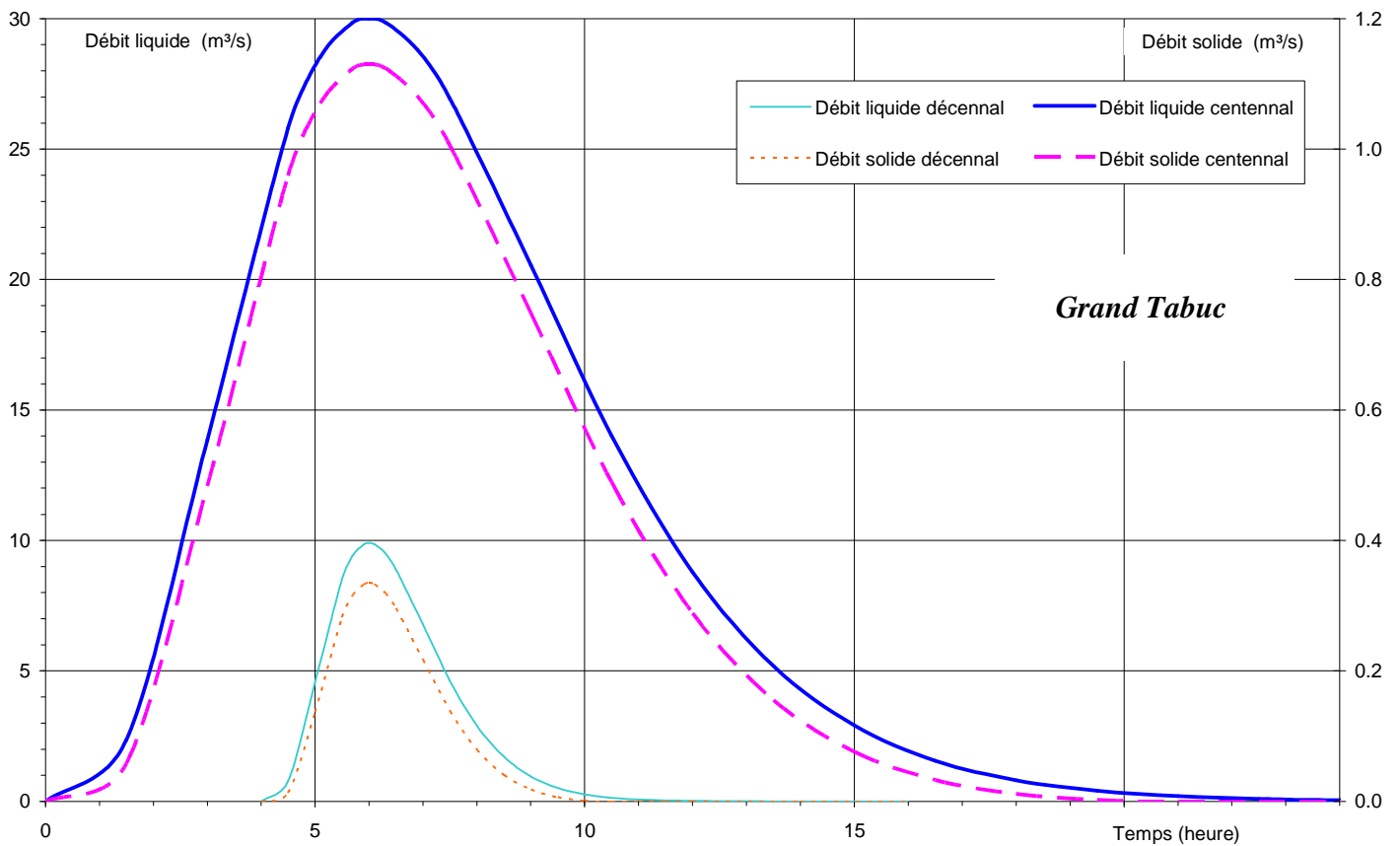


Figure 23 : Hydrogrammes liquides et solides du Grand Tabuc.

Le calcul du débit solide pour une crue décennale est réalisé avec un diamètre moyen de 8 cm seulement pour tenir compte de l'évolution de la granulométrie en fonction de la période de retour de la crue.

Les volumes transportés sont les suivants :

	Volume transité lors de la crue (m ³)
Crue décennale	2 000
Crue centennale	30 000

1.4.5. Synthèse - Comportement à la confluence

Le Grand Tabuc est capable d'apports relativement volumineux à la Guisane, notamment pour une crue centennale. Les enjeux sont heureusement très réduits dans la zone de confluence. Une décharge de grande ampleur est visible en rive droite, mais elle n'est pas directement en contact avec le torrent.

Par contre, des divagations relativement importantes sont probables pour les fortes crues, déplaçant la confluence avec la Guisane et la localisation des dépôts et débordement. Il est difficile à ce stade d'étude de préciser les risques sur l'urbanisation de la rive droite. Notons que la décharge, en s'opposant à l'écoulement risque de repousser l'écoulement en direction des habitations.

Une analyse du comportement de la Guisane avec différents points de confluence peut être envisagée afin de préciser la sensibilité des résultats aux divagations. En effet, ces divagations restent très probables en cas de forte crue, même si le cône de déjection actuel suggère un lit peu mobile, en contradiction avec les observations historiques.

1.4.6. Principes de gestion

Afin de réduire l'entretien nécessaire dans cette zone, le passage busé sera supprimé, avec deux solutions envisageables :

- ➔ Le déplacement en amont de la piste de fond, ce qui présente l'avantage de permettre la restauration d'une divagation plus active et "permanente" sur la partie aval du cône de déjection. Cette solution est la meilleure du point de vue hydraulique, mais elle est plus contraignante sur le tracé de la piste de fond.
- ➔ Le remplacement sur place des buses par un ponceau d'une portée d'une demi-douzaine de mètres facilement contournable en cas de crue.

Deux niveaux d'interventions très différents sont envisageables dans la zone de confluence du Grand Tabuc avec la Guisane :

- Curer les matériaux en cas d'engravement. Cette opération à minima est facile à mettre en œuvre et elle est peu coûteuse. Par contre, elle n'apporte pas d'amélioration sensible par rapport au risque de débordement, l'intervention étant réalisée après coup. Elle devra restaurer la géométrie actuelle, sans aucun surcreusement.
- Réduire les apports à la confluence par la mise en place d'une zone de dépôt sur le cône de déjection (une intervention dans le bassin versant peut être exclue). Il s'agirait plutôt de mettre en place une vaste zone de dépôt - un peu à l'image de ce qui a été réalisé sur le St Joseph - que de construire une plage de dépôt haute avec un ouvrage de contrôle. Cette démarche serait nécessaire si l'urbanisation de la rive droite était menacée par les crues. La réalisation d'un ouvrage nettement dissymétrique serait alors à envisager. Une intervention aussi lourde n'est pas justifiée par la décharge ou la piste franchissant le torrent dans la zone de confluence ces deux aménagements constituant des enjeux secondaires.

1.5. Torrent de Chanteloube

1.5.1. Description rapide du bassin versant et du lit

1.5.1.1. Zone d'érosion

Ce torrent draine un bassin versant de 2 km² de superficie. La vue suivante montre ce bassin versant très raide ou l'érosion est active sur l'essentiel du linéaire :

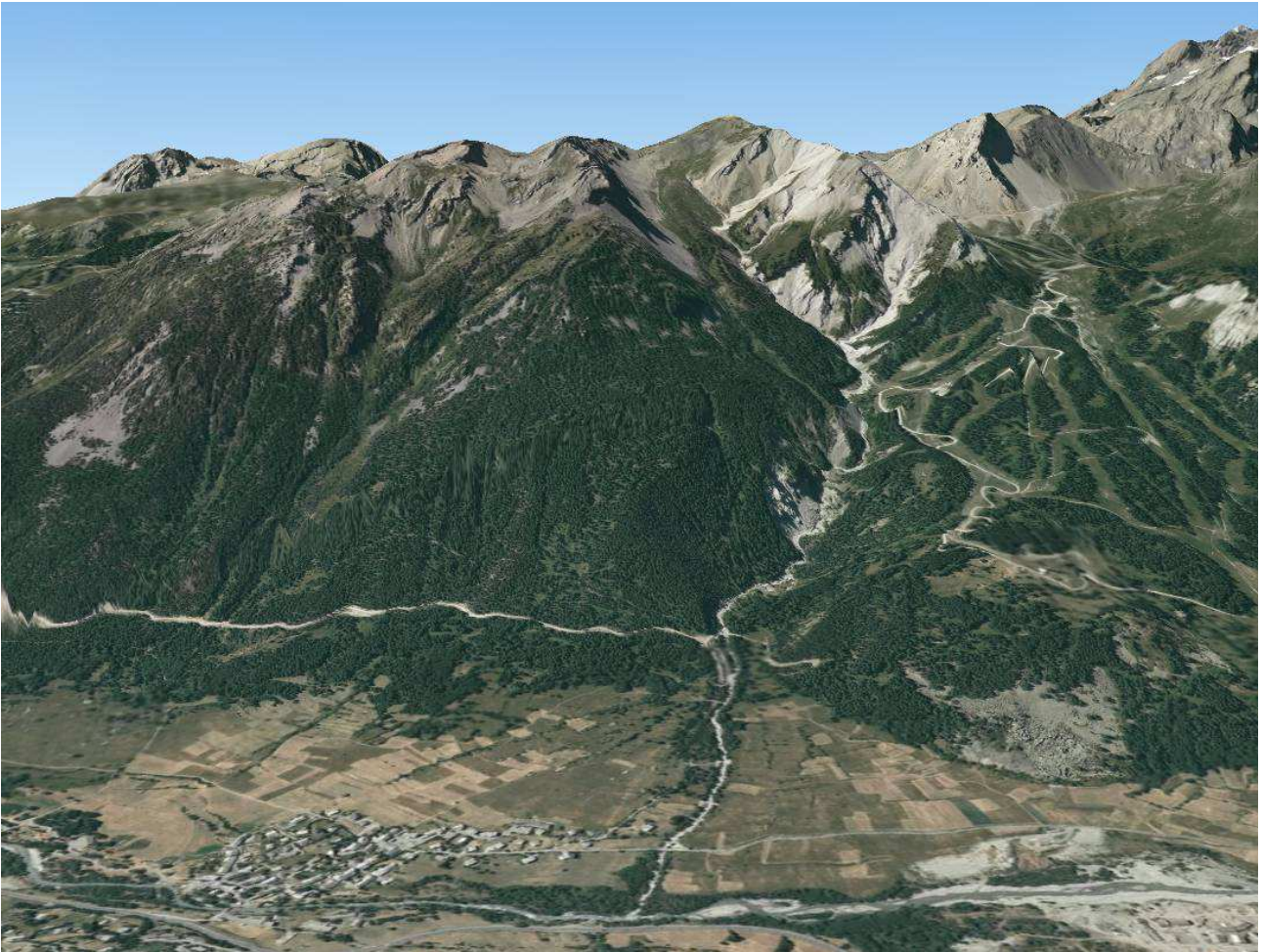


Figure 24 : Bassin versant du torrent de Chanteloube.

Les apports importants de ce torrent lui ont permis de former un cône de déjection imposant. Une des principales caractéristiques de ce torrent est de confluer en face du torrent du Merdarel, lui aussi très actif. Cette confluence a évidemment une forte influence sur la Guisane, qui traverse le village des Guibertès quelques centaines de mètres en aval. Ce village est aussi établi sur le cône de déjection du torrent de Chanteloube.

L'érosion débute rapidement dans le bassin versant avec une forte activité dans le secteur des Rochers de Grand Prés, en rive gauche. La photo suivante montre cette zone d'érosion, où l'écoulement de lave torrentielle n'est pas flagrant :



Photo 17 : Lit du torrent de Chanteloube en tête de bassin versant.

Cette zone de forte érosion dans les schistes est suivie par un lit plus large permettant une certaine régulation du transport solide. Par contre, le torrent entre ensuite dans des gorges raides et encaissées. L'érosion y est beaucoup plus active et c'est ici que les laves torrentielles prennent les caractéristiques qu'elles présentent sur le cône de déjection.

Ces gorges se caractérisent par la fourniture de très gros blocs, certains dépassant la centaine de tonnes. Ils sont heureusement difficilement repris malgré la forte capacité de transport des laves. Ces blocs présentent un risque sur le cône de déjection car un seul bloc pourrait obstruer le lit - peu marqué - et conduire à un débordement massif.

La photo suivante montre une partie de la zone d'érosion avec la fourniture de fines en rive droite et certains très gros blocs qui participent à la stabilité du lit mais qui peuvent aussi être emportés :



Photo 18 : Gorges du torrent de Chanteloube.

La sortie des gorges est progressive avec une lente réduction de pente et des très gros blocs de plus en plus rares, mais encore visibles au sommet du cône de déjection. Une digue en rive droite réduit les risques de débordement au sommet du cône de déjection.

Cette digue est nettement visible sur la photographie aérienne suivante :



Figure 25 : Digue à l'amont du cône de déjection du torrent de Chanteloube.

1.5.1.2. Cône de déjection

Le lit sur le cône de déjection présente une section étonnamment faible pour un torrent à lave, même si la contrainte critique de cisaillement paraît réduite sur le torrent de Chanteloube. La photo suivante montre le lit et les blocs ordinairement transportés au pied de la digue du sommet du cône de déjection :



Photo 19 : Lit au sommet du cône de déjection du torrent de Chanteloube.

Plusieurs passerelles franchissent le torrent notamment pour le passage des pistes de ski de fond. Elles paraissent ordinairement enlevées en été. La section du lit semble diminuer progressivement en allant vers l'aval.

Le principal enjeu correspond à la route dans la partie aval dont le pont offre une faible section. Il est renforcé par la conduite d'alimentation en eau potable qui passe sur cet ouvrage.

En aval, les risques de débordement augmentent rapidement et les laves torrentielles les plus rares s'étaleraient en partie dans le lit majeur avant d'arriver à la confluence.

La photo suivante montre le pont de la route, dans la partie basse du cône de déjection :



Photo 20 : Pont routier peu en amont de la confluence.

Cette photo montre clairement des dépôts spécifiques de laves torrentielles avec un lit qui paraît particulièrement engravé.

1.5.1.3. Confluence

La Guisane est ici prise en tenaille entre le torrent de Chanteloube et le Merdarel. Le lit est donc étroit et raide. La photo suivante montre le lit pavé peu au droit de la confluence :



Photo 21 : Confluence de la Guisane avec le torrent de Chanteloube.

Cette photo met en évidence le dépôt lié à la crue qui s'est produite quelques mois auparavant.

Les enjeux sont limités à la confluence avec deux exceptions lors des plus fortes crues :

- La RD1091, sur la rive opposée qui pourrait être atteinte en cas d'engravement exceptionnel.
- Le village des Guibertès qui est concerné par les crues de la Guisane et l'engravement important qui y est lié en cas de reprise des matériaux à la confluence.

Étant donnée leur proximité, il est indispensable ici de considérer les crues du torrent de Chanteloube mais aussi celles du Merdarel.

1.5.1.4. Historique des crues

L'historique reprend ici non seulement les crues du torrent de Chanteloube mais aussi celles du Merdarel et de la Guisane dans le secteur des Guibertès, ces trois torrents formant ici un ensemble cohérent.

1434	Crue du Merdarel et de la Guisane.
23-05-1848	Ponceau du Merdarel emporté. Crue de la Guisane. RD1091 emporté dans le secteur des Guibertès.
29-05-1856	Crue généralisée. Crue du Merdarel et ponceau emporté. Brèches sur 160 mètres dans les digues. 5 maisons et 1 moulin emporté aux Guibertès. RD1091 de nouveau emportée aux Guibertès. Crue du torrent de Chanteloube mentionnée, apparemment sans dégâts importants.
8-06-1955	Crue de la Guisane. Tablier du pont de la RD 10 emporté aux Guibertès.
05-05-1973	Crue du Merdarel. Pont de la RD1091 endommagé.
13-07-1987	Crue du Merdarel avec mention de lave torrentielle. RN91 embourbée sur 100 m (5 à 20cm d'épaisseur). Épandage de boue dans 1 jardin et le cimetière. 2 à 3 ha de landes engravées en amont de la RN91.
12-07-1991	Crue du Merdarel. Forte érosion dans les chenaux du bassin versant. Débordement au sommet du cône de déjection à cause d'un bloc de 25 m ³ apporté au sommet du cône de déjection. Lave de 2 m de hauteur sur la route en rive gauche et 1 m en rive droite. RN91 coupée sur 100 m de part et d'autre du pont. 6 h de travaux de déblaiement.
18-07-1999	Lave torrentielle du torrent de Chanteloube . Débordement au passage à gué supérieur et au pont de la route communale. Dépôt dans la Guisane sur 150 mètres. Guisane repoussée sur la rive opposée.
13/07/2011	Lave torrentielle du torrent de Chanteloube avec apport de blocs.

Cet historique montre une nette prédominance des crues du Merdarel... qui est franchi par la RD1091. En effet, il est probable que le torrent de Chanteloube ait été tout aussi actif mais les enjeux y étaient beaucoup plus réduits ce qui peut expliquer l'absence de mentions anciennes dans les archives.

Ces apports des affluents augmentent la mobilité de la Guisane, notamment dans le secteur des Guibertès.

1.5.2. Transport solide

1.5.2.1. "Pente d'équilibre" - Profils en long

Le graphique suivant regroupe, comme précédemment, les profils en long des différents cours d'eau de ce nœud :

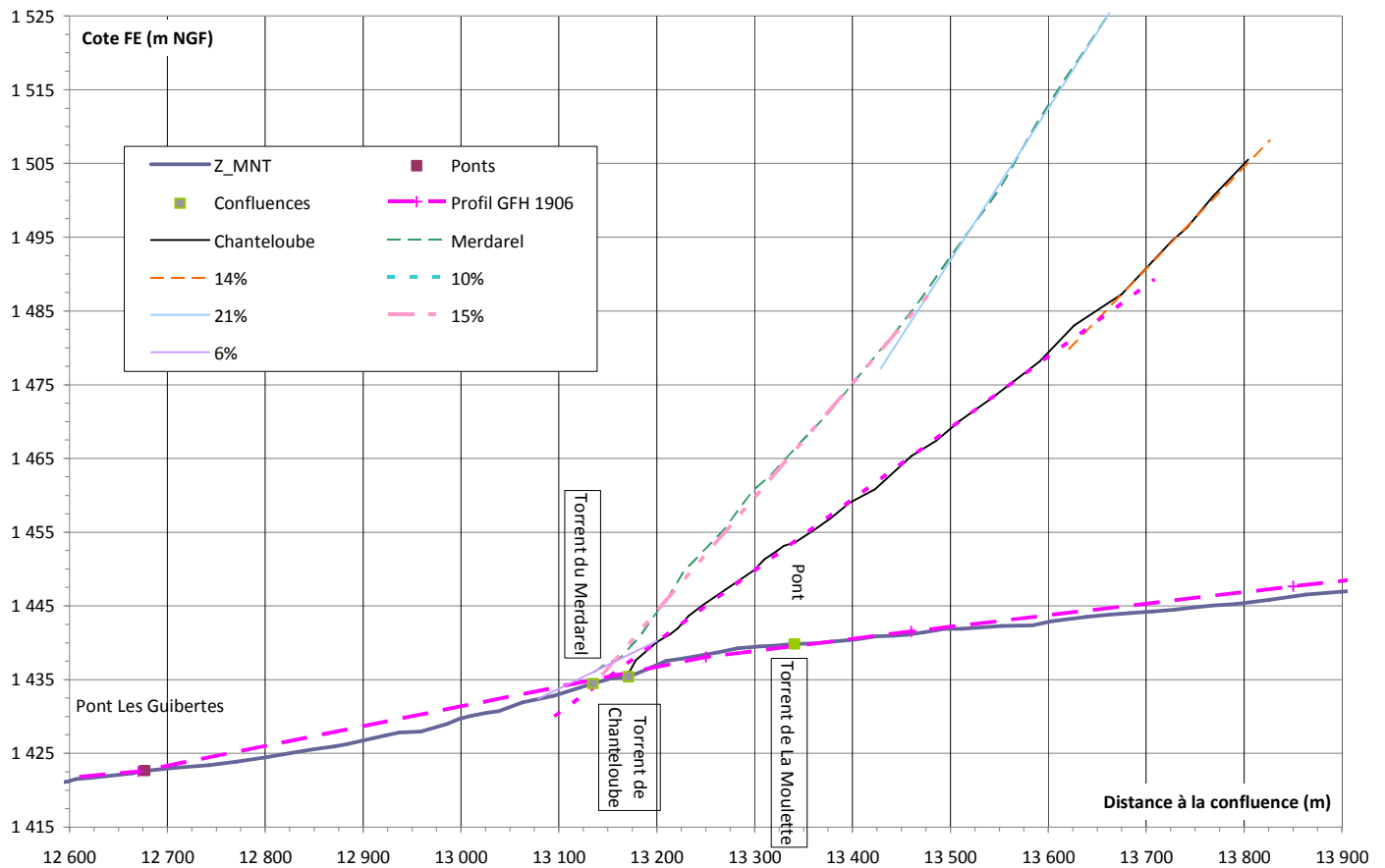


Figure 26 : Profils en long de la Guisane et des torrents de Chanteloube et du Merdarel.

Le profil en long du torrent de Chanteloube montre classiquement une tendance à la décroissance de la pente avec un tronçon à 14 % dans le cours amont et à 10 % seulement dans la partie aval. L'augmentation brutale de pente au confluent n'est pas significative et traduit seulement les respirations naturelles du lit à la confluence.

La pente de 10 % paraît représentative de la pente d'équilibre du transport solide actuel, le secteur amont étant vraisemblablement influencé par les blocs apportés par le torrent, même "loin" de la sortie des gorges.

1.5.2.2. Détermination des volumes transportés

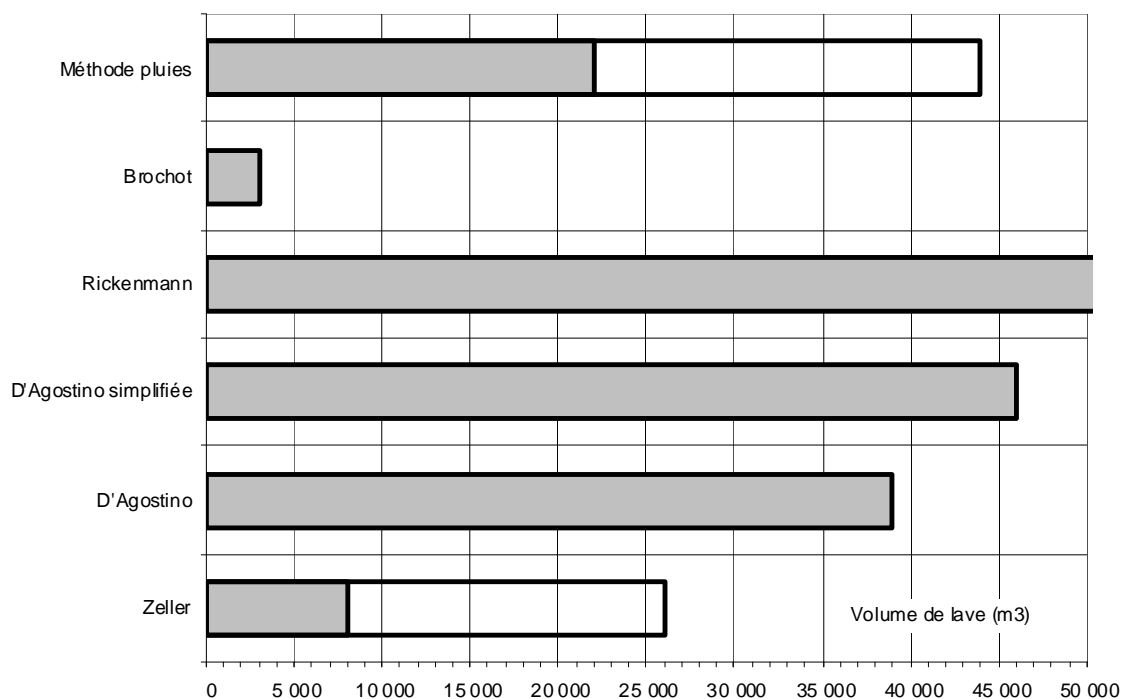
Le tableau suivant montre l'estimation des apports pour le torrent de Chanteloube :

Calcul du volume de lave torentielle Torrent de Chanteloube

Surface BV	2 km ²
Surface non végétalisée	35 %
Pente Cône	10 %
Pente moyenne	25 %
Longueur torrent	2.5 km

Indice géologique D'Agostino	4
Indice torrentialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	4

Formule	Volume de lave (m ³)
Zeller	8 000 à 26 000
D'Agostino	39 000
D'Agostino simplifiée	46 000
Rickenmann	103 000
Méthode pluie	22 000 à 44 000
Brochot	3 000



Le tableau regroupe les estimations retenues pour les volumes transportés pour une crue décennale et une crue centennale :

Volume de matériaux décennal	Volume de matériaux centennal
10 000 m ³	35 000 m ³

1.5.3. Synthèse

1.5.3.1. Phénomène de charriage

Le transport solide par charriage n'a ici qu'une influence modérée en remaniant faiblement le lit entre les laves torrentielles et éventuellement en affouillant le lit. Ces matériaux sont repris sans difficulté par la Guisane lorsqu'ils parviennent à la confluence.

1.5.3.2. Comportement à la confluence

Le cas de la concomitance avec le torrent du Merdarel doit évidemment être pris en compte. Cet aspect sera analysé avec ce dernier.

1.5.4. Principes de gestion

Une première solution pour réduire les risques de débordement sur l'ensemble du cône de déjection et les apports à la confluence consiste à aménager - au sommet du cône de déjection - une zone de régulation permettant l'arrêt des très gros blocs et un laminage des laves. Cette solution passe par un élargissement important du lit avec une terrasse calée une cinquantaine de centimètres au dessus du fil d'eau d'étiage. Dans ce cas, les laves peuvent contourner les blocs et permettre l'arrêt des écoulements les plus visqueux.

Un site particulièrement favorable est situé le long de la digue rive droite au sommet du cône de déjection. Il est alors envisageable de porter la largeur du lit à une quarantaine de mètres, dégagant ainsi une superficie de l'ordre d'un demi hectare pour le dépôt des laves.

D'autre part, il semblerait que la crue de 2011 ait déposée des matériaux dans le chenal. Un curage du lit pour restaurer la section initiale paraît souhaitable. Comme pour tous les curages, il impose l'exportation des matériaux extraits.

Le pont de la route communale - et la conduite d'alimentation en eau potable qui y est associée - constitue actuellement le principal point faible. Étant donnée le trafic réduit sur cette route, cette solution peut être acceptable, même si le délai de remise en service peut paraître excessif si le pont est détruit et surtout si la conduite est détruite.

Deux solutions très différentes peuvent être envisagées :

- La réalisation d'un passage à gué - avec éventuellement un passage busé pour les écoulements ordinaires - qui présente l'avantage de permettre une remise en service très rapide.
- La construction d'un pont offrant une plus grande section et permettant de sécuriser ce franchissement. Cette solution peut être intéressante si aucune solution n'est apportée au pont de la RD1091 sur le torrent du Merdarel.

Outre les ouvrages hydrauliques secondaires (notamment les passerelles de ski de fond) qui doivent être rétablis en cas de forte lave, la confluence avec la Guisane constitue le principal enjeu. Les principes de gestion de la confluence sont développés dans le paragraphe relatif au torrent du Merdarel.

1.6. Torrent du Merdarel

1.6.1. Description rapide du bassin versant et du lit

1.6.1.1. Zone d'érosion

Ce torrent draine un bassin versant de 2.5 km² de superficie. La vue suivante montre ce bassin versant très raide où l'érosion paraît globalement peu active :

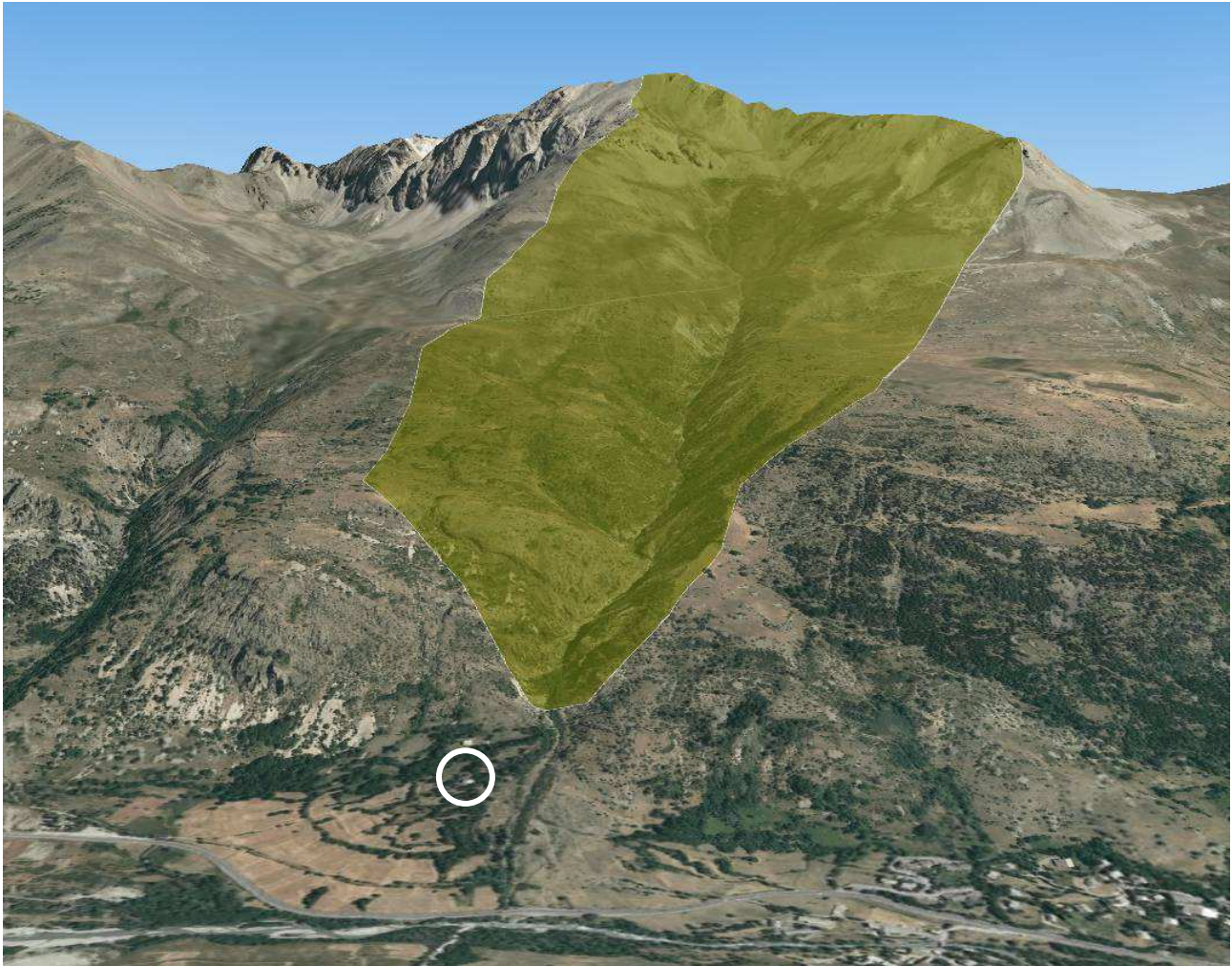


Figure 27 : Bassin versant du torrent du Merdarel.

Les apports importants de ce torrent lui ont permis de former un cône de déjection imposant. Une des principales caractéristiques de ce torrent est de confluer en face du torrent de Chanteloube, qui forme aussi des laves torrentielles. Cette confluence a évidemment une forte influence sur la Guisane.

Le cône de déjection est quasiment libre de tout aménagement à l'exception de la RD1091 et d'une habitation isolée et étrangement implantée dans la partie amont (elle est cerclée ci-dessus).

La photo suivante montre l'ensemble du bassin versant, les lettres correspondant au texte de la page suivante :

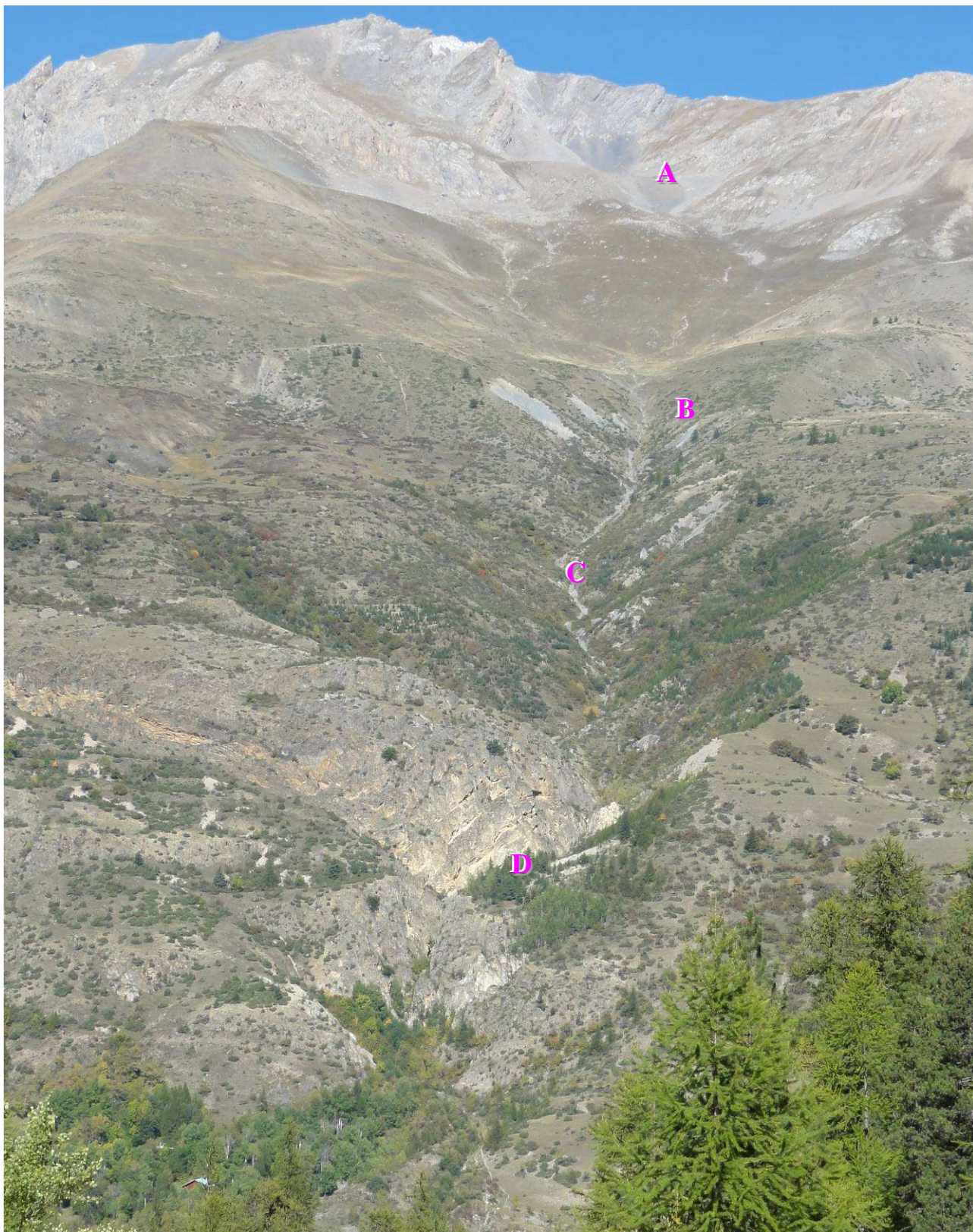


Photo 22 : Vue d'ensemble du lit amont du torrent de Merdarel.

Cette photo met clairement en évidence les différents tronçons et zones d'érosions :

- A.** Éboulis étendus mais peu actifs dans la partie amont.
- B.** Érosion de surface au début de l'entrée dans les gorges. La contribution de cette zone bien visible paraît modérée.
- C.** Incision du lit dans la partie centrale. Il semble que cette zone constitue le contributeur majeur au transport solide du torrent. Cependant, les terrains paraissent aujourd'hui plus stables, notamment sous l'effet des travaux RTM réalisés dans ce tronçon. Cela suggère plutôt une réduction de l'érosion et de l'activité du torrent.
- D.** Gorges rocheuses terminale. C'est vraisemblablement cette zone qui fournit les plus gros blocs. Par contre, les volumes érodés paraissent faibles.

La transition avec le cône de déjection est brutale, le torrent sortant de gorges rocheux au niveau d'une cascade, comme le montre la photo suivante :

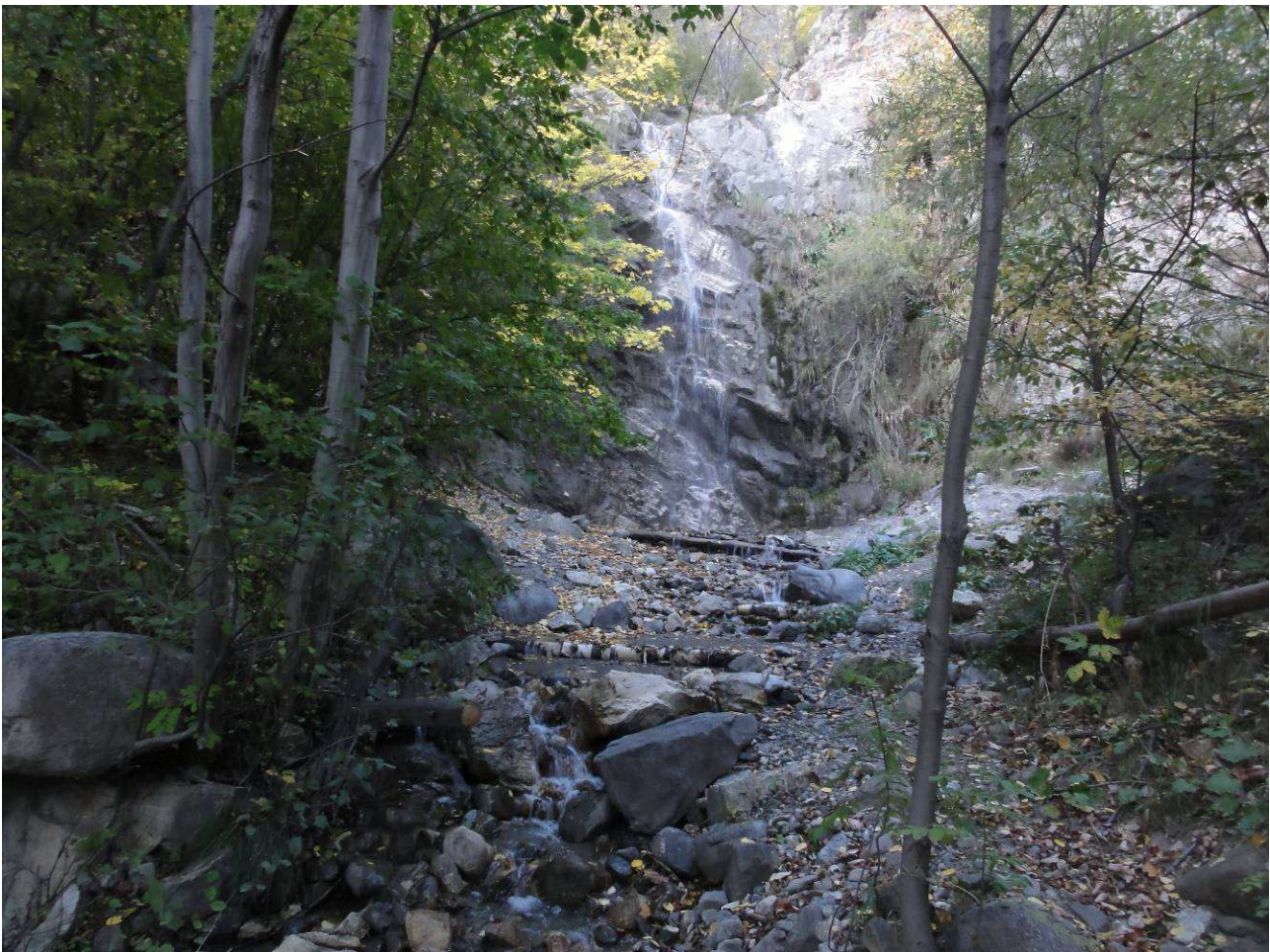


Photo 23 : Sortie des gorges du torrent de Merdarel.

1.6.1.2. Cône de déjection

Le lit du torrent de Merdarel a fait l'objet de profonds remaniements après la crue de 1991. Par contre, ces aménagements sont difficilement perceptibles car, en l'absence de crue récente, le lit - et l'ensemble du cône de déjection - se sont boisés.

La vue suivante correspond à un ombrage réalisé à partir du levé LIDAR et en "enlevant" les arbres :

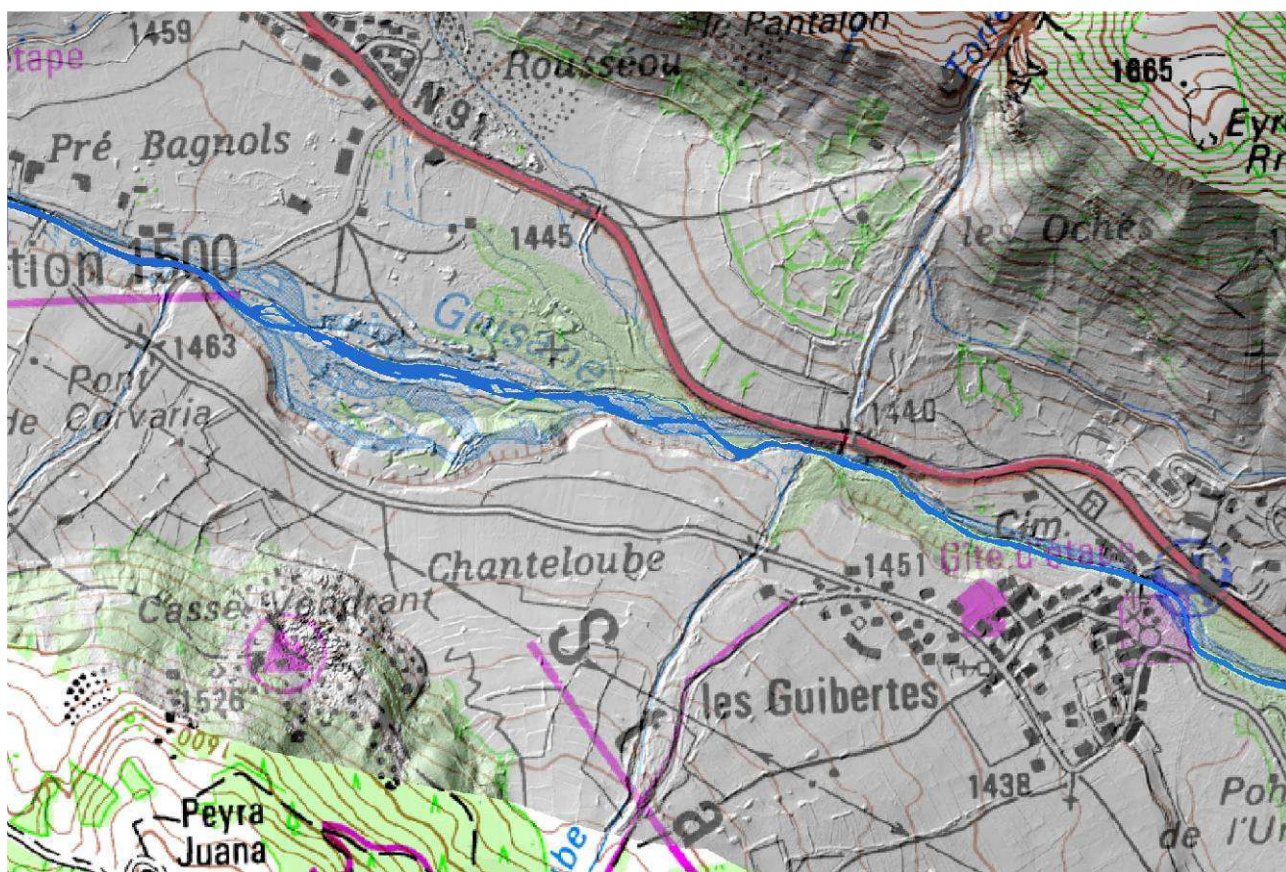


Figure 28 : Ombrage des cônes de déjection des torrents du Merdarel et de Chanteloube.

Cette figure montre un profond recalibrage au sommet du cône de déjection (au droit du chalet isolé en rive droite) et une digue d'entonnement du pont de la RD1091 (voir photo page suivante). Le lit paraît plus large que celui du torrent de Chanteloube, beaucoup plus régulier sur son cône de déjection. Cependant, ces travaux ne ménagent que de faibles possibilités de dépôt sur le cône de déjection.

D'autre part, la trace des dépôts des crues précédentes est nettement visible en rive droite au sommet du cône de déjection.

Le pont de la RD1091 - précédé par une fragile passerelle - présente une faible section, peu compatible avec l'écoulement de laves torrentielles. Il est présenté à la page suivante. Cette réduction brutale de section est d'autant plus dommageable que la pente du lit diminue fortement à ce niveau, passant de 15 à 6 %.

La photo suivante est prise dans l'axe de la digue d'entonnement du pont de la RD1091 :

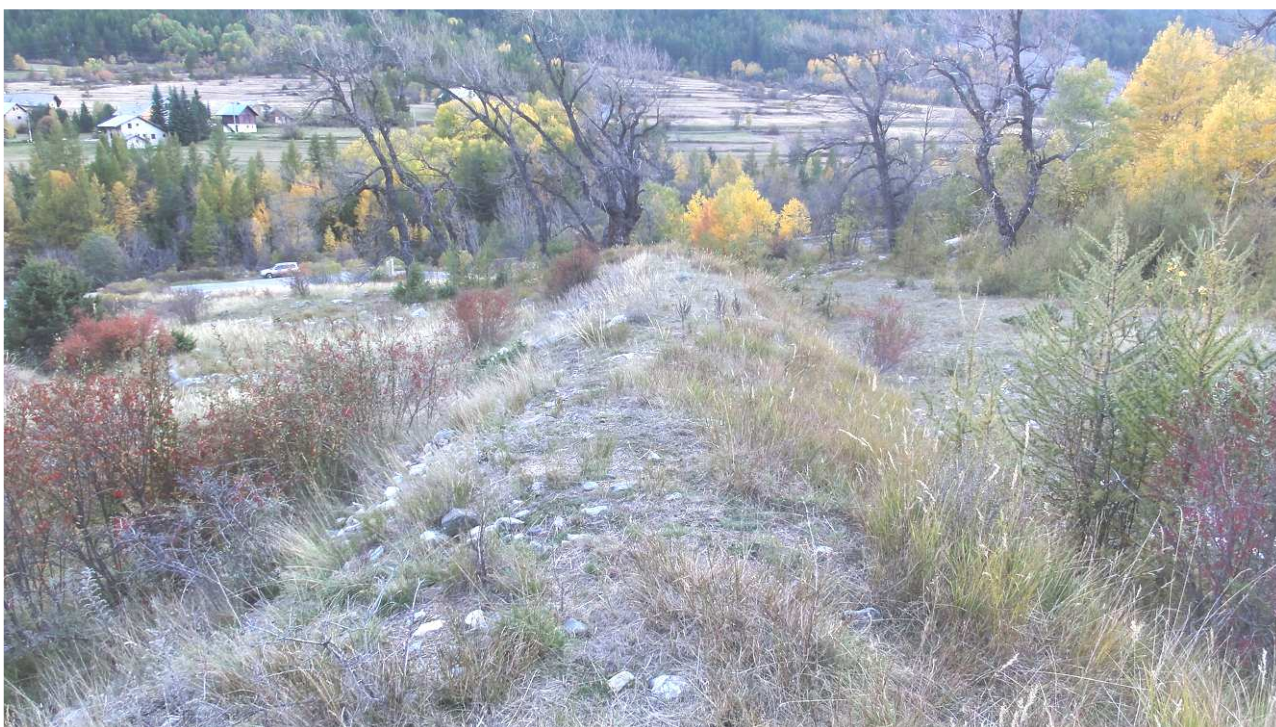


Photo 24 : Digue en rive gauche en aval du cône de déjection.

Le pont de la RD1091 impose une brutale réduction de section, ce qui est très défavorable pour les laves torrentielles :



Photo 25 : Pont de la RN91, visiblement engravé, sur le torrent du Merdarel.

Ce pont a été prolongé par l'aval avec un ouvrage d'un peu plus grande section mais des conduites en aval en réduisent un peu la section.

1.6.1.3. Confluence

La Guisane est ici prise en tenaille entre le torrent de Chanteloube et le Merdarel. Le lit est donc étroit et raide. La photo suivante montre le lit pavé de la Guisane et le pont de la RD1091 peu en amont de la confluence :



Photo 26 : Confluence de la Guisane avec le torrent du Merdarel.

Ce pont - et plus généralement la RD1091 - constituent les principaux enjeux dans la zone de confluence. Une obstruction du pont paraît très probable en cas de nouvelle forte lave torrentielle du torrent du Merdarel.

D'autre part, le village des Guibertes est concerné indirectement par les apports de ces deux torrents lorsqu'ils sont repris par les crues de la Guisane

1.6.1.4. Historique des crues

Comme précédemment, l'historique reprend ici non seulement les crues du torrent du Merdarel mais aussi celles du torrent de Chanteloube et de la Guisane dans le secteur des Guibertès, ces trois torrents formant ici un ensemble cohérent.

1434	Crue du Merdarel et de la Guisane.
23-05-1848	Ponceau du Merdarel emporté. Crue de la Guisane. RD1091 emporté dans le secteur des Guibertès.
29-05-1856	Crue généralisée. Crue du Merdarel et ponceau emporté. Brèches sur 160 mètres dans les digues. 5 maisons et 1 moulin emporté aux Guibertès. RD1091 de nouveau emportée aux Guibertès. Crue du torrent de Chanteloube mentionnée, apparemment sans dégâts importants.
8-06-1955	Crue de la Guisane. Tablier du pont de la RD 10 emporté aux Guibertès.
05-05-1973	Crue du Merdarel . Pont de la RD1091 endommagé.
13-07-1987	Crue du Merdarel avec mention de lave torrentielle. RN91 embourbée sur 100 m (5 à 20cm d'épaisseur). Épandage de boue dans 1 jardin et le cimetière. 2 à 3 ha de landes engravées en amont de la RN91.
12-07-1991	Crue du Merdarel . Forte érosion dans les chenaux du bassin versant. Débordement au sommet du cône de déjection à cause d'un bloc de 25 m ³ apporté au sommet du cône de déjection. Lave de 2 m de hauteur sur la route en rive gauche et 1 m en rive droite. RN91 coupée sur 100m de part et d'autre du pont. 6 h de travaux de déblaiement.
18-07-1999	Lave torrentielle du torrent de Chanteloube. Débordement au passage à gué supérieur et au pont de la route communale. Dépôt dans la Guisane sur 150 mètres et Guisane repoussée sur la rive opposée.
13/07/2011	Lave torrentielle du torrent de Chanteloube avec apport de blocs.

Cet historique montre une nette prédominance des crues du Merdarel avec une évolution :

- Les crues anciennes correspondent plutôt à des épisodes généralisés au printemps (particulièrement en mai).
- Les crues récentes, en 1987 et 1991 correspondent plutôt à des orages violents, particulièrement la dernière.
- Cette évolution pourrait traduire - peut être - une réduction de l'érosion dans le bassin versant et particulièrement des glissements de terrain.

1.6.2. Transport solide

1.6.2.1. "Pente d'équilibre" - Profils en long

Le graphique suivant regroupe, comme précédemment, les profils au droit de ce nœud :

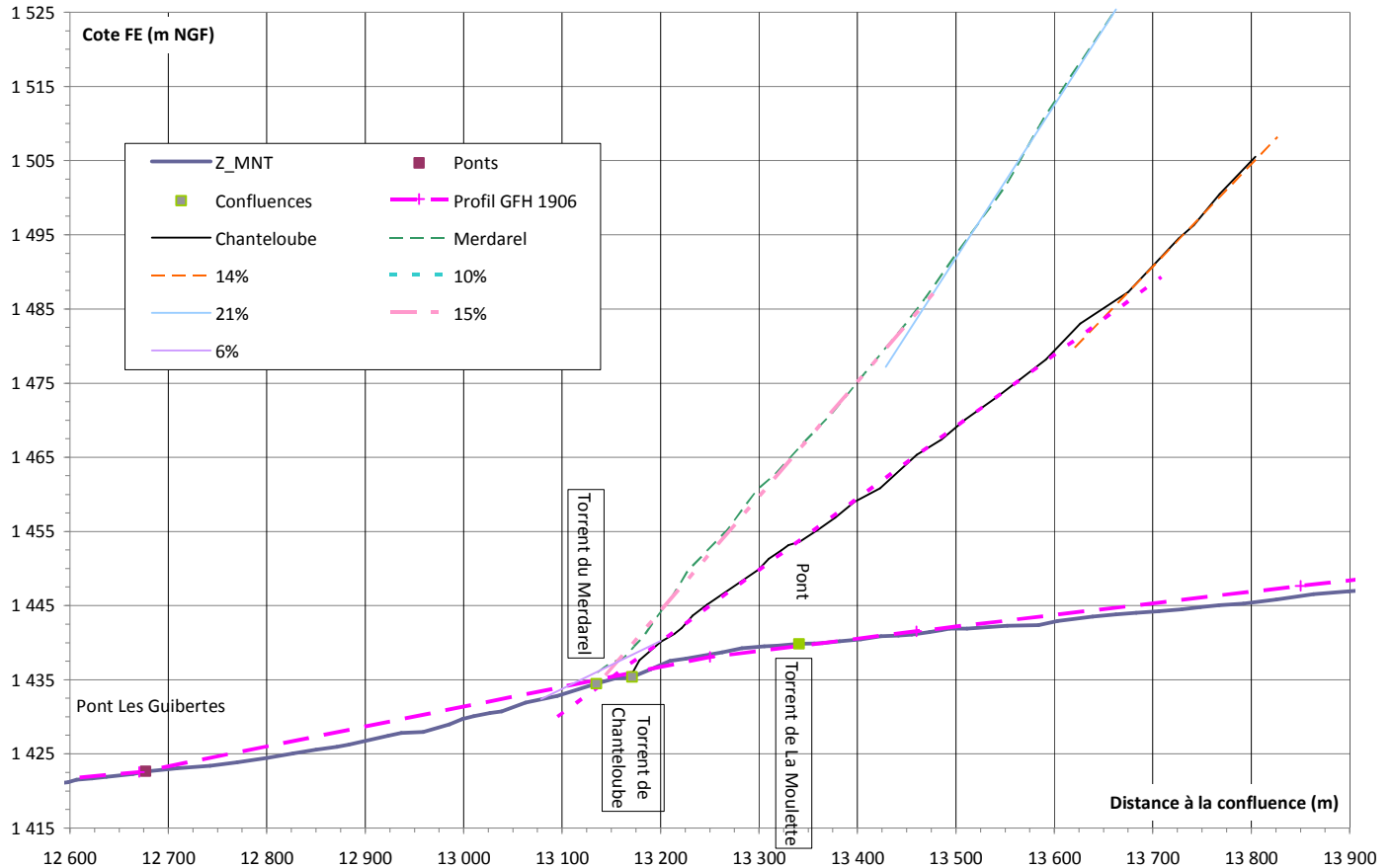


Figure 29 : Profils en long de la Guisane et des torrents de Chanteloube et du Merdarel.

Le profil en long du torrent du Merdarel montre classiquement une tendance à la décroissance de la pente avec un tronçon à 21 % dans le cours amont et à 15 % seulement dans la partie centrale. Ces pentes sont significativement supérieures à celles observées sur le torrent de Chanteloube.

D'autre part, une brutale réduction de pente peut être observée dans la zone du pont de la RD1091 et de la confluence, la pente atteignant 6 % seulement ! Cette évolution traduit vraisemblablement les curages autour du pont. Un éloignement du lit de la Guisane pourrait causer une telle réduction de pente, mais il n'est cohérent ni avec l'hydrologie récente, ni avec la morphologie générale du site et du tracé en plan de la Guisane. Cette réduction de pente est évidemment très défavorable par rapport aux risques de débordement sur la route en cas de nouvelle crue.

La pente de 15 % paraît représentative de la pente d'équilibre du transport solide actuel, le secteur amont étant vraisemblablement influencé par les blocs apportés par le torrent.

1.6.2.2. Détermination des volumes transportés

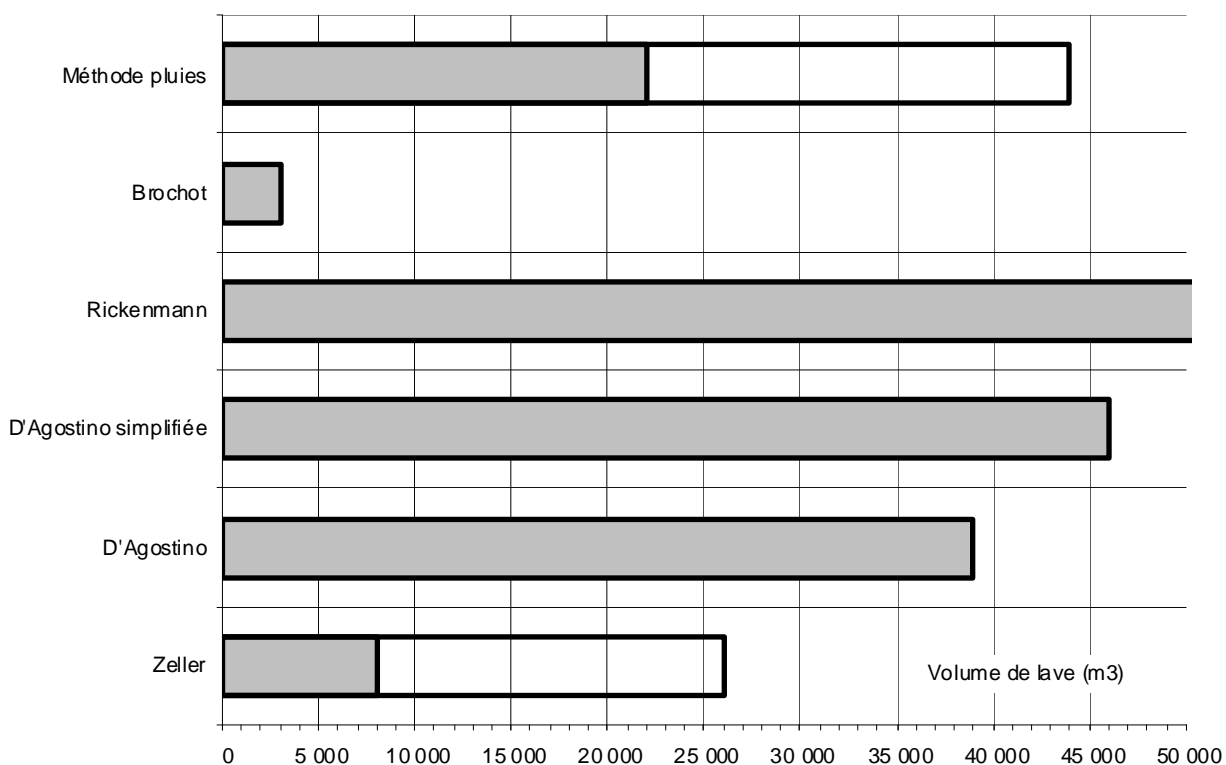
Le tableau suivant montre l'estimation des apports pour le torrent du Merdarel :

Calcul du volume de lave torentielle Merdarel

Surface BV	2 km ²
Surface non végétalisée	35 %
Pente Cône	10 %
Pente moyenne	25 %
Longueur torrent	2.5 km

Indice géologique D'Agostino	4
Indice torrentialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	4

Formule	Volume de lave (m3)	
Zeller	8 000	à 26 000
D'Agostino	39 000	
D'Agostino simplifiée	46 000	
Rickenmann	103 000	
Méthode pluie	22 000	à 44 000
Brochot	3 000	



Le tableau regroupe les estimations retenues pour les volumes transportés pour une crue décennale et une crue centennale :

Volume de matériaux décennal	Volume de matériaux centennal
9 000 m ³	30 000 m ³

1.6.3. Synthèse

1.6.3.1. Phénomène de charriage

Le transport solide par charriage n'a ici qu'une influence modérée en remaniant faiblement le lit entre les laves torrentielles et éventuellement en affouillant le lit. Ces matériaux sont repris sans difficulté par la Guisane lorsqu'ils parviennent à la confluence.

1.6.3.2. Comportement à la confluence

Comme pour les autres torrents à lave, les trois éléments suivants peut être :

- ⇒ Les fines sont facilement reprises en suspension. Cette reprise en suspension des fines explique que seule la moitié du volume total de matériaux soit reprise en charriage, le reste "disparaissant" en suspension.
- ⇒ Les matériaux grossiers sont repris progressivement en charriage. Le pavage peut cependant ralentir le phénomène qui peut s'étaler sur plusieurs années et nécessiter une crue suffisamment forte. La granulométrie est très variable à la fois dans le temps et l'espace.
- ⇒ Les blocs représentent une fraction marginale du volume apporté mais elle reste sur place, formant un lit raide et pavé... comme il est facile de l'observer ici.

Le cas de la concomitance avec le torrent de Chanteloube doit évidemment être pris en compte. Or, aucun épisode à part celui - très généralisé - de 1856 ne correspond à une crue des deux torrents. Ce constat n'est pas vraiment surprenant si l'on considère la situation des bassins versants sur deux versants opposés.

Ainsi, la prise en compte d'une crue centennale simultanée paraît trop improbable pour correspondre à un phénomène centennal.

Ainsi, deux cas de figure peuvent être considérés pour les torrents :

- Une crue centennale + une crue décennale sur les torrents. Le cas le plus défavorable - mais les deux combinaisons sont très proches) correspond à une crue décennale du torrent du Merdarel et une crue centennale du torrent de Chanteloube, soit un apport total de 45 000 m³.
- Une crue décennale du torrent de Chanteloube soit un apport de 10 000 m³.

Il paraît possible de combiner ces crues avec le débit d'étiage - ou le débit décennal - dans la Guisane.

1.6.4. Principes de gestion

1.6.4.1. Aménagement du cône de déjection

Le torrent du Merdarel présente la capacité de former des laves torrentielles puissantes, ce qui rend difficile un aménagement de son cône de déjection. Dans l'état actuel, une habitation est audacieusement implantée en rive droite au sommet du cône de déjection.

Elle impose de préserver dans toute la partie amont du cône de déjection un chenal d'écoulement suffisamment large et profond pour éviter un débordement, notamment vers la rive droite.

Le pont de la RD1091 constitue le principal point faible sur ce torrent. Deux solutions peuvent être envisagées :

- La conservation du pont actuel imposerait la construction d'une plage de dépôt de grande capacité sur le cône de déjection, ce qui représente un coût d'investissement - mais aussi d'entretien - important. Dans ce cas, il est nécessaire de s'assurer la pérennité des apports du torrent de Chanteloube afin de préserver le transport solide dans la Guisane et le pavage de son lit. Cette plage de dépôt est particulièrement favorable par rapport aux apports massifs dans la zone de confluence et aux risques de débordement de la Guisane.
- La reconstruction du pont est incontournable pour offrir une section suffisante. Cependant, l'augmentation de la hauteur disponible pour l'écoulement conduirait à déplacer le pont vers la confluence... y réduisant fortement les possibilités de dépôts et augmentant les risques liés à un engravement par le torrent de Chanteloube.

Un déplacement vers l'amont (tracé du chemin empruntant la passerelle) serait préférable par rapport au fonctionnement du torrent, mais risque d'être problématique pour le tracé routier.

Une étude détaillée reste indispensable dans tous les cas. L'entonnement, aisément contourné aujourd'hui, devra être modifié afin de maximiser les possibilités de dépôt sur le cône de déjection tout en évitant un débordement du torrent "loin" du pont. Les réseaux franchissant le torrent au droit de l'ouvrage devront aussi être aménagés.

Dans les deux cas, et encore dans l'état actuel, un système d'alerte doit être envisagé afin de permettre l'interruption de la circulation en cas d'écoulement de lave torrentielle.

La passerelle - dont la destruction occasionnelle paraît acceptable - peut être conservée en état où reconstruite par ailleurs si le pont de la RD1091 était déplacé. La capacité du chenal doit être préservée dans la partie amont afin de ne pas augmenter l'aléa sur le bâtiment de rive droite.

1.6.4.2. Aménagement de la confluence

La confluence devrait connaître en cas de forte crue des variations importantes du niveau du fond, avec une reprise brutale des matériaux en cas de forte crue et leur dépôt - partiel - au droit des Guibertès.

Une correction active des deux torrents paraît hors de portée. Par contre, la zone de régulation sur le torrent de Chanteloube et surtout la plage de dépôt sur le torrent du Merdarel permettrait de réduire l'ampleur des dépôts. Il apparaît cependant qu'une régulation du transport solide dans cette zone est souhaitable. Elle passe par les interventions suivantes :

- La large zone de divagation en amont de la confluence (formée par les deux cônes de déjection qui verrouillent le niveau aval) doit être préservée. En effet, en cas d'apport des torrents, l'engravement à la confluence va créer un dépôt régressif en amont. Cela entraîne une substitution de charge, les dépôts en amont étant compensés par une érosion des dépôts des affluents. Sur le long terme, ces dépôts dans la zone de divagation de la Guisane seront repris. Il est donc impératif de stopper le remblaiement des berges (zone artisanale et décharge) dans cette zone divagation et de régulation du transport solide de la Guisane.
- Dans la zone de confluence, un élargissement du lit (celui de la Guisane ou celui des affluents en amont de la confluence) paraît plus difficile mais doit être envisagée en privilégiant la création de terrasses peu élevées. Cette opération - entre la confluence avec le torrent de Chanteloube et l'amont des Guibertès pourrait permettre une amélioration des milieux.

1.7. Torrent de Gros Rif

1.7.1. Description rapide du bassin versant et du lit

1.7.1.1. Zone d'érosion

Le Gros Rif draine un bassin versant de 2.3 km² au nord de la Guisane. L'érosion dans le bassin versant est globalement faible bien que des traces de mouvements de terrain - anciens - soient visibles, notamment dans la partie amont du bassin versant. Les circulations d'eau paraissent ici particulièrement actives.

La photo suivante montre l'ensemble de ce bassin versant à partir des données du Géoportail :



Figure 30 : Ensemble du bassin versant du Gros Rif.

Une zone d'érosion est visible entre 2000 et 2100 m d'altitude, mais elle paraît d'ampleur modérée. L'absence de crue depuis une longue période a permis le développement de larges boisements le long du lit. La photo page suivante montre le lit actuel dans les gorges... trois ans après l'une des plus fortes crues connues pour ce torrent.



Photo 27 : Lit boisé du Gros Rif dans les gorges.

Vers 1600 m d'altitude, un dépôt de stériles miniers occupe le versant rive gauche. Bien qu'il soit imposant, et localement raviné, sa contribution au transport solide parait marginale :



Photo 28 : Dépôt minier faiblement érodé.

1.7.1.2. Cône de déjection

Le gros Rif n'a pas transporté assez de matériaux pour former un véritable cône de déjection. De plus, les terrains sont cultivés de longue date et le lit du ruisseau a été canalisé et il alimente des canaux.

En amont de la RD1091, la chenalisation du lit a conduit à un lit étroit et peu profond... surélevé par rapport aux terrains riverains. Évidemment, en cas de débordement l'écoulement quitte "définitivement" le lit.

Le franchissement de la RD1091 est réalisé au moyen d'un petit pont judicieusement précédé d'un seuil de mise en vitesse d'autant plus haut que le lit amont est perché. La photo suivante montre ce petit ouvrage depuis l'aval et le lit qui traverse les terrasses de la Guisane :



Photo 29 : Lit plutôt large en aval du pont de la RD1091.

1.7.1.3. Confluence

Le Gros Rif arrive sur les terrasses de la Guisane sans pente et sans transport solide significatif. Il a formé plusieurs bras peu marqués - et ordinairement à sec. Il n'a pas d'influence significative sur la Guisane.

1.7.1.4. Historique des crues

Deux épisodes sont mentionnés dans l'historique des crues :

- La fameuse crue généralisée de 1856.
- La crue généralisée de mai 2008 avec des débordements dans les près en amont de la RD1091. Il est fait mention d'une crue essentiellement liquide. Il n'apparaît d'ailleurs pas de trace de transport solide important en 2011.

1.7.2. Nature des phénomènes

Les apports solides du Gros Rif sont ordinairement très faibles, en volume comme en granulométrie. Il n'est pas impossible qu'un apport solide plus important se produise dans le bassin versant en cas de crue exceptionnelle. Cependant, les débordements massifs qui se produiraient dans la vallée permettraient le dépôt de matériaux, conduisant à des apports solides à la Guisane qui sont négligeables.

L'absence de cône de déjection montre qu'un tel phénomène est très rare.

1.7.3. Hydrologie

Les tableaux pages suivantes montrent les étapes de l'étude hydrologique. Les résultats retenus sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
2.3	1.8	6

Le débit décennal est ici plutôt faible pour tenir compte de la forte infiltration dans le bassin versant.

1.7.4. Transport solide

1.7.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

La figure suivante montre le profil en long du Gros Rif levé à l'occasion de cette étude :

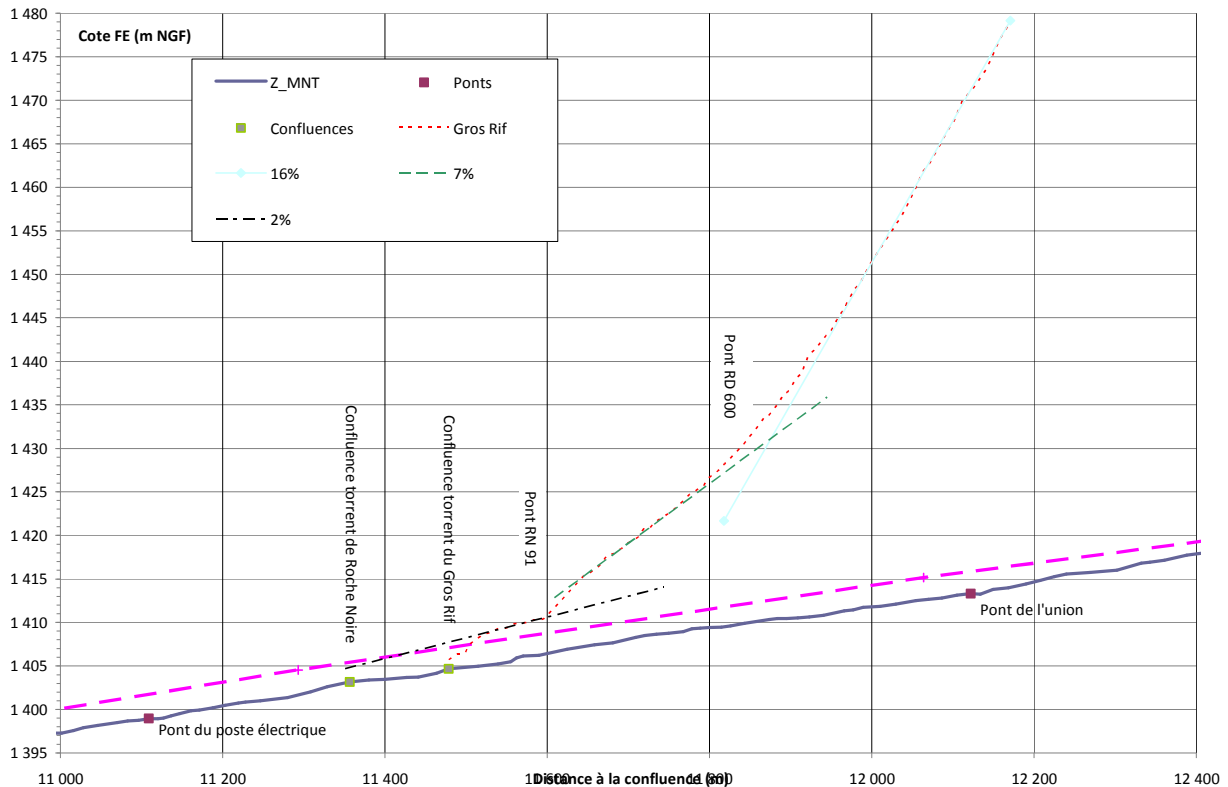


Figure 31 : Profil en long du Gros Rif.

Ce graphique met clairement en évidence des ruptures de pentes très nettes, le Gros Rif suivant, dans son cours terminal, une pente de 2 %, proche de celle de la Guisane. Ce profil en long ne témoigne pas du fonctionnement torrentiel du Gros Rif mais seulement de la pente du versant.

La prise en compte d'une pente d'équilibre de 2 % pour le transport solide paraît un majorant.

1.7.4.2. Granulométrie

Des mesures ont été réalisées peu en amont de la confluence avec la Guisane, seule zone à développer une morphologie alluvionnaire. Ces mesures conduisent aux paramètres suivants :

d_{30} (cm)	1.5
d_m (cm)	2.7
d_{90} (cm)	5.5
d_{90}/d_{30}	4

1.7.4.3. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale :

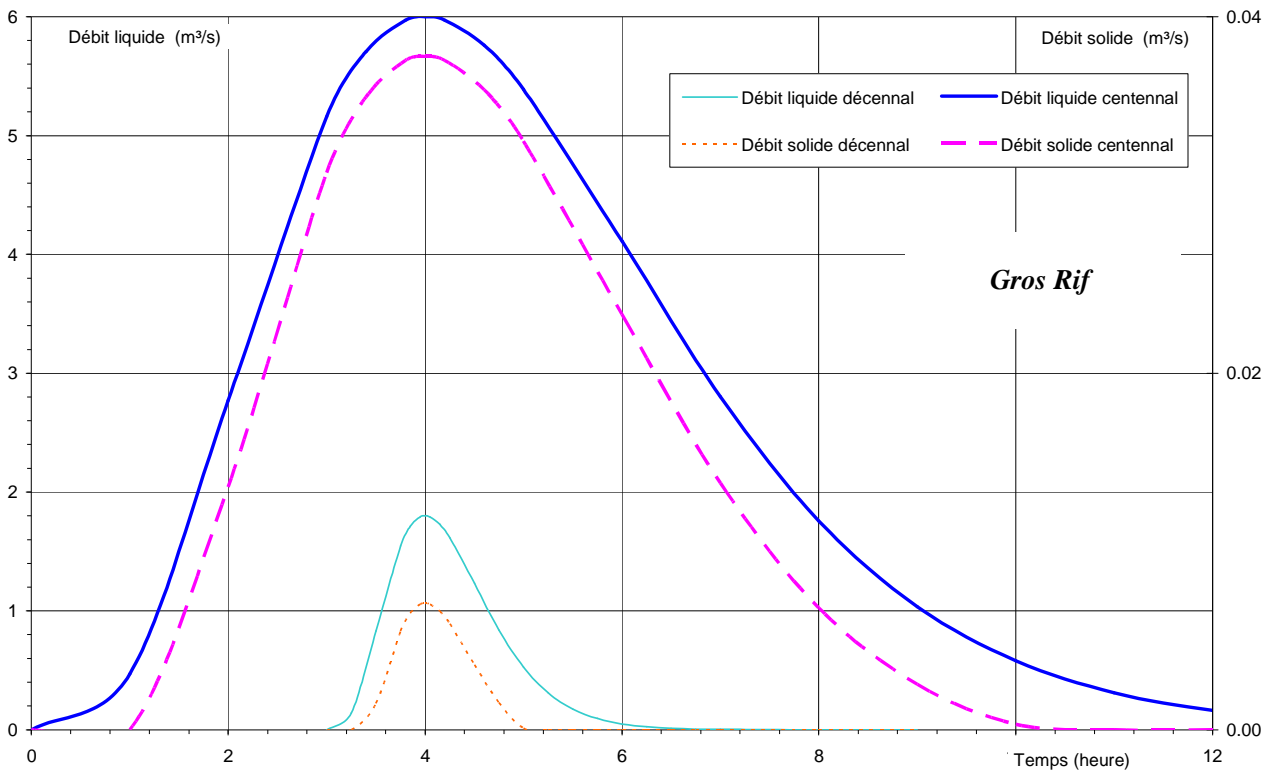


Figure 32 : Hydrogrammes liquides et solides du Gros Rif.

En l'absence d'érosion exceptionnelle en amont, les volumes transportés seraient très faibles :

	Volume transité lors de la crue (m ³)
Crue décennale	30
Crue centennale	600

1.7.5. Synthèse - Comportement à la confluence

Le transport solide paraît un phénomène marginal lors des crues. Les apports sont faibles et seraient laminés par un dépôt dans les champs en amont de la RD1091.

Ce fonctionnement paraît aujourd'hui satisfaisant et ces débordements constituent l'une des rares possibilités d'un - très faible - laminage des crues. En l'absence de projet d'aménagement dans les zones concernées, cette situation doit être conservée.

1.7.6. Principes de gestion

Aucune intervention n'est à prévoir ici, sauf la restauration du lit en cas de débordement et d'érosion des berges.

2. COMMUNE DE LA SALLE

2.1. Le Bez

2.1.1. Description rapide du bassin versant et du lit

2.1.1.1. Zone d'érosion

2.1.1.1.1. Caractéristiques générales

Le Bez constitue un affluent majeur de la Guisane, dans la continuité des deux Tabuc, même si le relief et l'altitude y sont beaucoup moins marqués. Cette caractéristique a permis un fort développement des pistes de ski. Le bassin versant couvre une superficie de 10 km².

Le cône de déjection est très urbanisé et les enjeux sont ici particulièrement forts.

La photo suivante montre l'ensemble de ce bassin versant à partir des données du Géoportail :



Figure 33 : Ensemble du bassin versant du Bez.

2.1.1.1.2. Torrent de Fréjus

Il s'agit de l'un des deux principaux sous bassins versants avec le torrent de Glaize.

Dans son cours supérieur, le torrent de Fréjus draine une large vallée dont le sommet est la Cucumelle à presque 2700 m d'altitude. La photo suivante montre l'ensemble du bassin versant :



Photo 34 : Haut bassin versant du Torrent de Fréjus.

Dans l'ensemble, les érosions sont faibles. On note cependant les zones suivantes :

- Les ravines dans la partie supérieure du bassin versant sont nettement visibles mais fournissent vraisemblablement des volumes modérés de matériaux ayant une granulométrie réduite.
- Les falaises de la rive gauche peuvent potentiellement fournir des matériaux grossiers par chute de blocs, mais le phénomène est rare et les volumes correspondants sont limités.
- La piste de ski conduit à des érosions relativement importantes malgré le soin apporté à la revégétalisation. Il s'agit heureusement de sables et de graviers pour l'essentiel, sans beaucoup d'influence sur le lit. Cependant, des érosions plus importantes sont possibles en cas de forte crue et de changement de lit.

Dans la partie aval, le torrent longe la piste où des protections hétérogènes sont visibles. Des érosions des remblais de la piste sont alors probables en cas de forte crue.

Dans l'ensemble, ce bassin versant témoigne d'une érosion ordinaire limitée. Les érosions de berges y sont aujourd'hui particulièrement faibles, notamment parce que ce bassin versant a été épargné par la crue de 1995.

Le bassin versant du torrent du Grand Bois - situé plus au sud - est proche de la crête avec la vallée de Pelvoux. La partie amont montre les pentes relativement modérées avec un bassin versant en forme de triangle, la ligne de crêtes étant particulièrement longue.

La partie amont présente des pentes modérées et des érosions qui le sont tout autant. Les berges sont localement érodées, les terrassements de piste dans cette zone ayant fragilisé les terrains. Le ruisseau de Clot Gauthier est busé à proximité des gares des téléskis et un captage en amont est destiné à l'alimentation de la neige de culture, sans influence sur les crues.

En dessous de 2200 m d'altitude, la pente est beaucoup plus forte et l'érosion est plus active. Le lit a été aménagé car il se trouve au cœur des pistes de ski et les contraintes d'aménagement y sont fortes.

Les érosions dans ce tronçon sont nombreuses, ce qui est vraisemblablement un héritage de la crue de 1995, très forte sur ce bassin versant. Cette fragilité du lit et des berges est une constance sur ce torrent et sur le torrent de Fréjus en aval de la confluence et correspond vraisemblablement à des séquelles de la forte crue de 1995 ravivées par la récente crue de mai 2008.

Mais c'est surtout dans la partie aval, celle des gorges, que l'érosion a été la plus active. La pente est alors remarquablement forte. On observe dans la même section des traces d'érosion intense - y compris une incision dans le substratum rocheux ! - et des dépôts de laves torrentielles comme le montre la photo suivante :



Photo 35 : Dépôt de lave et affleurement rocheux dans les gorges du torrent du Grand Bois.

Ces gorges se terminent brutalement et conduisent au cône de déjection qui s'étale largement, de part et d'autre de la bergerie, jusqu'au confluent avec le Torrent de Fréjus. En cas de forte crue,

comme en juillet 1995, le torrent du Grand Bois s'étalerait très largement. Les photos suivantes montrent le cône de déjection, aujourd'hui et en 1995 :



Photos 36 & 37: Cône de déjection du Torrent du Grand Bois en 1995 et 2009.

Au droit du village de Fréjus, un télésiège est implanté à cheval sur le torrent. Paradoxalement cette configuration permet de maximiser la section d'écoulement en cas de crue extrême et la protection l'installation dans la mesure où les fondations sont très profondes. La photo suivante montre cet équipement :



Photo 30 : Gare de départ du Télésiège des Vallons.

En aval du village de Fréjus, le lit est plus encaissé. Il est longé en rive droite par une fragile piste de ski. En rive gauche, des érosions importantes sont visibles. La cause de ces érosions dépend vraisemblablement de deux phénomènes :

- A cours terme, comme sur l'ensemble du linéaire concerné, il s'agit des séquelles de la crue de 1995 qui a durablement déstabilisé les berges. D'autre part, la crue de mai 2008 a sans doute rouverte de nombreuses plaies.
- A plus long terme, il n'est pas impossible que la rive droite, en glissement lent, repousse le Torrent de Fréjus vers la rive gauche.

Le lit du torrent de Fréjus connaît un accroissement de la pente et s'encaisse progressivement dans les gorges à forte pente permettant le raccordement avec la vallée du Bez. Les érosions y sont alors particulièrement intenses. Plusieurs franchissements de piste peuvent être observés avant la confluence avec le torrent de Glaize.

2.1.1.1.3. Torrent de Glaize

Il s'agit du second sous bassin important, plus à l'Est. Dans la partie amont, l'érosion paraît très modérée. Ce torrent devient important vers 2090 m d'altitude au niveau de la confluence avec le torrent des Fangéas. Les aménagements des pistes sont alors omniprésents avec - notamment - la couverture du torrent sur un linéaire important :



Photo 31 : Couverture de la partie amont du torrent de Glaize.

En cas de forte crue, un tel aménagement peut conduire à l'érosion de volumes importants de matériaux, les remblais étant généralement plus facilement mobilisables.

La photo ci-contre, prise après la crue de 1995 montre la reprise dans le lit lors de la crue. Les volumes érodés seraient vraisemblablement très supérieurs aujourd'hui.

En aval de cette zone à pente relativement faible, le torrent de Glaize entre dans des gorges à forte pente. Une série de seuils en bois vient d'être construite dans la partie amont des gorges.

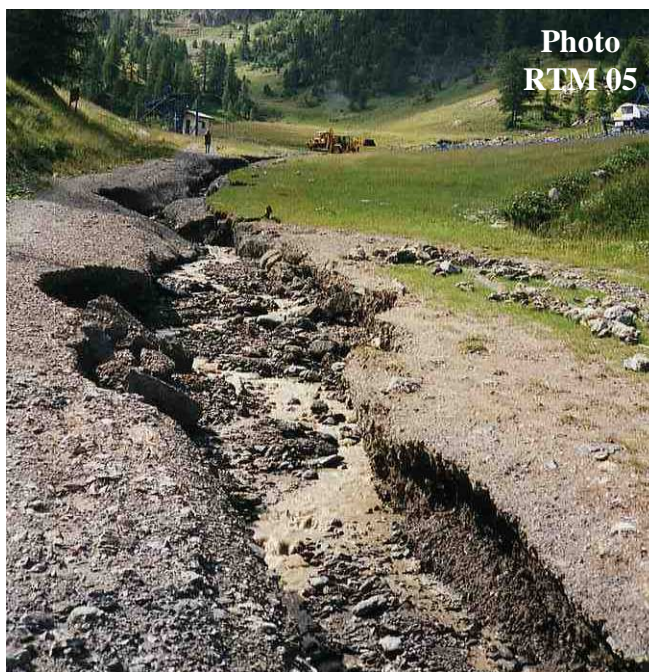


Photo 32 : Couverture de la partie amont du torrent de Glaize.

L'érosion dans les gorges est intense et une série de seuils en béton a été construite juste en amont de la confluence avec le torrent de Fréjus comme le montre la photo suivante :



Photo 33 : Barrages récents en amont de la prise d'eau pour l'alimentation de l'enneigement.

2.1.1.1.4. Gorges aval

Ces gorges sont particulièrement raides et la géologie y est défavorable. C'est là que le Bez s'était chargé en matériaux - et particulièrement en blocs - lors de la crue de 1995. Depuis l'érosion reste active y compris dans le substratum comme le montre la photo suivante :



Photo 34 : Gorges du Bez.

La photo suivante montre le lit très dégradé après la crue de 1995 :



Photo 35 : Gorges du Bez après la crue de 1995.

Bien que des travaux de corrections torrentiels y aient aussi été menés, ces gorges constituent une source majeure de matériaux, facilitant le dépôt sur le cône de déjection.

2.1.1.2. Cône de déjection

Une plage de dépôt a été implantée au sommet du cône de déjection. Sa capacité semble bien inférieure aux apports solides associés à une crue centennale. Elle est associée à un piège à flottant élégant, mais fragile pour un tel torrent.

En aval de la plage de dépôt, le torrent a été "plaqué" contre la rive droite, comme le montre la photo suivante :



Photo 36 : Lit aval de la plage de dépôt.

Cette configuration est difficilement compréhensible ici alors que les terrains ne sont pas constructibles :

- La protection de la rive gauche renvoie le torrent sur les terrains instables de la rive droite, déstabilisant le versant et apportant des matériaux au torrent.
- La réduction de largeur du lit favorise son érosion et les protections sont affouillées sur ce linéaire.
- En aval d'une plage de dépôt, il est important de prévoir une zone de régulation du transport solide pour éviter les dépôts ou les érosions en aval. Ce lit très étroit ne peut assurer cette fonction.
- La boucle imposée au Bez augmente le linéaire de protection et donc le coût de l'ouvrage.

Cette configuration est difficilement compréhensible alors que le Bez connaît une tendance marquée au dépôt sur son cône de déjection, comme la crue de 1995 le montre sur la photo page suivante.



Photo 37 : Tendence au dépôt en 1995.

Dans la traversée urbaine - et jusqu'à la Guisane - le Bez est sévèrement endigué comme le montre la photo suivante :



Figure 38 : Chenal du Bez.

Trois éléments réduisent l'efficacité de cet aménagement :

- Un lit trop étroit en aval de la plage de dépôt qui ne permet pas une régulation suffisante du transport solide comme indiqué précédemment.
- Un affouillement des protections de berge qui les menace à moyen terme.
- Une forte réduction de pente qui entraîne une nette tendance au dépôt. Il s'agit assurément du point le plus critique car il est hors de porté de le modifier significativement. La solution résiderait dans la construction d'une nouvelle plage de dépôt... dans un contexte urbanisé ou la gestion du foncier est - théoriquement - beaucoup plus complexe qu'au sommet du cône de déjection.

Enfin, la confluence engendrerait rapidement un dépôt important la reprise par la Guisane étant très modérée.

Les aménagements ont conduit, surtout dans la partie aval, à une réduction considérable de la largeur et de la possibilité de réguler le transport solide, comme le montre cette photographie aérienne de 1939 :

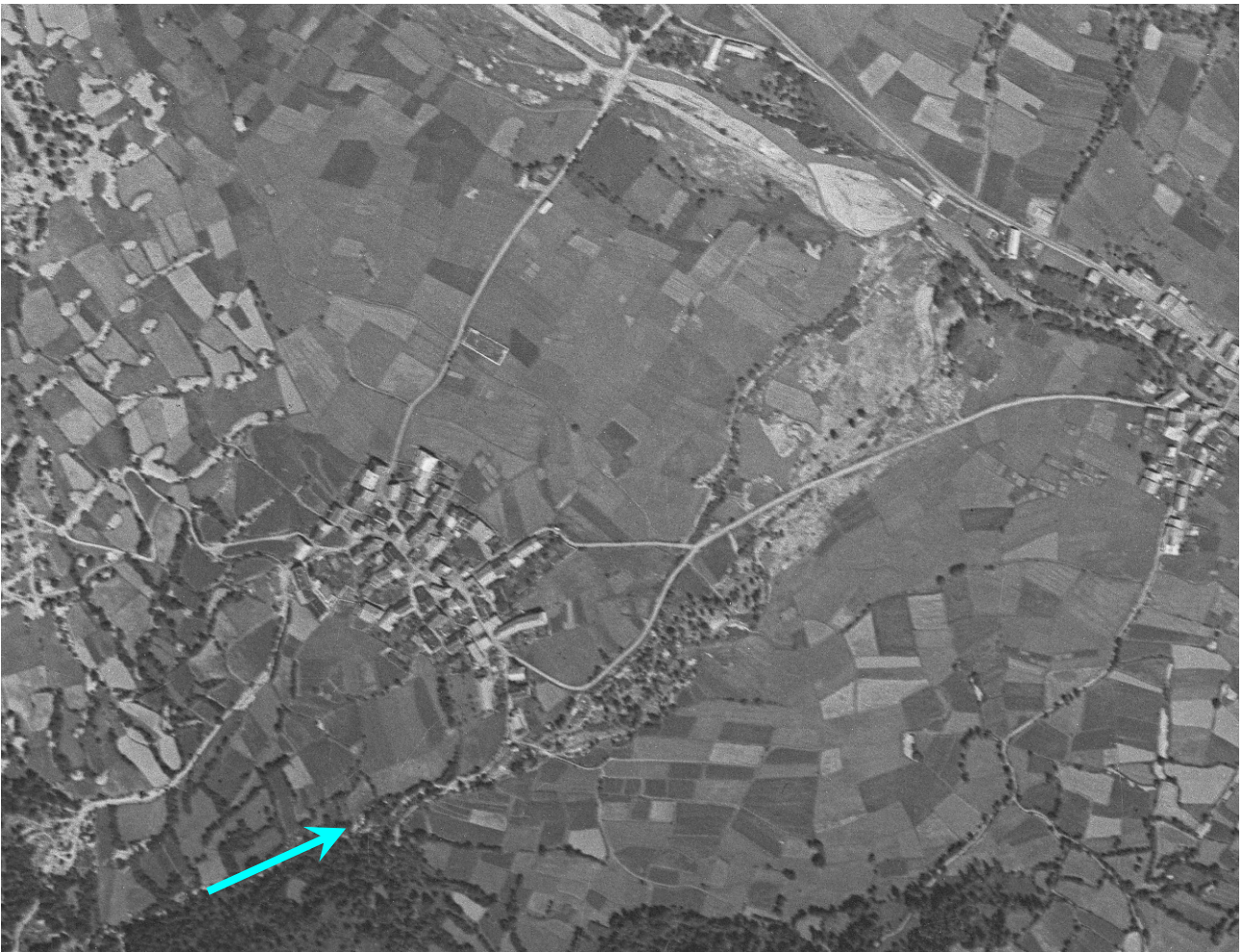


Figure 39 : Vue du cône de déjection du Bez en 1939.

Le lit de la Guisane est aussi particulièrement large en amont (y compris hors du cadre de la photo, ce qui facilitait aussi la régulation du transport solide.

2.1.1.3. Confluence

La photo suivante montre - depuis l'aval - la confluence du Bez avec la Guisane, mais aussi les bâtiments récents implantés dans le lit de la Guisane sur la rive opposée :



Figure 40 : Confluence du Bez avec la Guisane depuis l'aval.

Ce site urbain est contraint et n'est favorable ni à la reprise des matériaux (absence d'accroissement de pente en aval) ni au dépôt (lit étroit et peu profond).

2.1.1.4. Historique des crues

29-05-1856	Première mention du torrent du Bez.
7-06-1955	Crue avec fort transport solide. Crue concomitante de la Guisane. Débordement vers le centre U.N.C.M. le chemin reliant les hameaux du Bez et de Villeneuve recouvert de déjections sur 1 km. CD 400 emporté sur 500m. Un atelier détruit au Bez. Prairies de Villeneuve inondées. Champs engravés. Culées de 3 ponts affouillées et tabliers bois déposés vers Bez et Fréjus.
11-1963	Chemin vicinal 9 entre le Bez et Fréjus coupé à plusieurs reprises. Au Bez, pont endommagé
5-05-1973	Crue longue associée à la fonte. Dégâts aux habitations - Piscine du Chazelet remplie d'alluvions. Télécabine inondé en rive gauche. Pont RN91 endommagé et Route vers le Bez coupée.
24-07-1995	Évocation d'une lave granulaire. Apport de 30 à 50 000 m ³ de matériaux - Déstabilisation des lits dans le bassin versant. 1 blesse dans la maison Majoli (vieux village) Maisons endommagées. 40 automobiles emportées, immeubles inondés.
28-05-2008	Crue longue et généralisée. Inondation immeubles en rive gauche et rive droite en aval du Pont de la folie. Fort engravement du lit. 5 pelles hydrauliques en action pour curer en continu le chenal aval et la confluence avec la Guisane et conforter les berges en amont. Affouillement du parking de la télécabine, ponts et protection de berge affouillés, conduite eaux usées de FREJUS arrachée au Pontillas, attaques des berges sur l'ensemble du chenal.

Cet historique montre une forte tendance au dépôt durant les crues, particulièrement les deux dernières. Le dépôt est évidemment beaucoup plus sensible dans un lit étroit, ce qui n'était pas le cas avant l'aménagement de la station.

L'historique des crues commence avec le développement de la station, essentiellement parce que - antérieurement - les enjeux étaient faibles.

La crue de 2008 - pas très importante - met clairement en évidence la vulnérabilité de la partie basse du cône de déjection.

2.1.2. Nature des phénomènes

Des laves torrentielles boueuses peuvent être observées dans le bassin versant, notamment sur le torrent du Grand Bois.

Sur le cône de déjection, le charriage torrentiel constitue - de loin - le phénomène prépondérant. Cependant, pour la crue de 1995, l'écoulement d'une lave granulaire a été évoqué.

Les observations durant cette crue montrent des dépôts au sommet du cône de déjection, avec une pente supérieure à 9 %. Les calculs d'apports solides uniquement en charriage conduisent - pour une pente d'équilibre amont de 9 % - à un dépôt sur le cône de déjection de l'ordre de 40 000 m³ ce qui est totalement cohérent avec les éléments mentionnés par le RTM.

Cela n'exclut pas la formation d'une lave torrentielle granulaire, qui expliquerait plus facilement le transport de blocs dans la partie supérieure du cône de déjection. Cette lave ne se serait écoulée que durant une faible durée, le reste de la crue correspondant à du charriage.

Cette éventuelle lave granulaire ne semble pas être arrivée à la Guisane mais s'est déposée dans la partie amont du cône de déjection. En effet, les pentes aval paraissent trop faibles pour un tel écoulement.

La quantification des apports à la Guisane peut donc être réalisée uniquement en considérant le phénomène de charriage.

L'éventuelle occurrence d'une lave torrentielle granulaire doit inciter à la prudence, notamment en ménageant dans la partie haute du cône de déjection un lit large permettant une régulation du transport solide. C'est exactement le contraire qui a été fait en aval de la plage de dépôt !

2.1.3. Hydrologie

Les tableaux pages suivantes montrent les étapes de l'étude hydrologique. Les résultats retenus sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
10	7	25

Bez

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)	$Pluie = \frac{a \text{ durée } e}{(\text{durée } e + c)^b}$		
					a	b	c
10.0	80	1.5	900	100	26.3	0.65	0

Caractéristiques du bassin versant (calcul du temps de concentration)

Coefficient de Passini	Longueur du talweg (km)	Pente moyenne (%)	caractéristiques sol (Méthode de Zeller)				
			Coefficient de débit	Coefficient de ruissellement	Longueur d'écoulement en nappe (m)	Vitesse d'écoulement estimée (m/s)	q* (méthode SCS)
1.0	5	10	0.1	0.3	600	3	0.01

Calcul du temps de concentration

	temps de concentration calculé (en heure)
Formule de Passini	1.16
Formule de Giandotti	1.34
Méthode de Zeller	2.26

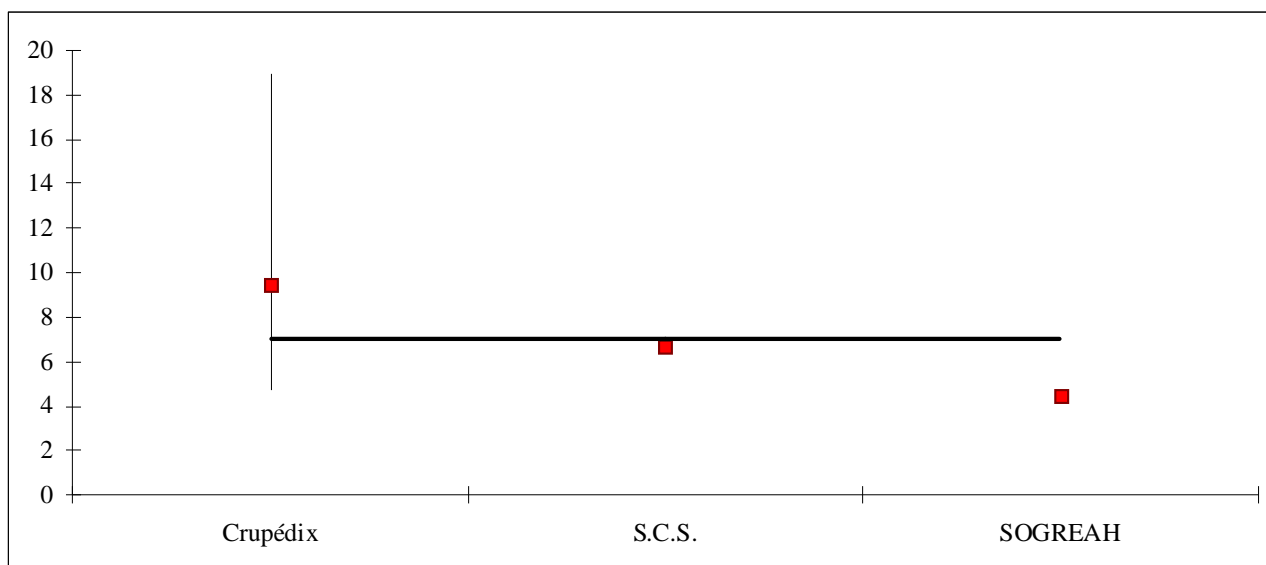
temps de concentration retenu (en heure)	1.5
---	------------

Calcul du débit décennal

Nom de la méthode	débit de pointe calculé (m ³ /s)
Crupédix	9.5
S.C.S.	6.7
SOGREAH Pivot	4.5

débit de pointe décennal retenu (en m³/s)	7
---	----------

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



Bez
Calcul des débits de différentes périodes de retour

Caractéristiques du bassin versant (méthode du gradex)

$Gradex = \frac{a' \text{ duré } e}{(duré \ e + c')^{b'}}$			Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la crue
a	b	c'	
5.60	0.65	0	1.8

Calcul du gradex des débits

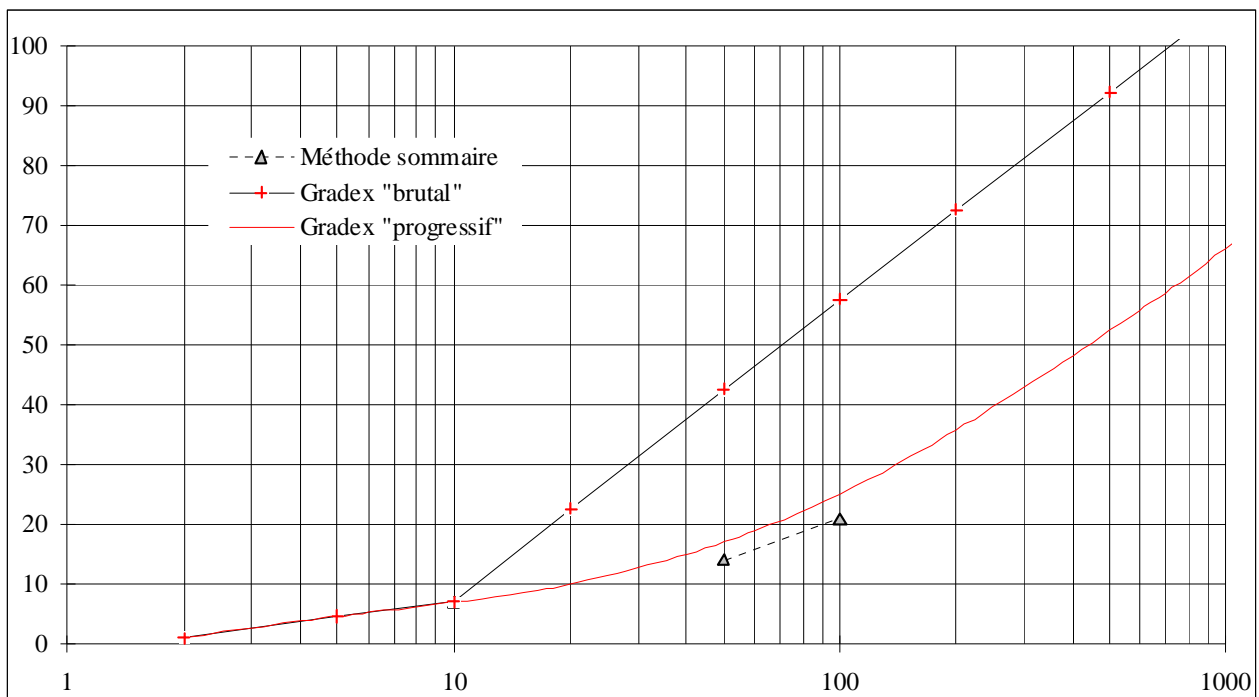
Période de retour inférieure à 10 ans	3
Période de retour supérieure à 10 ans	22

SOGREAH (méthode pivot)	19
-------------------------	----

Calcul des débits de pointe

Période de retour (années)	Méthode sommaire	Gradex "brutal"	Gradex "progressif"
2		1.0	1.0
5		4.6	4.6
10	7	7	7
20		22	10
50	14	43	17
100	21	58	25

Période de retour	Débit retenu
10	7
100	25



2.1.4. Transport solide

2.1.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

La figure suivante montre le profil en long du Bez dans la partie aval du cône de déjection :

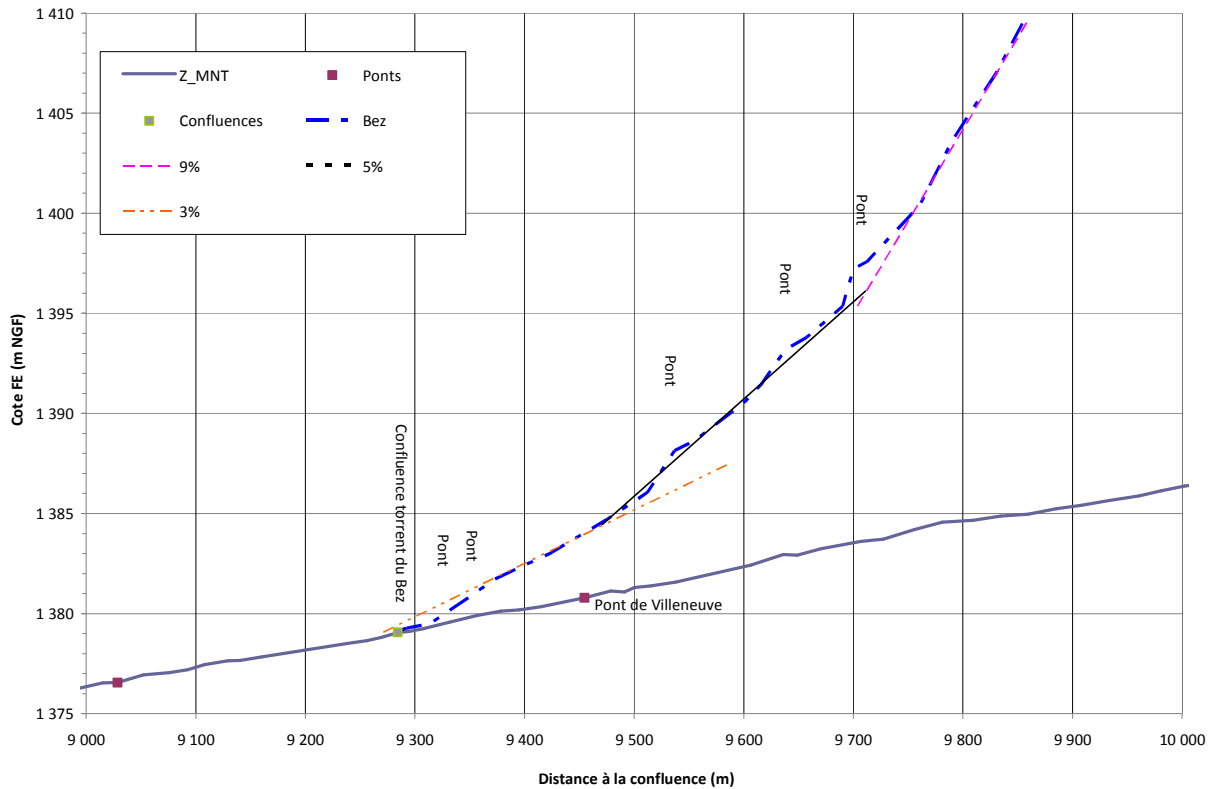


Figure 41 : Profil en long du Bez.

Ce graphique montre une forte décroissance de la pente sur le cône de déjection. Il s'agit en partie de l'effet naturel du pavage par les blocs issus des gorges.

Ainsi, la pente passe de 9 % dans la partie amont du cône de déjection à 3 % seulement avant la confluence avec la Guisane. Cela se traduit lors des fortes crues par une forte tendance au dépôt, comme en 1995 ou, dans une moindre mesure, 2008.

2.1.4.2. Granulométrie

Des mesures ont été réalisées dans la zone de divagation aval et sont indiquées dans le graphique suivant :

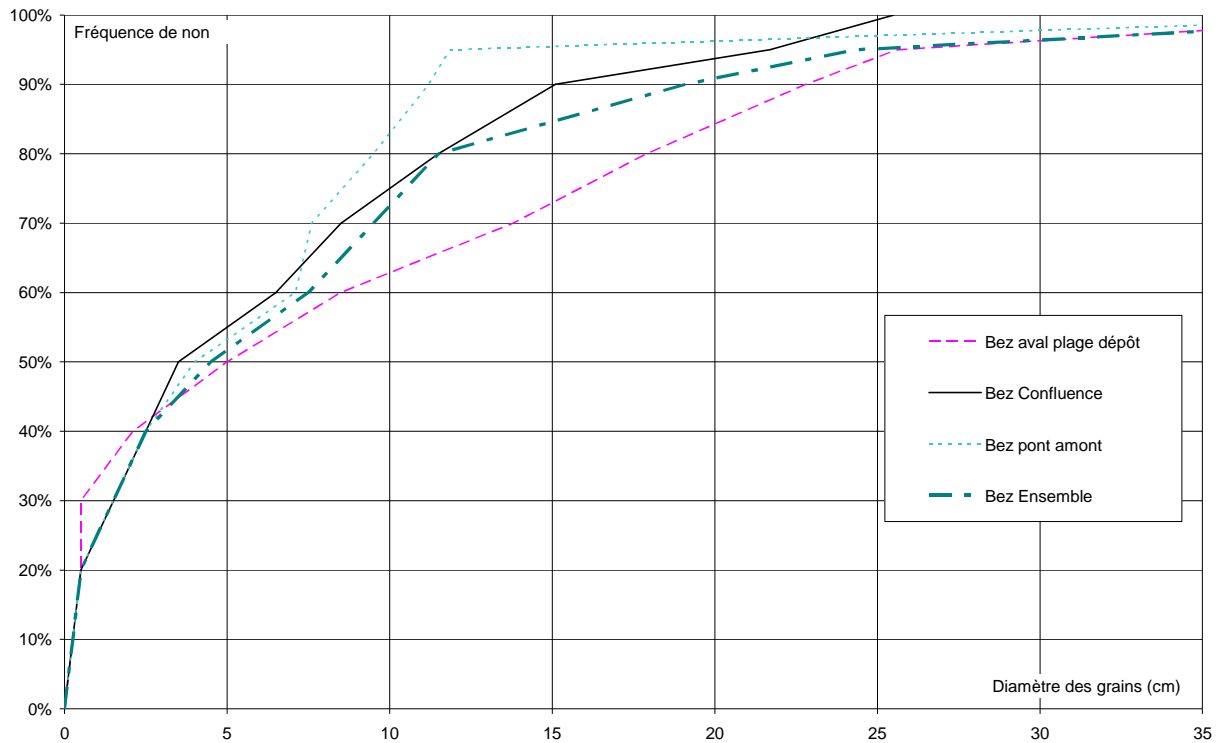


Figure 42 : Mesures granulométriques sur le Bez.

Ces mesures conduisent aux paramètres suivants :

d_{30} (cm)	1.5
d_m (cm)	7.2
d_{90} (cm)	19.1
d_{90}/d_{30}	13

2.1.4.3. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale avec une pente d'équilibre de 5 %, qui paraît la plus probable :

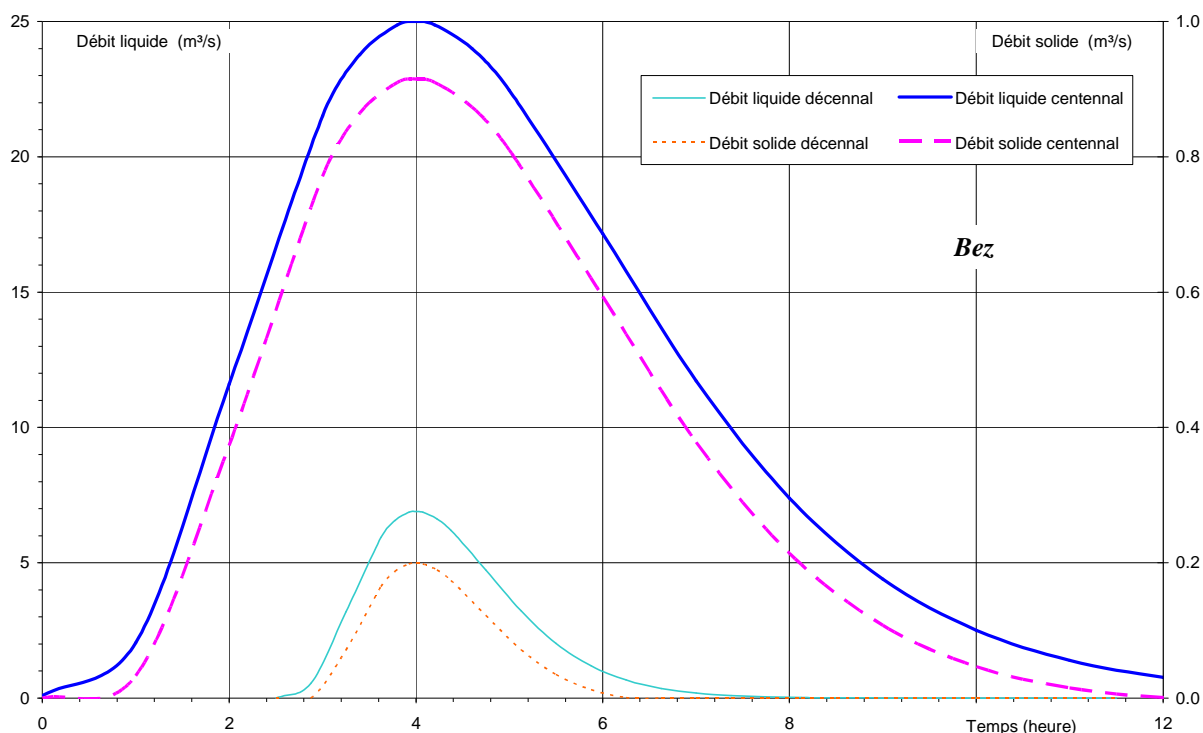


Figure 43 : Hydrogrammes liquides et solides du Bez.

Le calcul est réalisé ici avec plusieurs pentes :

- La pente de 9 % qui correspond à la pente à l'extrémité amont du court levé topographique disponible. C'est un minorant de la capacité de transport du lit amont.
- La pente de 5 % qui correspond à la pente de la zone historiquement alluvionnaire et qui indique la valeur la plus probable des apports amont, la partie supérieure du cône de déjection étant - au moins partiellement - pavée.
- La pente de 3 % correspond à celle du bas du cône de déjection. Elle illustre les apports potentiels à la Guisane.

Les volumes transportés sont les suivants :

Pente d'équilibre	Volume transité lors de la crue (m ³)		
	3 %	5 %	9 %
Crue décennale	300	1 000	4 000
Crue centennale	5 000	16 000	45 000

La différence entre le volume à 9 % et celui à 3 % (40 000 m³ pour une crue centennale) est une bonne approximation des volumes déposés sur le cône de déjection pour une telle crue.

2.1.5. Synthèse - Comportement à la confluence

Les apports solides à la confluence sont finalement modérés... au prix d'un dépôt sur le cône de déjection et dans la zone urbaine. En effet, pour une crue centennale, les dépôts sur le cône de déjection seraient de 40 000 m³ avec un apport de "seulement" 5 000 m³ à la confluence. C'est d'ailleurs ce qui s'est passé en 1981.

Par contre, le lit de la Guisane à la confluence présente une section beaucoup trop réduite pour permettre de tels apports sans débordement.

Il s'agit donc d'étudier le comportement de la Guisane dans la zone de confluence en tenant compte des apports liquides et solides de cet important torrent.

2.1.6. Principes de gestion

2.1.6.1. Dépôt sur le cône de déjection

La correction active dans le bassin versant doit être poursuivie. Elle permet de corriger localement les effets des terrassements massifs liés aux pistes de ski. Par contre, il paraît illusoire de réduire très significativement les apports au sommet du cône de déjection.

Le dépôt de 40 000 m³ est à prévoir sur le cône de déjection pour une crue centennale. La plage de dépôt au sommet de cône de déjection est favorable car elle permet une régulation du transport solide mais sa capacité est faible. De plus, le lit en aval est beaucoup trop étroit sur l'ensemble du cône de déjection. Les deux sites les plus favorables - et complémentaires - correspondent aux ruptures de pentes car il s'agit des zones de dépôt naturel. Deux plages de dépôt peuvent être envisagées en plus de l'ouvrage actuel :

- En amont du pont supérieur et des urbanisations. Il est possible ici d'envisager un ouvrage de grande capacité, même si le chenal très étroit dans cette zone permet de douter de la volonté d'aménager ce torrent pour une forte crue. Il paraît envisageable d'arrêter la quasi-totalité des apports amont au prix d'un ouvrage de contrôle de la plage de dépôt très imposant et du pavage du lit en aval, sur l'ensemble du linéaire du cône de déjection.
- Au droit de la seconde rupture de pente, environ 250 mètres en amont de la confluence. La mise en place d'un ouvrage massif paraît délicate dans cette zone urbaine, même si la combinaison d'un parking et d'une zone de dépôt paraît envisageable. Cette implantation est idéale par rapport au transport solide car elle correspond aux premiers dépôts lors des crues.

Ces deux plages de dépôt doivent être envisagées ensemble afin d'optimiser les coûts et les emprises foncières pour apporter une protection satisfaisante de cette zone urbanisée.

2.1.6.2. Dépôt sur le cône de déjection

Les contraintes sont ici très fortes alors qu'un élargissement et un approfondissement du lit sont indispensables. Une protection centennale dans cette zone passerait vraisemblablement par la destruction d'au moins un bâtiment en rive droite, aujourd'hui très exposé.

L'abaissement du profil en long est possible, mais il impose d'intervenir depuis le pont de Moulin Baron, environ 1200 mètres en aval de la confluence. Il s'agit donc d'une intervention de grande ampleur, mais ce tronçon est particulièrement exposé au risque d'inondation dans l'état actuel.

2.2. Torrent de la Salle

2.2.1. Description rapide du bassin versant et du lit

2.2.1.1. Zone d'érosion

Le torrent de la Salle draine un bassin versant de 6.6 km² entre le Col de Granon et le village de la Salle.

Le document suivant issu de l'étude¹ RTM - CEMAGREF montre l'ensemble du bassin versant :

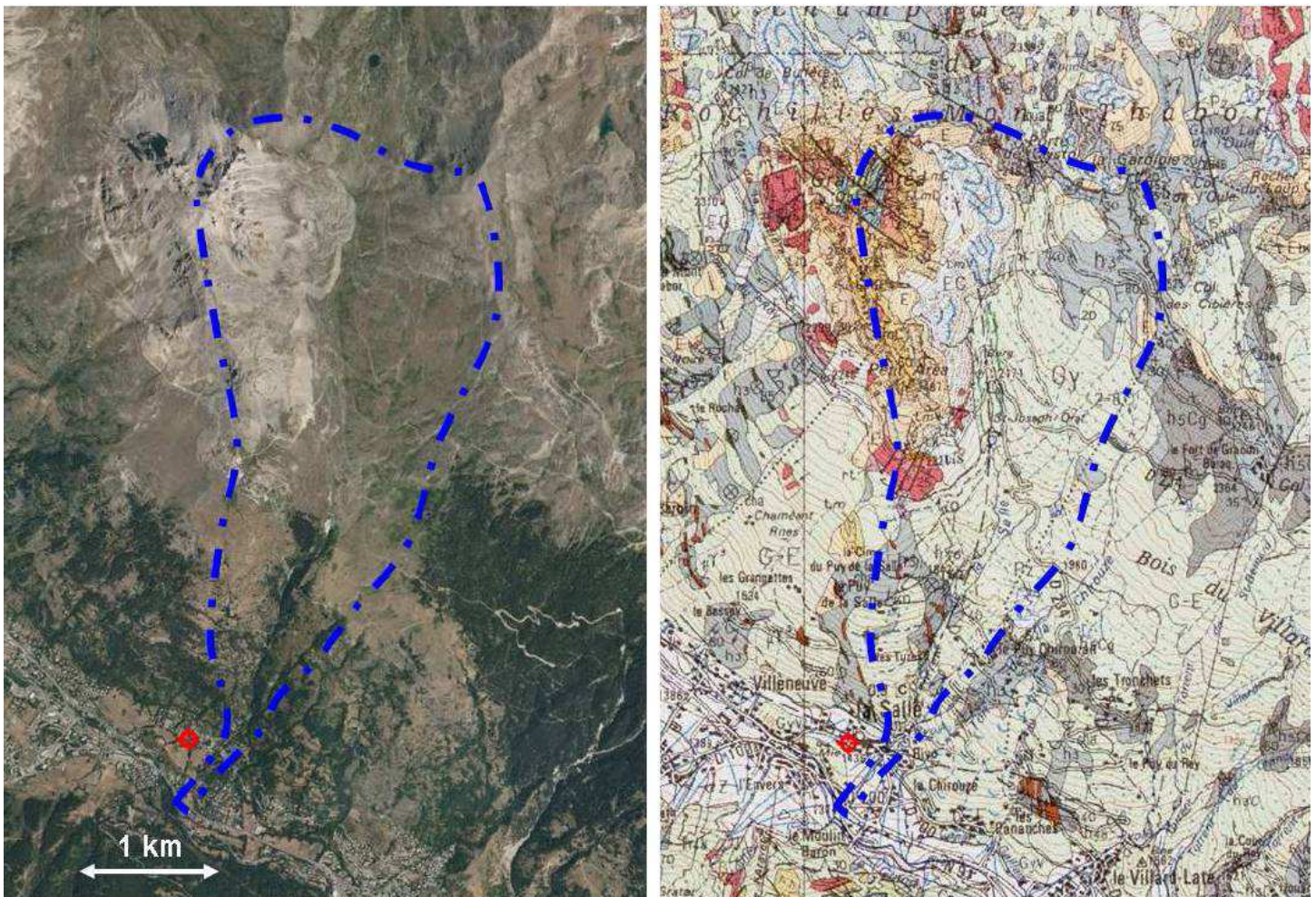


Figure 44 : Vue aérienne et carte géologique du bassin versant du torrent de la Salle.

¹ RTM - CEMAGREF (désormais IRSTEA) - Étude de dangers des digues du torrent de La Salle - Rapport provisoire - Décembre 2011.

Dans la partie amont, d'imposants glaciers rocheux sont visibles le long de la rive droite comme le montre la photo suivante :



Photo 38 : Glaciers rocheux du haut bassin versant du torrent de la Salle.

Ces glaciers barrent partiellement la vallée mais les débits sont trop faibles et aucune trace d'écoulement ou de reprise des matériaux n'est visible. Leur effet sur le comportement du torrent est donc négligeable. Il reste possible que des précipitations très exceptionnelles conduisent à la formation d'une retenue d'eau et qu'il y ait une débâcle. Ce scénario est cependant très improbable étant données les pentes limitées au droit du glacier et la granulométrie très grossière.

En aval des glaciers rocheux, l'écoulement superficiel est exceptionnel et le lit est très peu marqué, la pente étant ici relativement faible et les blocs rocheux, très présents - pavent le lit.

Vers 2000 m d'altitude, le torrent entre dans des gorges beaucoup plus raides. L'érosion prend alors deux formes :

- Des érosions de surfaces, ponctuelles mais bien visibles, la principale zone d'érosion étant située au sommet des gorges vers 2000 m d'altitude. Elle est visible à la photo page suivante.
- Des glissements de terrain - notamment celui de Puy Chirouzan - qui sont vraisemblablement prépondérants dans la formation des crues historiques. Les gorges ont donc fait l'objet de travaux RTM de grande ampleur qui semblent avoir permis la stabilisation des glissements ou - au moins - leur fort ralentissement. La seconde photo de la page suivante montre ces ouvrages dans un lit très raide. Outre les barrages, de très nombreuses banquettes en métal déployé ont été réalisées sur les versants aussi que des reboisements de grande ampleur. De plus, un linéaire important de drains permet de réduire l'hydratation des glissements de terrain, notamment en rive gauche.



Photo 39 : Érosion de surface en amont des gorges.



Photo 40 : Correction RTM dans les gorges.

Ainsi, le transport solide parait réduit - au moins en période ordinaire - au sommet du cône de déjection.

2.2.1.2. Cône de déjection

La transition avec le cône de déjection est assez progressive. Dans la partie amont, le torrent de la Salle a fait l'objet d'une lourde correction avec une série de barrages et de digues en béton comme le montre la photo suivante :



Photo 41 : Protection massive au sommet du cône de déjection.

Cet aménagement présente l'inconvénient d'être calé trop haut, ce qui augmente les conséquences d'un débordement, notamment en s'opposant au retour de l'écoulement dans le lit mineur.

En aval du village de la Salle, l'aménagement est beaucoup plus satisfaisant :

- Le lit mineur est plus large et les protections de sont absentes sur l'essentiel du linéaire grâce à l'absence d'enjeux importants en sommet de berge.
- Le débordement est possible en rive gauche, une digue éloignée ramenant l'écoulement dans le lit mineur. Cette situation est très favorable car elle permet une régulation du transport solide. Le point faible est le passage de la route avec un dos d'âne très marqué mais qui pourrait être insuffisant dans ce secteur à forte pente). D'autre part, le niveau de fondation de cette digue très en retrait n'est pas connu.

En amont de la RD1091, l'urbanisation est plus présente et le torrent est de nouveau endigué - dans la continuité de l'aménagement précédent - mais avec un ouvrage dissymétrique.



Photo 42 : Endiguement dissymétrique de la partie aval du torrent de la Salle.

Le document suivant synthétise les aménagements sur le cône de déjection :

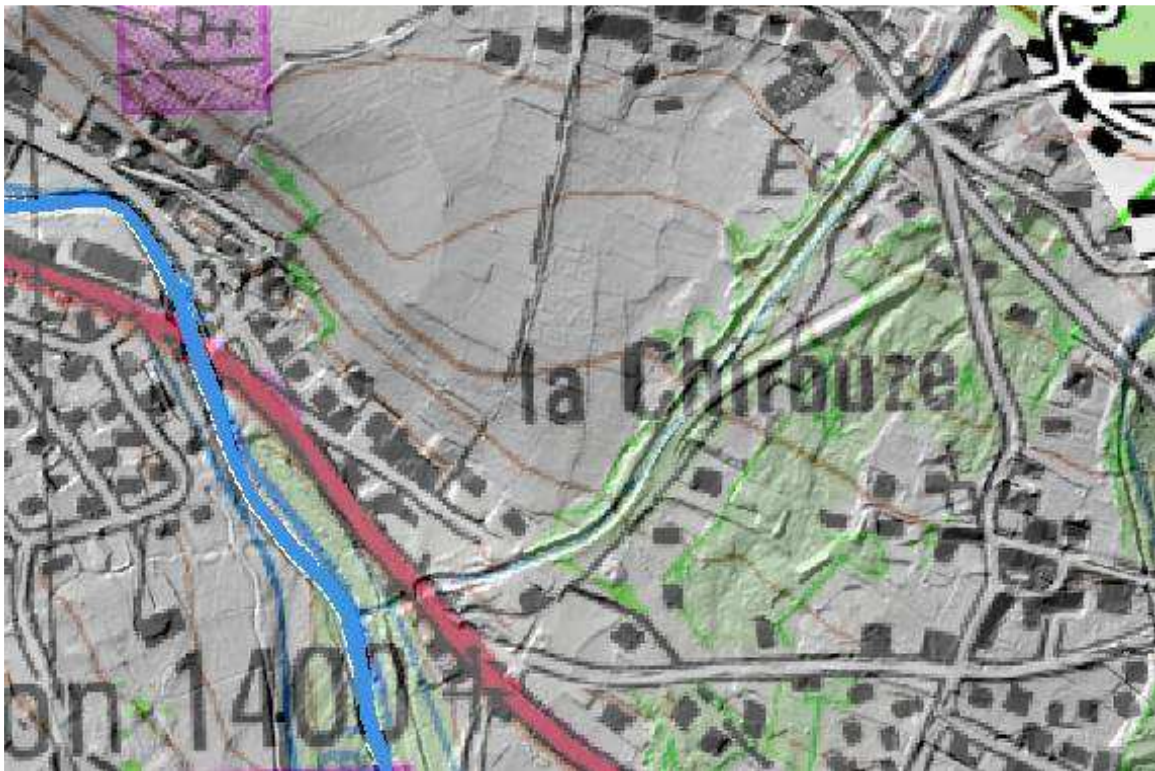


Figure 45 : Carte et LIDAR sur le cône de déjection du torrent de la Salle.

Le pont de la RD1091 est vraisemblablement celui qui présente la section la plus faible alors que la pente y est très réduite. Une conduite d'eaux usées passe sous cet ouvrage. Le lit rejoint rapidement le lit de la Guisane après avoir franchi un canal par un étrange ouvrage en bois.

La photo suivante montre cet ouvrage et le lit de la Guisane immédiatement en retrait :



Photo 43 : Lit terminal du torrent de la Salle avant la Guisane.

2.2.1.3. Confluence

La zone de confluence présente une faible capacité de régulation du transport solide, le lit de la rivière étant large et le torrent de la Salle n'ayant de peu de possibilités d'expansion.



Figure 46 : Lit de la Guisane en aval immédiat de la confluence avec le torrent de la Salle.

2.2.1.4. Historique des crues

XIV^{ème} siècle	Nombreuses crues avec mention de terres engravées.
1745	Terres engravés et ravinées.
1747	
1791	Digues emportés.
21-06-1843	Passerelle emportée.
1856	Crue généralisée.
	Crue avec lave débordant en rive gauche.
10-06-1948	Une quinzaine de maisons envahies. Bétail perdu. 5 ha de cultures détruits. RN91 obstruée sur 200 m. 5 ha de cultures détruits.
7-06-1955	Dégâts aux ouvrages RTM dans le bassin versant.
7-05-1973	Pont de la RD1091 endommagé.
	Formation d'une lave torrentielle avec nombreux débordements.
22-07-1988	Pont du Puy la Salle emporté et terres agricoles engravées. 2 chalets engravés sur 1.50m - Conduite d'eau emportée - Dégâts sur ouvrages RTM.
26-05-2008	Petite crue avec charriage.

L'historique de torrent est évidemment très fourni, deux villages (la Salle et la Chirouze) étant établis de longue date sur le cône de déjection. Les crues se forment préférentiellement au printemps, sauf celle de 1988 qui correspond à un violent orage.

2.2.2. Nature des phénomènes

Le phénomène majeur est la lave torrentielle. La photo page suivante - communiquée au service RTM par Mr Michelon - montre un dépôt caractéristique de lave torrentielle dans la rue principale de Chirouze.

Cependant, la lave torrentielle paraît exceptionnelle et limitée aux phénomènes les plus intenses.

Pour les phénomènes les plus courants, le phénomène prépondérant est le charriage torrentiel.

Les importants travaux RTM réalisés dans le bassin versant modifient vraisemblablement la répartition des phénomènes, en rendant les laves torrentielles encore plus rares. Elles ne peuvent cependant être exclues car, en 1988, le torrent de la Salle était déjà lourdement équipé par le RTM qui a réalisé l'acquisition des terrains après la crue de 1948.



Figure 47 : Dépôt caractéristique d'une lave torrentielle sur le torrent de la Salle.

Ainsi, il est retenu qu'une crue décennale correspondrait exclusivement à du charriage torrentiel alors que les deux phénomènes se produiraient pour une crue centennale. Dans les faits, il paraît improbable qu'une crue corresponde exclusivement à la formation d'une lave torrentielle. La lave ne s'écoulerait que durant une faible partie de la crue, le reste correspondant à du charriage torrentiel.

Évidemment, une démarche plus fine serait nécessaire pour la détermination des risques d'inondation ou le dimensionnement d'ouvrages.

2.2.3. Hydrologie

L'analyse hydrologique liée aux phénomènes de charriage conduit aux résultats suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
6.5	5	18

2.2.4. Charriage torrentiel

2.2.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

La figure suivante montre le profil en long - très partiel - levé à l'occasion de cette étude :

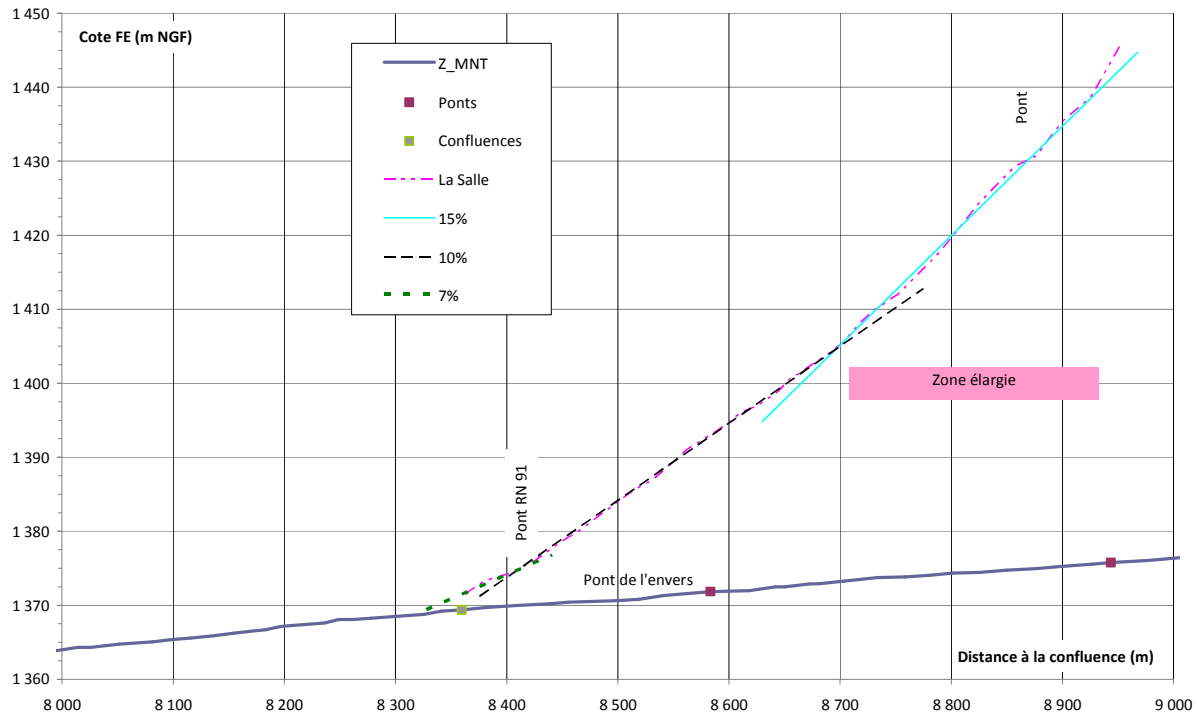


Figure 48 : Profil en long du torrent de la Salle.

Le rapport du CEMAGREF, en se basant sur la pente dans la partie amont du cône, évoque une pente d'équilibre de 12 %.

En aval du pont de l'école, la pente est de 15 %, ce qui n'est pas incohérent, surtout si les blocs transportés par les laves torrentielles ont permis la formation d'un pavage.

Au raccordement entre le secteur large et la digue rive gauche, la pente passe brutalement à 10 %, ce qui conduirait à un dépôt de matériaux, cette pente étant inférieure à la pente d'équilibre estimée.

À partir du pont de la RD1091, la pente est plus irrégulière mais elle est globalement faible (7 %). Cette réduction de pente est particulièrement préoccupante car elle s'ajoute à une confluence permettant une faible reprise des matériaux.

La pente de la Guisane est globalement stable ici, ce qui suggère que les laves torrentielles ne parviennent pas - ou très partiellement - à la rivière.

2.2.4.2. Granulométrie

Des mesures ont été réalisées en amont de la RD1091 afin d'échapper au pavage du lit:

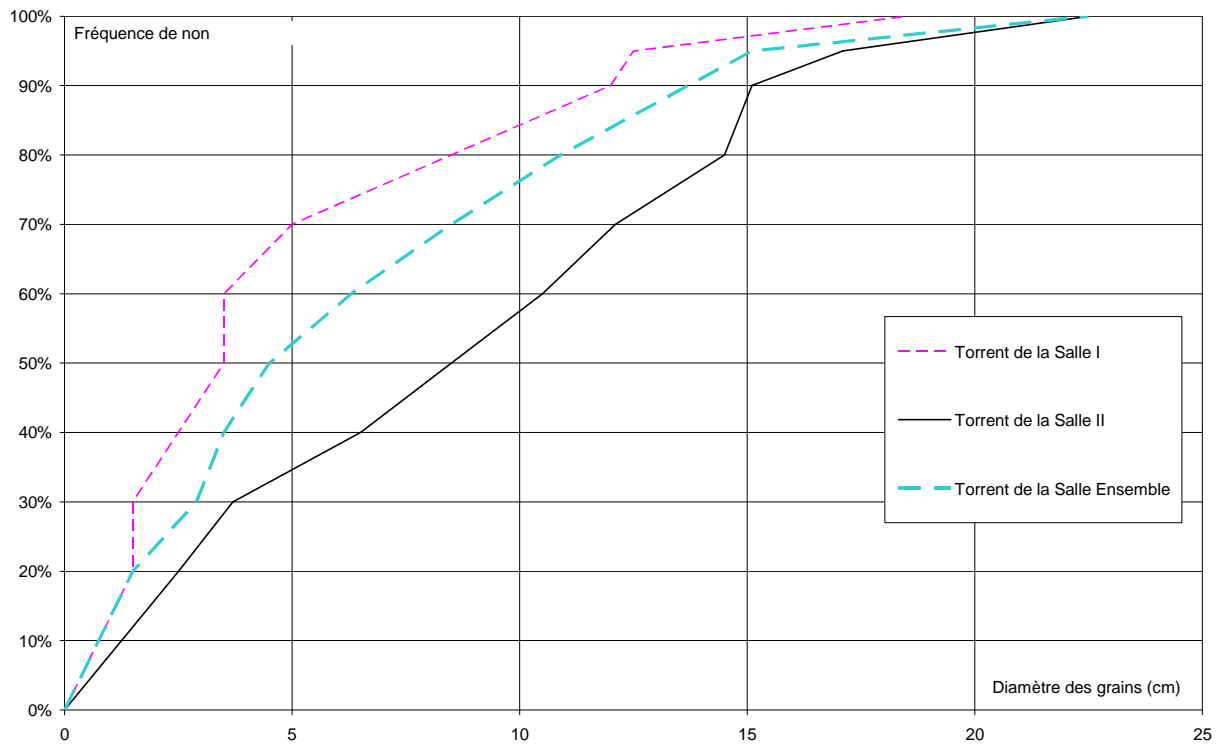


Figure 49 : Mesures granulométriques sur le torrent de la Salle.

Ces mesures conduisent aux paramètres suivants :

d_{30} (cm)	2.9
d_m (cm)	6.3
d_{90} (cm)	13.7
d_{90} / d_{30}	5

Ces valeurs sont très inférieures à celle du lit, globalement pavé.

2.2.4.3. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale pour la pente d'équilibre de 12 % :

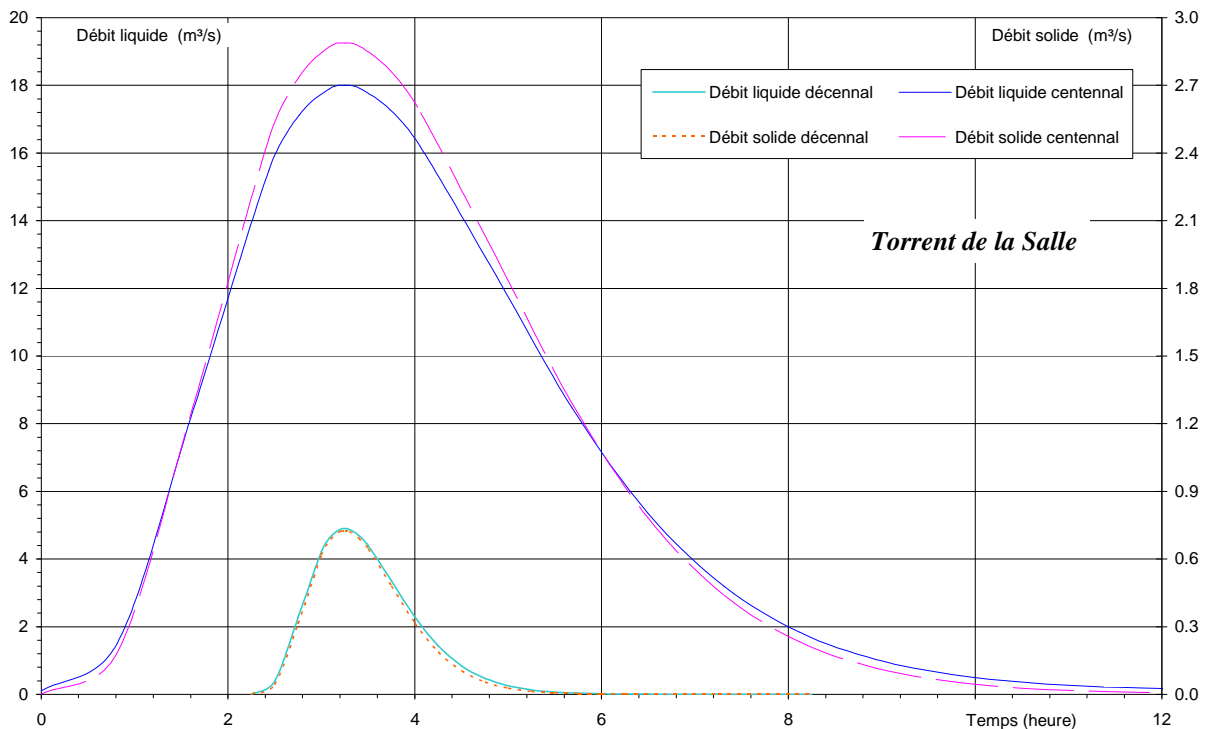


Figure 50 : Hydrogrammes liquides et solides du torrent de la Salle.

Le calcul est réalisé ici avec plusieurs pentes :

- La pente de 12 % qui correspond à la pente d'équilibre estimé par le CEMAGREF.
- La pente de 10 % qui correspond à la pente de la zone élargie en aval de l'école.
- La pente de 7 % correspond à celle du bas du cône de déjection. Elle illustre les apports potentiels à la Guisane.

Les volumes transportés sont les suivants :

Pente d'équilibre	Volume transité lors de la crue (m³)		
	7 %	10 %	12 %
Crue décennale	1 000	2 000	3 000
Crue centennale	16 000	31 000	42 000

La différence entre le volume à 12 % et celui à 7 % (26 000 m³ pour une crue centennale et 2 000 m³ pour une crue décennale) est une bonne approximation des volumes déposés sur le cône de déjection en cas de forte crue.

Les volumes apportés à la confluence seraient limités par les dépôts qui s'y produiraient.

2.2.5. Détermination des volumes de lave

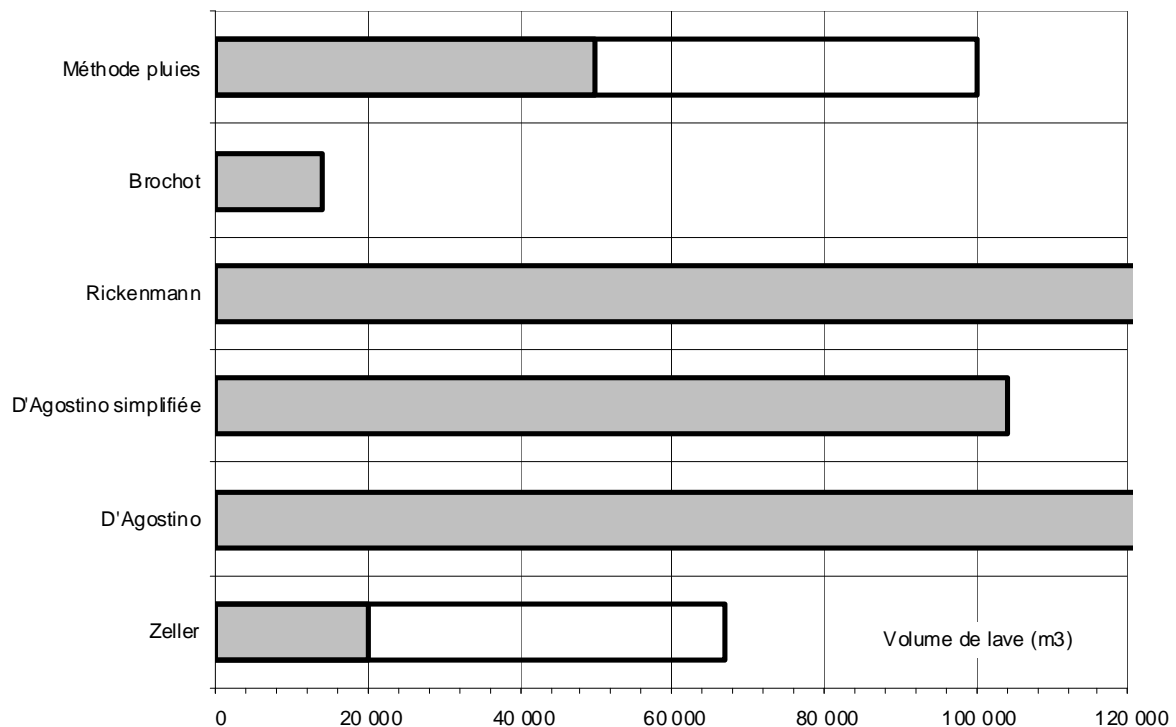
Le calcul est réalisé ici au sommet du cône de déjection :

Calcul du volume de lave torrentielle Torrent de la Salle

Surface BV	6.7 km ²
Surface non végétalisée	20 %
Pente Cône	15 %
Pente moyenne	47 %
Longueur torrent	3.5 km

Indice géologique D'Agostino	3
Indice torrencialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	3

Formule	Volume de lave (m ³)	
Zeller	20 000	à 67 000
D'Agostino	253 000	
D'Agostino simplifiée	104 000	
Rickenmann	254 000	
Méthode pluie	50 000	à 100 000
Brochot	14 000	



Ces valeurs paraissent excessives par rapport à la zone d'érosion - relativement courte - et aux ouvrages réalisés par le RTM. Le volume probable pour une crue centennale serait inférieur au calcul et proche de 50 000 m³.

2.2.6. Synthèse - Comportement à la confluence

Quelque soit le phénomène rencontré, la forte réduction de pente sur le cône de déjection réduit les apports solides à la confluence avec la Guisane... évidemment au détriment des riverains.

Pour les laves, le CEMAGREF indique que le chenal présente une section trop faible pour les conduire jusqu'à la Guisane. La quasi-intégralité des apports se déposerait alors sur le cône de déjection, préférentiellement en aval du pont de l'école. Si l'on considère un lit de 15 mètres de largeur et un linéaire de 500 mètres, la hauteur de dépôt dans le lit serait de... 7 mètres. Évidemment, cette épaisseur ne serait pas atteinte et la lave s'étalerait largement... peut être jusqu'à la confluence.

En cas de charriage torrentiel, le dépôt sur le cône de déjection correspondrait encore à un volume de 26 000 m³ soit une hauteur moyenne de dépôt de 3.4 m sur l'ensemble du linéaire. Dans les faits, ce calcul sommaire montre que le lit amont serait obstrué et que la confluence avec la Guisane recevait encore 16 000 m³.

Les phénomènes rencontrés sur le torrent de la Salle sont complexes car le bassin versant évolue rapidement sous l'effet des travaux du RTM, mais aussi parce que le type de phénomène est difficile à cerner et change en fonction de la période de retour. Il convient donc d'être prudent, une analyse détaillée étant indispensable avant la mise en œuvre d'aménagements.

2.2.7. Principes de gestion

Il apparaît que le torrent de la Salle présente une spécificité qui facilite considérablement son aménagement : le lit est très large dans la partie centrale, au niveau de la rupture de pente.

Il est donc possible d'aménager une vaste zone de dépôt centrale qui permettrait d'éviter le dépôt :

- En amont - au droit du pont de l'école - par une augmentation de la pente. À terme, la reconstruction du pont paraît difficilement évitable.
- En aval en arrêtant naturellement les apports solides grâce à la réduction de pente.

Une telle zone permettrait le transit des écoulements ordinaires et n'imposerait que de faibles contraintes quand à son entretien. La vue aérienne page suivante permet de situer grossièrement cet ouvrage, dont l'emprise pourrait dépasser facilement 1 ha.



Figure 51 : Localisation approximative de la plage de dépôt.

D'autre part, des aménagements sont souhaitables dans la zone de confluence :

- Une augmentation de la largeur du lit de la Guisane afin de faciliter le dépôt des matériaux. Il s'agirait d'araser la terrasse rive gauche de part et d'autre de la confluence en la calant une cinquantaine de centimètres au dessus du fil d'eau d'étiage.
- Un lissage de la pente du lit du torrent de la Salle, par la suppression du seuil en aval de la RD1091.

Ces aménagements doivent être compatibles avec le canal d'irrigation en rive gauche de la Guisane et aux réseaux qui franchissent le torrent au droit du pont de la RD1091.

Ces aménagements (plage de dépôt intermédiaire et élargissement de la confluence) permettraient de réduire les risques au niveau du franchissement de la RD1091. Cependant il est probable que seule la reconstruction du pont - avec remontée du niveau de la sous poutre - permettrait d'atteindre un niveau de protection centennal.

Le niveau de protection centennal paraît difficilement compatible avec le canal d'irrigation, sauf si celui-ci est totalement couvert dans la zone de la confluence. Ces travaux paraissent cependant disproportionnés par rapport aux enjeux liés à ce torrent.

3. COMMUNE DE SAINT CHAFFREY

3.1. Torrent de Saint Bernard

3.1.1. Description rapide du bassin versant et du lit

3.1.1.1. Zone d'érosion

Le torrent de Saint Bernard draine un bassin versant de 4 km² en amont du village de Villard Laté et de la station de Chantemerle. La photo suivante montre l'ensemble de ce bassin versant à partir des données du Géoportail :

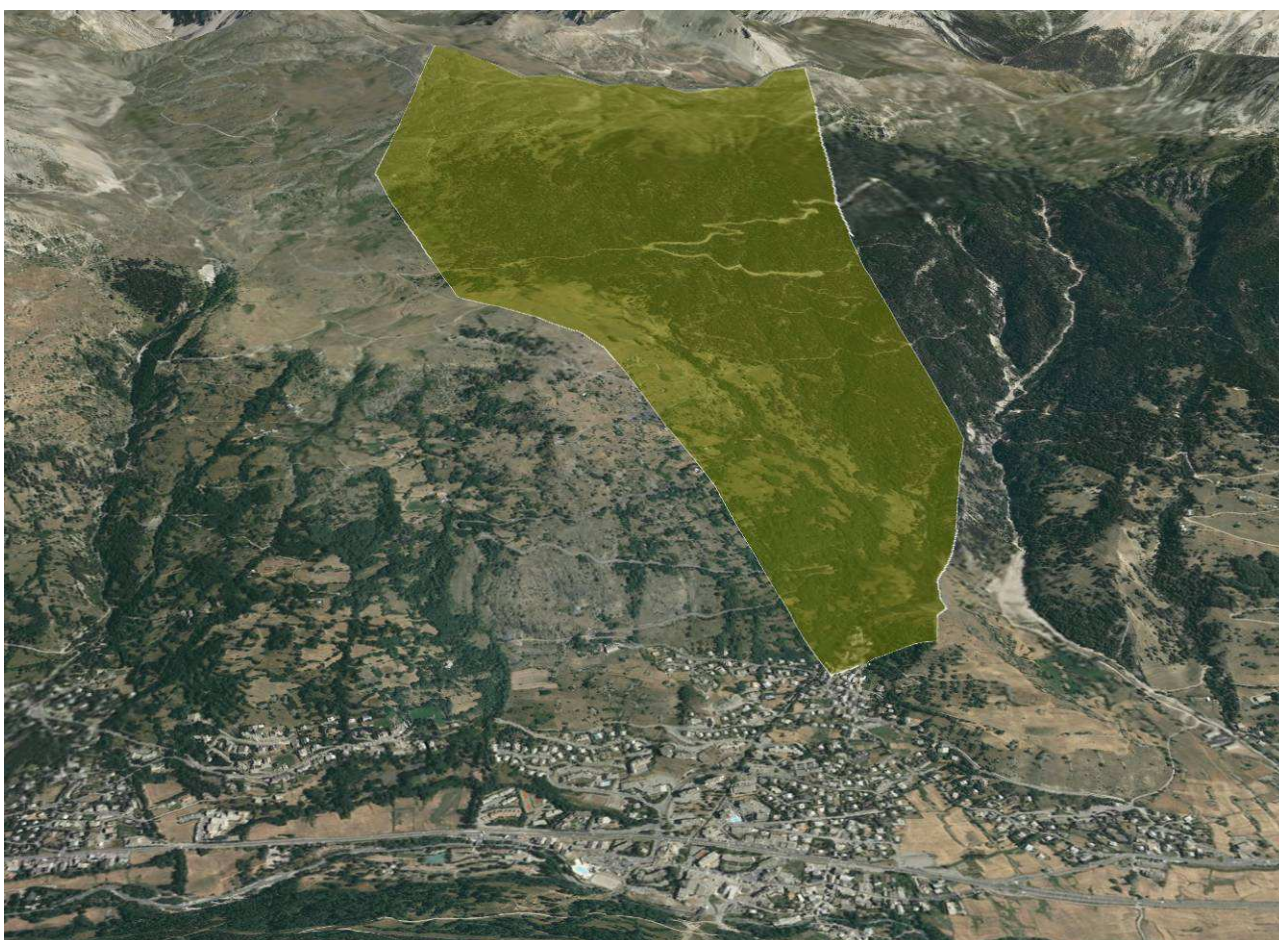


Figure 52 : Ensemble du bassin versant du Torrent du St Bernard.

Ce torrent est ramifié en plusieurs branches et - dans le secteur du col de Granon - l'érosion est très modérée. Le bassin versant est très boisé surtout dans sa partie l'Est.

En aval, le torrent entre dans des gorges plus raides mais aucune érosion significative n'y est observable. Le lit est pavé et envahi par la végétation témoignant ainsi de l'absence de crue récente.

La photo suivante montre le lit - caractéristique - d'un affluent principal vers 1830 m d'altitude :



Photo 44 : Transport solide marginal dans le haut du torrent de St Bernard.

Cette morphologie est encore visible au pied de versant, le lit étant remarquablement étroit pour un bassin versant aussi étendu. Une zone d'érosion est particulièrement visible sur la crête de séparation avec le Verdarel, avant l'arrivée sur le cône de déjection, mais sa contribution reste très faible :



Photo 45 : Zone d'érosion du torrent de St Bernard en amont du cône de déjection.

Le torrent arrive alors sur son cône de déjection avec un lit remarquablement étroit et végétalisé, mais raide.

3.1.1.2. Cône de déjection

Le cône de déjection du torrent du S^t Bernard est d'autant moins visible aujourd'hui qu'il est presque intégralement urbanisé. Dans la partie amont la section du torrent est très variable. À titre d'exemple, la photo suivante montre un mur de protection réalisé par un riverain avec une pente longitudinale presque nulle... et une hauteur très insuffisante en amont :



Photo 46 : Section très hétérogène sur le cône de déjection du torrent de S^t Bernard.

Juste en aval de cette construction, un ancien pont offre aussi une ouverture insuffisante, surtout si l'on tient compte des arbres qui pourraient être apportés lors d'une très forte crue. Sa situation au sommet du cône de déjection menace une large fraction de la station de Chantemerle.

Le torrent est ensuite canalisé sur tout le linéaire avec un lit étroit. L'ensemble est hétérogène mais il est cependant possible de dégager les tendances suivantes quant au type de protection :

- ➔ En amont des enrochements liaisonnés sont employés car les contraintes y sont fortes.
- ➔ Dans la partie centrale par des enrochements libres sont les plus courants.
- ➔ Localement, en aval, aucune protection de berge n'est mise en œuvre grâce à la faible pente.

Des murs en béton sont aussi visibles. L'évolution des techniques de protection respecte une constante sur tout le linéaire : un lit toujours étroit et pavé. Cette géométrie ne permet guère de régulation du transport solide alors que la pente connaît une forte décroissance de l'amont vers l'aval, la capacité de transport chutant encore plus rapidement.

De plus, la section diminue aussi de l'amont vers l'aval, un peu en largeur mais surtout en hauteur, conduisant à un risque important de débordement.



Photo 47 : Chenal du St Bernard dans la traversé de Chantemerle.

Le pont de la RD1091 est précédé d'une mise en vitesse, ce qui est très favorable même si sa section est réduite.

La section des derniers franchissements est très faible, comme la pente :



Photo 48 : Cours terminal du torrent du St Bernard.

3.1.1.3. Confluence

Le Torrent de S^t Bernard arrive dans la Guisane dans une zone étroite, une piste longeant la rivière. La pente est faible à cause d'un seuil de prise d'eau quelques dizaines de mètres en aval. La photo suivante montre cette confluence peut favorable :

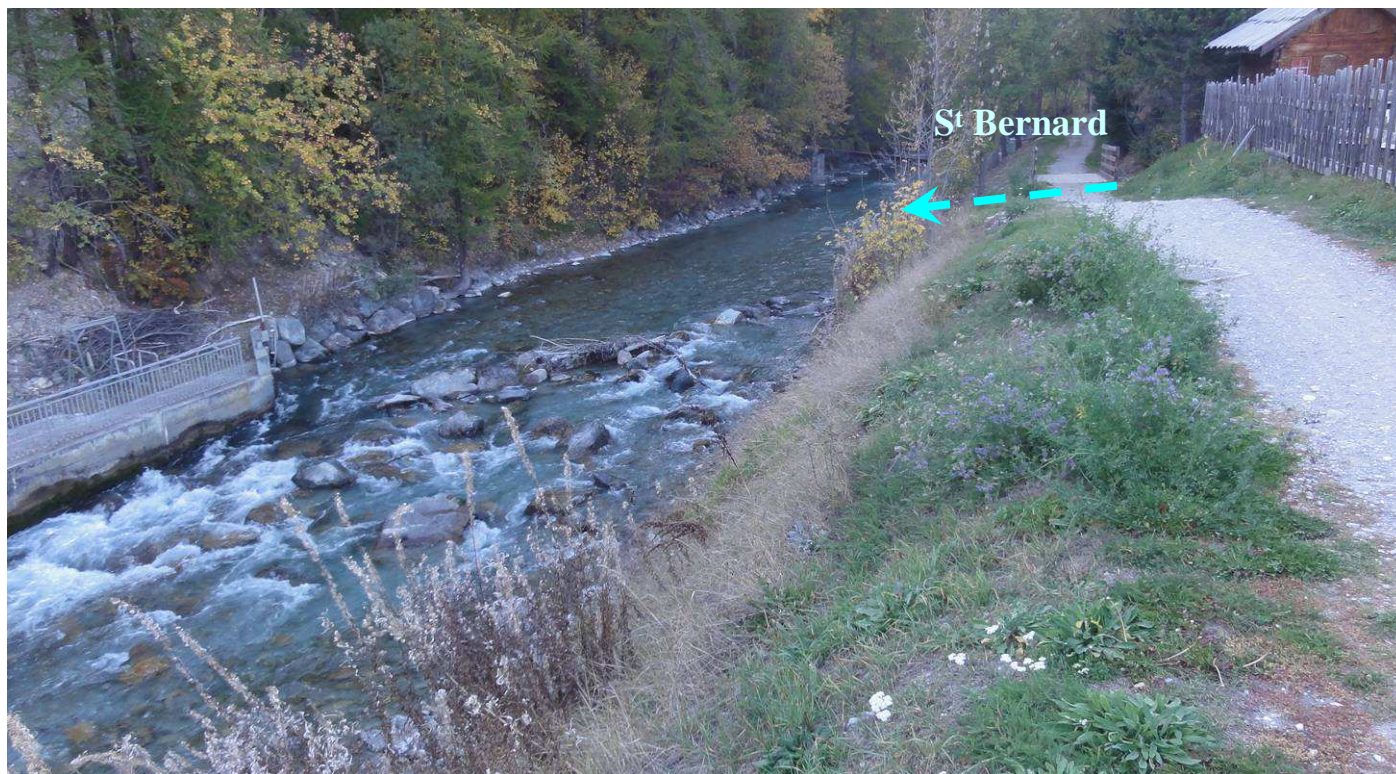


Photo 49 : Confluence du S^t Bernard avec la Guisane.

En aval, la Guisane est franchie par un pont permettant le passage d'une large piste de ski. La pente augmente fortement à partir de cet ouvrage, sans rapport avec les affluents.

3.1.1.4. Historique des crues

1334	Première mention d'une crue du S ^t Bernard
1746	Crue avec dégradations.
29-05-1856	Débordements au dessus de Villard La Madeleine, au niveau de Mas des Chapelles. Dépôts de matériaux sur la RD1091.
7-06-1955	Pont de la RD1091 obstrué et route coupée.
5-05-1973	Inondation à Chantemerle - RN91 (RD1091) coupée, pont endommagé. Ligne téléphonique et circulation interrompue dans la vallée de la Guisane.
06-1973	RD1091 coupée au niveau du pont.
8-10-1976	Lotissements "Pic Blanc", "Rouies" et "Thabor" engravés.
26-05-2008	Petite crue avec charriage.

3.1.2. Nature des phénomènes

Aucun élément dans l'historique ne mentionne - ou ne suggère - l'écoulement de lave torrentielle. De même, la morphologie du lit est tout à fait compatible avec un transport solide par charriage.

Cependant, la morphologie du bassin versant et le fonctionnement des torrents voisins incitent à la prudence. Il n'est pas impossible qu'une lave torrentielle se forme dans le bassin versant lors d'un épisode exceptionnellement intense. Cependant, dans ce cas, il est probable que l'essentiel du volume de la lave torrentielle se déposerait sur le cône de déjection... dans la zone urbaine.

Pour un plan de gestion, la prise en compte d'un transport solide par charriage est donc justifiée, l'occurrence d'une éventuelle lave torrentielle à la confluence étant beaucoup trop improbable.

3.1.3. Hydrologie

L'étude hydrologique conduit aux débits caractéristiques suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
4	3	12

A cause de la forte infiltration, le débit décennal est ici particulièrement faible dans la partie basse du cône de déjection.

3.1.4. Transport solide

3.1.4.1. Pente d'équilibre - Profil en long

Le graphique suivant montre le profil en long de ce torrent (et aussi celui du Peytavin un peu en aval) :

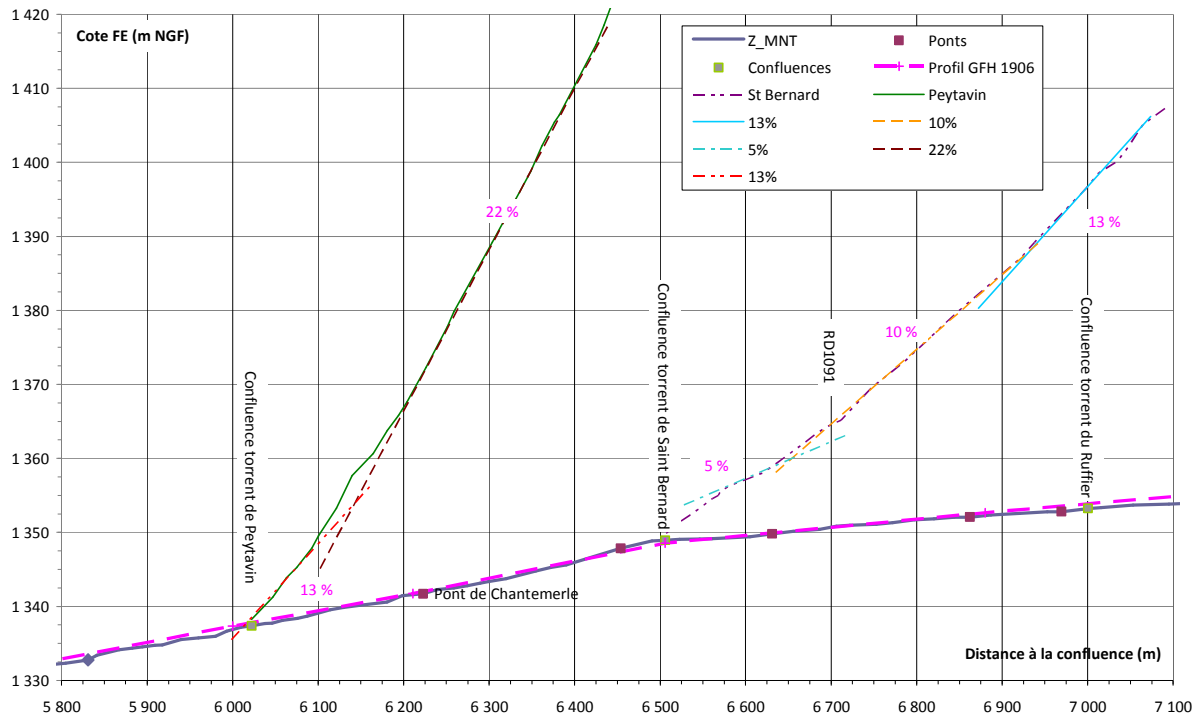


Figure 53 : Profil en long du torrent de St Bernard.

Ce graphique montre une forte réduction de la pente sur le cône de déjection, la partie amont du cône de déjection n'étant hélas pas couverte. La pente passe ainsi de 13 à 5 % dans le secteur du levé, le pont de la RD1091 étant situé un peu en amont de la dernière réduction de pente.

Ce n'est que dans le tronçon final que la pente augmente localement, ce qui limite les risques de dépôt régressif dans le lit du torrent à partir du dépôt dans la zone de confluence.

Les apports à la Guisane peuvent être estimés avec une pente d'équilibre de 5 %.

En l'absence de zone alluvionnaire, la granulométrie n'a pas pu être mesurée. Un diamètre moyen de 6 centimètres est retenu dans la zone de l'étude.

3.1.4.2. Volume solide transporté

Le graphique suivant montre les hydrogrammes liquides et solides pour une crue décennale et une crue centennale :

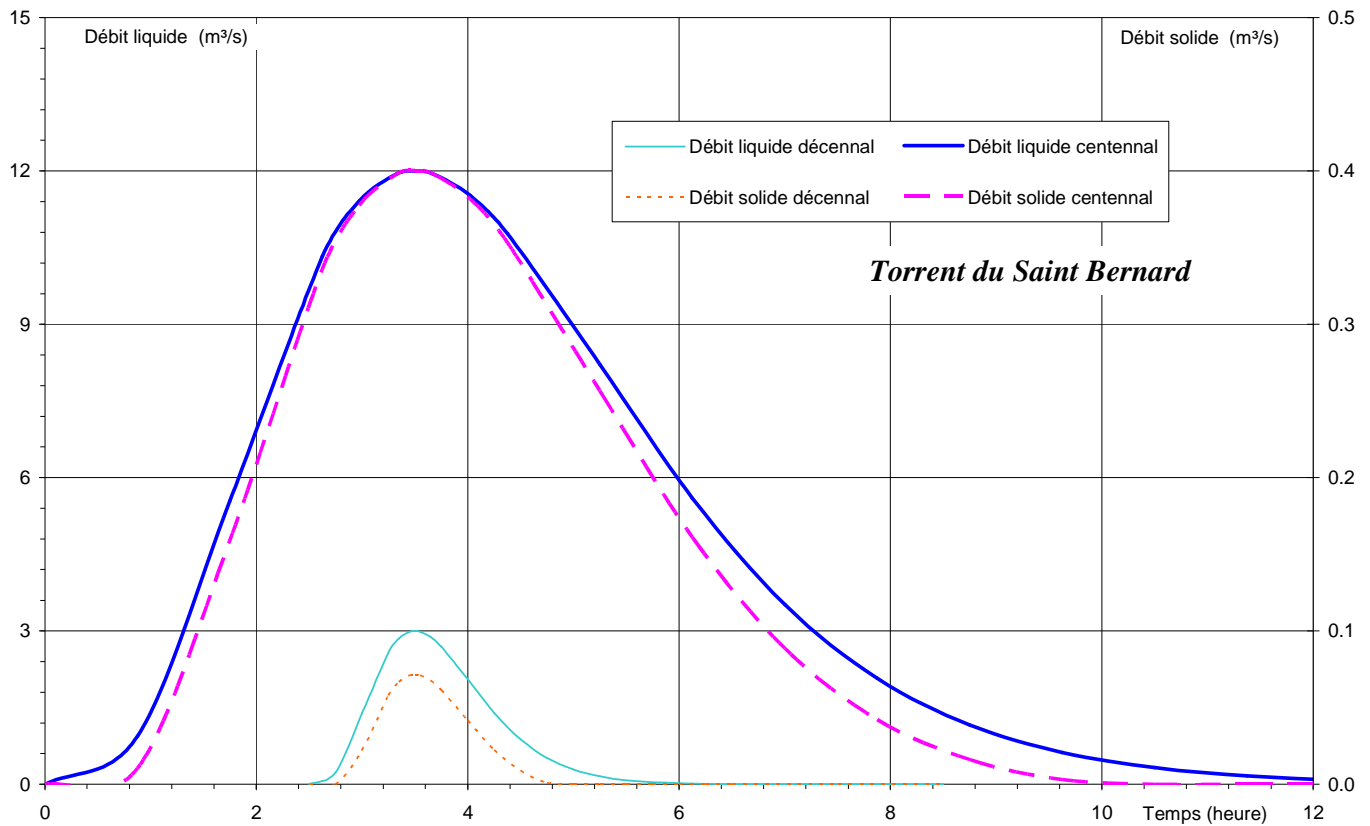


Figure 54 : Hydrogrammes liquide et solide du torrent de St Bernard.

Les volumes transportés sont les suivants :

	Volume transité lors de la crue (m ³)
Crue décennale	300
Crue centennale	6 000

Dans la partie basse du cône de déjection, le débit solide est relativement réduit et les volumes sont modérés. La prise en compte d'une pente d'équilibre de 13 % augmente considérablement les volumes avec un volume solide transporté de 33 000 m³ pour une crue centennale.

3.1.5. Synthèse - Comportement à la confluence

Les apports solides à la confluence sont finalement modérés... au prix d'un dépôt sur le cône de déjection et dans la zone urbaine.

D'autre part, le torrent est implanté juste à une rupture de pente de la Guisane, ce qui facilite considérablement la reprise des matériaux (sous réserve de débits liquides élevés dans la Guisane).

La hauteur de dépôt probable serait donc relativement faible et l'augmentation de la pente dans la partie terminale limiterait les risques de dépôts régressifs dans le chenal.

Les risques à la confluence paraissent donc limités pour une crue centennale. Ils sont très faibles pour une crue décennale (qui peut déborder par ailleurs, par exemple en cas d'embâcle formée par un pont).

Par contre, les dépôts massifs sur le cône de déjection, très urbanisé, causeraient des dégâts vraisemblablement très importants.

3.1.6. Principes de gestion

Une analyse détaillée des risques de débordement sur le cône de déjection conduirait vraisemblablement à des recalibrages locaux et au remplacement de certains ponts, particulièrement l'ouvrage le plus ancien au sommet du cône de déjection.

La création de zone de dépôt est vivement souhaitable, mais paraît difficile dans un contexte d'urbanisation relativement dense.

Pour la zone de confluence, la principale action à entreprendre consiste à curer d'éventuels dépôts à la confluence ou dans le chenal. Le lit étant artificiellement pavé sur l'essentiel du linéaire, le curage du lit du torrent ne doit pas viser l'abaissement du niveau du lit.

Il peut être par contre envisageable d'uniformiser la pente en aval de la RD1091 afin de maximiser le transit vers la Guisane et minimiser ainsi le dépôt dans la zone urbaine. Il s'agit cependant de travaux qui peuvent présenter une grande ampleur pour un intérêt assez localisé.

La réalisation d'une plage de dépôt en amont du hameau de Villard Laté peut être envisagée. Elle permettrait de réduire le fort risque de formation d'embâcle par les flottants. Elle pourrait devenir essentielle en cas de déstabilisation dans le bassin versant.

De même, la correction du lit le long de l'érosion de la moraine rive gauche permettrait de réduire des apports potentiels... même si ceux ci sont très faibles actuellement.

Globalement, la difficulté d'aménagement de ce torrent réside dans le contraste entre une érosion aujourd'hui très modérée et une urbanisation très dense sur un cône de déjection où a tendance au dépôt est très marquée.

3.2. Peytavin

3.2.1. Description rapide du bassin versant et du lit

3.2.1.1. Zone d'érosion

Le Peytavin draine un bassin versant très allongé et raide en rive droite de la Guisane au cœur des pistes de la station de Serre Chevalier.



Figure 55 : Ensemble du bassin versant du Peytavin (document Géoportail).

A l'amont de la plate-forme des Trois Croix, le torrent se sépare en plusieurs bras, la branche la plus active descendant du col de la Ricelle. Le lit est très encaissé et les berges sont souvent érodées. Ce lit franchit plusieurs pistes, ce qui impose un entretien fréquent des buses. L'ouvrage le plus remarquable est un radier en béton au niveau de la plate-forme des Trois Croix qui permet les écoulements en été. La pente est cependant trop faible pour permettre le transit des matériaux lors des crues et des curages périodiques sont nécessaires.

C'est à partir de la plate-forme des Trois Croix que l'érosion devient la plus active. Les berges sont alors taillées dans des matériaux morainiques avec de gros blocs de grès. L'érosion est active à l'extérieur de chaque coude du lit mineur. On observe aussi des glissements de terrain en berge. L'ensemble fournit des volumes imposants de matériaux et conduit vraisemblablement à la formation de petites laves torrentielles.

La photo suivante montre le lit dans la partie supérieure avec un lit mal pavé et des érosions de berges très marquées :



Photo 50 : Lit du Peytavin vers 1950 m d'altitude.

Après avoir franchit la piste routière (vers 1660 m d'altitude), le Peytavin traverse une zone de schistes houillers, jusqu'à son arrivée sur le cône de déjection. L'érosion est alors beaucoup plus intense et les glissements de terrain sont très nombreux et souvent gorgés d'eau.

Les apports au torrent sont alors nettement plus importants et les volumes potentiellement mobilisables sont considérables. En effet, le talweg est entaillé sur plusieurs dizaines de mètres de hauteur, les berges étant généralement en glissement. La formation de laves torrentielles dans cette partie inférieure du lit ne fait guère de doute.

Le substratum est localement affleurant. Il ne doit cependant pas faire illusion : trop fracturé, il ne présente pas de résistance suffisante à l'érosion par le torrent.

Cette zone de très forte érosion n'est séparée du haut du cône de déjection que par une courte zone de transit - régulation dans laquelle on peut observer des terrasses élevées correspondant à des dépôts lors des très fortes crues, avec vraisemblablement écoulement de laves torrentielles. Cette zone à une influence très favorable en laminant les apports au niveau du cône de déjection, mais elle est beaucoup trop courte pour avoir une efficacité importante lors des très fortes crues.

Les apports au sommet du cône de déjection sont donc très importants et peuvent être variables d'une crue à l'autre.

3.2.1.2. Cône de déjection

Le Peytavin ne forme par un cône de déjection marqué dans la vallée de la Guisane. Il s'agit plutôt d'une tendance au dépôt en restant enchâssé dans le versant. La photo suivante montre le sommet du cône de déjection vers 1420 m d'altitude avec une morphologie qui n'est pas très différente.

L'élargissement du lit, renforcé lors de la création d'une piste de ski, permet un heureux laminage du transport solide, même si la superficie disponible est faible par rapport aux apports potentiels. Un débordement en rive gauche menace directement le hameau de l'Envers, comme lors de la crue de 1995.



Photo 51 : Peytavin au sommet de son cône de déjection du Peytavin.

La photo page suivante montre les dégâts de la crue de 1995 dans le village avec des traces d'écoulement qui suggèrent des laves torrentielles.



Figure 56 : Vue de la crue de 1995 sur le cône de déjection du Peytavin.

La photo suivante montre le lit recalibré en amont du franchissement aérien d'un canal et le lit pavé, même sur le cône de déjection :



Photo 52 : Lit recalibré en amont du cône de déjection du Peytavin.

3.2.1.3. Confluence

Après avoir été franchi par la piste routière de rive droite, le Peytavin arrive à la confluence à l'extrémité du petit cône de déjection actif.

La Guisane est ici - comme sur l'ensemble de ce tronçon - raide et pavé. Des érosions se sont formées en 2008 sur la rive opposée lors de la crue du Peytavin et une protection a été mise en place. En effet, le collecteur d'eaux usées de la vallée et un canal d'irrigation sont menacés par l'érosion de la berge.

La photo suivante montre le lit terminal et la protection sur la rive opposée de la Guisane :



Photo 53 : Lit terminal du Peytavin.

3.2.1.4. Historique des crues

Le tableau suivant regroupe les rares crues connues, celle de 1995 étant vraisemblablement la plus forte.

28-05-1937	Crue torrentielle
06-1955	Crue due à la fonte rapide des neiges et à des pluies. Écoulement "essentiellement liquide".
24-07-1995	Crue torrentielle suite à un orage violent. Quartier de l'Envers envahi par les eaux suite à un débordement au sommet du cône de déjection.
26-05-2008	Conduite d'eau potable affouillé - Passage à gué affouillé. Nombreux ravinements sur le domaine skiable. Affouillements localisés des berges - Arbres renversés.

Cet historique conduit à plusieurs remarques :

- ❖ Les crues sont rares et - à part la crue de 1995 - le village de l'Envers ne semble pas avoir été touché.
- ❖ Les éléments historiques ne font pas mention de laves torrentielles. Pourtant, les photos de l'événement de 1995 et la nature du bassin versant suggèrent nettement la formation de laves torrentielles dans ce bassin versant très raide.

Aucune intervention de correction active n'a été conduite dans le bassin versant.

D'autre part, aucune quantification des débits ou des apports n'a été réalisée. Il est possible d'estimer des ordres de grandeur des volumes correspondants à la crue de 1995. En considérant un dépôt moyen de 0.5 mètre lors de la crue de 1995, on est conduit à un volume déposé de l'ordre de 15 000 m³. Ce volume inclus le dépôt dans le lit du torrent. Le volume directement repris par la Guisane est très difficile à estimer, mais il n'est pas impossible que le volume total de la crue approche les 30 000 m³.

3.2.2. Nature des phénomènes

Le phénomène de lave torrentielle paraît prépondérant pour le Peytavin, leur propagation jusqu'à la confluence étant très probable. Il s'agit de laves torrentielles boueuses, présentant des caractéristiques très classiques. Les très gros blocs sont heureusement peu nombreux dans le bassin versant.

3.2.3. Transport solide

3.2.3.1. "Pente d'équilibre" - Profils en long

Le graphique suivant montre le profil en long de ce torrent levé à l'occasion de cette étude :

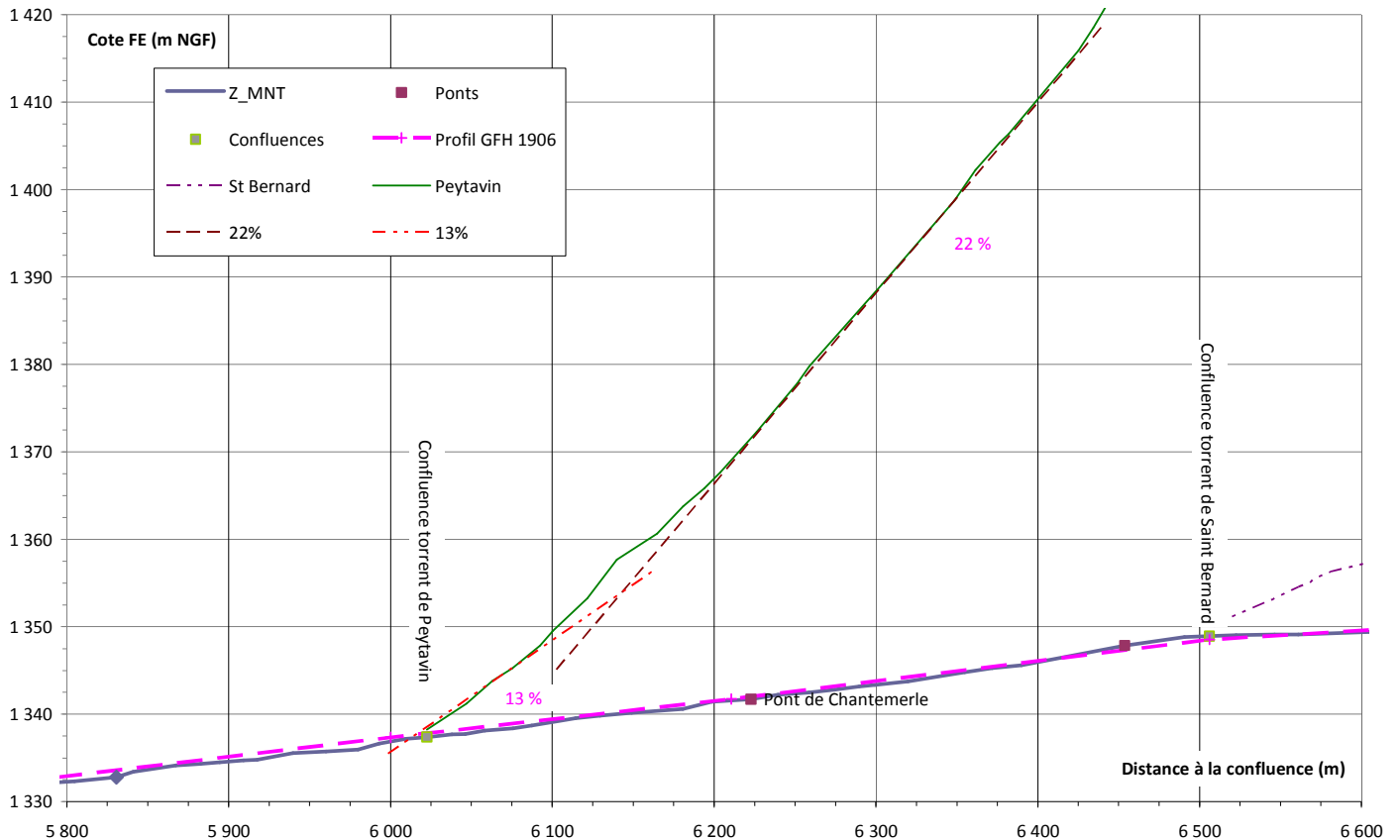


Figure 57 : Profils en long du Peytavin sur son cône de déjection.

Ce profil en long confirme les pentes très fortes sur ce torrent avec une pente de 22 % au sommet du "cône de déjection" fossile. Elle est encore de 13 % dans la partie terminale du cône de déjection actif. Ces pentes sont suffisantes pour que la quasi-totalité du volume des laves torrentielles transite jusqu'à la Guisane, même si des débordements sont très probables sur le cône de déjection.

Ce graphique montre aussi que la Guisane est ici raide et pavée, ce qui facilite la reprise des matériaux apportés par les affluents dans cette zone.

3.2.3.2. Détermination des volumes transportés

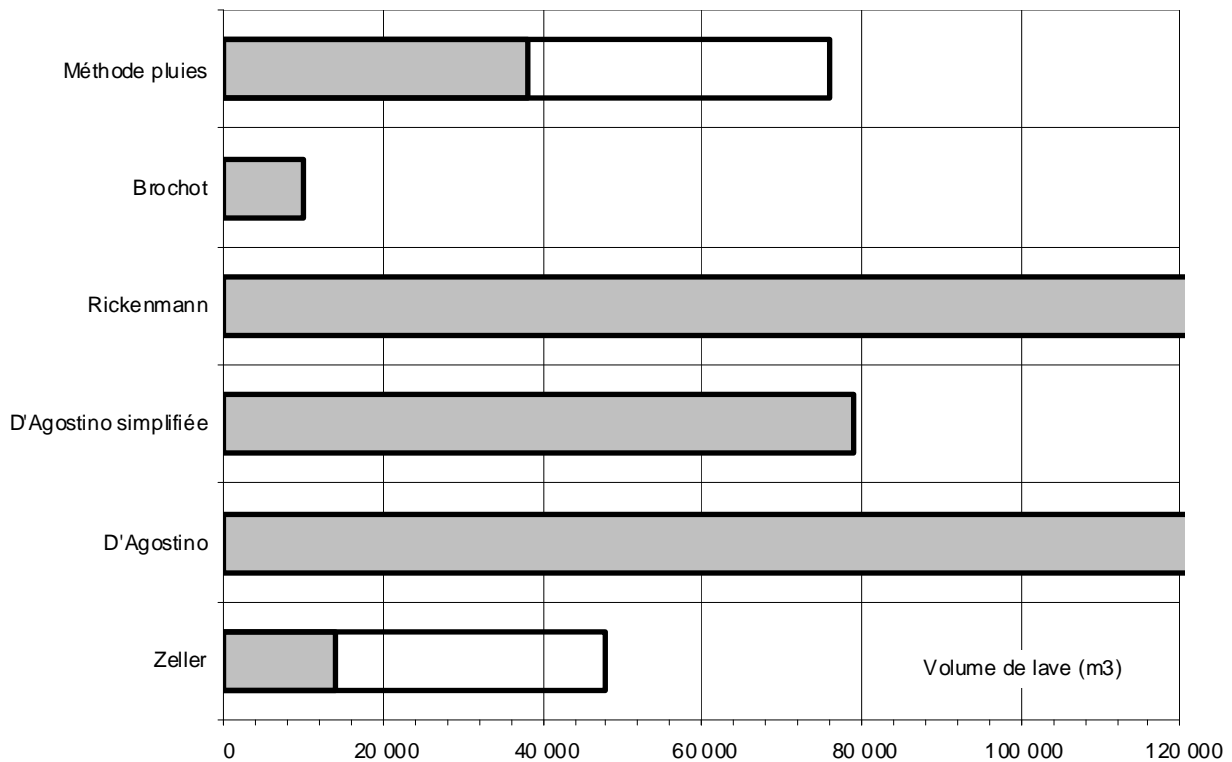
Le tableau suivant montre l'estimation des apports en cas de formation de lave torrentielle :

Calcul du volume de lave torrentielle Torrent du Peytavin

Surface BV	4.4 km ²
Surface non végétalisée	30 %
Pente Cône	22 %
Pente moyenne	42 %
Longueur torrent	3.1 km

Indice géologique D'Agostino	3
Indice torrentialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	3

Formule	Volume de lave (m3)	
Zeller	14 000	à 48 000
D'Agostino	140 000	
D'Agostino simplifiée	79 000	
Rickenmann	171 000	
Méthode pluie	38 000	à 76 000
Brochot	10 000	



Le tableau regroupe les estimations retenues pour les volumes transportés pour une crue décennale et une crue centennale :

Volume de matériaux décennal	Volume de matériaux centennal
15 000 m ³	60 000 m ³

Le volume pour une crue décennale est théorique car les laves torrentielles semblent correspondre à des phénomènes plus rares.

3.2.4. Synthèse

3.2.4.1. Phénomène de charriage

Le phénomène de charriage peut être significatif sur ce torrent à forte pente. A titre indicatif, une étude de 2000 - réalisée par ETRM - affichait un volume transporté en charriage de 35 000 m³ pour une crue centennale. L'écart avec le volume apporté par la lave n'est pas disproportionné pour deux raisons :

- La formation de la lave torrentielle est relativement difficile dans ce torrent et une forte fraction de la crue se déroule sans formation de lave.
- La pente du lit est forte, conduisant aussi à une très forte capacité de transport par charriage.

Cependant, les volumes apportés en charriage restent inférieurs à ceux apportés par lave torrentielle et sont généralement plus facilement repris par la Guisane. Si le charriage doit être pris en compte - notamment pour le dimensionnement des ouvrages et la prise en compte des risques d'affouillement - le phénomène de lave torrentielle paraît le plus contraignant à la confluence.

3.2.4.2. Comportement à la confluence

Comme pour les autres torrents à lave, les trois éléments suivants peut être :

- ⇒ Les fines sont facilement reprises en suspension. Cette reprise en suspension des fines explique que seule la moitié du volume total de matériaux soit reprise en charriage, le reste "disparaissant" en suspension.
- ⇒ Les matériaux grossiers sont repris progressivement en charriage. Le pavage peut cependant ralentir le phénomène qui peut s'étaler sur plusieurs années et nécessiter une crue suffisamment forte. La granulométrie est très variable à la fois dans le temps et l'espace.
- ⇒ Les blocs représentent une fraction marginale du volume apporté mais elle reste sur place, formant un lit raide et pavé... comme il est facile de l'observer ici.

Avec cette approche, les volumes repris en charriage par la Guisane sont proche de ceux apportés en charriage.

3.2.5. Principes de gestion

Le torrent du Peytavin menace fortement le hameau de d'Envers.

Des améliorations importantes ont été apportés lors de la réalisation de la piste de ski en amont et en supprimant le seuil de la prise d'eau.

L'étude² de 2000 montre cependant un risque de dépôt régressif depuis la confluence. La solution proposée consistait à créer un nouveau lit en déplaçant la confluence d'une trentaine de mètres vers l'aval. Il s'agit de travaux lourds, mais qui présentent plusieurs avantages :

- Réduction des dépôts dans le chenal au droit du village avec diminution des risques de débordement.
- Réduction des risques d'érosion de berge de la rive gauche de la Guisane au droit d'habitations, du collecteur d'eaux usées et du canal d'irrigation qui longe la Guisane en sommet de berge. Ce risque s'est concrétisé lors de la crue de 2008 avec un affouillement et la mise en place d'une protection ponctuelle.
- Réduction des risques d'obstruction de la Guisane par un "bouchon" formé par les apports du Peytavin qui arrive actuellement presque perpendiculaire à la Guisane.

Notons que, dans tous les cas, une habitation isolée en rive droite est très exposée aux crues. Sa protection paraît extrêmement difficile - et en partie illusoire. La destruction de cette habitation paraît la meilleure solution sur le plan technique.

En attendant la réalisation de ces travaux, un curage du lit en aval de la piste routière est nécessaire en cas d'engravement. Cette opération pourrait être associée à un élargissement du lit afin de maximiser la capacité de dépôt du site. Cet élargissement peut être anticipé dès à présent.

Le lit étant pavé, le curage doit être réalisé en laissant sur site les blocs de plus de 200 kg. Ces blocs seront encaissés dans le nouveau lit afin qu'ils puissent résister à l'écoulement, ce qui n'est pas le cas si des blocs isolés sont posés sur le nouveau lit, sans appui particulier.

² Commune de Saint Chaffrey - Étude de protection des lieux habités sur le cône de déjection du torrent du Peytavin - ETRM - Août 2000.

3.3. Verdarel

3.3.1. Description rapide du bassin versant et du lit

3.3.1.1. Zone d'érosion

Ce torrent draine un bassin versant de 4.2 km² de superficie en rive gauche de la Guisane. Après la crue de 1981 qui causé des dégâts importants, ce torrent a fait l'objet de nombreuses recherches et d'aménagements de grande ampleur.

Le document³ suivant est une carte du bassin versant et des ouvrages qui y sont implantés :

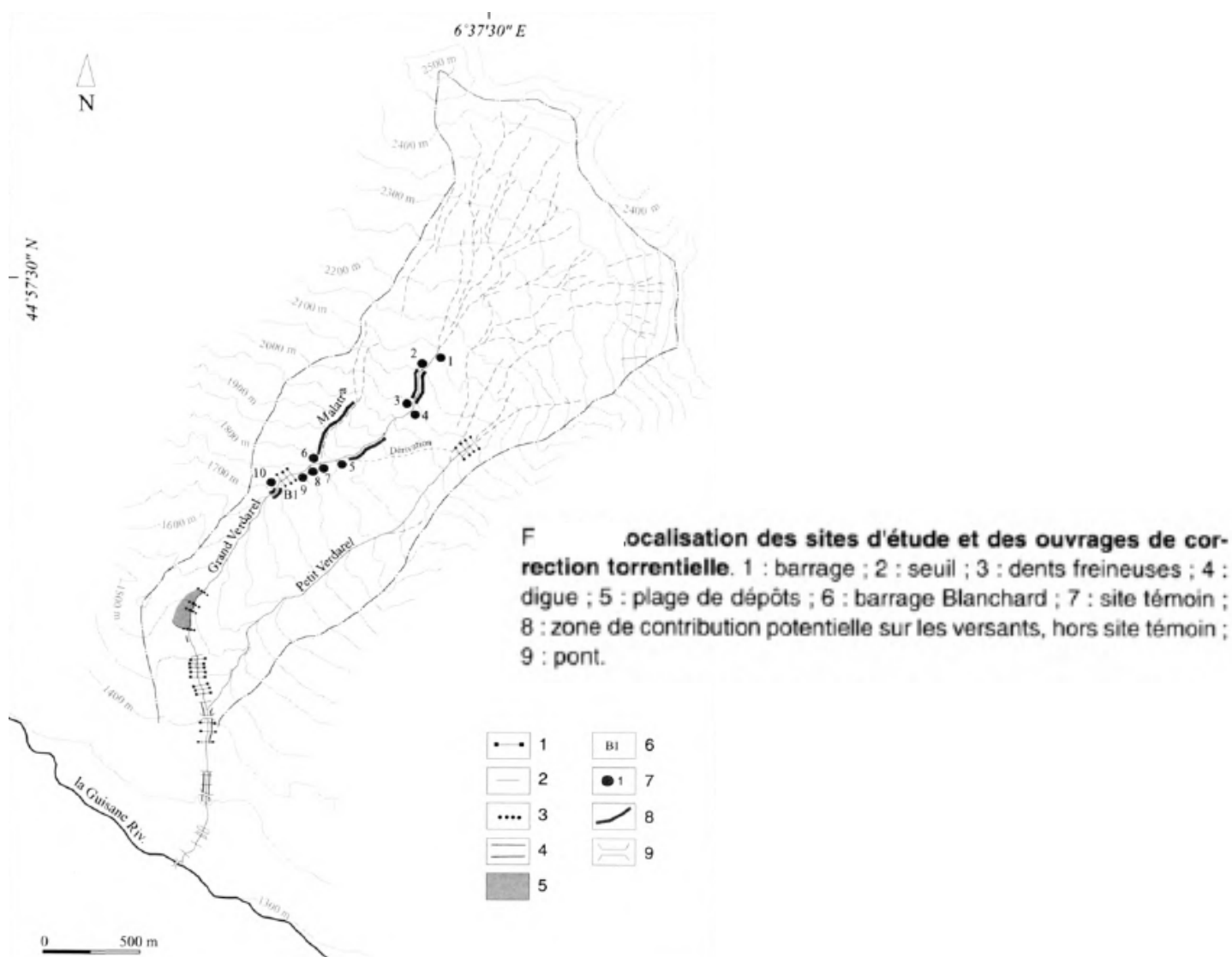


Photo 54 : Vue du bassin versant du Verdarel et des ouvrages.

³ Lahousse Philippe, Salvador Pierre-Gil. Évaluation de la dangerosité du torrent du Verdarel (Hautes-Alpes, France) - 2002.

Dans la partie sommitale du bassin versant, l'érosion n'est pas très active. Par contre, vers 2100 NGF, le lit du Grand Verdarel, puis celui du Malatra, s'encaissent dans les terrains de couverture instables. L'érosion est alors très active le long d'un chenal à forte pente, comme le montre la photo suivante :



Photo 55 : Érosion active le long du lit du Verdarel.

Associés à l'érosion du chenal, les glissements de terrain apportent aussi des matériaux sur le long terme. C'est particulièrement le cas en rive gauche du Grand Verdarel où un glissement de terrain de grande ampleur est particulièrement actif. Les terrains de couverture présentent une épaisseur largement suffisante (jusqu'à 35 mètres) pour assurer une alimentation abondante en matériaux pour encore de nombreuses crues.

Le substratum est localement présent - comme sur la photo précédente - mais une stabilisation naturelle du lit semble hors de portée d'ici plusieurs siècles.

Dans la partie centrale du lit, de nombreux ouvrages ont été réalisés par le RTM, singulièrement après la crue de 1981. La photo page suivante montre un ensemble de seuils construit en aval immédiat d'un glissement de terrain en rive droite et de la confluence avec le Malatra. Au premier plan - un ouvrage un peu plus ancien est partiellement atterri.

Le lit présente ici de fortes respirations liées notamment aux alternances de charriage torrentiel et de laves torrentielles. Ces respirations sont plutôt favorables car elles traduisent une régulation des apports solides.



Photo 56 : Seuils et ensemble de barrages sur le Verdarel.

Vers 1700 m d'altitude, des gorges rocheuses ont permis la construction de barrages de base, dont le barrage Blanchard. La photo suivante montre ce secteur au substratum résistant :



Photo 57 : Lit très raide et barrages dans les gorges du Verdarel.

L'érosion se poursuit en aval de ces gorges et le lit comme les berges présentent des instabilités sur tout le linéaire. La photo suivante montre ce tronçon vu de l'aval :



Photo 58 : Partie terminale des gorges du Verdarel.

3.3.1.2. Cône de déjection

La transition entre les gorges et le cône de déjection du Verdarel est très particulière. En effet, le talweg s'élargit brutalement vers 1550 m d'altitude. Même si la pente reste forte et que la tendance générale est au transit, il s'agit vraisemblablement d'un cône de déjection enchâssé dans le versant.

Ce site est évidemment très favorable à l'implantation d'une plage de dépôt. C'est donc là que l'ouvrage a été construit après la crue de 1981. Après essais sur modèle réduit, cette plage de dépôt a été réaménagée pour augmenter sa capacité, les dépôts de laves étant souvent très inférieurs à ceux estimés initialement, la pente des dépôts de lave étant très faible.

La première photo montre l'ensemble du sommet du cône de déjection avec la plage de dépôt et la seconde l'efficacité très ponctuelle des dents freineuses lors de la crue de 2005 :



Photos 59 & 60 : Plage de dépôt du Verdarel et dents freineuses.

En aval de la plage de dépôt, le Verdarel est lourdement équipé, d'abord par une série de seuils puis par un chenal en enrochements maçonnés comme le montre la photo suivante :



Photo 61 : Chenal du Verdarel sur son cône de déjection.

Cette chenalisation est limitée au cours amont du cône de déjection. Les ponts offrent cependant de faibles sections d'écoulement comme le montre la photo ci-dessous :



Photo 62 : Pont de la RD1091 et passerelle en amont avec une faible hauteur.

Entre le pont de la RD1091 et la confluence, le Verdarel est barré par un seuil de grande hauteur imposé par un canal. Ce seuil explique en partie la faible profondeur du lit en amont et les risques de débordement qui y sont associés.

Par contre, en aval de ce seuil, le lit est très encaissé. Un vestige de seuil est localement visible dans ce tronçon. Le torrent est encore franchi par un pont de faible section, juste en amont de la confluence avec la Guisane.

3.3.1.3. Confluence

La photo suivante montre la confluence du Verdarel avec la Guisane et les deux ponts très proches de la confluence :



Photo 63 : Confluence de la Guisane avec le Verdarel.

Cette photo montre le remous causé par les apports du Verdarel dans la Guisane, même en dehors des crues.

Cette zone de confluence - qui subit de fortes variations du fond - présente des enjeux importants avec la route, les deux ponts mais aussi une micro centrale.

En l'absence de crue de la Guisane, les apports du Verdarel bouchent le lit de la rivière et forment un lac en amont, comme le montre la photo page suivante.

D'autre part, il est surprenant de constater que le lit de la Guisane a été remblayé sur les deux rives en aval de la confluence, ce qui maximiser les hauteurs de dépôts en s'opposant à l'étalement de la lave. La seconde photo page suivante montre ces remblais massifs, et récents, en rive droite.



Photo
RTM 05

Photo 64 : Remous dans la Guisane en amont du Verdarel lors de la crue de 2005.



Photo 65 : Dépôts dans le lit de la Guisane en aval de la confluence avec le Verdarel.

3.3.1.4. Historique des crues

1334	Première mention d'une crue du Grand Verdarel.
1749	Habitations emportés mais le nombre de victimes est inconnu.
1756	Canaux engravés. Passerelle emportée.
1757	Terres agricoles engravés.
29-05-1856	Pont emportés.
28-10-1926	Pont obstrué - RD1091 coupée sur 20 mètres.
21-10-1928	RD1091 coupée - dépôt de 2 000 m ³ .
15-11-1963	Lit obstrué et menace sur une maison.
5-05-1973	Caves inondées. Pont endommagé, RD1091 coupée.
	Lave torrentielle avec dépôt de 30 000 m ³ sur le cône de déjection.
9-07-1981	Plusieurs maisons endommagées. Pont et digues emportés - Terrains engravés. RN91 coupée sur 50m, pont emporté.
14-05-1983	Importante lave torrentielle.
	Dégâts sur ouvrages RTM.
22-07-1988	Pont de l'ancienne RN91 (Rd1091) submergé par 1.5m de boue. Terrains engraves sur 1 à 2 m d'épaisseur. Lit de la Guisane obstrué.
1-09-2005	Lave de 20 à 30 00 m ³ doit environ 15 000 m ³ laminé par les ouvrages (plage de dépôt et barrages). Usine électrique de pont Carle inondée par la remontée des eaux de la Guisane. Terrain de sport engravé sur ses 2/3 (environ 1m de boue).
1-07-2010	Lave efficacement laminée par les ouvrages.

Si la crue de 1981 est particulièrement forte et a vraisemblablement déstabilisée en partie les terrains, le Verdarel était loin d'être un paisible ruisseau avant cet événement !

L'absence de construction à proximité a longtemps limité les dégâts aux ouvrages de franchissement.

Globalement, les phénomènes paraissent assez stables, l'écoulement de lave torrentielle constituant clairement le phénomène prépondérant.

Depuis 1981, les ouvrages de corrections et la plage de dépôt semblent avoir réduits l'ampleur des phénomènes.

3.3.2. Transport solide

3.3.2.1. "Pente d'équilibre" - Profils en long

Le graphique suivant montre le profil des deux principaux torrents de St Chaffrey et de la Guisane :

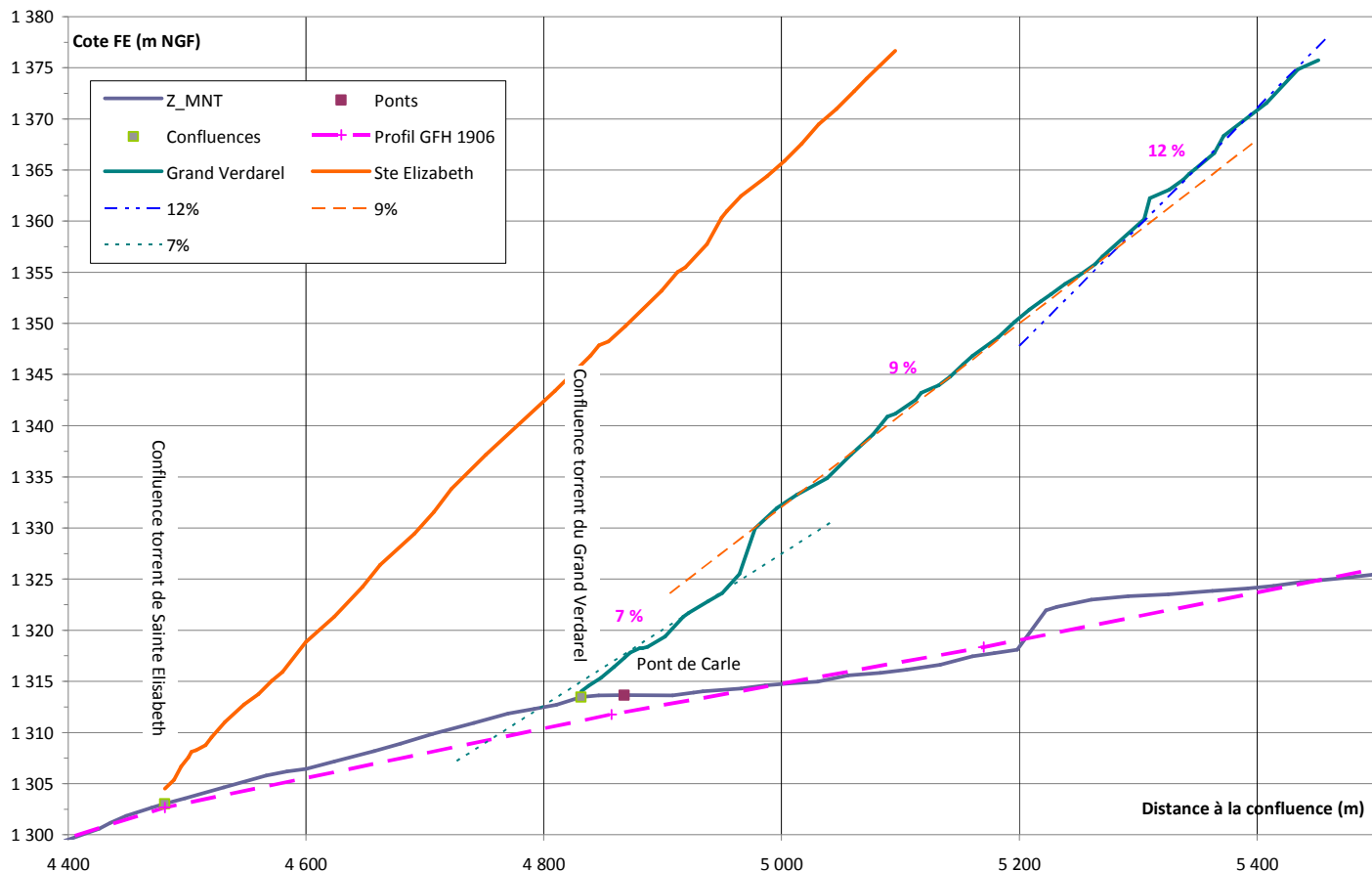


Figure 58 : Profils en long du Verdarel sur la partie basse son cône de déjection.

Globalement, la pente varie peu, passant de 12 % dans le secteur des Champs Arnoux à 9 % en aval. Cette régularité n'est pas surprenante de la part d'un torrent très actif.

Par contre, la réduction de pente en aval du seuil du canal avec une pente de seulement 7 % est plus surprenante.

Dans la zone de confluence, l'engravement du lit par rapport au profil en long de 1906 est très important et correspond aux observations sur site.

3.3.2.2. Détermination des volumes transportés

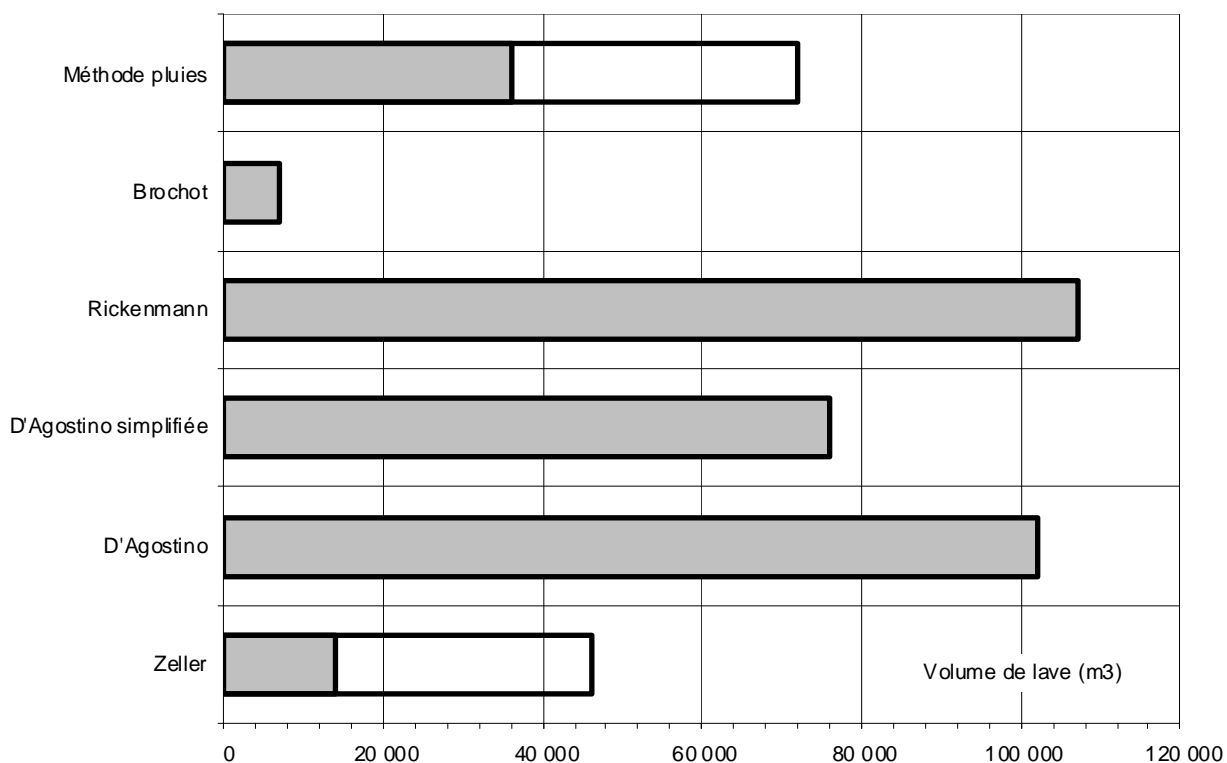
Le tableau suivant montre l'estimation des apports pour le torrent du Verdarel :

Calcul du volume de lave torentielle Torrent du Verdarel

Surface BV	4.2 km ²
Surface non végétalisée	20 %
Pente Cône	9 %
Pente moyenne	35 %
Longueur torrent	3.1 km

Indice géologique D'Agostino	3
Indice torrentialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	3

Formule	Volume de lave (m3)	
Zeller	14 000	à 46 000
D'Agostino	102 000	
D'Agostino simplifiée	76 000	
Rickenmann	107 000	
Méthode pluie	36 000	à 72 000
Brochot	7 000	



Le tableau regroupe les estimations retenues pour les volumes transportés pour une crue décennale et une crue centennale :

Volume de matériaux décennal	Volume de matériaux centennal
15 000 m ³	50 000 m ³

L'estimation d'une crue centennale est un peu supérieure à celle retenue pour le dimensionnement de la plage de dépôt (40 000 m³), mais l'écart n'est pas significatif étant donnée l'incertitude sur ce type de calcul.

3.3.3. Synthèse

3.3.3.1. Phénomène de charriage

Le phénomène de charriage est négligeable par rapport aux risques de débordement ou aux volumes apportés à la Guisane. Le transport solide par charriage n'a ici qu'une influence modérée en remaniant faiblement le lit entre les laves torrentielles et éventuellement en affouillant le lit. Ces matériaux transportés en charriage sont repris par la Guisane lorsqu'ils parviennent à la confluence.

3.3.3.2. Comportement à la confluence

La confluence du Verdarel est bien connue pour les dépôts massifs qui s'y forment lors des crues alors que les enjeux y sont - plutôt - plus importants que sur les autres torrents de la Guisane.

Comme pour les autres torrents à lave, les trois éléments suivants peut être :

- ⇒ Les fines sont facilement reprises en suspension. Cette reprise en suspension des fines explique que seule la moitié du volume total de matériaux soit reprise en charriage, le reste "disparaissant" en suspension.
- ⇒ Les matériaux grossiers sont repris progressivement en charriage. Le pavage peut cependant ralentir le phénomène qui peut s'étaler sur plusieurs années et nécessiter une crue suffisamment forte. La granulométrie est très variable à la fois dans le temps et l'espace.
- ⇒ Les blocs représentent une fraction marginale du volume apporté mais elle reste sur place, formant un lit raide et pavé... comme il est facile de l'observer ici.

3.3.4. Principes de gestion

Le bassin versant fait l'objet d'un rigoureux programme de correction par le RTM. Ce programme doit être poursuivi dans la mesure où il permet une réduction de l'érosion qui reste concentrée le long du talweg.

La plage de dépôt est efficace et permet de réduire significativement les crues, même si une partie des laves poursuit vers l'aval, jusqu'à la confluence. Il est donc nécessaire de prendre en compte ce type d'écoulement même si les très gros blocs semblent très rares sur ce torrent, particulièrement en aval de la plage de dépôt.

Concernant le chenal, une solution intéressante pour augmenter la hauteur des berges consisterait à abaisser un peu la crête du seuil du canal... sous réserve qu'une solution puisse être trouvée pour le canal. Cette solution est surtout intéressante si le radier du pont de la RD1091 peut être abaissé.

Une réduction des dépôts dans la zone de confluence avec la Guisane doit être recherchée. Deux démarches - éventuellement complémentaires - peuvent être envisagées :

- Un net élargissement du lit encaissé entre le seuil du canal et le pont Carle afin de créer une zone de dépôt et de régulation. Cette évolution serait très favorable pour la confluence et l'aménagement est aisé le lit étant très encaissé. Par contre, la surface est trop faible pour espérer un volume important.
- L'enlèvement des dépôts le long de la Guisane à la confluence car ils jouent un rôle très défavorable pour l'étalement de la lave comme le montre la photo ci-dessus. Cet aménagement pourrait être associé à un curage du lit afin de rétablir le profil en long de 1906. Cette opération est importante pour minimiser les hauteurs de dépôt et les risques d'embâcles.

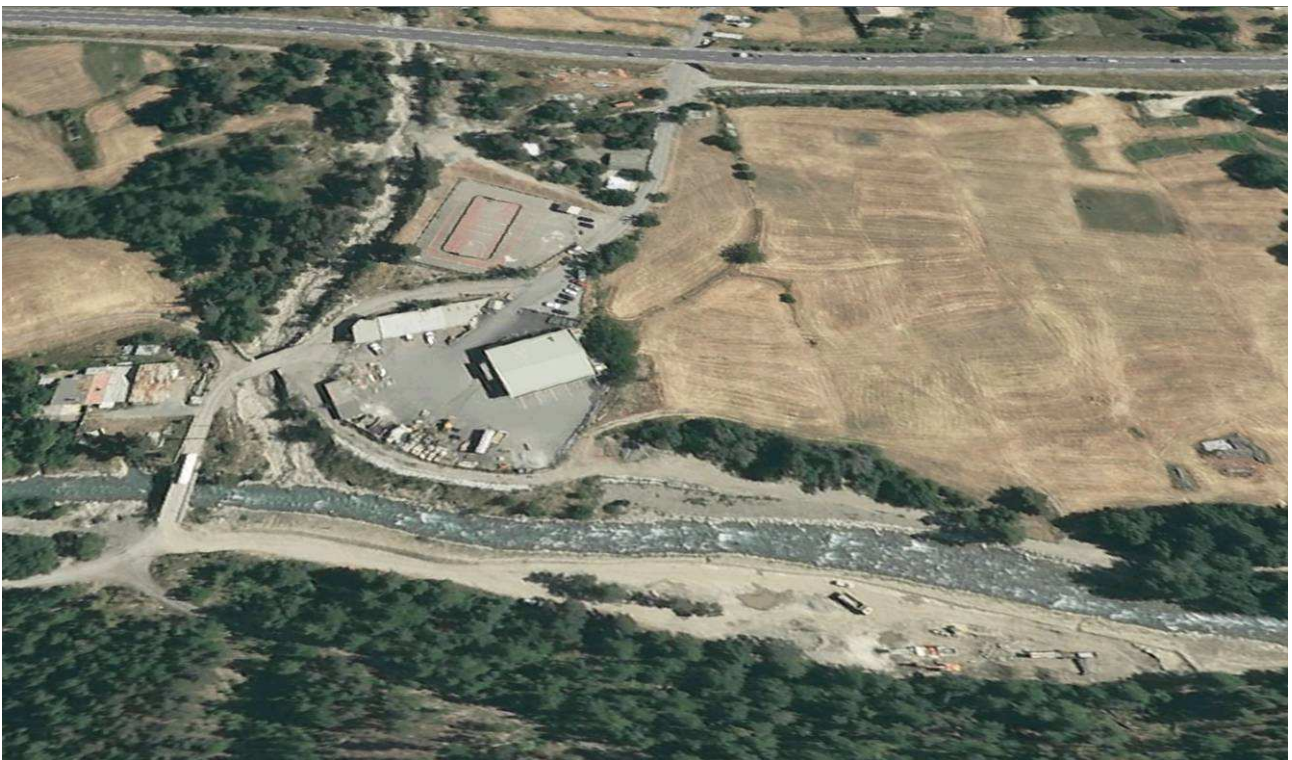


Photo 66 : Lit aval du Verdarel avec les remblais maximisant la hauteur de dépôt.

3.4. Sainte Élisabeth

3.4.1. Description rapide du bassin versant et du lit

3.4.1.1. Zone d'érosion

Ce torrent draine un bassin versant de 2.1 km² de superficie. La photo suivante montre ce bassin versant très raide, formé dans toute sa partie amont de falaises :

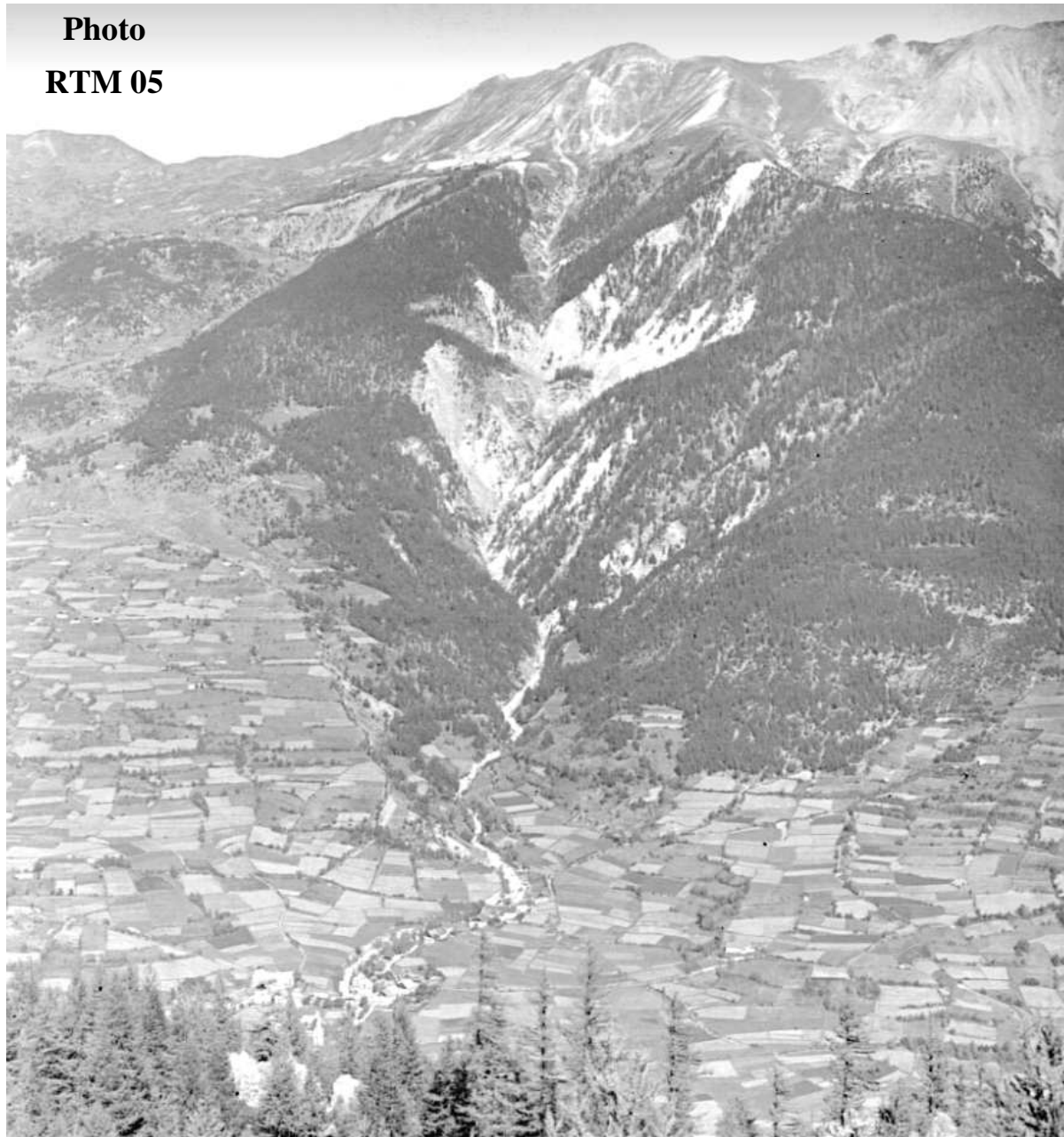


Photo 67 : Bassin versant à la fin du XIX^{ème} siècle.

L'érosion des falaises dans la partie amont alimente des éboulis et elle contribue peu à l'alimentation en matériaux de ce torrent. Par contre, vers 1800 m d'altitude, de grands éboulements fournissent des matériaux, l'érosion étant ici très active, comme le montre la photo suivante :



Photo 68 : Zone d'érosion dans le lit amont du torrent de St^e Élisabeth.

La fourniture en matériaux est active et permet d'entretenir un stock de matériaux mobilisables dans le torrent. Cette zone d'érosion n'est pas très étendue mais permet l'alimentation des laves torrentielles du torrent. Un barrage (voir photo page suivante) est implanté en aval de ce volumineux dépôt de matériaux mobilisables.

En aval, les phénomènes sont plus ponctuels mais restent très actifs. La photo suivante montre la zone des gorges, avec des érosions ponctuels et un barrage vu d'aval.



Photo 69 : Gorges du torrent de Ste Élisabeth une l'érosion encore soutenue.

En aval de ces gorges, l'érosion et la pente du lit diminuent et la vallée s'élargie. Des seuils RTM en amont du village permettent une régulation du transport solide en favorisant un élargissement du lit et une réduction de la pente :



Photo 70 : Élargissement du lit et régulation du transport solide en amont du village.

3.4.1.2. Cône de déjection

La transition entre les gorges et le cône de déjection est progressive, comme sur la plupart des torrents actifs. Le torrent de S^{te} Élisabeth est endigué dans un lit étroit mais raide lors de la longue traversée urbaine.

L'élément le plus caractéristique de cet aménagement est le pont mobile sur l'ancienne RD1091. La photo suivante montre le pont levis initial, depuis remplacé par un tablier unique mais pouvant être remonté :

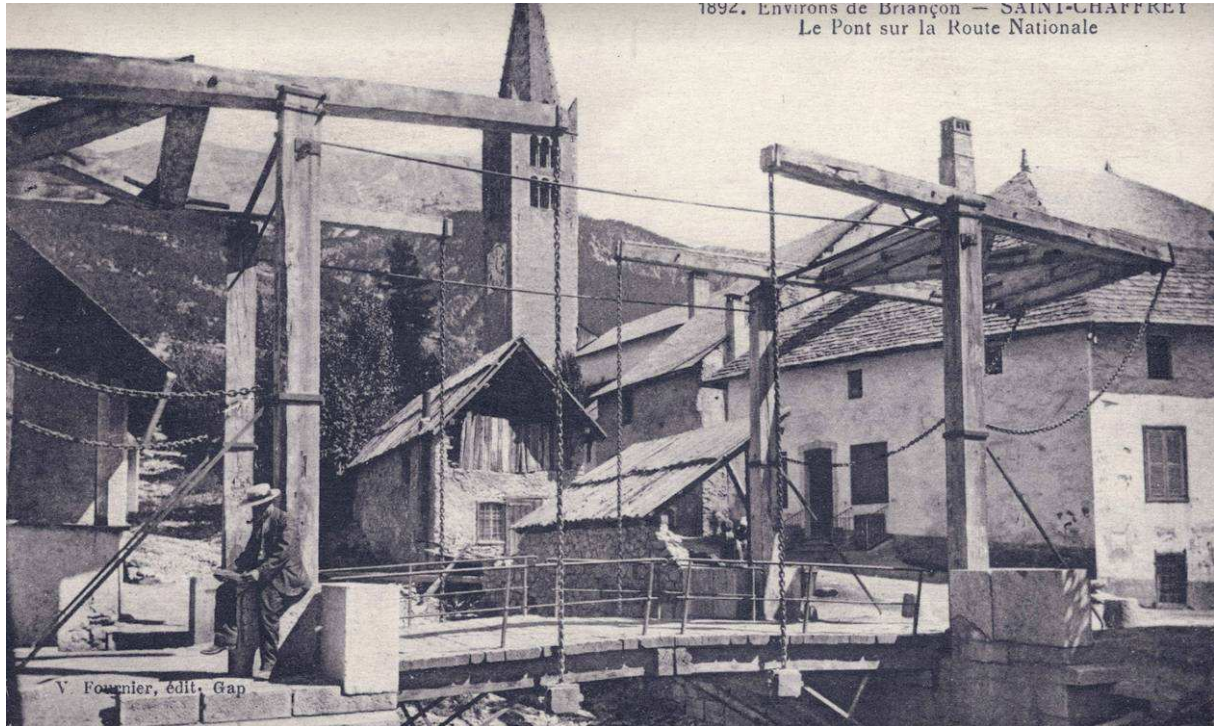


Photo 71 : Pont levis franchissant le torrent de S^{te} Élisabeth.

D'après les éléments qui nous ont été transmis, ce pont est levé quand les riverains entendent l'arrivée de la lave, ce qui suggère un écoulement particulièrement lent !

En aval du passage à gué, le torrent de S^{te} Élisabeth continue d'abord un chenal calibré - aux protections de plus en plus hétérogènes en quittant la zone urbaine - puis passe sous le pont de la RD1091 - aussi équipé d'un radier.

En aval du pont, le lit présente une section qui paraît d'autant plus faible que l'absence de crue récente a permis le développement de végétation dans le lit. De petites buses permettent le franchissement de la piste routière longeant la Guisane.

3.4.1.3. Confluence

À la confluence, le lit de la Guisane est étonnamment peu marqué par les apports du torrent de Ste Élisabeth. La photo suivante montre le lit du torrent depuis le lit de la Guisane :



Photo 72 : Lit terminal du torrent de Ste Élisabeth de très faible section.

La confluence étant située dans le secteur à forte pente, le lit de la Guisane est pavé par des blocs, peut être un peu plus nombreux dans la zone de confluence et en aval. Cette augmentation du nombre de blocs traduit aussi une augmentation sensible de la pente.

Les possibilités d'étalement sont très faibles sans débordement, mais les enjeux sont ici limités - pour l'essentiel - à la piste longeant la Guisane et au réseau d'eaux usées drainant la vallée.

3.4.1.4. Historique des crues

Le torrent de Ste Élisabeth est celui pour lequel le plus grand nombre d'événements sont signalés dans la vallée de la Guisane. Seuls les épisodes les plus marquants sont repris ci-dessous :

1334	Première mention d'une crue du Ste Élisabeth.
1699	Une partie du village submergée. Rues engravées.
18-04-1788	Terrains engravés. Habitations, route et pont menacés.
XIX^{ème} siècle	Très nombreuses crues
7-06-1879	Crue alimentée en matériaux par un glissement de terrain. 1 blessé - Pont abattu par les habitants à cause des embâcles. Maisons inondées. 5 rez de chaussée et de nombreuses caves engravés. Engrèvement du lit de 1,5 à 2 m.
25-07-1914	1 blessé - RD1091 (ancienne RN 91) coupée.
28-10-1926	1 blessé par chute de mur de clôture. 3 maisons inondées (caves, écuries), ainsi que champs et jardins RN 91 coupée au pont de Saint-Elisabeth (pont levis actionné).
21-10-1928	RN 91 coupée - 1 300 m ³ de dépôt.
24-07-1935	Crue avec plusieurs bouffées de laves. 1 maison en rive droite en amont de la RN 91 envahie par les eaux. Champs dévastés par la boue, conduite d'eau de la Villette détruite.
7-06-1955	La lave torrentielle a quitté le lit à partir du pont de la Rua pour emprunter la rive gauche, pénétrer dans une maison d'habitation et suivre sur une centaine de mètres le chemin de la Villette. Dégâts au canal Gaillard.
4-08-1977	Lave torrentielle. Terres agricoles engravés. Pont levis relevé.
25-06-1989	Dégagement des dépôts de la lave d'un mètre d'épaisseur pour 100 m de long en amont du pont de la RD1091 (ex RN 91).
24-07-1995	Pont de la Villette légèrement submerge. Passerelle piéton en amont du pont levis détruite, pont levis relevé à temps. Canal Gaillard comblé.

Cet historique se caractérise - pour les crues les plus anciennes - par un nombre étonnamment important de blessés, ce qui est difficile à expliquer.

L'historique témoigne de la formation de laves torrentielles - ce qui est bien en rapport avec la morphologie du lit.

3.4.2. Transport solide

3.4.2.1. "Pente d'équilibre" - Profils en long

Le graphique suivant montre le profil en long de ce torrent :

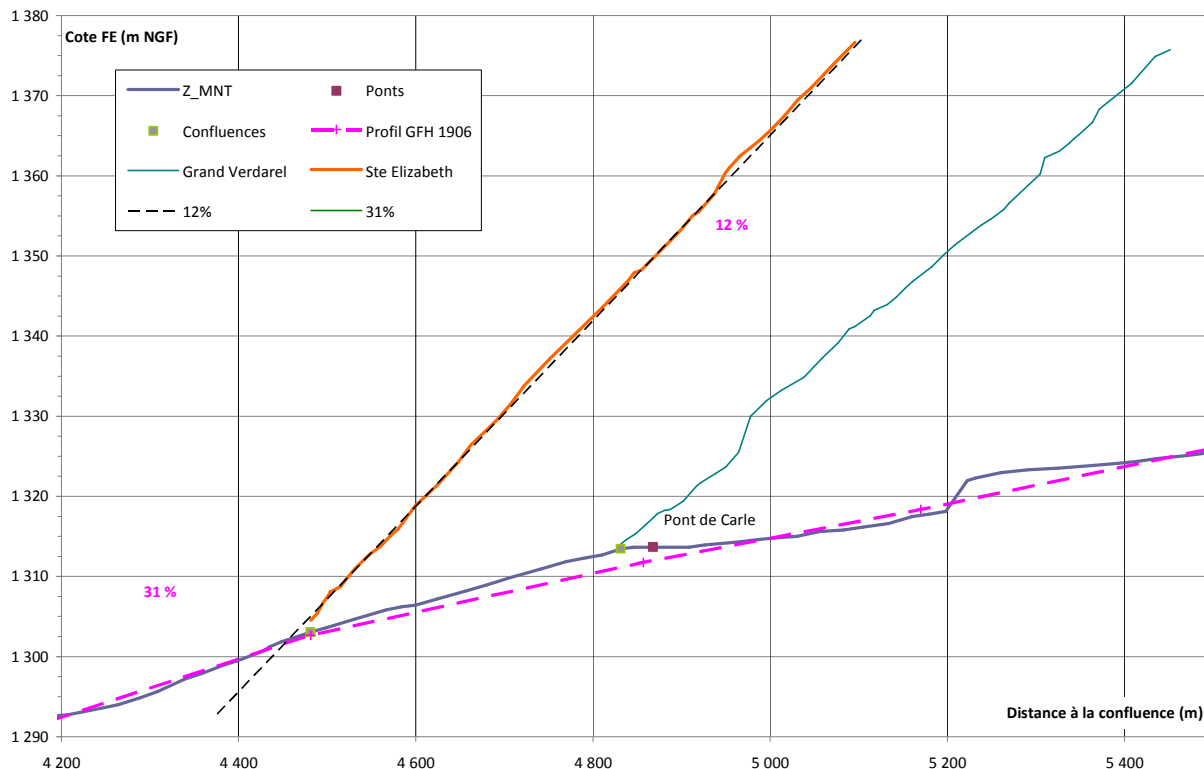


Figure 59 : Profils en long du torrent de Ste Elisabeth.

Ce profil en long se caractérise par une pente de 12 %, très régulière sur l'ensemble de la zone levée (qui ne correspond qu'à la partie aval du cône de déjection). Cette régularité n'est pas très surprenante de la part d'un torrent qui présente une forte activité depuis très longtemps.

La tendance générale est donc à la propagation des laves torrentielles sur le cône de déjection sans dépôt massif autre que ceux liés aux sections ou ouvrages insuffisants.

La confluence montre ici une augmentation locale de pente en aval, ce qui est classique pour un torrent à lave. Cette configuration facilite la reprise des matériaux.

3.4.2.2. Détermination des volumes transportés

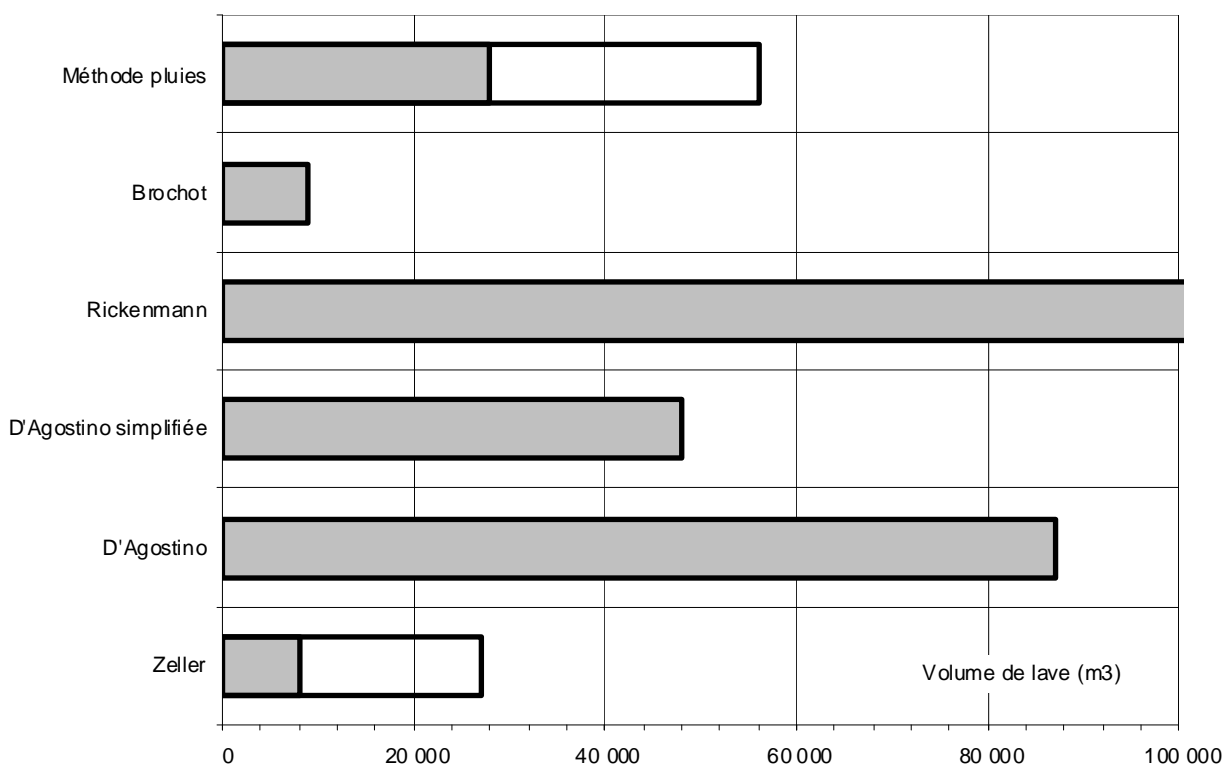
Le tableau suivant montre l'estimation des apports pour le torrent de la Juliane :

Calcul du volume de lave torentielle Torrent de Sainte Elisabeth

Surface BV	2.1 km ²
Surface non végétalisée	30 %
Pente Cône	12 %
Pente moyenne	50 %
Longueur torrent	2.7 km

Indice géologique D'Agostino	3
Indice torrentialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	3

Formule	Volume de lave (m3)	
Zeller	8 000	à 27 000
D'Agostino	87 000	
D'Agostino simplifiée	48 000	
Rickenmann	145 000	
Méthode pluie	28 000	à 56 000
Brochot	9 000	



Le tableau regroupe les estimations retenues pour les volumes transportés pour une crue décennale et une crue centennale :

Volume de matériaux décennal	Volume de matériaux centennal
8 000 m ³	40 000 m ³

3.4.3. Synthèse

3.4.3.1. Phénomène de charriage

La faible taille du bassin versant explique que le phénomène de charriage soit marginal ici, d'autant plus que la zone d'éboulis présente une forte capacité d'absorption des eaux, conduisant à un coefficient de ruissellement particulièrement faible dans le haut bassin versant pour les crues moyennes.

3.4.3.2. Comportement à la confluence

Comme pour les autres torrents à lave, les trois éléments suivants peut être considéré :

- ⇒ Les fines sont facilement reprises en suspension.
- ⇒ Les matériaux grossiers sont repris progressivement en charriage.
- ⇒ Les blocs représentent une fraction marginale du volume apporté mais elle reste sur place, formant un lit raide et pavé... comme il est facile de l'observer ici.

Les volumes à prendre en compte sont ici relativement importants et paraissent pénalisant par rapport au risque de débordement dans le cours terminal de la Guisane à Briançon.

3.4.4. Principes de gestion

Les interventions nécessaires sont ici assez limitées :

- il est impératif de conserver les possibilités de laminage des apports solides en amont du village par le curage des dépôts qui peuvent s'y produire entre les seuils RTM.
- Une augmentation du gabarit dans la zone urbaine serait souhaitable, mais la présence de radier rend difficile une telle intervention.
- Entre le pont de la RD1091 et la Guisane, la faible section du lit doit être conservée : le débordement pour les fortes crues permet un laminage des crues exceptionnelles.
- Un curage d'éventuels dépôts à la confluence doit être envisagé sans délais, essentiellement pour prévenir un dépôt dans la traversée de Briançon par la Guisane temporairement surchargée en matériaux.

3.5. Torrent de Régunier

3.5.1. Description rapide du bassin versant et du lit

3.5.1.1. Zone d'érosion

Le torrent de Régunier draine un bassin versant de 3.1 km² en rive gauche de la Guisane. Il forme en partie la limite de commune entre S^t Chaffrey et Briançon. La photo montre ce bassin versant :

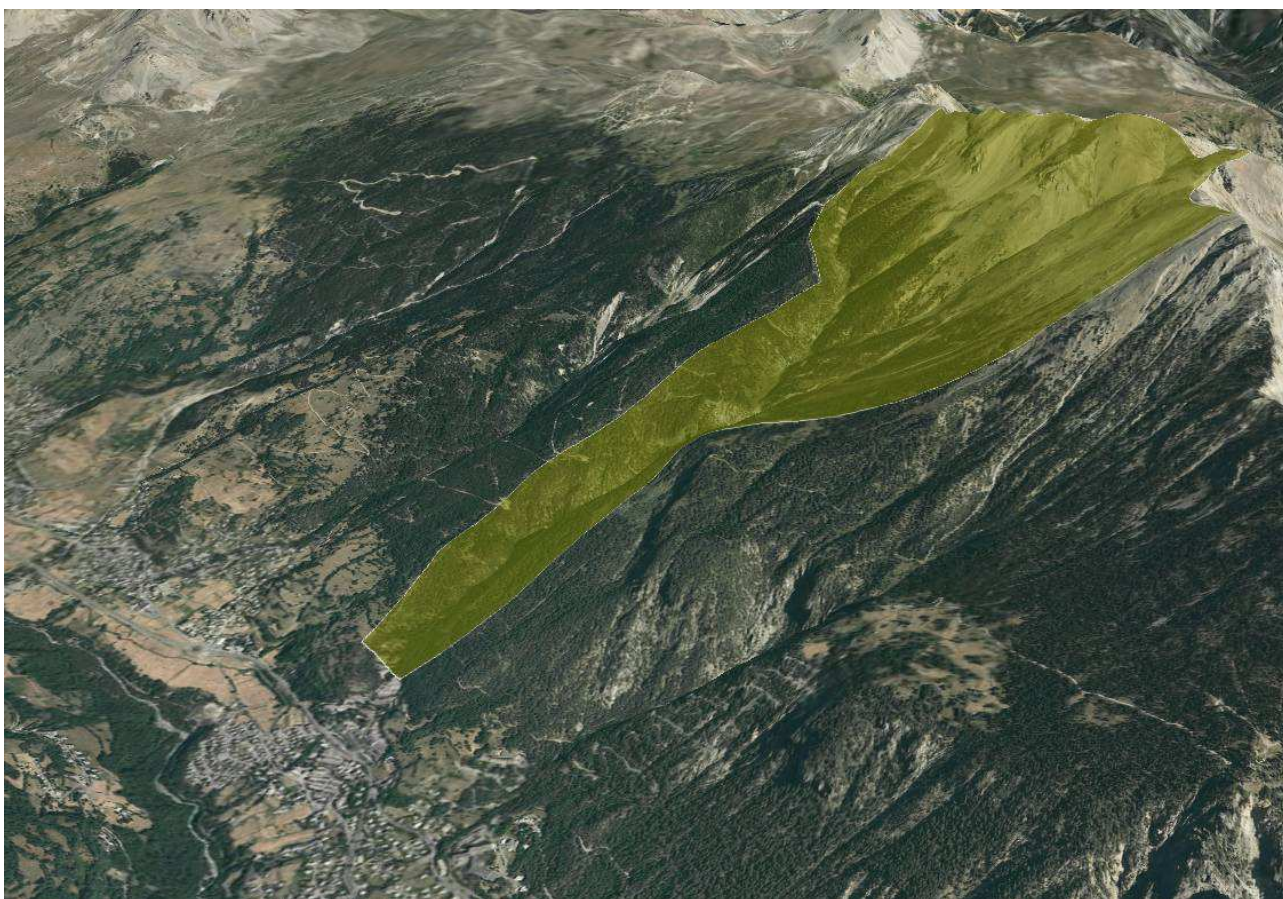


Figure 60 : Bassin versant du torrent de Régunier (document GEOPORTAIL).

Ce bassin versant est raide et particulièrement large au niveau de la crête, ce qui est plutôt favorable à une forte activité torrentielle, surtout que la géologie n'est pas très éloignée de celle du torrent de S^{te} Élisabeth ou du Verdarel, tous proches.

Cependant, si des érosions sont visibles dans la partie amont, essentiellement sous forme d'éboulis, les matériaux ne sont pas emportés par l'écoulement et le transport solide ne se propage pas vers l'aval, au moins pour les crues moyennes.

Après des gorges rocheuses, le talweg est raide mais relativement large. Aucune trace d'un transport solide significatif n'y est visible. La photo suivante, vers 1450 m d'altitude montre un lit très peu mobile et envahi par la végétation.



Photo 73 : Lit du torrent de Régulier à la sortie des gorges.

Il est cependant possible d'observer des traces de qui pourraient être de puissantes laves torrentielles... mais très anciennes. Le torrent commence rapidement la traversée urbaine au niveau du Sanatorium de Chanteoiseau... avec un lit de très faible capacité :



Photo 74 : Lit busé du torrent de Régulier.

Malgré un lit franchement sous dimensionné pour un tel bassin versant, la situation paraît satisfaisante, ce qui témoigne d'une très forte infiltration dans le bassin versant pour les crues ordinaires.

Le pont de la RD1091 est l'un des rares ouvrages à offrir une section en rapport avec l'hydrologie prévisible du torrent. Ce lit hétérogène et de faible capacité poursuit son tracé en aval de la RD1091 avec des sections et des protections hétérogènes. L'urbanisation est ici plus récente.

3.5.1.2. Cône de déjection

Le torrent de Régulier ne forme pas réellement de cône de déjection mais suit la pente générale du terrain.

3.5.1.3. Confluence

Dans la zone de confluence, la Guisane est remarquablement encaissée dans la vaste terrasse qui forme la rive gauche.

Le torrent de Régulier suit cette rupture de pente très marqué - et très haute - sans réelle trace d'érosion et de lissage de la pente.

Il n'apparaît pas non plus de vallée entaillée à proximité qui aurait pu correspondre à un ancien lit.

Cela montre que les écoulements n'ont jamais été très violents dans cette zone depuis que le lit s'écoule à ce niveau.

Ainsi, les apports solides paraissent marginaux, au moins sur les derniers siècles.



Photo 75 : Court terminal du torrent de Régulier.

3.5.1.4. Historique des crues

Le torrent de Régulier n'apparaît pas dans l'historique des crues tenu par le RTM.

Par contre, le ravin du Régulier serait le site de l'avalanche la plus importante de la commune, qui s'est étalée à plusieurs reprises dans les champs au débouché du couloir (1971), et est déjà passée à côté des bâtiments du Sanatorium de Chanteoiseau (1955), venant mourir au bord de la RN (1937). La mémoire collective rapporte qu'elle aurait déjà recouvert les champs en aval de l'ancienne RN 91- actuelle RD1091.

3.5.2. Nature des phénomènes

Pour les crues moyennes, le torrent de Régulier ne forme vraisemblablement pas de crue, l'infiltration dans le bassin versant étant vraisemblablement très forte. Au-delà, il n'est pas impossible qu'une crue se forme prenant alors un caractère exceptionnel. Ce changement de comportement correspond à un phénomène particulièrement rare, avec une période de retour probablement supérieure au siècle.

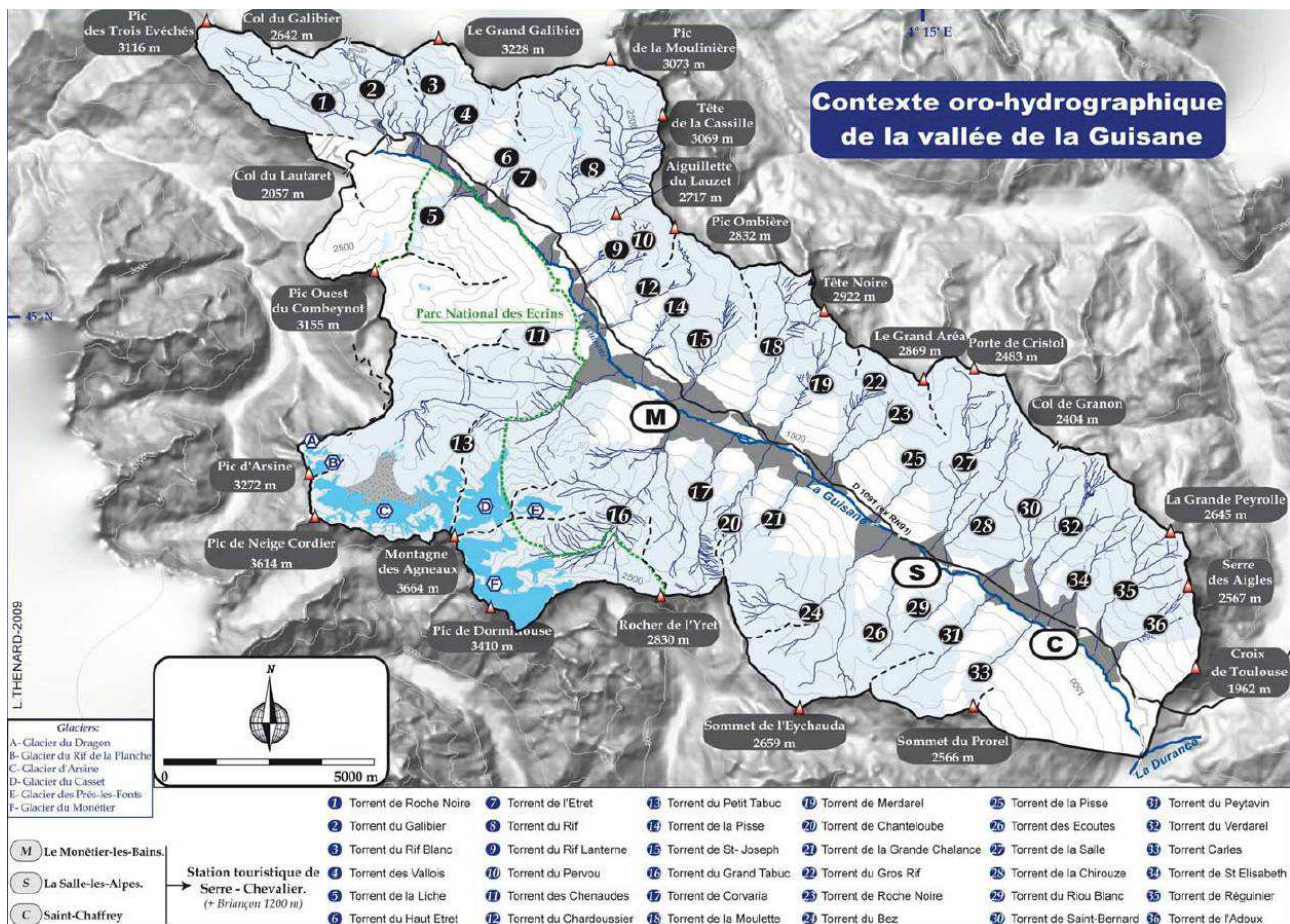
Une quantification n'est alors guère possible, aucun calage n'étant envisageable.

Des investigations nettement plus poussées semblent nécessaires pour préciser les risques liés à une crue centennale et les précautions à prendre. En l'absence d'analyse précise, les ouvrages de franchissement devraient présenter une section d'au moins 3 m².

Par contre, dans le cadre d'un plan de gestion, les apports de ce torrent peuvent être négligés et aucune consigne ne peut être formulée.

4. SYNTHÈSE SUR LES AFFLUENTS DE LA GYRONDE

La carte⁴ suivante montre l'ensemble des torrents de la Guisane :



Le tableau page suivante regroupe les principales caractéristiques des torrents étudiés dans le cadre du plan de gestion, notamment par rapport aux apports jusqu'à la Guisane.

Les volumes indiqués sont ceux qui arrivent à la confluence avec la Guisane. Ainsi, les apports dans le bassin versant peuvent être nettement plus élevés mais une forte fraction du volume se dépose en amont de la confluence. De même, le phénomène prépondérant est défini par rapport à la Guisane et non au sommet du cône de déjection. Par exemple, le torrent de la Salle forme des laves torrentielles mais elles parviennent très difficilement à la confluence.

4 TORRENTS ET TORRENTIALITÉ DANS LA VALLÉE DE LA GUISE. - Contribution d'une étude géographique à la gestion durable du risque torrentiel à Serre-chevalier - Thèse L. Thénard, 2009 - Laboratoire TVES ; Université Lille 1- Sciences et Technologies de Lille.

	Phénomène prépondérant	Vs ₁₀ (m ³)	Vs ₁₀₀ (m ³)	Pente équilibre	Nature des matériaux	Impact sur la Guisane
Petit Tabuc	Charriage	3 000	23 000	4.2 %	d _m = 7 cm	Faible mais dans village
La Pisse	Charriage	100	1 100	4.9 %	d _m =4 cm	Faible
Saint Joseph	Charriage	700	6 000	9.0 %	d _m =3 cm	Moyen
Grand Tabuc	Charriage	2 000	30 000	7.5 %	d _m =10 cm	Volume important
Chanteloube	Laves	10 000	35 000	10 %	Lave boueuse	Important à cause des 2 torrents
Merdarel	Laves	9 000	30 000	15 %		
Gros Rif	Charriage	Négligeable				
Le Bez	Charriage	300	5 000	3 %	d _m =7.2 cm	Fort
La Salle	Charriage	1 000	16 000	7 %	d _m =6.3 cm	Moyen
S ^t Bernard	Charriage	300	6 000	5 %	d _m =6. cm	Faible
Peytavin	Laves	15 000	60 000	13 %	Lave boueuse	Moyen
Verdarel	Laves	15 000	50 000	9 %	Lave boueuse	Très fort
S ^{te} Élisabeth	Laves	8 000	40 000	12 %	Lave boueuse	Fort
Régunier	Charriage	Négligeable				

LISTE DES GRAPHIQUES ET DESSINS

Figure 1 : Ensemble du bassin versant du Petit Tabuc.....	1
Figure 2 : Ensemble du bassin versant du Petit Tabuc au XIX ^{ème} siècle.....	2
Figure 3 : Lit stable du Petit Tabuc peu en amont de la confluence.....	4
Figure 4 : Confluence du Petit Tabuc avec la Guisane au Casset.	5
Figure 5 : Profil en long de la partie terminale du Petit Tabuc.	9
Figure 6 : Mesures granulométriques sur le petit Tabuc.	10
Figure 7 : Hydrogrammes liquides et solides du Petit Tabuc.	11
Figure 8 : Profil en long de la confluence du Petit Tabuc avec la Guisane.....	12
Figure 9 : Ensemble du bassin versant du torrent de la Pisse.....	14
Figure 10 : Vue de l'ensemble du cône de déjection du torrent de la Pisse.	16
Figure 11 : Profil en long de la Pisse.	20
Figure 12 : Mesures granulométriques sur la Pisse.....	21
Figure 13 : Hydrogrammes liquides et solides du torrent de la Pisse.	22
Figure 14 : Ensemble du bassin versant du torrent de St Joseph.....	24
Figure 15 : Drain réalisé par le RTM dans le bassin versant du St Joseph.	29
Figure 16 : Profil en long du torrent de St Joseph sur son cône de déjection.	33
Figure 17 : Mesures granulométriques sur le torrent de St Joseph.....	34
Figure 18 : Hydrogrammes liquides et solides du torrent de St Joseph.	35
Figure 19 : Ensemble du bassin versant du Grand Tabuc.	37
Figure 20 : Carte et LIDAR du cône de déjection du Grand Tabuc.....	41
Figure 21 : Profil en long du Grand Tabuc.....	46
Figure 22 : Mesures granulométriques le Grand Tabuc.	47
Figure 23 : Hydrogrammes liquides et solides du Grand Tabuc.	48
Figure 24 : Bassin versant du torrent de Chanteloube.....	50
Figure 25 : Digue à l'amont du cône de déjection du torrent de Chanteloube.....	53
Figure 26 : Profils en long de la Guisane et des torrents de Chanteloube et du Merdarel.....	57
Figure 27 : Bassin versant du torrent du Merdarel.....	60
Figure 28 : Ombrage des cônes de déjection des torrents du Merdarel et de Chanteloube.	63

Figure 29 : Profils en long de la Guisane et des torrents de Chanteloube et du Merdarel.....	67
Figure 30 : Ensemble du bassin versant du Gros Rif.	72
Figure 31 : Profil en long du Gros Rif.	76
Figure 32 : Hydrogrammes liquides et solides du Gros Rif.	77
Figure 33 : Ensemble du bassin versant du Bez.....	78
Photo 34 : Haut bassin versant du Torrent de Fréjus.....	79
Photo 35 : Dépôt de lave et affleurement rocheux dans les gorges du torrent du Grand Bois.	80
Photos 36 & 37 : Cône de déjection du Torrent du Grand Bois en 1995 et 2009.	81
Figure 38 : Chenal du Bez.	87
Figure 39 : Vue du cône de déjection du Bez en 1939.	88
Figure 40 : Confluence du Bez avec la Guisane depuis l'aval.	89
Figure 41 : Profil en long du Bez.	94
Figure 42 : Mesures granulométriques sur le Bez.....	95
Figure 43 : Hydrogrammes liquides et solides du Bez.	96
Figure 44 : Vue aérienne et carte géologique du bassin versant du torrent de la Salle.	98
Figure 45 : Carte et LIDAR sur le cône de déjection du torrent de la Salle.	102
Figure 46 : Lit de la Guisane en aval immédiat de la confluence avec le torrent de la Salle.	103
Figure 47 : Dépôt caractéristique d'une lave torrentielle sur le torrent de la Salle.	105
Figure 48 : Profil en long du torrent de la Salle.	106
Figure 49 : Mesures granulométriques sur le torrent de la Salle.....	107
Figure 50 : Hydrogrammes liquides et solides du torrent de la Salle.	108
Figure 51 : Localisation approximative de la plage de dépôt.	111
Figure 52 : Ensemble du bassin versant du Torrent du St Bernard.....	112
Figure 53 : Profil en long du torrent de St Bernard.....	118
Figure 54 : Hydrogrammes liquide et solide du torrent de St Bernard.....	119
Figure 55 : Ensemble du bassin versant du Peytavin (document Géoportail).....	121
Figure 56 : Vue de la crue de 1995 sur le cône de déjection du Peytavin.	124
Figure 57 : Profils en long du Peytavin sur son cône de déjection.....	127
Figure 58 : Profils en long du Verdarel sur la partie basse son cône de déjection.....	140
Figure 59 : Profils en long du torrent de Ste Elisabeth.....	150
Figure 60 : Bassin versant du torrent de Régunier (document GEOPORTAIL).	153

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Volume mobilisable considérable dans une ancienne moraine.	3
Photo 2 : Lit du Petit Tabuc pavé par des blocs avec fort transport solide.	3
Photo 3 : Pont de la RD1091 dans le secteur à forte pente du torrent de la Pisse.	15
Photo 4 : Lit dans la zone de dépôt du torrent de la Pisse.	15
Photo 5 : Lit terminal du torrent de la Pisse.	16
Photo 6 : Barrage et lit apparemment sans transport solide important.	25
Photo 7 : Zone de dépôt / régulation en amont torrent de S ^t Joseph du pont de la RD1091.	26
Photo 9 : Guisane large en amont de la confluence avec le torrent de S ^t Joseph.	27
Photo 10 : Zone alluvionnaire du Grand Tabuc dans la partie amont.	38
Photo 11 : Entrée dans les gorges du Grand Tabuc.	39
Photo 12 : Lit pavé et fort transport solide dans les gorges du Grand Tabuc.	39
Photo 13 : Effet d'un trop plein et érosion de la berge du Grand Tabuc.	40
Photo 14 : Cône de déjection bien marqué du Grand Tabuc.	41
Photo 15 : Confluence du Grand Tabuc avec la Guisane.	42
Photo 16 : Profils en long du Grand Tabuc, du S ^t Joseph et de la Guisane.	42
Photo 17 : Lit du torrent de Chanteloube en tête de bassin versant.	51
Photo 18 : Gorges du torrent de Chanteloube.	52
Photo 19 : Lit au sommet du cône de déjection du torrent de Chanteloube.	53
Photo 20 : Pont routier peu en amont de la confluence.	54
Photo 21 : Confluence de la Guisane avec le torrent de Chanteloube.	55
Photo 22 : Vue d'ensemble du lit amont du torrent de Merdarel.	61
Photo 23 : Sortie des gorges du torrent de Merdarel.	62
Photo 24 : Digue en rive gauche en aval du cône de déjection.	64
Photo 25 : Pont de la RN91, visiblement engravé, sur le torrent du Merdarel.	64
Photo 26 : Confluence de la Guisane avec le torrent du Merdarel.	65
Photo 27 : Lit boisé du Gros Rif dans les gorges.	73
Photo 28 : Dépôt minier faiblement érodé.	73
Photo 29 : Lit plutôt large en aval du pont de la RD1091.	74

Photo 30 : Gare de départ du Télésiège des Vallons.	82
Photo 31 : Couverture de la partie amont du torrent de Glaize.	83
Photo 32 : Couverture de la partie amont du torrent de Glaize.	83
Photo 33 : Barrages récents en amont de la prise d'eau pour l'alimentation de l'enneigement.	84
Photo 34 : Gorges du Bez.....	84
Photo 35 : Gorges du Bez après la crue de 1995.....	85
Photo 36 : Lit aval de la plage de dépôt.	86
Photo 37 : Tendence au dépôt en 1995.	87
Photo 38 : Glaciers rocheux du haut bassin versant du torrent de la Salle.	99
Photo 39 : Érosion de surface en amont des gorges.	100
Photo 40 : Correction RTM dans les gorges.....	100
Photo 41 : Protection massive au sommet du cône de déjection.	101
Photo 42 : Endiguement dissymétrique de la partie aval du torrent de la Salle.	102
Photo 43 : Lit terminal du torrent de la Salle avant la Guisane.	103
Photo 44 : Transport solide marginal dans le haut du torrent de St Bernard.	113
Photo 45 : Zone d'érosion du torrent de St Bernard en amont du cône de déjection.	113
Photo 46 : Section très hétérogène sur le cône de déjection du torrent de St Bernard.	114
Photo 47 : Chenal du St Bernard dans la traversé de Chantemerle.....	115
Photo 48 : Cours terminal du torrent du St Bernard.....	115
Photo 49 : Confluence du St Bernard avec la Guisane.....	116
Photo 50 : Lit du Peytavin vers 1950 m d'altitude.....	122
Photo 51 : Peytavin au sommet de son cône de déjection du Peytavin.....	123
Photo 52 : Lit recalibré en amont du cône de déjection du Peytavin.....	124
Photo 53 : Lit terminal du Peytavin.	125
Photo 54 : Vue du bassin versant du Verdarel et des ouvrages.	131
Photo 55 : Érosion active le long du lit du Verdarel.....	132
Photo 56 : Seuils et ensemble de barrages sur le Verdarel.....	133
Photo 57 : Lit très raide et barrages dans les gorges du Verdarel.....	133
Photo 58 : Partie terminale des gorges du Verdarel.....	134
Photos 59 & 60 : Plage de dépôt du Verdarel et dents freineuses.....	135
Photo 61 : Chenal du Verdarel sur son cône de déjection.....	136
Photo 62 : Pont de la RD1091 et passerelle en amont avec une faible hauteur.....	136

Photo 63 : Confluence de la Guisane avec le Verdarel.....	137
Photo 64 : Remous dans la Guisane en amont du Verdarel lors de la crue de 2005.	138
Photo 65 : Dépôts dans le lit de la Guisane en aval de la confluence avec le Verdarel.....	138
Photo 66 : Lit aval du Verdarel avec les remblais maximisant la hauteur de dépôt.	143
Photo 67 : Bassin versant à la fin du XIX ^{ème} siècle.	144
Photo 68 : Zone d'érosion dans le lit amont du torrent de Ste Élisabeth.....	145
Photo 69 : Gorges du torrent de Ste Élisabeth une l'érosion encore soutenue.....	146
Photo 70 : Élargissement du lit et régulation du transport solide en amont du village.	146
Photo 71 : Pont levis franchissant le torrent de Ste Élisabeth.....	147
Photo 72 : Lit terminal du torrent de Ste Élisabeth de très faible section.	148
Photo 73 : Lit du torrent de Régunier à la sortie des gorges.	154
Photo 74 : Lit busé du torrent de Régunier.....	154
Photo 75 : Court terminal du torrent de Régunier.	155