

Commune de Jausiers

Étude de l'impact de l'éboulement de la Roche Plombée sur le torrent de Sanières

AVRIL 2015

ETRM
Eaux, Torrents et 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



SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Le site de la Roche Plombée présente des éboulements actifs de longue date qui participent à l'alimentation en matériaux du torrent de Sanières.

En aout 2013, un éboulement de grande ampleur s'est produit dans cette zone, comblant le lit - et les barrages qui s'y trouvaient - sous plusieurs mètres de matériaux dont les plus visibles étaient fins et favorables à la formation de laves torrentielles. Depuis, l'éboulement reste actif et poursuit le comblement du lit, surtout avec des blocs. Le volume éboulé serait de l'ordre de 30 000 m³.

L'analyse géologique du site suggère la poursuite des apports avec une possibilité d'apports brutaux pour un volume pouvant atteindre 100 000 m³.

Par rapport à cet apport massif de matériaux les risques sont les suivants :

- ◆ Débâcle brutale. Le risque est aujourd'hui très faible, le lit amont étant totalement engravé. De nouveaux apports pourraient évidemment former une retenue dont on peut craindre la débâcle. La géométrie du site est heureusement peu favorable à un tel phénomène.
- ◆ Une reprise des matériaux par charriage ne paraît pas préoccupante, l'engravement du lit étant vraisemblablement suffisamment lent et progressif pour qu'il soit possible de le compenser par un curage.
- ◆ La reprise des matériaux par des laves torrentielles semble le phénomène le plus préoccupant :
 - L'apport massif de matériaux - ou de très gros blocs - pourrait conduire à une augmentation de la section d'écoulement.
 - Il paraît peu probable que le volume d'un événement dépasse celui d'une crue exceptionnelle dans l'état antérieur (estimation de 100 000 m³).
 - Par contre, la succession de laves torrentielles d'ampleur moyenne est le phénomène le plus fréquemment rencontré dans un tel contexte avec un risque de cumul des volumes de dépôts, notamment à la confluence avec l'Ubaye.

La forte activité initiale du torrent de Sanières lui permet de s'adapter à ce type d'apport massif sans modification profonde de son fonctionnement mais seulement avec un accroissement des apports solides sur le cône de déjection notamment par une augmentation du rythme des crues.

Dans tous les cas de figure, les interventions devront s'adapter aux évolutions (brutales) de l'éboulement. Ainsi, les interventions nécessaires ont été classées suivant trois degrés d'urgence en fonction de l'activité future de la zone d'éboulement.

Les interventions suivantes doivent être mises en œuvre immédiatement (certaines l'ont déjà été) :

- ⇒ Information de la population et mise en place des systèmes d'alerte.
- ⇒ Terrassement du lit amont afin de permettre une régulation du transport solide et une limitation des sections d'écoulement sur le cône de déjection.
- ⇒ Réduction des risques de débordement au niveau du rétrécissement de la Rochette par un muret entre la route et les prés.
- ⇒ Limitation de l'étendue des débordements en rive gauche au pont de Briançon par des mouvements de terrains en aval du pont.
- ⇒ Préparation des opérations de curage afin de pouvoir intervenir très rapidement en cas de dépôt.

Les interventions suivantes doivent être mises en œuvre rapidement :

- ◆ Recul de la berge rive droite au droit du rétrécissement de la Rochette.
- ◆ Rehausse de la digue rive gauche entre La Rochette et le pont de Briançon.
- ◆ Reprise de l'entonnement du pont de Briançon et rehausse du tablier.
- ◆ Rehausse des berges entre le pont de Briançon et le seuil B2.
- ◆ Confortement des digues et création d'une plage de dépôt en aval du seuil B2.

Enfin, les interventions suivantes sont à envisager à moyen terme (en fonction de l'évolution de l'activité de l'éboulement) :

- Remontée des ponts de la Rua et de la RD 902.
- Abaissement des seuils pour préserver une section suffisante.
- Augmentation de la régulation du transport solide en amont du cône de déjection par des barrages de grande taille.
- Remontée du niveau du lit en aval de l'éboulement si son ampleur devient considérable.

En aval du pont de Briançon, un réaménagement global de la zone est proposé, cette zone ayant été créée artificiellement lors du déplacement de la confluence avec l'Ubaye. Le coût de cette intervention serait de l'ordre de 500 k€ et offrirait un volume de stockage a priori supérieur aux apports d'une crue centennale.

SOMMAIRE

1.	CARACTÉRISTIQUES DU SITE	1
1.1.	OBJET DE L'ÉTUDE	1
1.2.	PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU TORRENT	2
1.2.1.	Documents disponibles	2
1.2.2.	Hydrologie	2
1.2.3.	Transport solide.....	2
1.2.4.	Lit sur son cône de déjection.....	4
1.2.5.	Quantification du transport solide.....	11
1.2.6.	Écoulement des crues.....	11
2.	ÉBOULEMENT DE LA ROCHE PLOMBÉE	13
2.1.	SITE AVANT L'ÉBOULEMENT DE 2013.....	13
2.2.	ANALYSE DE L'ÉBOULEMENT EN 2013	16
2.2.1.	Cadre géographique	16
2.2.2.	Contexte géologique	17
2.2.3.	Analyse de l'éboulement et de son évolution	19
2.2.4.	Suivi de l'éboulement	22
2.2.5.	Impact sur les écoulement.....	23
2.2.6.	Évolutions récentes	28
2.2.6.1.	Observation de l'éboulement	28
2.2.6.2.	Évolution du lit	28
2.2.6.3.	Synthèse sur les évolutions récentes	33
2.3.	LIT AVAL	34

3. IMPACT PRÉVISIBLE DE L'ÉBOULEMENT 39

3.1.	ÉBOULEMENT	39
3.2.	REPRISE DES MATÉRIAUX.....	41
3.2.1.	Phénomène de charriage	41
3.2.2.	Écoulement de lave torrentielle.....	42
3.2.2.1.	Fonctionnement antérieur	42
3.2.2.2.	Effet des apports de l'éboulement actuel	43
3.3.	AUTRES SITES "COMPARABLES"	44
3.3.1.	Objectifs	44
3.3.2.	Nant Saint Claude	44
3.3.3.	Ravoire de Pontamafrey.....	46
3.3.4.	Saint Antoine à Bourg d'Oisans	49
3.3.5.	Synthèse	52
3.4.	CAPACITÉ DU LIT	53
3.4.1.	Objectif.....	53
3.4.2.	Sections et points critiques.....	53
3.4.3.	Risque de dépôt.....	56

4. GESTION DU TORRENT DE SANIÈRES SUITE À L'ÉBOULEMENT DE ROCHE PLOMBÉE 59

4.1.	OBJECTIF	59
4.2.	PRINCIPES RETENUS	60
4.2.1.	Correction active de la zone d'éboulement	60
4.2.2.	Régulation amont du transport solide	60
4.2.2.1.	Principe	60
4.2.2.2.	Géométrie du lit	61
4.2.2.3.	Devenir des matériaux	62
4.2.2.4.	Entretien	63

4.2.3.	Section d'écoulement	64
4.2.3.1.	Principe général	64
4.2.3.2.	Rétrécissement en amont de la Rochette	64
4.2.3.3.	Pont de la Rua	66
4.2.3.4.	Pont de Briançon	66
4.2.3.5.	Pont de la RD 900	68
4.2.3.6.	Effet du seuil B2	69
4.2.3.7.	Lit en aval du seuil B2	69
4.2.3.8.	Chenal entre les ponts de la Rua et de Briançon	70
4.2.4.	Gestion des matériaux	71
4.2.4.1.	Amont du seuil B2	71
4.2.4.2.	Aval du seuil B2	72
4.2.5.	Évacuation du site	73
4.3.	PROTECTIONS DE NIVEAU CROISSANT	76
4.3.1.	Mise en œuvre immédiate	76
4.3.2.	Mise en œuvre rapide souhaitable.....	77
4.3.3.	Mise en œuvre en cas de dégradations ou de dysfonctionnement	78
4.4.	RÉAMÉNAGEMENT DU LIT AVAL	79
4.4.1.	Principe général.....	79
4.4.2.	Pont de Briançon	81
4.4.3.	Amont du seuil B2	82
4.4.3.1.	Rive droite	82
4.4.3.2.	Rive gauche	83
4.4.4.	Zone de dépôt - Entonnement RD 900.....	84
4.4.5.	Ordre de grandeur des coûts.....	88
4.4.6.	Dépassement de la crue de projet.....	88
4.4.7.	Entretien	90

1. CARACTÉRISTIQUES DU SITE

1.1. Objet de l'étude

Le torrent de Sanières draine - au sommet de son cône de déjection - un bassin versant de 4.6 km² au nord ouest de Jausiers, le torrent prenant sa source au pied de la Tête de Fin Fond à 2872 m d'altitude.

Le bassin versant est constitué par des terrains instables comportant une fraction importante de schistes.

De nombreuses zones d'érosion majeures sont drainées par le torrent dont la plus aval - celle de Roche Plombée - est située en dessous d'une cascade.

Cette zone d'érosion - mise en évidence sur la figure ci-contre - a subi un éboulement majeur en aout 2013.

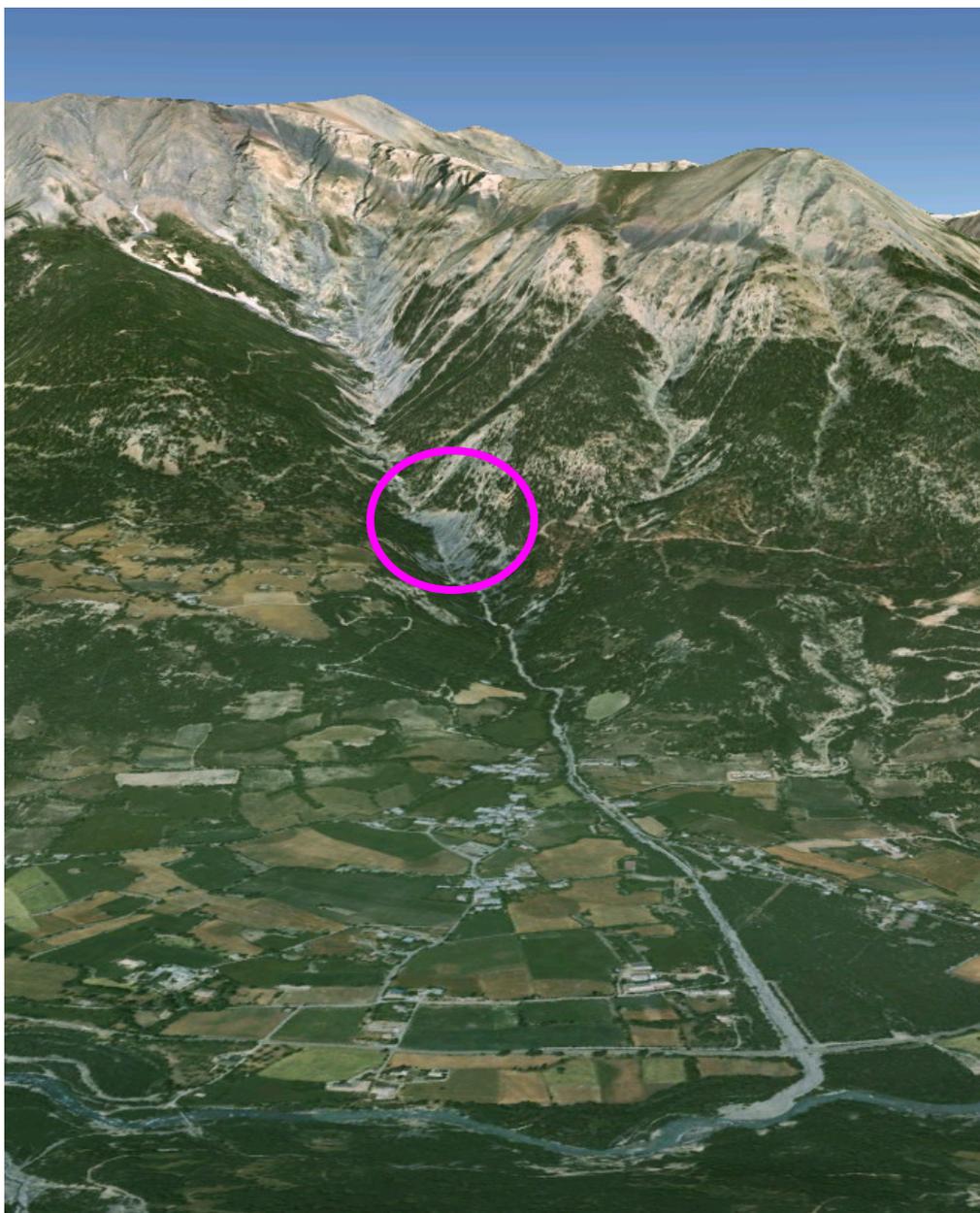


Figure 1 : Vue d'ensemble du bassin versant et de la zone d'éboulement

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'impact prévisible de cet apport massif de matériaux sur les risques en aval puis de proposer des interventions ou des modifications de gestion afin de prendre en compte cette évolution.

1.2. Principales caractéristiques du torrent

1.2.1. Documents disponibles

Une étude a déjà été réalisée sur ce torrent en 2003 :

Service RTM des Alpes de Haute-Provence

Étude hydraulique du torrent de Sanières

ETRM - Décembre 2003

Les principales caractéristiques du torrent sont résumées ci-dessous, les justifications étant disponibles dans le rapport de 2003.

1.2.2. Hydrologie

Les résultats de l'étude hydrologique en l'absence de laves torrentielles sont les suivants :

Superficie bassin versant (km ²)	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)	Temps de concentration (heures)
4.6	6	18	1

Le débit centennal de 18 m³/s est ici peu significatif, une telle crue étant accompagnée de lave torrentielle au débit bien supérieur.

1.2.3. Transport solide

Le profil en long du torrent sur son cône de déjection est repris page suivante. Cette figure met nettement en évidence les éléments suivants :

- Deux seuils sont visibles sur le cône de déjection. Le seuil amont n'a qu'une influence locale alors que le seuil central (B2) - et le contre seuil qui lui est associé - remonte l'ensemble des niveaux en amont.
- Sur l'ensemble du cône de déjection, le torrent de Sanières garde une pente régulière de l'ordre de 8.3%, jusqu'à 200 mètres en amont du pont de la R.D. 900. Cette pente diminue très faiblement de l'amont vers l'aval. Une telle régularité témoigne d'un torrent très actif, qui a pu, au cours du temps, lisser la pente de son cône de déjection. Ainsi, dans toute la partie amont du cône de déjection, la tendance est au transit plutôt qu'au dépôt.

- En amont de la R.D. 900, la pente diminue sensiblement pour passer à 6.6 %. Cette valeur est conservée jusqu'à l'Ubaye. La réduction de pente augmente localement la hauteur des laves torrentielles, favorisant les débordements. Surtout, elle génère des dépôts qui réduisent la capacité du lit. Cette situation est renforcée par les respirations naturelles du confluent avec l'Ubaye :
 - ✓ Lors des crues du torrent, les matériaux apportés par le torrent ne peuvent être repris intégralement par la rivière. Ils se déposent générant alors une pente particulièrement faible, la hauteur comme la largeur du dépôt étant importantes. Le levé topographique de 2003 correspond à cette situation.
 - ✓ Ultérieurement, les crues – même modestes – de la rivière reprennent peu à peu les matériaux apportés par le torrent et restaurent une pente plus forte dans le lit du torrent. Cette reprise est relativement aisée ici car les matériaux apportés par le torrent de Sanières sont essentiellement constitués de matériaux fins. Les conditions de reprises sont directement liées aux caractéristiques du lit de l'Ubaye dans cette zone.

La figure suivante est un profil en long du torrent sur son cône de déjection. Il indique à la fois le profil en long et la pente du lit sur l'ensemble du linéaire :

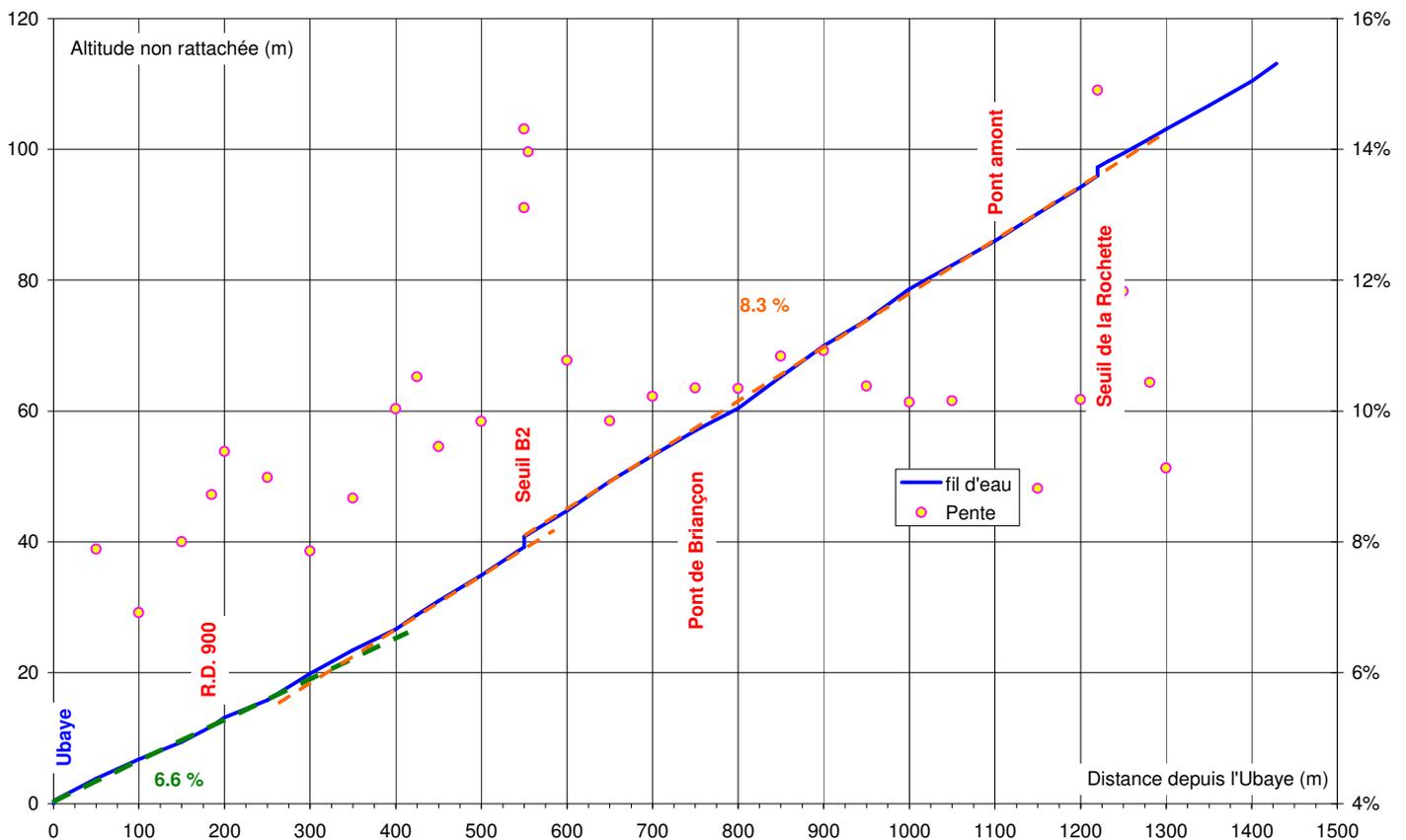


Figure 2 : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection.

1.2.4. Lit sur son cône de déjection

La partie entre l'éboulement et le village (sommet du cône de déjection) est analysée par la suite.

La transition entre les gorges et le cône de déjection est brutale en amont du hameau de la Rochette. Le niveau des versants s'abaisse peu à peu. C'est dans cette zone que sont construits les derniers barrages RTM, certains ayant été destinés à fonctionner comme une plage de dépôt.

Le pont de la Rua constitue le premier franchissement routier. Il s'agit d'un ouvrage relativement léger et d'une seule portée. Le lit offre alors une largeur de l'ordre de 13.5 mètres (perpendiculairement à l'écoulement) et une hauteur sous poutre de 4.5 mètres.

Des terrasses boisées se sont établies et imposent des divagations à l'écoulement ce qui favorise des érosions de berge et - dans une moindre mesure - les débordements. Des blocs de plusieurs tonnes sont visibles dans le lit à ce niveau. Leur enlèvement - ou leur enfouissement dans le lit s'ils sont trop gros - est à prévoir.

Un long mur en béton en rive gauche débute quelques mètres en amont du pont. A notre connaissance, ce mur n'a jamais été submergé, mais il n'est pas très ancien. Il est constitué d'une semelle en béton qui est très localement affouillée.

D'autre part, des traces d'usure sont visibles sur cet ouvrage relativement récent.

La figure suivante est une coupe schématique de cet ouvrage :

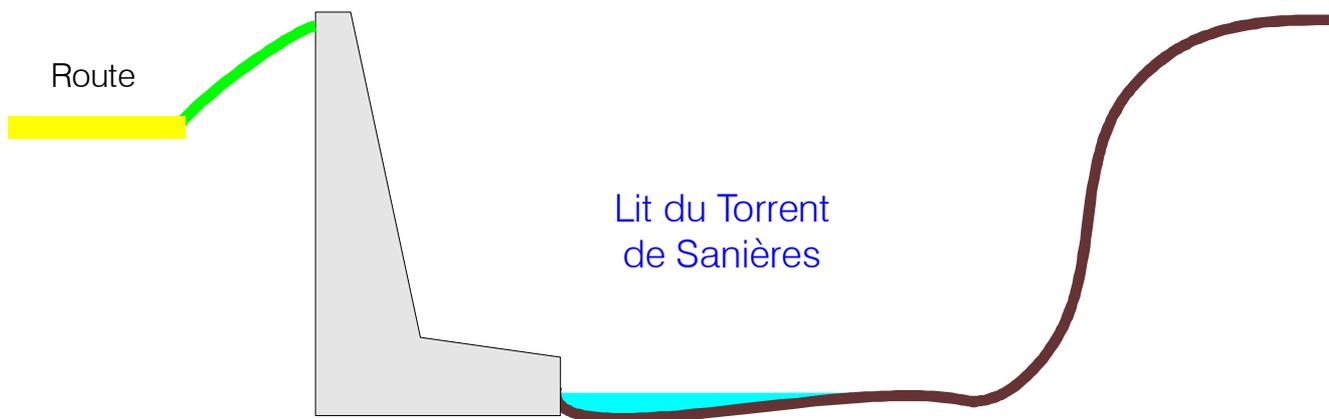


Figure 3 : Coupe schématique du mur rive gauche.

Cet ouvrage se prolonge jusqu'au pont de Briançon.

En rive droite, la berge n'est généralement pas protégée. Elle est moins haute et est envahie par la végétation. Les aménagements sur cette rive sont relativement éloignés du lit.

Le pont de Briançon offre - comme en 2003 - une portée de 12 mètres pour une hauteur de 3.6 mètres seulement par rapport au fond. Cette hauteur doit être rapprochée de celle du mur en amont immédiat qui est de 4.4 mètres et celle du pont de la Rua (4.5 m). Un aménagement cohérent consisterait à construire la sous poutre au moins 50 centimètres au-dessus de la berge, ce qui imposerait une sous poutre près de 1.5 mètres au-dessus de la situation actuelle.

Ce pont a été partiellement submergé lors de la crue d'août 2003, mais il est possible qu'il ne s'agisse que d'éclaboussures. En effet, le mur bétonné guide l'écoulement (le lit forme une courbe à ce niveau et le mur correspond à l'extrados) mais se termine quelques mètres en amont du pont. Des enrochements lui succèdent mais avec un fruit beaucoup plus important. Ils sont donc avancés dans le lit de plusieurs mètres et imposent une contraction brutale qui peut conduire à une surélévation locale des niveaux.

En rive droite (intrados) il n'y a pas de contraction significative.

L'écoulement est donc dissymétrique au droit de l'ouvrage et beaucoup plus important en rive gauche. Il n'est donc pas étonnant que le débordement en août 2003 concerne surtout la partie du pont proche de la rive gauche comme le montre la photo suivante prise par le RTM peu après la crue de 2003 :

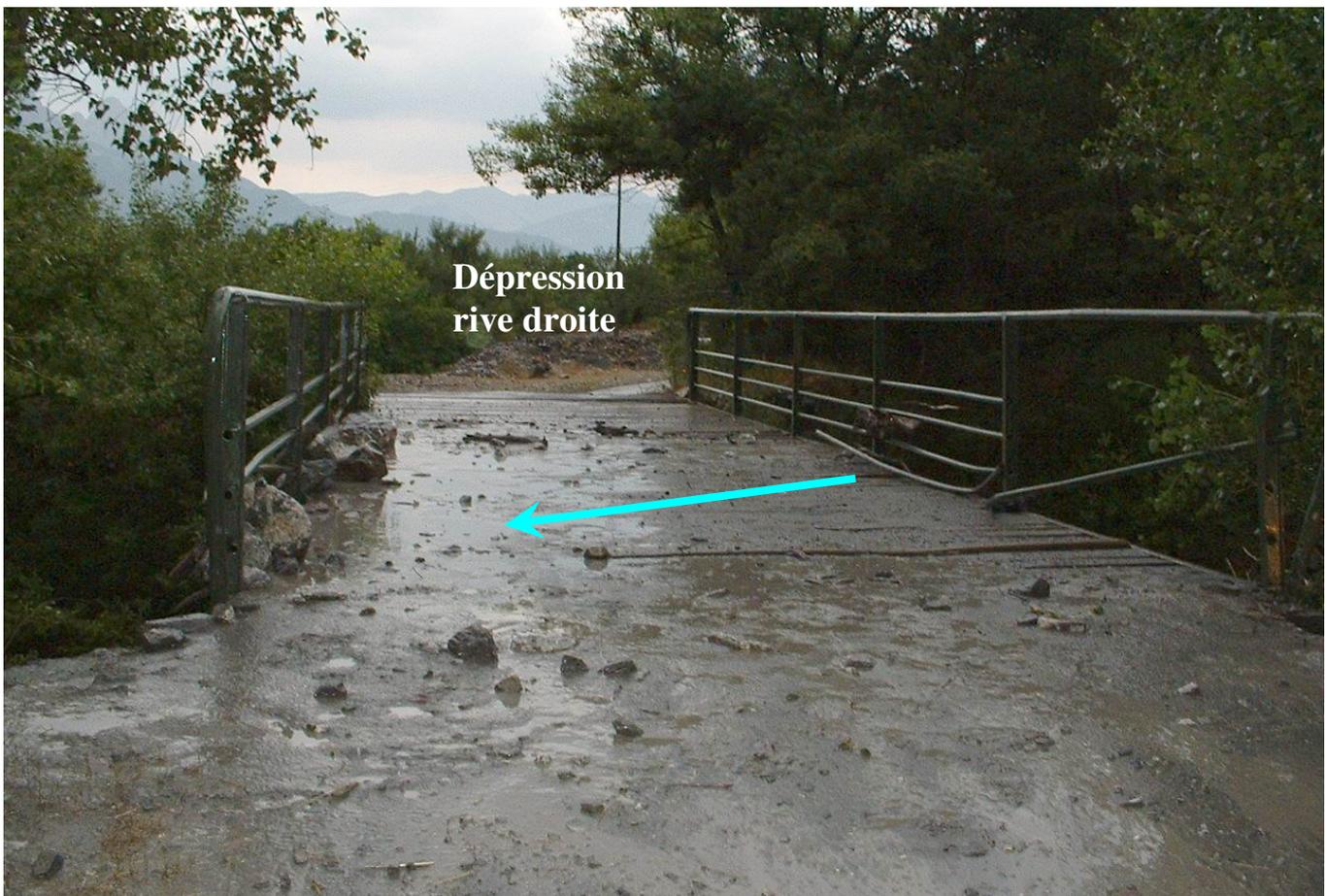


Photo 1 : Pont de Briançon après la crue (photo prise de la rive gauche).

Cet ouvrage constitue un point faible dans la mesure où la route d'accès, sur les deux berges, descend en s'éloignant du lit. Il est donc facile pour l'écoulement de suivre la route et d'inonder les terrains en aval :

- En rive droite (peu sollicitée), il n'y a pas d'enjeux à proximité du lit et l'écoulement quitterait rapidement la route. La dépression de la rive droite est clairement visible sur la photo précédente. Des habitations sont audacieusement implantées à proximité du lit, peu en amont de la RD 900.
- En rive gauche, au contraire, la route conduit - avec une forte pente - l'écoulement vers les habitations de Jausiers. Les enjeux y sont donc beaucoup plus importants. La vulnérabilité de

cette zone est illustrée par les digues et les épis que l'on retrouve le long de la route... au milieu des habitations, et qui ont été construits, il est vrai, dans une autre configuration du lit.

Le coude formé en amont du pont correspond à un changement de tracé du lit. Celui ci a été éloigné des constructions de la rive gauche et un tracé plus à l'Ouest a été suivi... conduisant à une confluence avec l'Ubaye plus en aval.

Il est intéressant de mettre en évidence l'évolution du site. Le document précis le plus ancien correspond à la carte d'état major dressée au milieu du XIX^{ème} siècle (dont le lit est surligné) :



Figure 4 : Carte d'État Major et photographie actuelle (document Géoportail).

Ce document conduit aux remarques suivantes :

- ◆ La principale évolution est celle du torrent de Sanières. Alors qu'il confluaient face au Riou Versant actuel (et en amont du Riou Versant d'alors !), son tracé a été déplacé et la confluence est aujourd'hui située 460 mètres en aval ! Cette évolution est très favorable car elle limite les dépôts dans le secteur du Pont Barnuquel.
- ◆ Le tracé de l'Ubaye montre une évolution notable avec un tracé beaucoup plus direct au XIX^{ème} siècle en aval de la confluence avec le Riou Versant. Le méandre actuel ne correspond donc pas à une configuration très ancienne.

La photo aérienne suivante montre la situation juste avant la crue de juin 1957 :



Figure 5 : Photo aérienne de 1956 (document Géoportail).

Cette photo montre les évolutions suivantes :

- ◆ Le torrent de Sanières présente un tracé intermédiaire entre celui du XIX^{ème} siècle et l'actuel, avec un déplacement de la confluence dans le méandre. Ce tracé maximise la longueur du lit et donc les dépôts avant la confluence. Ce tracé ne paraît pas stable et a été déplacé par la suite. Ce déplacement explique les digues en béton que l'on peut observer en rive gauche du torrent.
- ◆ Le lit de l'Ubaye suit quasiment le tracé actuel avec un lit étroit et le méandre très marqué en aval du confluent avec le Riou Versant.

La photo suivante montre le site en 1971 :



Figure 6 : Photo aérienne de 1971 (document Géoportail).

Bien que cette photo soit séparée de la précédente par la crue de 1957, les évolutions sont faibles :

- ◆ Le torrent de Sanières montre les évolutions les plus marquées avec le nouveau tracé dans la partie aval du cône de déjection et l'aménagement de la confluence actuelle.
- ◆ L'Ubaye longe toujours les digues de Jausiers en rive droite. Une anse d'érosion, éphémère, est visible en rive gauche en aval avec le Riou Versant.

En aval du pont de Briançon, le torrent de Sanières suit aujourd'hui un tracé rectiligne mais nettement décalé vers l'Ouest jusqu'à l'Ubaye.

Un seuil et un contre-seuil ont été construits entre le pont de Briançon et celui de la R.D. 900. Il est indispensable pour prévenir l'affouillement des protections et pour permettre le passage d'un canal d'irrigation qui n'est plus utilisé. C'est notamment le cas du mur¹ en béton qui a été établi en rive droite.

Ce seuil B2 impose cependant une surélévation très importante par rapport au terrain naturel et la hauteur de berge n'est que de 2 mètres en amont du seuil. Le risque de débordement y est alors très important. Heureusement, les enjeux à proximité paraissent très limités.

En aval du seuil, les berges sont peu élevées et ne sont plus protégées. Elles sont généralement constituées d'un simple merlon en tout venant. Le lit conserve une largeur de l'ordre d'une quinzaine de mètres et est parfaitement rectiligne.

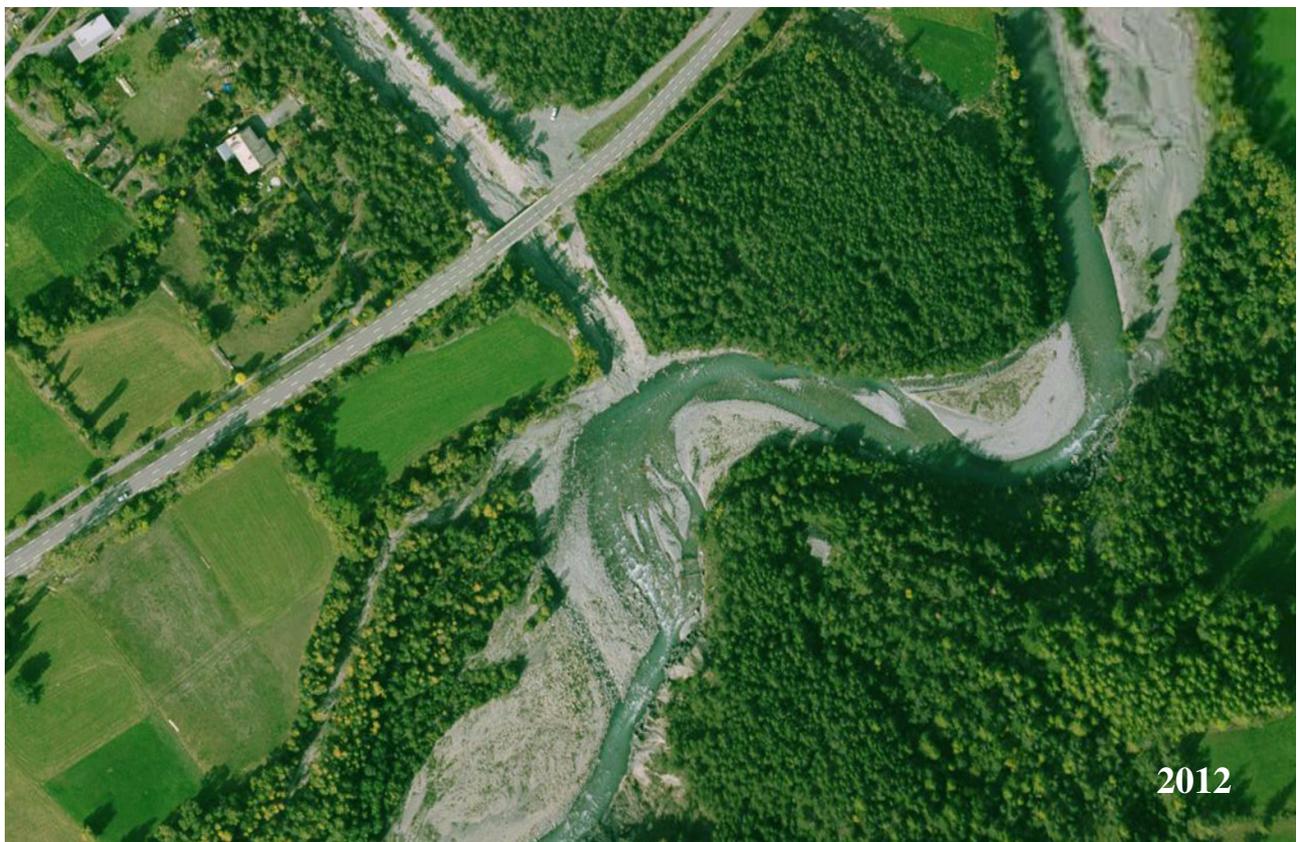
C'est dans cette zone que la rupture de pente du lit peut être clairement observée.

Le pont de la R.D. 900 présente une très faible hauteur (1.6 mètres avant curage) et impose une réduction sensible de la largeur (la largeur sous l'ouvrage est de 15 mètres). Ce pont est incompatible avec le transit des laves torrentielles. C'est le cas de la plupart des ouvrages de franchissement sur cette route entre Barcelonnette et Jausiers.

En aval du pont, le lit a été curé après la crue de 2003. Il présentait alors une largeur tout juste supérieure à celle que l'on observe en amont. Ce tronçon formait un angle vers l'Ouest afin de minimiser l'angle entre l'Ubaye et le torrent dans la zone de confluence. Le dépôt du torrent de Sanières occupait une large fraction du lit de l'Ubaye dans cette zone, mais il était prévisible que les matériaux soient repris lors de la prochaine forte crue.

C'est effectivement ce qui s'est passé lors de la crue de mai 2008 qui a conduit à un recul de près de 100 mètres de la berge rive droite comme le montrent les photos page suivante. Il s'agit du fonctionnement normal d'une confluence entre une rivière et un torrent actifs.

¹ Ce mur qui naît en aval du pont de Briançon présente une hauteur faible et irrégulière, surtout en aval du pont.



Figures 7 & 8 : Confluent torrent de Sanières - Ubaye avant et après la crue de 2008.

1.2.5. Quantification du transport solide

Deux types de phénomènes peuvent se produire dans le torrent de Sanières :

- Le charriage torrentiel (matériaux poussés sur le fond par un écoulement d'eau) correspond aux phénomènes ordinaires. Les phénomènes présentent une faible ampleur.
- La lave torrentielle se produit pour les fortes crues. C'est ce phénomène qui paraît le plus préoccupant sur ce torrent et qui peut causer le plus de dégâts. Les laves torrentielles se forment dans les lits à forte pente, lorsque l'alimentation en matériaux permet un mélange homogène d'eau et de matériaux. Les matériaux rencontrés dans le bassin versant (schistes) sont très favorables à la formation de laves torrentielles boueuses !

Les deux phénomènes doivent être abordés séparément car les outils correspondants sont fondamentalement différents. Cependant, le phénomène de lave torrentielle était déjà largement prépondérant avant l'éboulement. Sa probabilité d'occurrence est encore renforcée par les apports de matériaux relativement fins directement dans le lit dans la zone d'éboulement, même si l'activité actuelle de l'éboulement conduit plutôt à un pavage - très partiel - du lit par l'apport de nouveaux blocs.

Les estimations de volumes de matériaux apportés par les crues sont les suivantes :

- 100 000 m³ pour des laves torrentielles exceptionnelles.
- 2 300 m³ pour une crue décennale avec du charriage. Le volume pour une crue centennale serait inférieur à 10 000 m³ mais paraît très improbable car une crue aussi forte serait très vraisemblablement accompagnée d'une lave torrentielle.

1.2.6. Écoulement des crues

Dans le cas du charriage torrentiel, la section est largement suffisante pour éviter un débordement, sauf en cas de - très improbable - dépôt massif.

Pour les laves torrentielles, il est possible de déterminer la hauteur normale d'écoulement de la lave en fonction de la pente d'écoulement sur le cône de déjection pour un débit de 100 à 300 m³/s à partir des équations spécifiques à ce type de phénomène.

La figure page suivante indique les hauteurs d'écoulement de lave en fonction de sa rhéologie et de la pente.

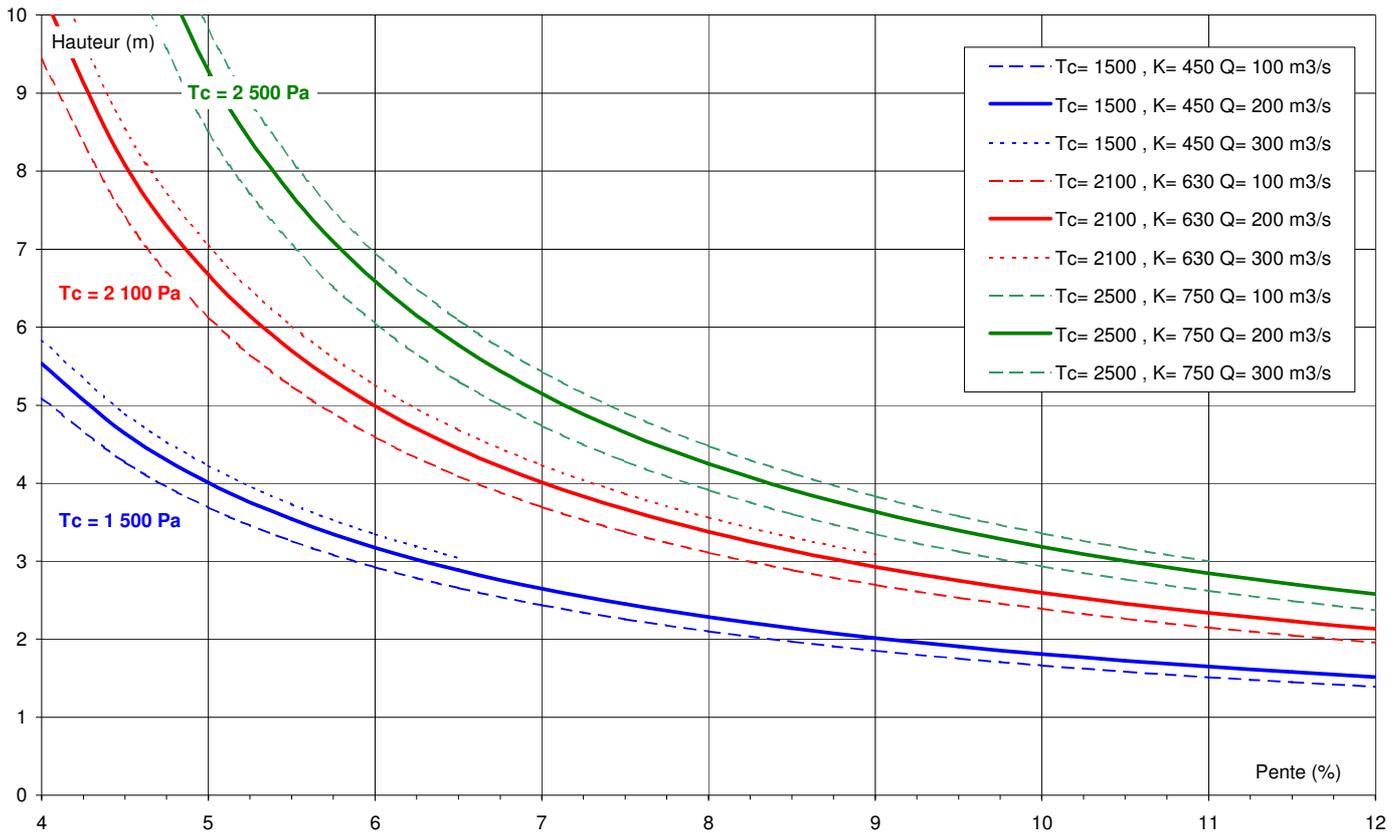


Figure 9 : Relation entre hauteur et pente d'écoulement pour les laves torrentielles.

Il n'est pas question ici de réaliser un - très illusoire - calcul d'écoulement sur le cône de déjection du torrent de Sanières. Il est cependant possible de faire les observations suivantes :

- Le rétrécissement au niveau de la Rochette est nettement défavorable dans la mesure où la profondeur du lit est faible par rapport au sommet de berge rive gauche.
- Le mur rive gauche entre les deux ponts amont paraît suffisamment dimensionné. Il semble cependant possible d'améliorer la revanche sur cet ouvrage à moindre frais.
- Le pont intermédiaire (pont de Briançon) semble insuffisant, notamment à cause de la brusque réduction de largeur sous cet ouvrage. Les conséquences d'un débordement à ce niveau pourraient être importantes.
- Le lit en aval du pont de Briançon présente une section insuffisante car sa profondeur est très réduite. C'est clairement le cas en amont immédiat du seuil qui avait été calé particulièrement haut pour permettre le passage d'un canal.
- Le tronçon aval, du seuil jusqu'à l'Ubaye, est insuffisant pour l'écoulement et ne permet pas de dépôt important. Ainsi, un volume de 100 000 m³ représente une hauteur de dépôt de 13 mètres de hauteur sur 500 mètres de long en considérant un lit de 15 m de largeur. Dans la réalité, la lave s'étalerait et les hauteurs seraient bien moindres.

2. ÉBOULEMENT DE LA ROCHE PLOMBÉE

2.1. Site avant l'éboulement de 2013

Le site de la Roche Plombée est actif depuis longtemps. Ainsi, la photo suivante montre le site en 2003, avant l'éboulement récent :



Photo 2 : Zone d'éboulement de la Roche Plombée en 2003.

Cette zone est, de longue date, le siège d'une instabilité et de fourniture de matériaux au torrent.

Elle présentait même des traces très nettes d'apports de blocs que la crue de 2003, pourtant importante, n'était pas parvenue à reprendre.

Ainsi, la photo suivante montre le lit dans la partie supérieure de la zone d'éboulis avec un amas de blocs dans le lit :



Photo 3 : Amas de blocs et rapide dans la zone d'éboulement en 2004.

Cette photo est à rapprocher de la photo actuelle - après éboulement - de la page 24.

Ainsi, la photo suivante montre le lit en 2004 avec une érosion intense et une reprise importante lors de la forte crue de 2003. Lors de cet épisode, le lit s'en vraisemblablement encaissé d'au moins un mètre, ce qui est l'évolution classique du lit - lors des fortes crues - au pied des zones de fourniture intense en matériaux.

Cette photo est à rapprocher de la photo actuelle - après éboulement - de la page de la page 25.



Photo 4 : Lit au droit de l'éboulement en 2004.

Cet éboulement ne modifie donc pas radicalement le fonctionnement du torrent mais accroît, fortement, la fourniture locale en matériaux.

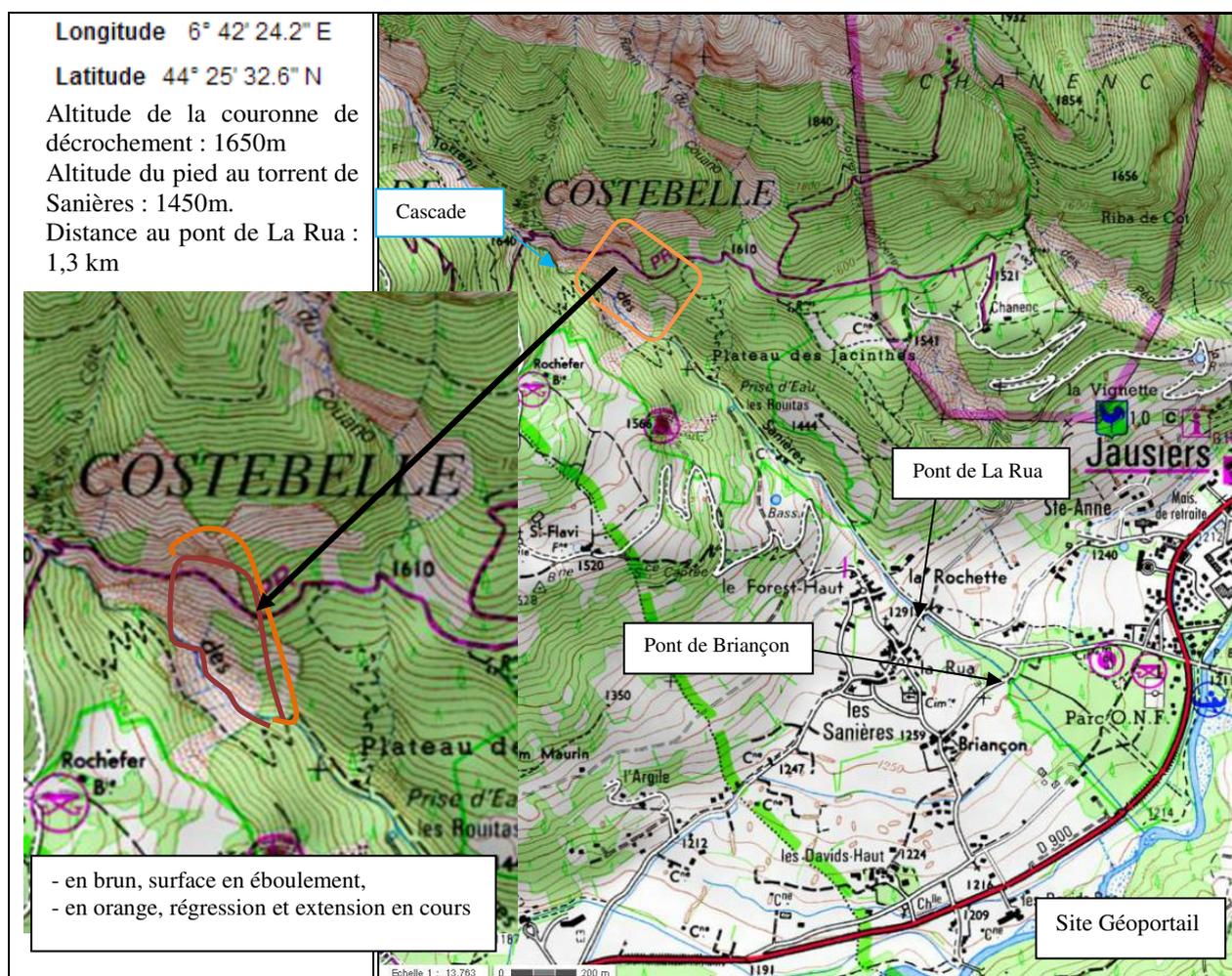
2.2. Analyse de l'éboulement en 2013

Les éléments ci-dessous sont issus de la note du RTM rédigée par M. Truche en octobre 2013 :

FD RTM de Costebelle - Éboulement du torrent de Sanières - Jausiers (04)

2.2.1. Cadre géographique

Depuis le 4 août 2013 en forêt domaniale RTM de Costebelle, le versant rive gauche du torrent de Sanières à l'aval de la cascade (cote 1470 m) et en contrebas du sentier PR du Plateau des Jacinthes, est le siège d'un éboulement. Intensément actif par des chutes continues de blocs et terres, il couvre actuellement une surface de 11,5 ha. Un compartiment rocheux disloqué d'une surface estimée à 0,7 ha entre 1650 m et 1560 m d'altitude sur 103 m de long en front et 55 m entre le rebord et la couronne de décrochement est actuellement impliqué. Un abaissement de plus de 10 m a pu être mesuré en marge Est au niveau du sentier PR (cote 1610 m).

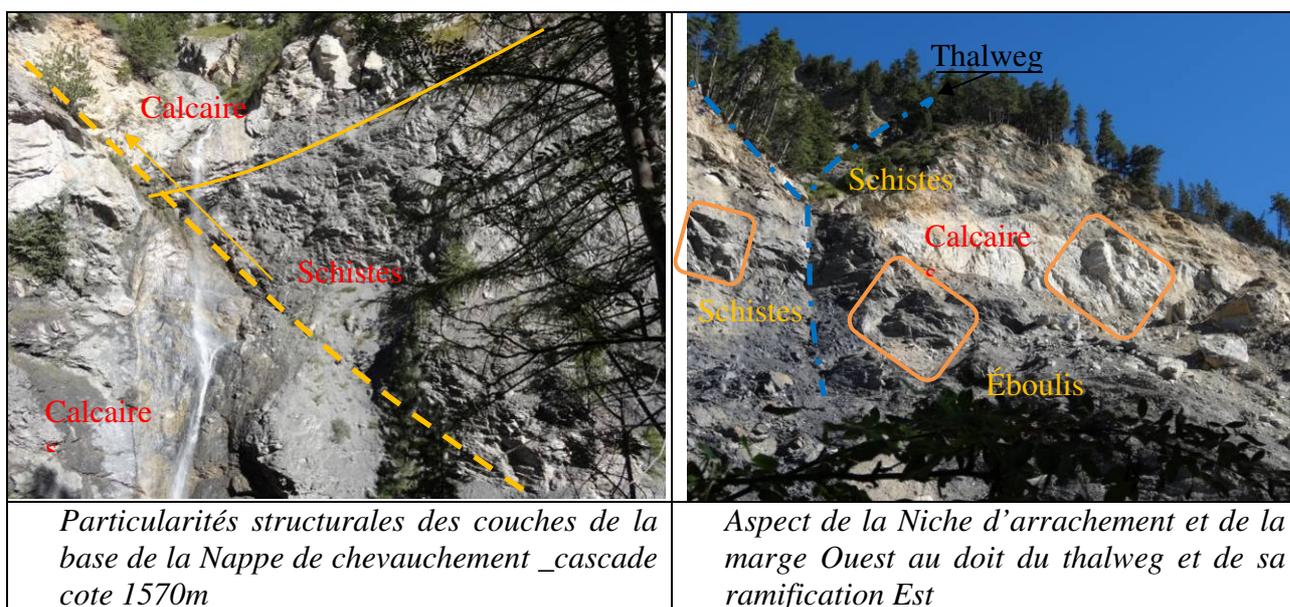


2.2.2. Contexte géologique

Cet éboulement intervient au sein des écailles briançonnaises de la base de la nappe de charriage du Parpaillon surmontées de la Nappe des Flyschs à Helmintoïdes. Interprété comme un olistostrome associé à la mise place de la Nappe, le site de l'éboulement se localise à l'interface :

- de schistes noirs armés de niveaux calcaréux, masqués depuis la berge du torrent jusqu'à la cote 1550 m par un talus d'éboulis fins pulvérulents localement à blocs ;
- d'un niveau de calcaires disloqués, surmontés de terrains d'éboulis et de moraines ; en arrière de la couronne et jusqu'à la cote 1710 m, ce niveau calcaire a une puissance de 10 m et est surmonté de schistes versicolores rouge et vert.

Le site de la cascade cote (1570 m) laisse voir le déplacement le long d'un plan de chevauchement des calcaires et schistes fortement biseautés (compartiment Sud Est).



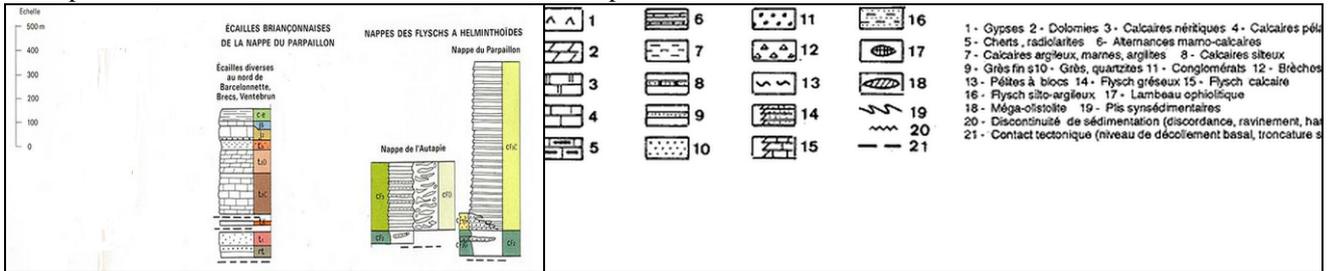
Ces différents niveaux sont l'objet d'intenses fracturations délimitant des dièdres identifiables dans les niveaux de calcaires et les niveaux de schistes sous-jacents dans lesquels peuvent être aussi notés des horizons à amygdales calcaires. Des plans de chevauchements soulignés par de horizons roussâtres peuvent aussi être observés ainsi que de nombreux écaillages (secteurs de la cascade et du thalweg en marge Ouest de l'éboulement).

Cet éboulement comme l'indique la carte géologique (extrait ci-dessous de la feuille Barcelonnette au 1/50 000 agrandi au 1/25 000) intervient dans un contexte d'instabilité de versant prononcé alimentant largement la fourniture en sédiments au torrent de Sanières.

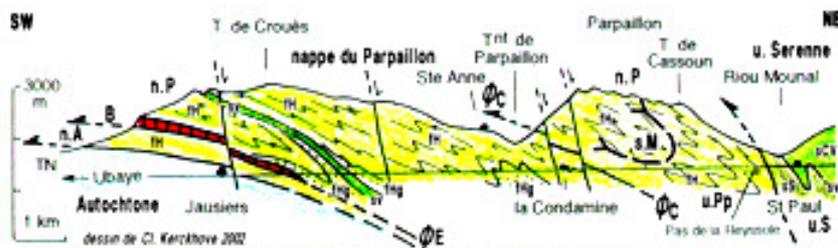
La particularité de cet éboulement toutefois est de connaître une activité continue depuis le 4 août 2013, en situation hydrique sèche. Les films réalisés montrent bien un "vélage" de la partie supérieure du talus au droit des niveaux schisteux avec dislocation des masses rocheuses encore cohérentes. Une régression de la couronne de décrochement est en cours avec des ouvertures de fissures 10 mètres en arrière de la marge Est en contrebas du sentier PR cote 1630 m. Des purges mobilisant schistes versicolores et éléments calcaires sont aussi attendues au droit de la couronne de décrochement en hémicycle vertical.



Extrait agrandi au 1/25 000 de la feuille Barcelonnette à l'échelle 1/50 000 (site Infoterre BRGM) avec position de l'éboulement et son extension prévisible ou en cours.



Logs stratigraphiques des terrains de la Nappe de Parpaillon (site Geol-Alp)



Coupe du synclinalisme de Jausiers, le long du cours de l'Ubaye, dessin de Cl. KERCKHOVE, 2002 (légende retouchée).
(seule la partie gauche de cette coupe correspond au paysage visible sur le cliché ci-dessus)

TN = Terres Noires autochtones (fenêtre de Barcelonnette) ; n.A = flyschs de la nappe de l'Autapie ; B = unités Briançonnaises et sub-Briançonnaises à la base de la nappe du Parpaillon (n.P)
u.S = unité de Serenne ; u.Pp = unité du Parpaillon proprement dite, ployée par le synclinal de Meyronnes (s.NE), dont les plus mineurs sont représentés de façon purement symbolique OC = chevauchement de la Condamine
sv = schistes versicolores, à la base des flyschs à Helminthoïdes (Bl, Blg) et des schistes de Serenne (sS)

Coupe interprétative du versant rive gauche de l'Ubaye (site Geol-Alp)

2.2.3. Analyse de l'éboulement et de son évolution

Actuellement, l'éboulement mobilise un compartiment impliquant des niveaux de schistes surmontés d'éboulis et moraines colonisés par des pins. Ce compartiment est en cours de dislocation et des chutes de blocs et des écoulements d'éboulis terreux s'écoulent depuis le rebord jusqu'au torrent de Sanières. Cette arrivée de matériaux a rapidement enseveli le barrage BA020 et comble le barrage BA016 situé à hauteur de la marge Est. Sur ce dernier ouvrage, il n'a pas été détecté de déformation en parement aval. Des blocs de calcaires ocrés issus de la niche de décollement parviennent également au torrent de Sanières par sa marge Ouest.

Le volume estimé de l'éboulement est de 30 000 m³ et concerne la partie supérieure du talus dominant la rive gauche du torrent de Sanières. Une surface de rupture plus profonde avec atteinte du fond de thalweg du torrent de Sanières est probable mais ne semble pas fonctionnelle le 19 septembre 2013 au vu :

- de l'absence de dommages au barrage BA016,
- de l'absence de fermeture du thalweg par la base de l'éboulis en rive gauche,
- de la libération des matériaux depuis le rebord supérieur du talus marquant la limite du toit des schistes.

Les eaux du torrent de Sanières trouvent un cheminement au travers des blocs éboulés et s'écoulent au niveau de la cuvette du barrage BA016.

Une régression en arrière de la marge Est est enclenchée et concernerait un volume de 15 000 m³ mais il n'est pas impossible que cette régression progresse vers le Nord-Est en direction du Ravin du Couano. En effet, les points GPS matérialisés sur le terrain le 19 août et considérés comme hors de la zone d'éboulement sont dépassés de plus de 2m par la fissure ouverte parallèle et en arrière de la marge Est.



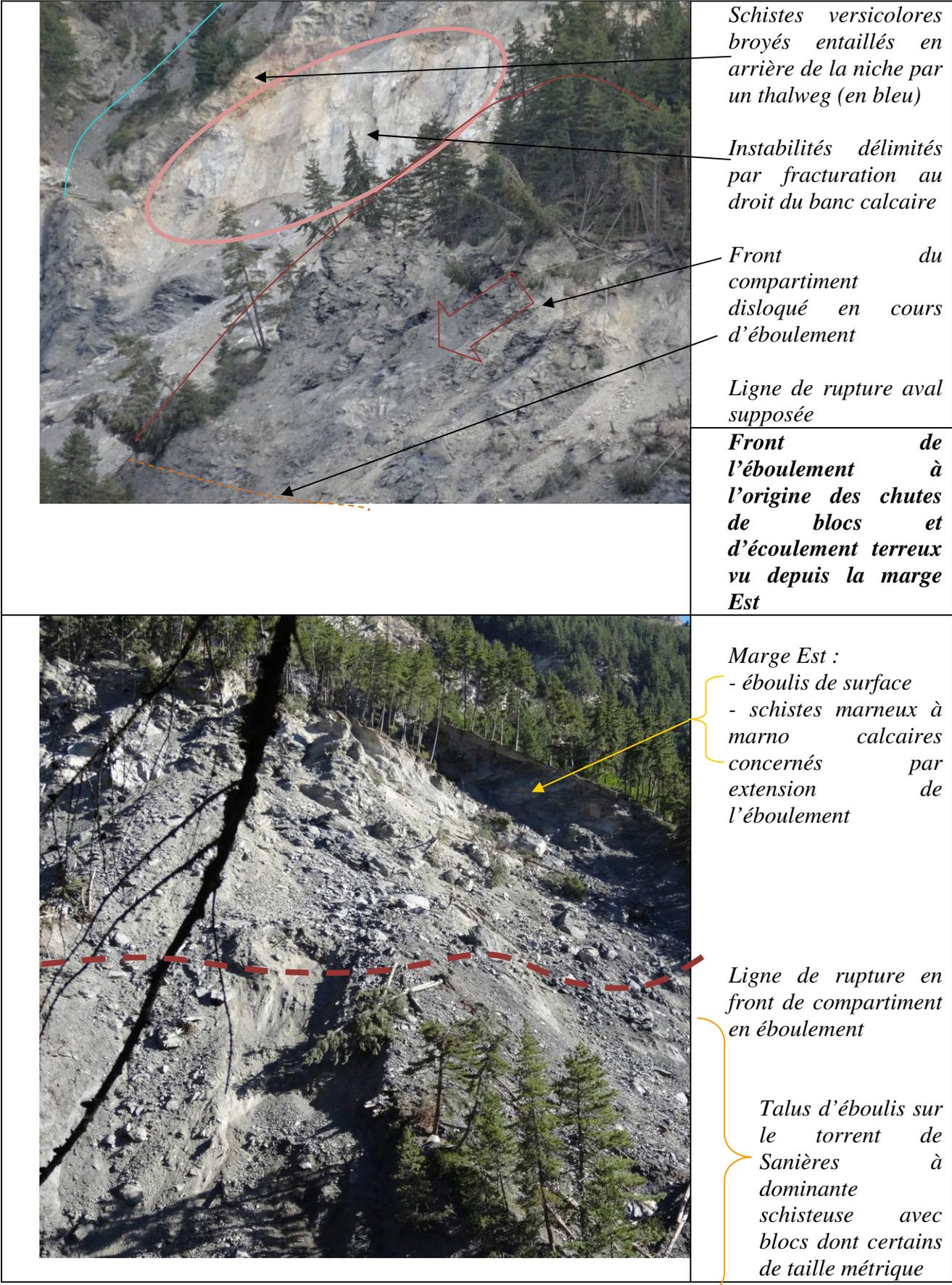
L'éboulement (en rouge) dans son contexte de versant bordé :

- par le thalweg (en bleu) en arrière de la niche de glissement et en marge Ouest,
- par le compartiment boisé délimité par une fissure ouverte parallèle à la marge Est



Depuis la marge Est, vue sur :

- le rebord d'éboulement actif, libérant des crachées d'éboulis de schistes disloqués ;
- le remplissage du thalweg du Torrent de Sanières par des blocs chutés de 200 à 500 l adossés à des blocs métriques anciens.



Schistes versicolores broyés entaillés en arrière de la niche par un thalweg (en bleu)

Instabilités délimités par fracturation au droit du banc calcaire

Front du compartiment disloqué en cours d'éboulement

Ligne de rupture aval supposée

Front de l'éboulement à l'origine des chutes de blocs et d'écoulement terreux vu depuis la marge Est

Marge Est :
 - éboulis de surface
 - schistes marneux à marno calcaires concernés par extension de l'éboulement

Ligne de rupture en front de compartiment en éboulement

Talus d'éboulis sur le torrent de Sanières à dominante schisteuse avec blocs dont certains de taille métrique



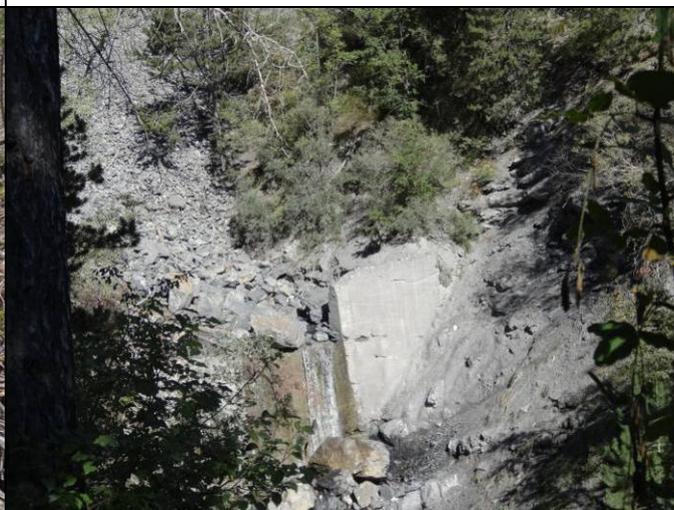
Vue frontale depuis la rive droite sur le talus d'éboulis avec amas schisteux anciennement glissés



Marge Ouest et niche d'affaissement du compartiment en éboulement



Eboulis terreux à pierrailles avec localement pinacle en glissement en direction du barrage BA016



Calage du pied d'éboulis au niveau du barrage BA016 avec arrivées de blocs chutés en pied



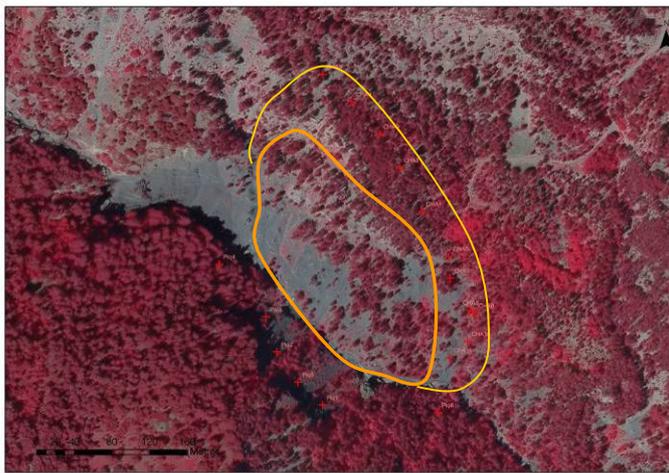
Vue rapprochée de la marge Est de l'éboulement constituée de schistes à amygdales calcaires surmontés d'éboulis minces



Fissures ouvertes de 20 à 40cm et profondes de plus de 10m en arrière et en parallèle au rebord de la marge Est depuis le levé de points GPS (19 août 2013)

2.2.4. Suivi de l'éboulement

Un relevé de points GPS réalisé de part et d'autre du sentier PR traversant la zone d'éboulement montre que la régression de l'éboulement est en cours. Une jonction avec le talweg d'arrière niche de décollement n'est pas encore réalisée. Cependant le point CHA5 au droit d'une combe herbeuse déversante dans la niche de l'éboulement est à proximité de la fissure ouverte en propageant en arrière de la marge Est jusqu'à une ravine parvenant à l'aval du barrage BA016.



Évolution régressive de l'éboulement :
visualisable en rive gauche du torrent de Sanières par
les points de levé GPS relevés le 19 août 2013 et localisé
aujourd'hui sur le compartiment découpé par une fissure
ouverte parallèle au rebord de la niche d'arrachement et
de la marge Est de l'éboulement

Eperon rocheux raviné émergeant du talus
d'éboulis en vis-à-vis du sentier rive droite pouvant
faire l'objet de mesure au distancemètre.

2.2.5. Impact sur les écoulement

Après l'éboulement, le lit présente une morphologie nettement différente, ce qui peut avoir des effets sur la fourniture en matériaux lors de la prochaine crue. Une première reconnaissance a été réalisée en décembre 2013, peu de temps après une crue significative du torrent (sans formation de lave torrentielle).

La photo suivante montre l'extrémité de la zone concernée par l'éboulement avec un dépôt et la restauration d'un lit alluvionnaire :



Photo 5 : Lit amont en décembre 2013.

Le comblement du lit par les matériaux apportés par le torrent permet d'éviter tout stockage d'eau et élimine de fait - en l'absence de nouvel éboulement - tout risque de rupture d'embâcle.

Dans la partie amont, les apports de l'éboulement sont très grossiers et "pavent" le lit. La crue de décembre 2013 a permis de colmater l'essentiel des matériaux et de rétablir, dans le lit amont, un écoulement de surface.

La photo suivante montre le lit dans ce tronçon :



Photo 6 : Chaos de blocs dans la partie supérieure en décembre 2013.

Une reprise par du charriage aurait ici un impact très limité. Par contre, le prélèvement d'une partie de ces blocs pour l'alimentation en matériaux grossiers du bourrelet d'une lave est très probable.

Cette zone d'apports plus granulaires se distingue par des volumes importants de matériaux et une forte remontée du lit. Ainsi, la première photo page suivante montre un secteur à forte pente (plus de 20 %). l'écoulement semble se produire presque intégralement en surface et les matériaux sont assez grossiers pour éviter une érosion pour les débits liquides ordinaires. Ce ne serait vraisemblablement pas le cas pour une forte crue liquide ou une lave torrentielle.

Cette zone à forte pente correspond à l'emplacement d'un barrage RTM en béton, aujourd'hui totalement recouvert mais probablement encore bien présent... et capable de limiter l'ampleur d'une reprise à ce niveau.

Plus en aval, la géologie de l'éboulement change nettement et - dans la partie centrale - des schistes fins sont disponibles en grandes quantités. La photo page suivante montre les derniers apports de schistes granulaires - avec localement une pente supérieure à 20 % - puis les apports de schistes noirs, très favorables à l'alimentation du corps de la lave.

La seconde photo page suivante montre le lit dans la partie centrale et doit être comparée à la photo de la page 15.

Elle montre évidemment un net remplissage du lit, une réduction de la section mais aussi une préservation de la morphologie générale.



Photo 7 : Limite aval des apports grossiers supérieurs en décembre 2013.



Photo 8 : Apports grossiers amont et partie centrale en décembre 2013.

Dans la partie centrale, les apports de schistes noirs, de granulométrie réduite sont prépondérants et seraient repris sans difficulté par un écoulement. L'écoulement est toujours souterrain dans cette zone, ce qui traduit deux phénomènes :

- ↻ Le colmatage des terrains se produit plutôt de l'amont vers l'aval et n'est pas encore effectif ici.
- ↻ Il est probable que des blocs soient présents en profondeur - comme dans la partie aval - et qu'ils présentent une forte porosité. Les matériaux fins - nettement visibles - correspondraient alors à une couverture qui s'est formée dans les phases moins actives de l'éboulement.

La photo suivante montre la partie aval de l'éboulement :



Photo 9 : Partie aval de la zone d'éboulement en décembre 2013.

Cette zone n'a connu aucun écoulement de surface depuis l'éboulement, ce qui explique l'absence d'érosion ou de dépôt et la persistance d'un profil en long très irrégulier.

À l'extrémité aval des apports de l'éboulement, le lit est pavé de blocs, ce qui illustre la capacité des éléments à aller d'autant plus loin qu'ils sont grossiers, mais aussi la faible activité dans cette zone après les éboulements initiaux, empêchant le recouvrement des blocs.

La photo suivante montre une partie du barrage RTM, dégradé mais apparemment totalement fonctionnel :



Photo 10 : Extrémité aval de la zone d'éboulement en décembre 2013.

2.2.6. Évolutions récentes

2.2.6.1. Observation de l'éboulement

Une seconde visite du site a été réalisée par M. Truche en juillet 2014. Les éléments ci-dessous sont extraits du compte rendu de cette visite :

Après des arrivées de blocs au talweg du torrent sur pratiquement tout le linéaire du pied de glissement et au travers desquels circule le torrent, des arrivées abondantes de matériaux fins se font maintenant à partir des deux marges Ouest et Est.

Au front du glissement se crée une étroiture en vis à vis d'un monolithe fracturé (cote 1450 m) et à son aval jusqu'au barrage BA017-B20.

Des niveaux de calcshistes noirs y arment le glissement mais commencent à céder et il est fort probable qu'un mouvement se fasse sur une surface de glissement profonde infra niveau talweg. Actuellement c'est un rapprochement progressif de la rive gauche vers la rive droite qui a lieu.

Si une rupture brutale intervenait elle larguerait au torrent un volume conséquent (100 000 m³ paraît réaliste). D'autant que la cicatrice de départ montre des signes de régression avec éboulement de gros blocs à partir du niveau de calcaire blanchâtre et du niveau ocré supérieur (cote > 1600 m). Un important coin de moraine est également entraîné et a comblé la contre pente qui existait entre la cicatrice de départ et le compartiment glissé.

La marge rocheuse Est présente un recul d'un quinzaine de mètres entre la cote 1600 m arrivée du sentier du Plateau des Jacinthe et la cote 1535 m fournissant des éboulis abondant commençant à déborder le BA016_B19 et empruntant même des talwegs plus à l'est.

2.2.6.2. Évolution du lit

Suite à la visite de décembre 2013, une seconde visite du lit a été réalisée par ETRM en juin 2014. Deux éléments - apparemment contradictoires - sont apparus :

- Une assez faible évolution du lit au droit de l'éboulement. Cela montre qu'il n'y a pas eu de mouvement de grande ampleur.
- Une activité permanente avec plutôt l'apport de fines dans la zone des schistes noirs.

Cette activité est effectivement observée dans la partie centrale, vers 1450 m d'altitude, comme indiqué ci-dessus.

Les photos suivantes permettent de mettre en évidence les principales évolutions, même s'il faut prendre en compte une réduction significative des débits liquides du torrent de Sanières entre les observations de décembre 2013 et celles de juin 2014.

À l'extrémité amont, où il s'agit presque exclusivement de gros blocs, il n'apparaît pas d'évolutions majeures.

Par contre, la zone active amont parait avoir apporté des matériaux très grossiers et rétréci le lit :



Photos 11 & 12 : Évolutions récente dans la zone active amont.

Comme indiqué par M. Truche, les évolutions du lit dans la partie centrale sont moins marquées même si des gros blocs sont descendus entre les deux visites, rétrécissant et pavant le lit :



Photos 13 & 14 : Apports de blocs dans la partie centrale.

Ce comblement du lit par les gros blocs est très net sur les photos suivantes :



Photos 15 & 16 : Dépôts de blocs récent et recouvrement du lit.

La partie aval montre finalement une évolution un peu moins marquée mais toujours significative :



Photos 17 & 18 : Évolutions récente dans la zone active aval.

Ces dernières photos suggèrent - peut être - un mouvement de type glissement de terrain dans les matériaux fins éboulés. Les arbres sont nettement moins nombreux dans la partie centrale de l'éboulement ce qui témoigne d'une évolution des terrains en place, à rapprocher des *niveaux de calcshistes noirs* qui *arment le glissement mais commencent à céder*.

2.2.6.3. Synthèse sur les évolutions récentes

Depuis l'automne 2013, l'éboulement qui avait été très actif et spectaculaire auparavant a moins évolué.

Cependant, l'analyse de détail montre une poursuite de l'activité y compris de la partie supérieure avec un apport de blocs dans le lit sur l'essentiel du linéaire.

Cette activité est complétée par une évolution du massif dans la zone basse de l'éboulement.

Au final, les apports de blocs ont fortement modifiés le lit et comblé une partie du lit à l'air libre qui apparaissait en 2013. La plupart des écoulements ordinaires sont aujourd'hui souterrains.

Cette poursuite de l'évolution du site suggère effectivement de nouveaux éboulements, éventuellement de grande ampleur.

2.3. Lit aval

Il s'agit ici de la partie du lit entre l'éboulement et le sommet du cône de déjection. En l'absence d'écoulement de crue, cette zone n'a pas connu d'évolution liée à l'éboulement de la Roche Plombée. La zone impactée par l'écoulement se termine brutalement au droit d'un barrage RTM judicieusement implanté en amont de petites gorges :



Photo 19 : Limite aval de l'impact actuel de l'éboulement.

Ce tronçon aval témoigne essentiellement du passage de la crue de 2003 puis de celle - moins importante - de 2013. En aval de la zone d'éboulement, le lit est étroit. Il a fait l'objet de longue date d'une correction par des barrages RTM. Dans l'ensemble, ceux-ci ne réduisent guère l'érosion des berges - qui est ponctuelle - mais évitent un enfoncement du lit et une dégradation plus générale. De plus, ils permettent une heureuse régulation du transport solide en cas d'apport exceptionnel.

Cette régulation est essentielle en aval d'un tel éboulement, les apports solides pouvant être particulièrement volumineux et brutaux lors des premières fortes crues.

La photo page suivante montre ces barrages dans le cours aval.

D'autre part, le torrent de Sanières reçoit en rive gauche son dernier affluent important : le Ravin de Couano. Il s'agit d'un petit bassin versant raide qui forme des laves torrentielles caractéristiques. La seconde photo de la page suivante montre le lit de ce torrent après la crue de 2003. Les volumes de laves de cet affluent sont très inférieurs - mais s'ajoutent - à ceux du torrent des Sanières.



Photo 20 : Barrages de régulation du transport solide en aval de l'éboulement.



Photo 21 : Écoulement de lave dans le Ravin de Couano en 2003.

Des érosions ponctuelles déstabilisent les versants de la vallée. Cependant celle-ci n'est pas très profonde et les matériaux fournis présentent une ampleur modérée. Le principal impact est la déstabilisation du chemin desservant la vallée et la zone de l'éboulement.

Progressivement, le fond de vallée s'élargit un peu et atteint une largeur de 20 à 40 mètres dont une partie seulement est actuellement utilisée par l'écoulement, les torrents à laves étant naturellement peu divaguants.

La photo suivante montre cette configuration encaissée en amont du village :



Photo 22 : Lit en amont du village.

Ce tronçon se termine par deux barrages assez récents et larges dont la vocation aurait pu être la formation d'une plage de dépôt. L'ouvrage le plus aval était vraisemblablement destiné à la mise en place de grilles mais n'en est pas équipé, ce type d'ouvrage étant difficilement compatible avec l'écoulement de laves torrentielles.

En aval de cet ouvrage grille, la vallée est de moins en moins profonde et l'arrivée au sommet du cône de déjection est brutale.

Cette transition se caractérise par une forte réduction de la profondeur du lit majeur (qui reste assez marqué en amont pour exclure un débordement) et un rétrécissement sensible comme le montre la photo suivante :



Photo 23 : Transition entre le pied de versant et le cône de déjection.

Ce point montre un changement radical de la configuration du lit :

- En amont, les berges sont hautes et la pente transversale est dirigée vers le lit. Un éventuel débordement y retournerait naturellement.
- En aval, la hauteur de berge est plus réduite (et découle généralement de la hauteur de digue) et un débordement aurait tendance à s'éloigner du lit sous l'effet d'une pente transversale défavorable. Il s'agit de la structure classique d'un cône de déjection qui permet à l'écoulement de s'étaler très largement. Cette situation est particulièrement marquée en rive gauche où l'écoulement pourrait atteindre une partie du chef lieu de Jausiers.

La figure suivante montre un profil transversal typique dans la partie amont où le lit est encore très encaissé :

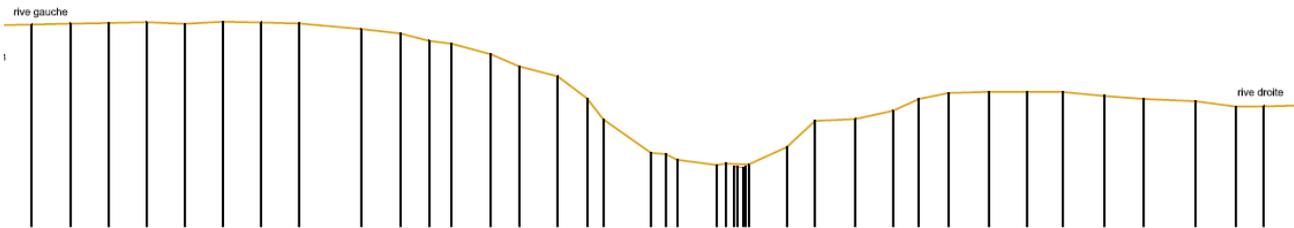


Figure 10 : Profil transversal (P12) correspondant aux gorges.

À l'inverse, le profil transversal suivant correspond au sommet du cône de déjection, avec une dépression très marquée en rive gauche (et un risque d'écoulement jusqu'aux habitations de Jausiers) :



Figure 11 : Profil transversal (P17) correspondant au cône de déjection.

La dépression est actuellement beaucoup plus marquée en rive gauche, la partie centrale (où sont implantés les villages) étant nettement plus haute. Une dépression du même type est observable en rive droite mais elle est nettement plus éloignée du lit actuel et le risque d'écoulement y est aujourd'hui marginal.

3. IMPACT PRÉVISIBLE DE L'ÉBOULEMENT

3.1. Éboulement

Dans l'état actuel, l'éboulement a apporté des volumes de matériaux importants dans le lit. La conséquence de la fourniture de matériaux serait double :

- L'érosion directe des matériaux dans le lit, y compris les berges rapprochées. Il est évidemment difficile de connaître le volume correspondant par manque de données topographiques avant et après l'éboulement. Il apparaît cependant que ce volume est relativement limité et vraisemblablement inférieur à 10 000 m³.
- La fourniture de matériaux depuis les dépôts en rive gauche. En effet, ceux-ci sont en limite de stabilité et un enfoncement du lit pourrait mobiliser des matériaux sur toute la partie inférieure du versant avec un effet vraisemblablement défavorable sur sa stabilité. Le volume potentiellement mobilisable est très supérieur à celui qui est dans le lit mais cette mobilisation ne serait que partielle durant la crue, la cohésion des matériaux permettant une stabilité temporaire.

Il est difficile de connaître l'évolution de la zone d'éboulement et il paraît nécessaire de prendre en compte deux situations :

- ↻ L'état actuel de l'éboulement, en anticipant une probable poursuite de la fourniture de matériaux - préférentiellement grossiers - dans le lit.
- ↻ Des apports plus importants, voir plusieurs fois supérieurs au volume déjà éboulé. Dans un tel cas, il est illusoire à ce stade de définir définitivement les travaux et la gestion du site pour un scénario qui est - très - mal connu et dont l'occurrence n'est pas assurée. Par contre, il paraît judicieux de prendre en compte une gamme de scénarios et de proposer une gradation dans la gestion du site en anticipant éventuellement des interventions de grande ampleur.

Dans l'état actuel, la rupture d'embâcle est exclue, le lit étant engravé en amont du glissement et un stockage d'eau y est impossible. Une telle rupture est favorisée par trois caractéristiques :

- ↻ Un barrage haut et étroit dans le lit, constitué de matériaux plutôt fins. Une telle configuration ne peut être exclue en cas de nouvel éboulement, même si elle paraît très peu probable, les matériaux étant généralement grossiers et très perméables. En cas de barrage aux caractéristiques géométriques défavorables, une évacuation immédiate du cône de déjection est à envisager avec une surveillance de la circulation sur la RD 900.
- ↻ Un barrage imperméable permet de constituer rapidement un stockage d'eau en amont. On observe plutôt sur l'ensemble du remblai lié à l'éboulement des terrains très perméables, ce qui retarderait le remplissage d'une retenue en amont. Évidemment, un colmatage par les fines va se produire, mais la retenue serait alors vraisemblablement - au moins pour l'essentiel - atterrie.
- ↻ Un stockage d'un volume d'eau important en amont. Ici, la géométrie du site réduit ce risque car le lit est étroit et présente une forte pente. Le stockage ne présenterait qu'un volume d'eau limité, ce qui rend difficile l'érosion d'un barrage et en limite les conséquences.

Au final, le risque de formation d'une débâcle brutale paraît peu probable mais suivrait vraisemblablement de peu un nouvel éboulement particulièrement favorable à la formation d'un barrage significatif.

Le départ en masse des matériaux déposés en pied de glissement paraît peu probable :

- Les matériaux sont aujourd'hui perméables et limitent les risques d'une saturation des terrains. De plus, ils sont très hétérogènes, ce qui ne facilite pas un départ en masse.
- La zone de dépôt en pied d'éboulement est relativement longue et surtout présente une pente moyenne modérée. La mise en mouvement des matériaux avec une aussi faible pente imposerait des caractéristiques mécaniques trop dégradées pour être probables.

Une mise en mouvement d'ensemble paraît exclue. Par contre, des mouvements locaux, dans les zones particulièrement pentues (et évidemment sur le versant rive gauche) pourraient se produire, avec des conséquences essentiellement locales. Aucun indice de tels mouvements n'est visible à la fin d'un printemps et d'un début d'été plutôt humides, ce qui montre qu'il est aujourd'hui peu probable. Par contre, la poursuite du chargement de ce dépôt par les éboulements provenant de l'amont peut conduire à une dégradation de la stabilité du pied de versant.

Ce type de phénomène serait d'ampleur modérée et correspondrait à des périodes humides où le risque de lave torrentielle paraît nettement plus préoccupant.

3.2. Reprise des matériaux

Il s'agit ici d'appréhender l'évolution du lit et du transport solide en rapport avec l'éboulement afin de préciser les impacts en aval. Une distinction est évidemment indispensable en fonction du type de phénomène rencontré.

3.2.1. Phénomène de charriage

Il s'agit du cas - non prépondérant sur le torrent de Sanières - de l'arrivée d'une crue liquide en amont de l'éboulement. Cela correspond à la plupart des crues fréquentes qui ne parviennent pas à former de lave torrentielle dans le bassin versant. La période de retour de tels phénomènes est de seulement quelques années, les phénomènes les plus intenses formant des laves torrentielles.

Le transport solide par charriage présente une forte capacité à lisser la pente du lit. Or, celle-ci est très irrégulière au pied de l'éboulement. Cependant, une crue modérée en charriage ne déplace que difficilement des blocs de plus d'une tonne. Ainsi, deux tendances doivent être prises en compte :

- ↻ Un lissage du profil en long,
- ↻ Une résistance des secteurs de blocs avec un mouvement de ceux-ci permettant la formation d'un pavage du lit et d'une réduction de l'érosion. Pour un tel phénomène, la poursuite actuelle de l'éboulement, en apportant des blocs dans le lit, est plutôt favorable et réduira la capacité d'érosion dans le lit.

Ainsi, un phénomène de charriage pourrait mobiliser des volumes modérés de matériaux et ne permettrait qu'un lissage très partiel de la pente au droit du glissement. Le dépôt de matériaux se produirait dans les zones de replats et entre les blocs. À l'image de la petite crue de décembre 2013, une telle crue conduirait vraisemblablement à un colmatage du lit.

En aval, le transport solide pourrait être localement très intense mais se régulerait vraisemblablement entre les barrages existants. Ce lissage du transport solide devrait permettre d'éviter un dépôt massif sur le cône de déjection, au moins à l'échelle d'un phénomène. Il est possible - mais peu probable - que le dépôt cumulé de matériaux réduise significativement la section du lit mais - dans un tel cas - des curages pourront être réalisés, le phénomène nécessitant la succession de plusieurs crues pour être menaçant.

Une conséquence de la fourniture en matériaux exceptionnelle peut être la formation de lave torrentielle au droit de l'éboulement. La fourniture de matériaux fins et la forte pente favorisent ce type d'évolution. La formation d'une lave torrentielle paraît improbable à l'extrémité amont de l'éboulement mais sa probabilité s'accroît progressivement en allant vers l'aval, particulièrement dans la partie centrale où les schistes fins sont très représentés dans le lit.

Les phénomènes se rapprocheraient alors de ceux rencontrés dans le cas des laves torrentielles (voir paragraphe suivant), mais vraisemblablement avec une ampleur moindre, les apports amont étant beaucoup plus faibles. Les écoulements de lave dans le lit aval ne seraient donc pas plus importants dans ce cas, mais ils seraient plus fréquents.

3.2.2. Écoulement de lave torrentielle

3.2.2.1. Fonctionnement antérieur

Les écoulements de laves torrentielles constituaient déjà le phénomène prépondérant sur le torrent de Sanières tant en terme de hauteur et de débit que de volume de matériaux transportés.

Avant l'éboulement, le secteur de l'éboulement était déjà une zone de fourniture importante de matériaux avec, vraisemblablement, un affouillement supérieur au mètre lors de la crue de 2003. Ainsi, la photo suivante montre le lit en 2004, juste après cette forte crue :



Photo 24 : Reprise des matériaux lors de la crue de 2003.

Cette photo, comme celles présentées au paragraphe 2.1 page 13, montre :

- Une reprise des matériaux dans le lit avec des berges instables.
- Le blocage du lit par les blocs ou le substratum, ce qui limite fortement l'érosion de matériaux. Il est cependant probable que quelques blocs aient été emportés par la lave.
- Des apports depuis les éboulis rive gauche qui rechargent le lit pendant et après la crue, permettant de restaurer le volume de matériaux mobilisables dans cette zone. Ce volume dépend de l'activité du glissement, de l'ampleur des érosions mais aussi du délai entre deux laves torrentielles.

Il est important de noter que l'ampleur de l'érosion est relativement limitée et qu'il ne s'agit pas d'une reprise intégrale de tous les matériaux disponibles.

3.2.2.2. Effet des apports de l'éboulement actuel

Dans l'état actuel, le fond du lit n'a subi aucun écoulement significatif depuis l'éboulement. Il est donc particulièrement vulnérable car aucun pavage n'a pu se former.

Une érosion dans cette zone - et un remaniement partiel des matériaux du fond - est donc probable dès qu'une lave sera assez puissante pour parcourir l'ensemble de la zone. Une érosion concernerait quatre types de matériaux actuellement dans le lit :

- Des matériaux fins érodés préférentiellement dans la zone centrale. Ils alimenteraient le corps de la lave et en augmenteraient le volume. L'effet de cet apport sur la rhéologie est cependant difficilement prévisible.
- Des blocs pourraient alimenter le bourrelet frontal de la lave. La plupart des blocs actuellement dans le lit présentent un poids de quelques tonnes "seulement" et pourrait facilement être emportés sans accroître significativement la section d'écoulement. Notons que ces blocs, lorsqu'ils sont en contact entre eux, peuvent constituer un pavage local, comme le montre la photo précédente. La résistance de ce pavage n'est pas quantifiable ni même constante dans le temps.
- Les très gros blocs (plus de 10 tonnes) sont très rares. Ils pourraient être transportés "facilement" par la lave torrentielle. Ils présentent une section suffisante pour causer des dégâts aux ouvrages et surtout une obstruction du lit dans les zones les plus étroites en aval.
- Les arbres sur les cônes d'éboulis sont rares. Ils présentent un volume marginal dans le lit actuel. Cette situation favorable découle vraisemblablement de l'activité érosive déjà importante avant 2013. La formation d'un bourrelet frontal de grande ampleur par les arbres apportés par l'éboulement paraît très improbable ici.

Il apparaît que la zone d'éboulement n'est pas significativement différente des zones d'érosion situées plus en amont dans le bassin versant : la reprise des apports d'éboulement par les laves torrentielles fait partie du fonctionnement "normal" d'un torrent tel que le torrent de Sanières.

La principale différence est ici la proximité de la zone de fourniture en matériaux avec le sommet du cône de déjection qui ne permet pas une régulation importante du transport solide.

3.3. Autres sites "comparables"

3.3.1. Objectifs

Il paraît ici intéressant de prendre en compte le comportement induit par un éboulement de grande ampleur sur d'autres sites. Ils sont évidemment tous différents du torrent de Sanières mais permettent de cerner les différents comportements prévisibles.

En règle générale, il s'agit de sites présentant un volume éboulé nettement supérieur aux 30 000 m³ estimés ici. Les trois cas particuliers sont présentés ici par ordre chronologique.

3.3.2. Nant Saint Claude

Le Nant Saint Claude se trouve sur la commune de Sainte Foy (Savoie). Il prend sa source à la crête frontalière, à la Louïe Blanche, et se jette dans l'Isère au dessous du hameau du Champet. Son bassin versant présente une superficie de 48 km².

Au début du XIX^{ème} siècle, avant l'éboulement de la Molluire, le Nant Saint Claude transportait relativement peu de matériaux. Les matériaux provenant du recul des glaciers, se déposaient dans la partie supérieure. A l'aval, son bassin versant est taillé dans des matériaux relativement résistants à l'érosion, et génèrent donc un charriage modéré. Les dégâts causés par les inondations précédant l'éboulement étaient rares et de peu d'importance.

L'éboulement de la Molluire, qui a débuté en 1877, a donné un caractère franchement torrentiel à ce ruisseau.

En 1877, la montagne du Bec Rouge, ou de la Molluire, s'écroule en écrasant, entre autres, cinq maisons du hameau du Miroir. L'éboulement provenant du décrochement d'une falaise semble être stabilisé aujourd'hui.



Figure 12 : Dépôt du Nant St Claude

En 1882, des fortes pluies grossissent le Nant Saint Claude, ce qui entraîne un affouillement du pied du versant créant ainsi une "lave torrentielle" d'après les archives du service RTM.

L'année suivante, au mois de juin, lors de la fonte des neiges, une crue importante apporte une grande quantité de matériaux dans le hameau du Champet (à la confluence avec l'Isère), détruisant plusieurs maisons et obligeant des familles à quitter le village (photo précédente). En septembre, une nouvelle "lave" finit de détruire le hameau, ne laissant apparaître plus que des cheminées.

Depuis lors, le Nant Saint Claude continue à affouiller le pied du versant et à charrier les matériaux jusqu'au lit de l'Isère mais l'érosion a été considérablement ralentie grâce à la construction de barrages RTM dans la zone de reprise.

La photo suivante montre la zone de reprise après construction des barrages :



Figure 13 : Zone de reprise au pied de l'éboulement.

<i>Similitudes avec le torrent des Sanières</i>	<i>Différences avec le torrent des Sanières</i>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pentes comparables dans la zone d'apport de l'éboulement. ➤ Pas de possibilité de régulation entre la zone d'apport et le cône de déjection. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Volume de l'éboulement très supérieur. ➤ Transport solide réduit et absence de laves torrentielles avant l'éboulement ce qui explique une modification plus radicale du fonctionnement du torrent. ➤ Bassin versant beaucoup plus étendu avec une forte capacité de transport par charriage.

Cet éboulement a conduit aux évolutions suivantes :

- Des apports solides très majorés avec une pente d'équilibre nettement plus forte.
- Une succession rapide de crues importantes dont le cumul a conduit à un dépôt très massif en quelques années.

3.3.3. Ravoire de Pontamafrey

La Ravoire de Pontamafrey draine un bassin versant de 11.7 km² en rive droite de l'Arc (Savoie). Son cours peut être découpé grossièrement en trois tronçons :

- Le bassin de réception amont qui concentre l'essentiel des apports solides. C'est notamment le cas du glissement de Bon Attrait, encore actif, qui est à l'origine de la crise de 1965. Les apports - en grande partie par éboulement - ont été de plusieurs millions de m³.
- Les gorges rocheuses où le phénomène prépondérant est le transit. Les apports solides y sont localisés et relativement peu importants. Une zone alluvionnaire - au pied de Montpascal - peut permettre une régulation du transport solide. Une plage de dépôt y a été récemment implantée.
- Le cône de déjection qui concentre l'essentiel des enjeux. Le lit est alors canalisé sur la totalité du linéaire.

Avant l'éboulement, la Ravoire de Pontamafrey était déjà un torrent particulièrement actif formant de puissantes laves torrentielles. Il avait fait l'objet d'une correction sur l'ensemble de son linéaire à faible pente.

En 1965, la déstabilisation du secteur de Bon Attrait a profondément modifié les phénomènes avec un apport considérable de matériaux dans le lit. Le fonctionnement a radicalement changé avec la formation de laves torrentielles, sans débit liquide élevé.

Ce phénomène - probablement dû à un tassement des gypses - s'est stabilisé sous le double effet de l'arrêt du tassement et de la construction d'un grand barrage qui a stabilisé le pied de cette zone en mouvement. Ce barrage a permis la remontée du niveau du lit de plus d'une dizaine de mètres.

La photo ci-contre montre la zone d'éboulement avec le grand barrage construit après 1965.



Figure 14 : Zone de fourniture de Bon Attrait.

La figure suivante regroupe l'ensemble des crues importantes (interruption de la circulation sur les routes ou les voies ferrées) qui se sont formées dans la Ravoir de Pontamafrey à partir des données existantes. Évidemment, l'ampleur des crues correspondantes est variable dans le temps à cause de l'évolution des ouvrages :

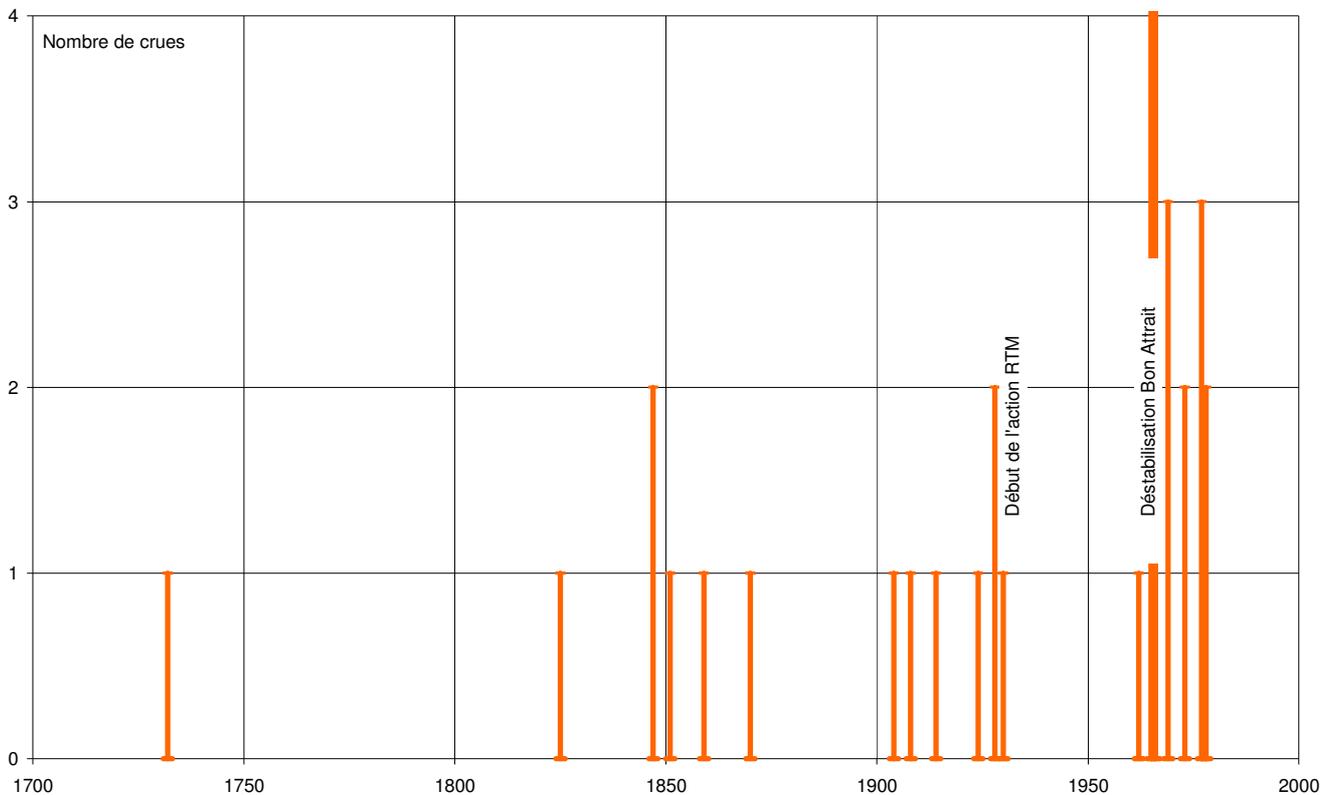


Figure 15 : Répartition des crues de la Ravoir de Pontamafrey.

Cet historique met en évidence deux types de fonctionnement :

- Un fonctionnement «normal» avec une contribution de l'ensemble du bassin versant à la formation de laves torrentielles. Bien évidemment, la faible fréquence des crues entre 1732 et 1825 découle plus d'un moindre report dans les archives que d'une période de calme de la Ravoir de Pontamafrey.
- Un fonctionnement exceptionnel correspondant à la déstabilisation de 1965. S'il est relativement facile de dater l'apparition du phénomène, la fin de son influence est beaucoup plus complexe à identifier. En effet, il est difficile de savoir si - par exemple - l'ensemble de crues de 1978 est directement lié à cette déstabilisation où s'il correspond à un phénomène plus ordinaire.

Entre 1965 et 1970, une interminable série de laves torrentielles auraient apporté près de 600 000 m³ sur le cône de déjection. Les laves n'étaient apparemment pas particulièrement puissantes, mais tellement fréquentes que les volumes - et les engravements dans la partie basse - ont été considérables. Ce volume est à rapprocher de l'estimation de 150 000 m³ pour une lave centennale dans l'état actuel.

La photo suivante montre le comblement du lit de l'Arc et le débordement dans le village en 1966 :



Figure 16 : Engravement généralisé à Pontamafrey en 1966.

<i>Similitudes avec le torrent des Sanières</i>	<i>Différences avec le torrent des Sanières</i>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torrent très actif et formant usuellement de puissantes laves torrentielles avant la déstabilisation. ➤ Correction torrentielle sur l'ensemble du linéaire. ➤ Bassin versant de taille comparable. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pente très forte dans la zone d'apport de l'éboulement. ➤ Volume de l'éboulement très supérieur. ➤ Bassin versant réduit au niveau des apports. ➤ Possibilité de régulation entre la zone d'apport et le cône de déjection, le torrent suivant un long talweg "alluvionnaire".

Cet éboulement a conduit aux évolutions suivantes :

- Pas d'évolution de la nature des écoulements ni des caractéristiques des laves torrentielles sur le cône de déjection.
- Une succession rapide de crues importantes dont le cumul a conduit à un dépôt considérable en quelques années avec obstruction de la rivière principale.
- Une diminution progressive de la fréquence des laves, largement facilitée par la construction de grands ouvrages.

3.3.4. Saint Antoine à Bourg d'Oisans

Ce bassin versant draine une partie de falaise à l'Ouest de Bourg d'Oisans (38). Il ne couvre que 87 ha avec des pentes très fortes. C'est sur son cône de déjection que le centre historique de Bourg d'Oisans est construit.

En 1965, un premier éboulement d'environ 70 000 m³ s'était produit. Il ne s'agissait pas d'un phénomène nouveau, d'autres éboulements ayant déjà alimenté le torrent par le passé. Celui de 1965 avait donné lieu à une succession de laves torrentielles (4 crues en 1965, 2 en 1966, une en 1967, 1968 et 1970).

En janvier 1998, un éboulement rempli l'ensemble du talweg avec un volume d'apport proche de 200 000 m³.

Cet éboulement, plus volumineux, est descendu plus bas dans le talweg, presque jusqu'au sommet du cône de déjection.

La photo ci-contre montre la partie aval du dépôt qui recouvre tout le talweg.



Figure 17 : Zone de dépôt sur le St Antoine.

En juin 1998, soit 6 mois après l'éboulement, une première lave s'est produite avec des caractéristiques très classiques, comme le montre cette photo de la zone de dépôt en aval :



Figure 18 : Zone de dépôt de la lave de juin 1998 sur le St Antoine.

Suite à cette première crue post-éboulement, d'autres crues se sont succédé les années suivantes notamment en 1999, 2000 et 2005.

La formation de lave torrentielle est considérablement facilitée par l'éboulement mais avec des phénomènes classiques et d'ampleur modérée. La photo page suivante montre le retour à un talweg formé par les laves torrentielles, y compris dans la zone d'éboulis. Le torrent retrouve peu à peu un fonctionnement normal.

<i>Similitudes avec le torrent des Sanières</i>	<i>Différences avec le torrent des Sanières</i>
➤ Torrent très actif et formant usuellement des laves torrentielles.	➤ Pente très forte dans la zone d'apport de l'éboulement.
➤ Éboulement remplissant le talweg.	➤ Bassin versant réduit au niveau des apports.
➤ Pas de régulation en amont du cône de déjection.	➤ Volume de l'éboulement supérieur.



Figure 19 : Crue de 1999 sur le St Antoine.

Cet éboulement a conduit aux évolutions suivantes :

- Pas d'évolution de la nature des écoulements ni des caractéristiques des laves torrentielles sur le cône de déjection.
- Une succession rapide de crues importantes et retour à un fonctionnement plus classique.
- Reprise de l'activité torrentielle par de nouveaux éboulements.

3.3.5. Synthèse

Ces données historiques dans des configurations assez tranchées conduisent aux remarques suivantes :

- Un apport massif de matériaux n'a un effet sensible sur la nature des phénomènes de crue que dans le cas d'un torrent présentant initialement un faible transport solide, comme le Nant S^t Claude. Une évolution du type de transport solide paraît exclue dans le cas du torrent de Sanières, déjà très actif.
- Une lave torrentielle se forme à la "première occasion", dès que le débit est suffisant. Ce constat s'explique par la présence de matériaux facilement mobilisables dans le lit.
- Chaque lave torrentielle ne paraît pas exceptionnellement forte. En effet, il est très improbable - mais pas exclu - que la première lave (a priori la plus exceptionnelle) corresponde à des précipitations présentant une période de retour très élevée. Notons que dans le cas du torrent de Sanières, le volume de l'éboulement (30 000 m³) est pour le moment très inférieur à celui d'une crue exceptionnelle (100 000 m³).
- Lorsque le stock de matériaux n'est pas renouvelé, le torrent procède à un lent retour à l'équilibre avec une raréfaction progressive des laves torrentielles. La construction d'ouvrages - comme sur la Ravoire de Pontamafrey - peut d'accélérer cette "normalisation".
- Des dégâts sont essentiellement liés à la succession de crues et à l'engrèvement cumulatif qui en découle. **Une gestion des dépôts très réactive est alors nécessaire.**

3.4. Capacité du lit

3.4.1. Objectif

Il s'agit ici d'analyser le lit sur le cône de déjection afin de mettre en évidence les points faibles qui pourraient résulter des conséquences des apports liées à l'éboulement. Deux points doivent être pris en compte :

- L'accroissement de la fréquence des laves et donc un cumul des dépôts en l'absence d'intervention.
- L'augmentation de section des écoulements qui pourrait découler soit de la présence de très gros blocs apportés au torrent près du sommet du cône de déjection, soit éventuellement d'un accroissement de la concentration en matériaux qui pourrait accroître la contrainte de cisaillement critique et donc la hauteur de lave. Ce point est mal établi et échappe à une quantification.

Il est illusoire ici de s'attacher à une période de retour fixée où de ne considérer que l'état actuel. En effet, l'éboulement reste actif et son influence est en perpétuelle évolution. Ainsi, un bloc de plusieurs dizaines de tonnes, "facilement" transportable, pourrait tomber dans le lit dans les prochaines semaines et modifier radicalement la section nécessaire à l'écoulement des crues. Évidemment, il devrait être immédiatement miné en cas d'arrêt dans le lit en aval de l'éboulement.

Ainsi, il s'agit essentiellement d'analyser le fonctionnement du torrent par rapport à l'état actuel et de résorber les points de premier débordement. En cas d'évolution importante de la zone d'éboulement, une analyse complémentaire sera nécessaire.

3.4.2. Sections et points critiques

Le levé topographique de l'ensemble du cône de déjection a été réalisé et conduit au levé de 69 profils transversaux. À partir des profils les plus représentatifs, les paramètres essentiels de l'écoulement ont été levés :

- Section avant débordement en distinguant les débordements vers la rive droite de ceux vers la rive gauche. Pour les ponts, la section retenue est celle correspondant à la sous poutre.
- Profondeur du lit entre le sommet de berge (le plus bas) et le lit.

D'autre part, la largeur équivalente en base a été calculée en considérant un fruit unitaire (géométrie correspondant à la même section et la même profondeur).

Le graphique suivant montre l'évolution de la profondeur et de la section du lit :

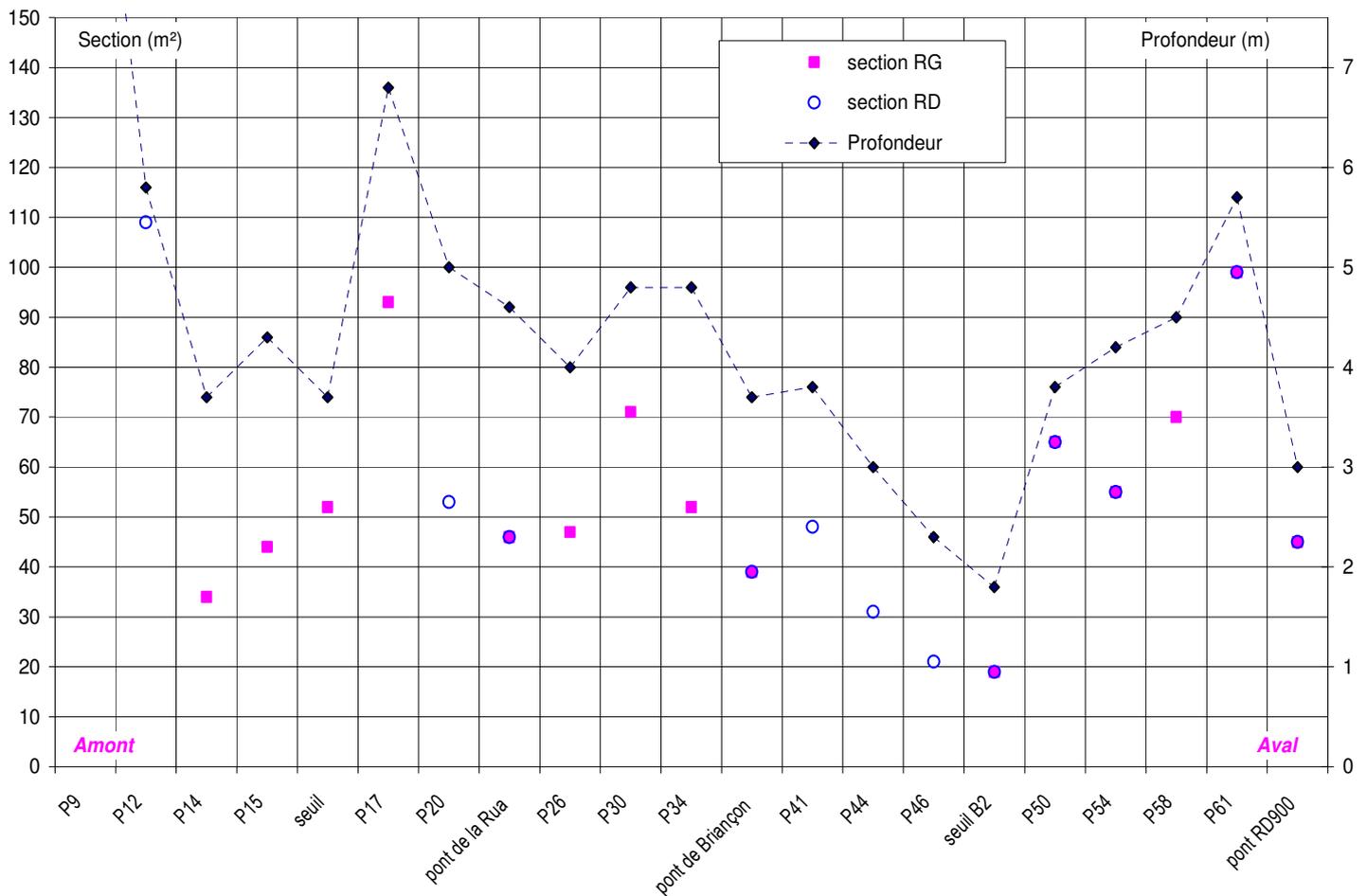


Figure 20 : Profondeur et section du lit avant débordement.

Ce graphique permet de mettre en évidence les secteurs suivants :

- En amont de la Rochette, le torrent est encore entaillé dans le pied de versant. La section est très importante (le débordement sur la piste longeant le torrent n'a pas été considéré) et il n'y a pas de risque de débordement.
- Au droit de la Rochette (P14), la section diminue et devient inférieure à 35 m². Il s'agit de la conséquence d'une étonnante avancée (protégée par un mur en béton) de la rive droite. La profondeur du lit n'atteint pas 4 mètres. Il s'agit d'un point critique dans la mesure où la section est beaucoup plus faible qu'en amont. Un débordement en rive gauche n'aurait qu'un impact limité au droit de ce profil, mais - peu en aval - il menacerait une partie des habitations de Jausiers.
- En aval, la section augmente faiblement jusqu'au seuil, puis nettement en aval.
- Le pont de la Rua présente un relatif point faible avec une section de 45 m² mais - heureusement - une profondeur du lit qui dépasse 4.5 mètres.
- En aval, le lit présente une profondeur et une section assez régulière jusqu'au pont de Briançon.

- De nouveau le pont de Briançon constitue un point faible avec une section qui est inférieure à 40 m². De plus, ce pont ne présente pas d'entonnement satisfaisant notamment en rive gauche.
- Le seuil B2, en aval du pont de Briançon, impose une réduction progressive de la profondeur du lit et de sa section. Un débordement est ici très probable mais aurait vraisemblablement des conséquences modérées.
- En aval du seuil, la section est très confortable, notamment grâce à un élargissement du lit. Cette section diminue pour s'approcher de 40 m² sous le pont de la RD 900. Notons que ces valeurs correspondent au niveau du lit immédiatement après un curage. Ainsi, la section sous le pont est de 45 m² mais elle était de seulement 30 m² avant curage, cette zone connaissant une tendance au dépôt chronique.
- En aval du pont de la RD 900, les enjeux disparaissent et la géométrie du lit évolue considérablement en fonction des crues respectives de l'Ubaye et du torrent de Sanières mais aussi des curages. La principale contrainte est alors d'assurer une pente suffisante pour réduire le dépôt sous le pont de la RD 900.

Ainsi, cinq points critiques se dégagent :

- Le rétrécissement en amont de la Rochette.
- Les trois ponts.
- La réduction de section en aval du pont de Briançon et jusqu'au barrage B2 liée au seuil trop haut.

3.4.3. Risque de dépôt

Au contraire des écoulements par charriage, le dépôt de lave torrentielle est difficilement prévisible, une réduction de pente conduisant d'abord à un accroissement de la hauteur d'écoulement et pas forcément à un dépôt de matériaux. Trois phénomènes peuvent accroître la tendance au dépôt :

- La réduction de pente, avec un lien qui n'est pas direct.
- L'accroissement de largeur du lit qui conduit à un étalement et à un dépôt partiel. Cependant, cet étalement conduit à un auto-endiguement et la lave peut poursuivre son cheminement une fois qu'elle a restauré un lit avec une largeur adaptée.
- L'obstruction aval qui génère un dépôt régressif en amont. Il est d'ampleur limité dans le cas des laves torrentielles.

La figure suivante montre le profil en long du torrent sur son cône de déjection levé à l'occasion de l'étude de 2003. Elle indique à la fois le profil en long et la pente du lit sur l'ensemble du linéaire :

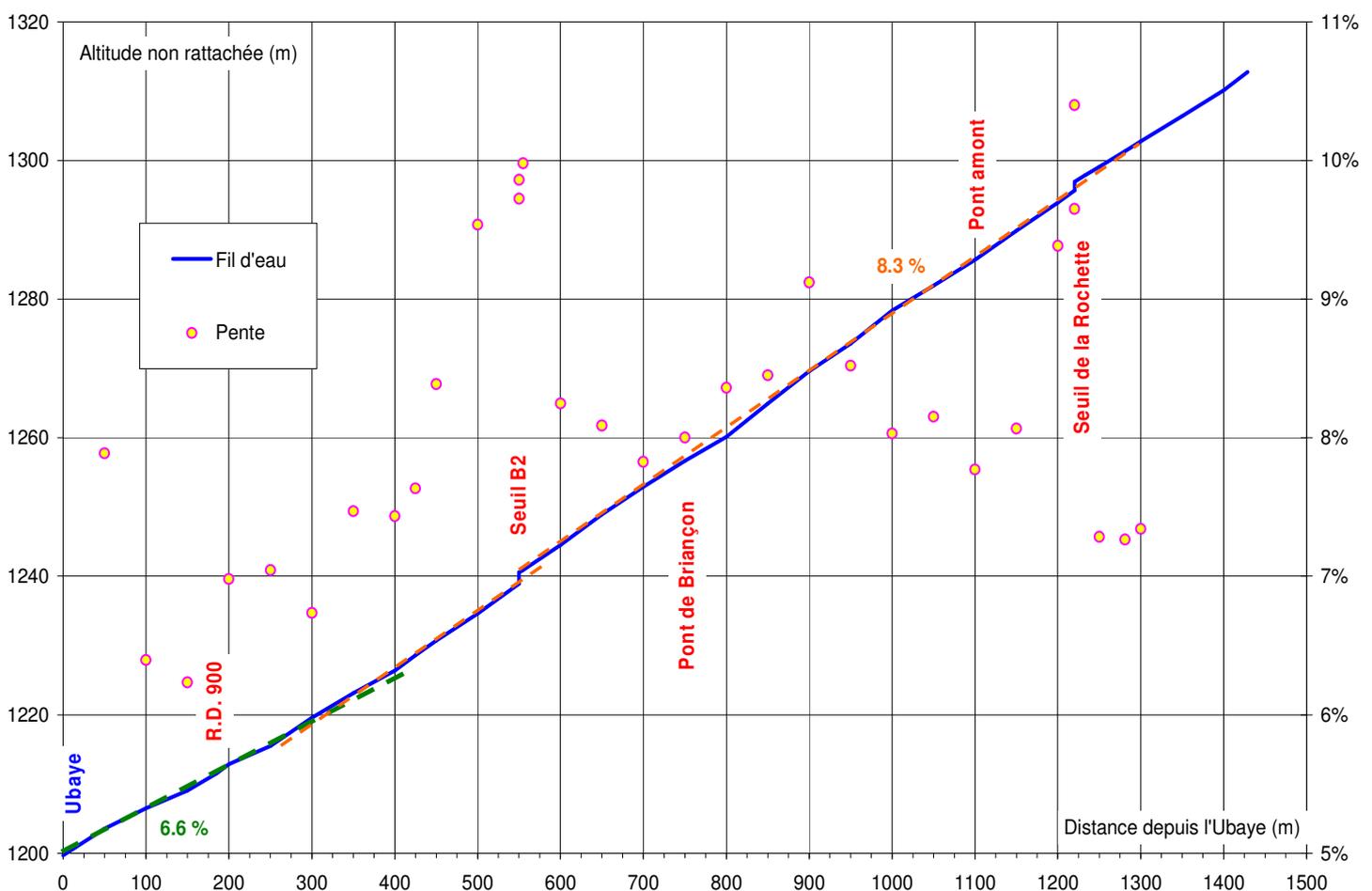


Figure 21 : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection.

Ce profil en long monte une pente globalement très régulière, sauf à l'aval du seuil B2 où la pente passe de 8.3 à 6.6 %. C'est évidemment dans cette zone que se produisent préférentiellement les dépôts.

Le graphique suivant montre un recalage des abscisses et des altitudes (le levé de 2003 n'étant pas rattaché) pour permettre la comparaison des niveaux entre 2003 et 2014 :

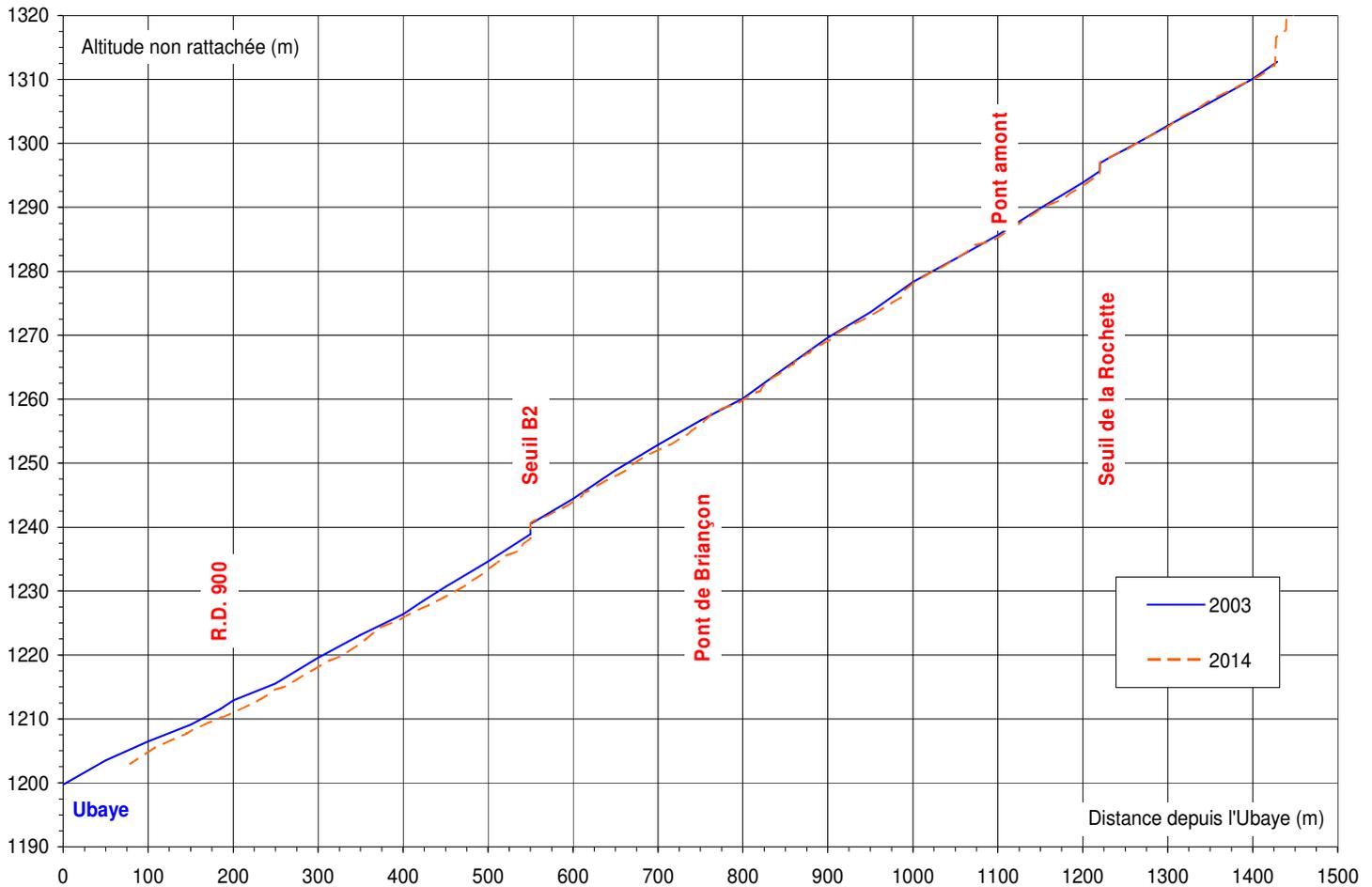


Figure 22 : Comparaison des profils en long de 2003 et 2014.

Les évolutions sont très modérées, en l'absence de forte crue et d'influence de l'éboulement de la Roche Plombée :

- En amont du seuil B2, les évolutions du niveau du lit sont insignifiantes et illustrent plus la différence de méthode de relevé que de réelles évolutions du lit. Cette stabilité du lit n'est pas surprenante pour un torrent à lave, surtout en l'absence de forte crue sur la période.
- En aval du seuil B2, le profil en long montre une nette tendance à l'enfoncement. Il s'agit avant tout de l'effet d'un curage récent.
- D'autre part, le linéaire entre la confluence et le pont de la RD 900 est raccourci de près de 75 mètres sous l'effet de la crue de l'Ubaye de 2008. Ce recul a évidemment favorisé une reprise des matériaux et un abaissement du lit, illustrant le comportement d'une zone de confluence. La pente dans cette zone aval reste peu variable.

Le graphique suivant indique la largeur équivalente du lit déterminée à partir des profils transversaux récents :

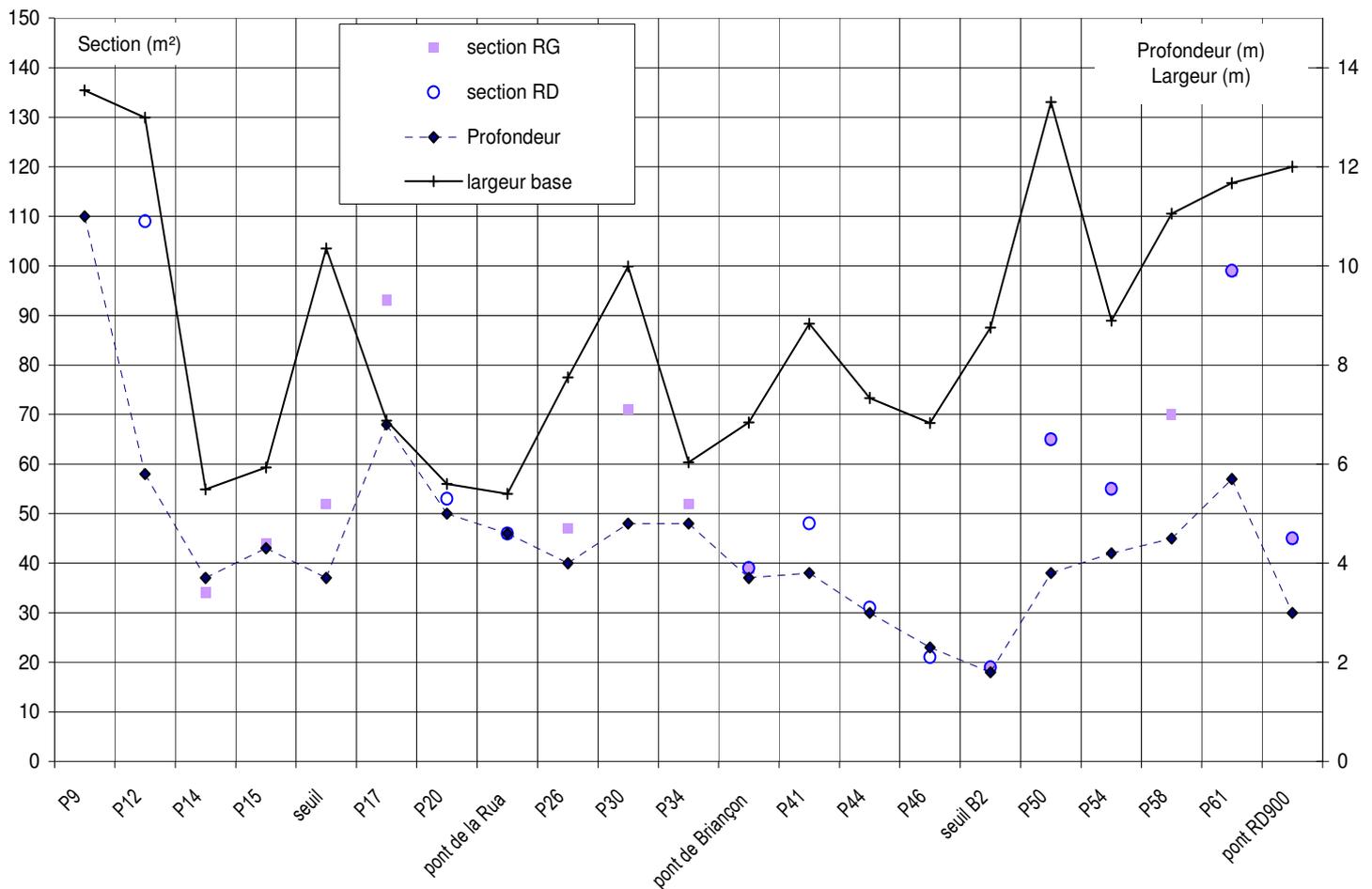


Figure 23 : Évolution de la largeur.

Ce graphique montre une largeur globalement peu variable entre 6 et 12 mètres. Cela correspond à un lit étroit, caractéristique des torrents à laves.

La contraction en amont de la Rochette présente une largeur inférieure à 6 mètres (pour la section mesurée et un fruit unitaire), ce qui confirme ce point critique.

Les deux ponts amont correspondent aussi à des rétrécissements, mais moins marqués.

Au contraire, dans la zone en aval du seuil B2, le lit est significativement plus large, ce qui confirme (et explique) la tendance au dépôt dans cette zone. La largeur du lit reste cependant toujours inférieure à une quinzaine de mètres.

Sauf cas particulier trop étroit, cette largeur permet le transit des laves mais le dépôt ne peut être que marginal si la section d'écoulement est préservée. C'est un cas radicalement différent - par exemple - de celui du torrent d'Abriès ou du Riou Versant. Ce n'est que dans la partie aval que le dépôt est possible - et qu'il se produit - menaçant le pont de la RD 900 mais permettant enfin une régulation du transport solide.

4. GESTION DU TORRENT DE SANIÈRES SUITE À L'ÉBOULEMENT DE ROCHE PLOMBÉE

4.1. Objectif

Il s'agit ici de définir les aménagements - ou les modalités de gestion - permettant de réduire les risques de débordement qui pourraient résulter des apports exceptionnels causés par l'éboulement de Roche Plombée.

L'approche est réalisée en considérant deux étapes :

1. Dans un premier temps, les différentes interventions sont précisées en considérant les réponses techniques à un type de phénomène.
2. Dans un second temps, les interventions sont listées suivant une urgence décroissante :
 - les premières interventions sont relativement peu coûteuses et apportent un gain immédiat. Elles sont adaptées à l'état actuel du site et doivent être mises en œuvre rapidement.
 - Les dernières interventions présentent un coût (financier, foncier, environnemental...) important et ne devront être envisagées qu'en cas de dégradation au niveau de l'éboulement ou, dans un second temps pour parfaire à long terme la protection contre le torrent. Étant donnée l'évolution potentiellement très rapide de l'éboulement, il paraît préférable de se préparer à réaliser rapidement ces interventions, par exemple par l'acquisition de terrains ou l'obtention préalable d'autorisations.

Cette présentation est celle qui permet de s'adapter au mieux aux évolutions de l'éboulement, même si une définition définitive d'aménagements n'est pas envisageable face à des phénomènes qui ne sont pas prévisibles. Des analyses complémentaires seraient alors nécessaires pour adapter les interventions à la réalité des phénomènes.

4.2. Principes retenus

4.2.1. Correction active de la zone d'éboulement

Il est évidemment intéressant de réduire l'effet de l'éboulement en intervenant directement au niveau de la zone d'érosion :

- Une intervention directement sur l'éboulement paraît hors de portée.
- Une stabilisation du lit par des barrages permettrait d'éviter la reprise des matériaux apportés. Cette solution n'est pas d'actualité, les nouveaux barrages risquant d'être submergés ou détruits par de nouveaux apports de versant. Surtout, il n'est pas possible d'intervenir dans cette zone à cause des risques bien réels de nouvel éboulement. Cette solution pourra être envisagée lorsque l'éboulement sera "terminé".
- Le minage des très gros blocs pouvant poser problème sur le cône de déjection serait très favorable et devra être mené sans délai. Comme précédemment cette intervention n'est pas possible au droit de l'éboulement tant qu'il reste actif.

Une réduction de l'érosion est cependant possible. Elle consisterait à construire, dans les gorges en aval de l'éboulement, une série de barrages permettant de remonter nettement le lit en amont des gorges et de stabiliser ainsi le lit et le pied de versant.

Il s'agit de travaux très importants et très coûteux qui ne sont pas justifiés dans l'état actuel.

4.2.2. Régulation amont du transport solide

4.2.2.1. Principe

Le principal risque lié au torrent découle de l'absence de régulation entre la zone d'érosion - où les phénomènes sont très brutaux - et le sommet du cône de déjection où la section est relativement réduite. Il peut s'agir de débits particulièrement élevés, de très gros blocs ou d'une lave particulièrement visqueuse.

Les possibilités de régulation du transport solide sont faibles mais elles ne sont pas nulles. Deux solutions d'ampleur différentes peuvent être envisagées :

- L'élargissement du lit mineur jusqu'au pied de versant afin d'avoir un lit quasiment plat (il est possible - mais peu justifié ici - de conserver un petit lit ordinaire pour prévenir un étalement et un réchauffement de l'écoulement d'étiage). Cette géométrie présente deux avantages :
 - Elle permet l'arrêt des plus gros blocs en permettant à la lave torrentielle de les contourner. Ce point est essentiel étant donnée la section relativement limitée du chenal aval.
 - Elle favorise un dépôt latéral d'autant plus important que la lave est épaisse.

La zone à décaisser a fait l'objet d'un déboisement préventif qui permet de réaliser les curages au plus tôt. La figure suivante correspond à une coupe type du lit après aménagement :

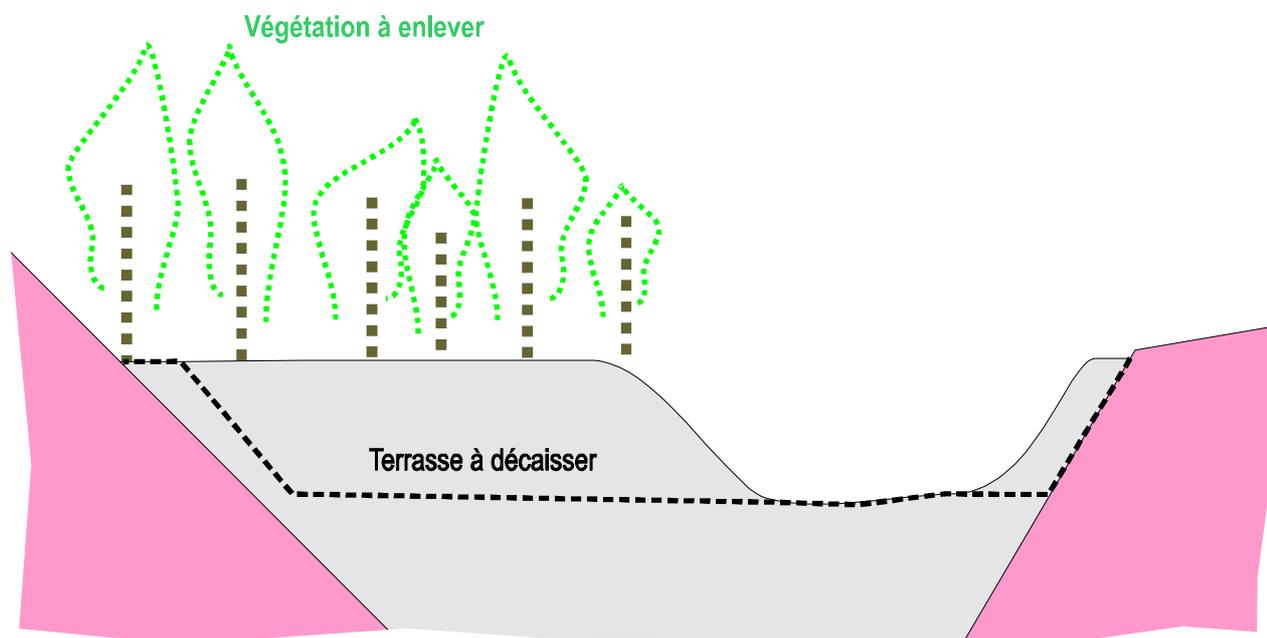


Figure 24 : Coupe schématique de la zone de régulation amont.

- Une solution complémentaire consiste à créer une série de larges barrages afin d'accroître la largeur disponible et de favoriser le dépôt par une réduction de pente. Cette solution est plus efficace (le gain est cependant modéré car des barrages sont déjà en place) mais beaucoup plus coûteuse. Elle ne paraît justifiée qu'en cas de dégradation marquée et d'apports importants de très gros blocs ou de laves de grande section. Elle n'est pas développée par la suite.

4.2.2.2. Géométrie du lit

L'objectif est de dégager des zones larges permettant le contournement des fronts de lave et l'arrêt des éléments les plus difficiles à transporter (blocs, front, amas d'arbres).

Le lit présentera donc un profil transversal globalement plat. Ce recalibrage des terrasses préservera une terrasse d'un mètre de largeur environ en pied de berge si une déstabilisation du versant est à craindre.

Il n'est pas nécessaire de rechercher une grande précision dans la géométrie du lit, celle-ci étant remaniée lors de chaque crue. La largeur "objectif" du lit sera d'une trentaine de mètres afin de permettre un contournement des fronts.

Il n'est pas nécessaire de rechercher une parfaite régularité de la largeur du lit. Des contractions locales (par exemple au droit d'un ouvrage) peuvent être envisagées. Par contre, dans la mesure du possible, les zones larges présenteront une longueur d'au moins 50 mètres (100 mètres de préférences) afin de permettre un dépôt pour un contournement par la lave torrentielle.

L'ensemble du linéaire entre l'éboulement et le sommet du cône de déjection est de l'ordre du kilomètre. La réalisation d'un élargissement du lit - avec enlèvement de matériaux - sur un linéaire cumulé d'au moins 400 mètres (600 m de préférence) permettrait une amélioration très sensible par rapport au fonctionnement actuel.

Dans la partie amont, des travaux de terrassements importants paraissent difficilement réalisables à cause des difficultés d'accès. Dans ce cas, un simple régalage des matériaux afin d'obtenir un fond plat permettrait une nette amélioration, notamment lors des prochaines crues. Cette intervention (avec minage des gros blocs) paraît très accessible. L'entretien de cette zone pourrait être beaucoup plus irrégulier que dans les zones aval.

Tous les arbres mobilisables par une probable lave torrentielle et de plus de 10 mètres de hauteur seront enlevés ou billonnés afin d'éviter leur contribution à un bourrelet frontal de grande section favorisant le débordement.

4.2.2.3. Devenir des matériaux

Le devenir des matériaux dépend de leur granulométrie :

- Les très gros blocs (plus de 5 T environ) devront être minés ou enterrés dans le lit afin de n'être plus mobilisables.
- Les blocs (de 0.5 à 5 T) seront préférentiellement utilisés pour former d'un cordon d'enrochements au pied des zones les plus instables et notamment lorsque le chemin d'accès est menacé. Ces blocs seront enfoncés dans le lit sur plus de la moitié de leur hauteur afin de réduire les risques de mobilisation. Cette protection est essentiellement destinée aux écoulements avec charriage qui sont les plus menaçants pour les érosions ponctuelles. Les contraintes hydrauliques et les hauteurs d'eau sont alors assez faibles. Les enrochements pourront aussi être utilisés pour les ouvrages hydrauliques.
- Les matériaux plus petits (moins de 0.5 T) seront préférentiellement exportés du lit. Cette solution n'est pas la plus simple ni la plus économique à court terme mais présente l'avantage de ne pas réduire les possibilités de dépôt sur site, notamment lors des opérations d'entretien dont le volume plus réduit ne justifie pas l'organisation de l'exportation de matériaux. Ce prélèvement de matériaux ne bouleverse pas le transport solide général du torrent, la tendance étant au dépôt d'un volume significatif dans le lit du torrent de Sanières avant la confluence avec l'Ubaye. À défaut (notamment à proximité de l'éboulement), les matériaux pourront être déposés en dehors du lit, hors d'atteinte de l'écoulement. Il est en effet contre productif de former un lit très large... puis de réduire sa largeur par des dépôts mobilisables.

4.2.2.4. Entretien

Évidemment, cette solution impose un entretien très rigoureux car il est essentiel de supprimer les bourrelets de lave qui se forment à chaque crue et qui conduisent à un auto-endiguement. De même, les très gros blocs seront impérativement minés ou enterrés pour éviter leur reprise et préserver ainsi la capacité de dépôt.

Une intervention après chaque crue paraît nécessaire. Cependant, les volumes de terrassement devraient être globalement très réduits. Outre un réglage des terrains, une partie des matériaux pourra être disposée - si nécessaire - en pied de versant dans des zones non-atteignable par l'écoulement. Cette gestion relativement légère - intervention d'une pelle mécanique seule - justifie l'extraction des matériaux lors de la première intervention de recalibrage du lit.

4.2.3. Section d'écoulement

4.2.3.1. Principe général

Il s'agit ici d'éviter le débordement lié à une section du lit insuffisante. La première solution consiste à réduire la section de la lave par son laminage et l'arrêt des très gros blocs (qui seront minés ou enterrés après la crue). C'est l'objet du paragraphe précédent.

La seconde solution consiste à accroître la section du lit. Dans l'état actuel, il apparaît que la section du lit est globalement suffisante dans la partie amont (au dessus du pont de Briançon) et qu'elle est trop faible au droit de ce pont et en aval.

Il n'est pas possible de quantifier l'effet de l'éboulement sur la section des laves mais il devrait être assez faible. La démarche consiste alors à résorber les points les plus critiques afin d'obtenir un ouvrage homogène.

4.2.3.2. Rétrécissement en amont de la Rochette

Le rétrécissement en amont de la Rochette. Les conséquences d'un débordement en rive gauche pourraient alors être importantes. Il est envisageable ici de considérer trois actions d'efficacité - et de coût - croissantes :

- **Rehausse de la berge rive gauche** le long de la route du côté opposé au torrent afin d'accroître fortement la section avant débordement (voir schéma suivant) par un muret ou merlon d'une hauteur - par rapport à la route - de 1 m environ. Évidemment, cette solution n'apporte pas d'amélioration pour la route (très peu utilisée). Le muret sera réalisé dans le prolongement de celui existant en amont sur une quarantaine de mètres de longueur minimum comme le montre le schéma page suivante. De plus, les terrains seront arasés entre la route et le lit en présentant une pente transversale de 10 % minimum afin de favoriser un retour de l'écoulement dans le lit. Cette intervention sera réalisée jusqu'à 10 mètres minimum en aval du seuil.
- **Recul de la berge rive droite**. En effet, un recul semble acceptable mais impose la destruction de la protection en béton existante. Ce recul sera limité (de l'ordre de 5 mètres au niveau du lit) mais apporterait une amélioration considérable.
- **Abaissement du seuil** situé peu en aval afin de permettre une nette augmentation de la profondeur du lit. L'amélioration est alors sensible sur tout le linéaire amont, mais imposerait des reprises en sous œuvre des ouvrages (le mur rive gauche est actuellement très dégradé), ce qui conduit de fait à un recul de la berge rive droite. De plus, une solution doit être trouvée pour la prise d'eau établie sur cet ouvrage. Cette intervention ne paraît pas justifiée dans l'état actuel de l'éboulement. Par contre, il paraît prudent, en cas de reconstruction des protections de berge en amont d'anticiper un abaissement du seuil de 1 à 2 mètres pour éviter ensuite une coûteuse et délicate reprise en sous œuvre.

La figure suivante montre l'intérêt de la protection en retrait de la route :

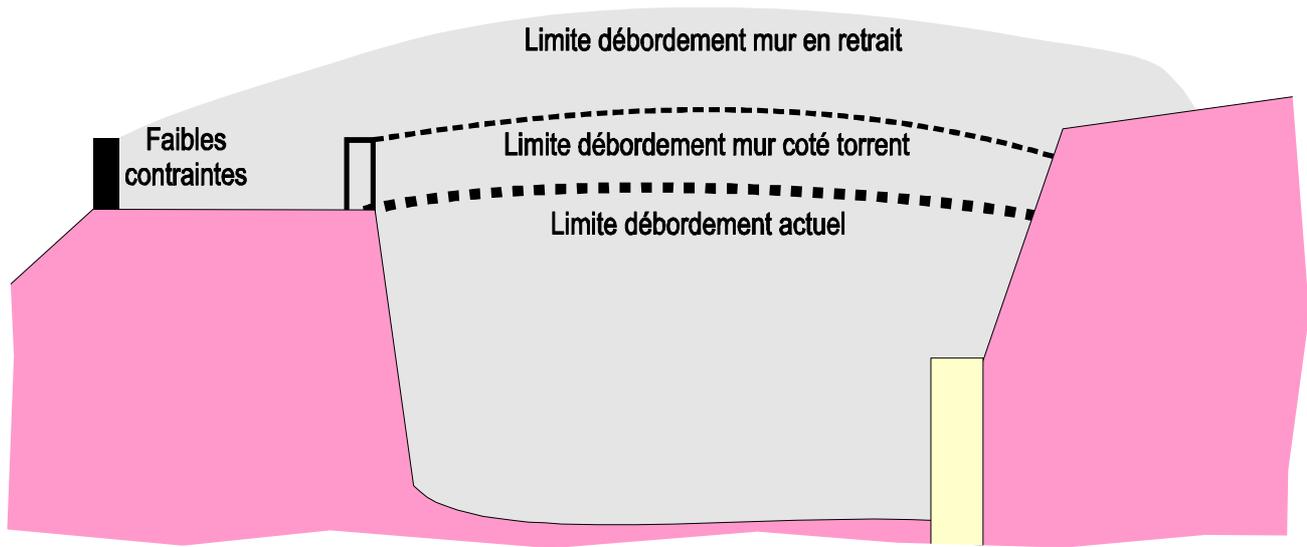


Figure 25 : Coupe schématique du confortement au sommet du cône de déjection.

La figure suivante permet une localisation en plan des différentes interventions sur le secteur de la Rochette :

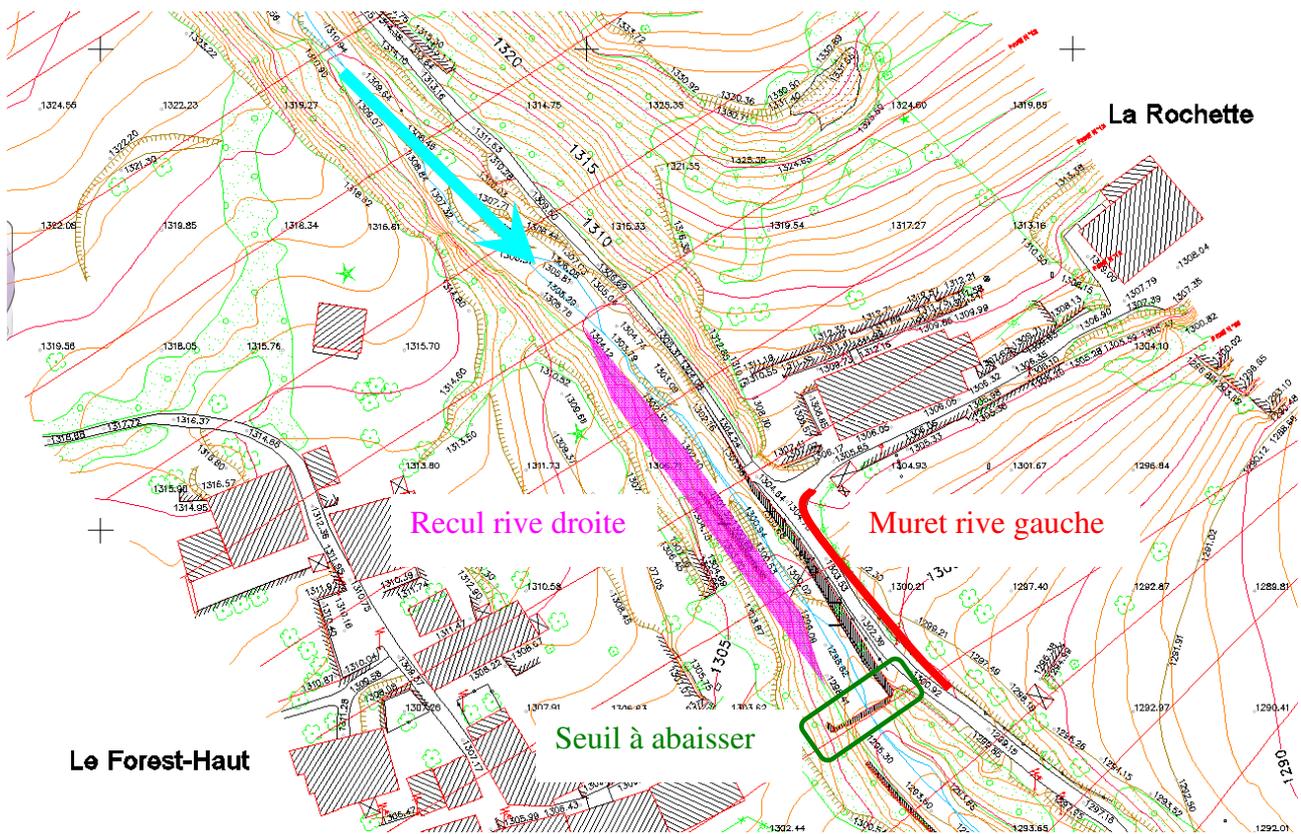


Figure 26 : Vue schématique des interventions au droit du rétrécissement de la Rochette.

4.2.3.3. Pont de la Rua

Le pont de la Rua ne paraît pas très critique. Une rehausse peut être envisagée en conservant les culées et le tablier. Un recul de la culée rive droite serait évidemment favorable mais ne serait justifié qu'en cas de forte dégradation de la situation. Le profil transversal suivant montre - plus nettement qu'en amont - la configuration en toit du torrent dans cette zone.



Figure 27 : Profil transversal au droit du pont de la Rua.

4.2.3.4. Pont de Briançon

Le pont de Briançon présente une section très limitante. Les solutions permettant une augmentation de la section d'écoulement sont proposées ci-dessous. De plus, une solution proposant un aménagement de l'ensemble du linéaire en aval de ce pont est proposé au paragraphe 4.4 page 79.

La figure suivante montre le profil transversal au droit de cet ouvrage.



Figure 28 : Profil transversal au droit du pont de Briançon.

Il est envisageable ici de considérer trois actions d'efficacité - et de coût - croissantes :

- Aménagement de la rive gauche en aval du pont afin de conduire les écoulements dans l'ancien chenal et éviter leur propagation en direction des habitations. Cet ancien chenal a été nettoyé et présente une section importante, comme le montre la photo suivante.

Dans ce cas, les laves s'arrêteraient vraisemblablement dans le chenal en aval de la route (qui devra être curé après la crue pour restaurer la géométrie actuelle) pour un volume de débordement modéré.

En cas de débordement massif (obstruction au droit du pont notamment), les laves atteindraient la RD 900 où - sous l'effet combiné de la réduction de pente et de la disparition d'un chenal marqué - la lave s'étalerait largement. Même si un tel comportement est peu probable, il renforce l'intérêt d'un système d'alerte concernant la RD 900.



Photo 25 : Chenal rive gauche après enlèvement de la végétation.

Le principe d'un aménagement à court terme consiste à décaisser la plate-forme en aval de la route - en rive gauche - afin de prolonger au maximum vers l'amont le chenal existant. La pente du terrain en aval de la route doit être aussi raide que possible (de l'ordre de 8 %).



Figure 29 : "Entonnoir" du chenal rive gauche en aval du pont de Briançon.

Latéralement (entre le chenal et la route d'accès à Jausiers), il est nécessaire de prévoir le regroupement des laves vers le chenal avec une pente transversale en aval immédiat de la route (voir schéma page précédente).

- Reprise de l'entonnement, particulièrement en rive gauche afin de favoriser le transit des laves (voir paragraphe 4.4.2 page 81).
- Remontée du pont (d'environ 1.5 m) pour offrir une section cohérente avec celle du lit amont. Il est alors nécessaire que le niveau de la sous poutre du nouveau pont soit calé au dessus du sommet du mur rive gauche, cette cote n'étant pas indiquée dans les éléments topographiques qui nous ont été transmis.

Cette solution permet de réduire fortement le risque de débordement mais présente l'inconvénient d'accroître le risque d'écoulement vers la route rive gauche en cas de débordement - beaucoup plus rare - sur l'ouvrage. La géométrie de la rive gauche devra alors être adaptée avec notamment un déplacement de la route vers l'amont afin de conduire les laves vers le chenal.

- Abaissement du seuil B2 en aval (voir ci-dessous).

4.2.3.5. Pont de la RD 900

Le pont de la RD 900 est particulièrement bas et sa section est encore réduite par le dépôt. La route est donc très exposée et en cas de dégradation très nette, la remontée du pont pourrait être une solution. Elle est cependant très coûteuse et doit être associée à une remontée de la RD 900 mais aussi des digues en amont. Une autre solution consiste à réduire le dépôt dans cette zone (voir paragraphe 4.2.4 page 71).

Le profil transversal suivant montre que la configuration en toit est ici nettement moins marquée qu'en amont, même si le tracé de la route peut avoir lissé les niveaux (le profil ne suit pas tout à fait le tracé routier) :



Figure 30 : Profil transversal au droit du pont de la RD 902.

La proximité de la confluence avec l'Ubaye interdit toute modification du calage du lit. Ainsi, si le pont n'est pas reconstruit avec un niveau nettement supérieur, la solution la plus adaptée pour cette route consiste à mettre en place un système d'alerte permettant la protection des personnes. Par contre, la route restera alors vulnérable.

4.2.3.6. Effet du seuil B2

La réduction de section en aval du pont de Briançon est liée au seuil B2, trop haut, vraisemblablement à cause du canal d'irrigation qui passe dans cet ouvrage mais qui n'est plus utilisé. La figure suivante illustre la topographie très irrégulière dans cette zone :

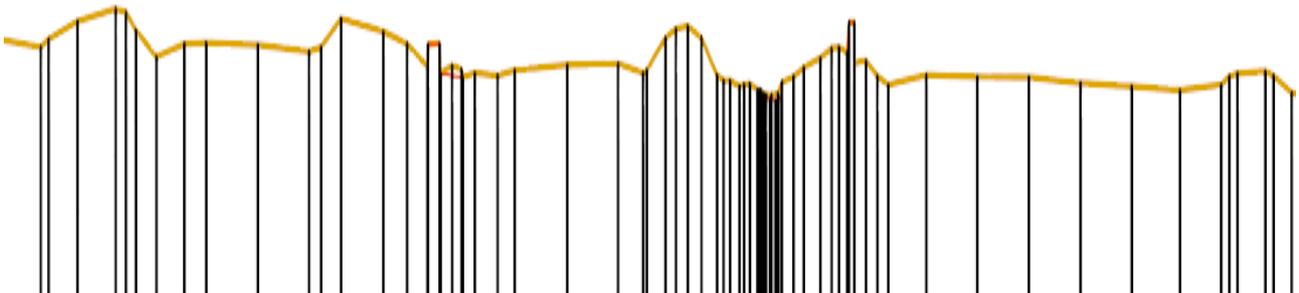


Figure 31 : Profil en amont du seuil B2.

Deux solutions paraissent adaptées (outre le réaménagement de l'ensemble du linéaire aval) :

- ◆ Une rehausse et un confortement des berges. Cette solution est bien adaptée à un torrent à lave dans une zone sans fortes contraintes foncières, d'autant plus que les curages du lit vont permettre de dégager des volumes de matériaux importants. Elle permettrait, par des ouvrages très massifs, de sécuriser cette zone. Aucune réduction de largeur n'est ici acceptable. Au contraire, un élargissement (au détriment de la rive gauche) permettrait d'anticiper un éventuel abaissement du seuil. Notons qu'une rehausse de la berge en rive droite paraît très facile (en aval de la route) le merlon s'appuyant sur le mur existant.
- ◆ L'abaissement du seuil afin de permettre une nette augmentation de la profondeur du lit. L'amélioration serait alors sensible sur tout le linéaire depuis le pont de Briançon mais imposerait des reprises en sous œuvre des ouvrages, ce qui conduirait à des travaux très importants dans une zone d'enjeux relativement faibles.

4.2.3.7. Lit en aval du seuil B2

La réduction de section en aval du seuil B2 est essentiellement liée au dépôt de matériaux (voir ci-dessous). Une remontée - et un élargissement - des berges reste envisageable et serait particulièrement économique lors des curages. La figure ci-dessous montre un profil transversal dans cette zone et illustre de façon schématique un aménagement adapté :

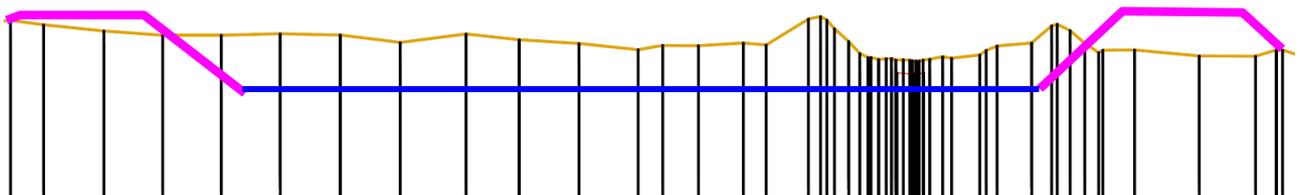


Figure 32 : Profil en aval du seuil B2.

4.2.3.8. Chenal entre les ponts de la Rua et de Briançon

Le chenal entre les ponts de la Rua et de Briançon présente une section qui est plus importante et qui ne nécessite pas d'intervention dans un premier temps. Cependant, un débordement à ce niveau menacerait de nombreuses habitations. Un confortement au sommet du mur existant permettrait de réduire les risques de débordement à moindre coût, les matériaux provenant des probables curages à venir. Un entretien du mur en béton (abrasion et affouillement) est aussi à planifier. L'affouillement peu être facilement combattu en enterrant localement les blocs présents dans le lit devant l'ouvrage en béton, comme le montre le schéma ci-dessous.

Cette mesure simple et économique permet de réduire considérablement les risques de débordement dans cette zone. Le déplacement de la route est localement nécessaire mais cet aménagement peut être différé en attendant la réfection programmée de la chaussée. La figure suivante illustre une telle intervention :

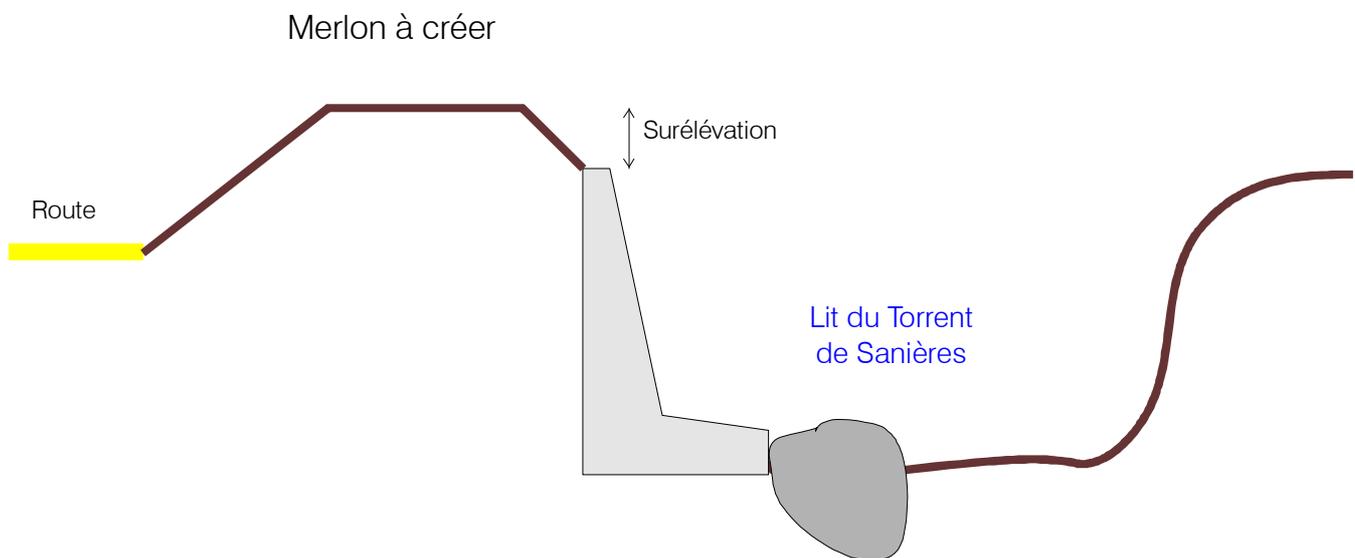


Figure 33 : Coupe schématique de la rehausse du mur rive gauche.

4.2.4. Gestion des matériaux

4.2.4.1. Amont du seuil B2

En amont de ce seuil, et jusqu'à l'éboulement, les risques de dépôt systématique et massif sont faibles. L'objectif est uniquement de conserver la section d'écoulement, particulièrement dans le secteur amont où le lit doit être large et plat afin de faciliter la régulation du transport solide.

La gestion sera alors la suivante :

- ↻ Minage ou enlèvement de tous les blocs de plus d'une tonne qui se sont déposés au dessus du niveau du fil d'eau d'étiage actuel (levé de 2013).
- ↻ Enlèvement des dépôts (et particulièrement des bourrelets latéraux) sur toute la largeur du lit jusqu'au niveau du fil d'eau d'étiage actuel. Ces matériaux seront sortis du lit et en aucun cas poussés en berge afin de ne pas réduire la largeur disponible. Seuls les dépôts situés à moins d'un mètre de la berge du lit mineur pourront être préservés - si nécessaire - pour ne pas accroître le risque d'érosion de berge.
- ↻ Si le niveau moyen du lit est inférieur au fil d'eau d'étiage actuel, les matériaux seront régalez afin de présenter un lit quasiment plat.

Un petit lit mineur pourra être conservé pour éviter l'étalement du débit d'étiage.

La figure suivante montre une telle disposition :

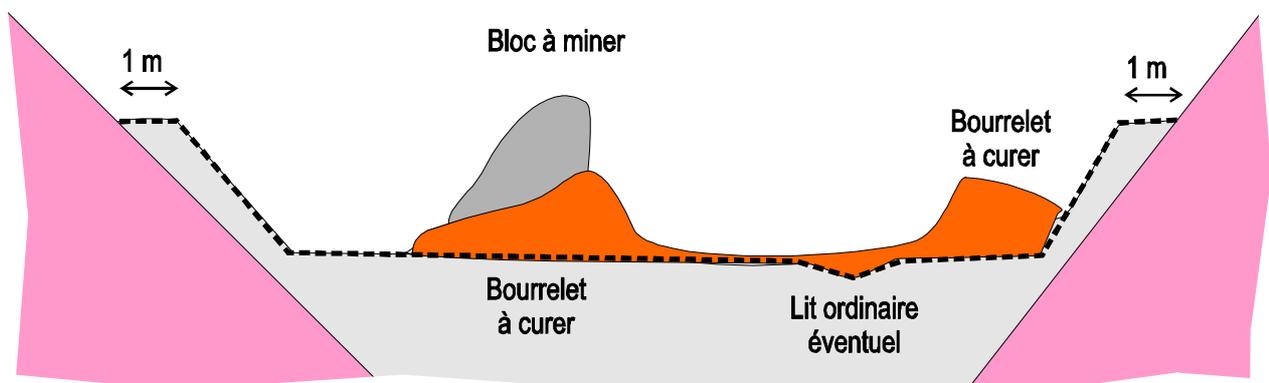


Figure 34 : Vue schématique de l'entretien du lit amont.

Étant donnée la fréquence élevée des laves torrentielles qui découlera de l'apport de l'éboulement, il est essentiel de réaliser ces interventions très rapidement après chaque lave.

Ces interventions devant être fréquentes (et éphémères), il n'est pas nécessaire de rechercher une grande précision géométrique.

4.2.4.2. Aval du seuil B2

Au contraire de la zone amont, ce secteur présente une tendance très marquée au dépôt.

Le risque de succession de laves torrentielles impose le curage rigoureux et rapide de cette zone afin de restaurer - sur toute la largeur du lit - le niveau du fil d'eau d'étiage y compris à la confluence avec l'Ubaye. Ainsi, des curages devront être réalisés en cas d'engravement dans la zone de confluence afin de restaurer la topographie actuelle. Une intervention rapide est indispensable, la zone de confluence étant la plus menacée par la succession rapprochée de laves torrentielles.

Cette intervention essentielle concerne tout le lit en aval du seuil B2.

D'autre part, si les volumes apportés étaient importants et menaçaient la RD 900, deux actions complémentaires peuvent être envisagées :

- Un système d'alerte permettrait de couper la circulation sur la RD 900 en cas de lave torrentielle pour protéger les personnes.
- Une plage de dépôt de grande capacité en aval du seuil. En effet, il est possible d'élargir fortement le lit en aval des barrages particulièrement en rive gauche, afin de permettre le dépôt d'un volume important de matériaux. Cette solution n'est pas très coûteuse mais impose un surcout concernant l'entretien. Les volumes pourraient être significatifs, une superficie de 1 à 2 ha pouvant être rapidement dégagée.

La vue suivante permet de localiser une telle réalisation :

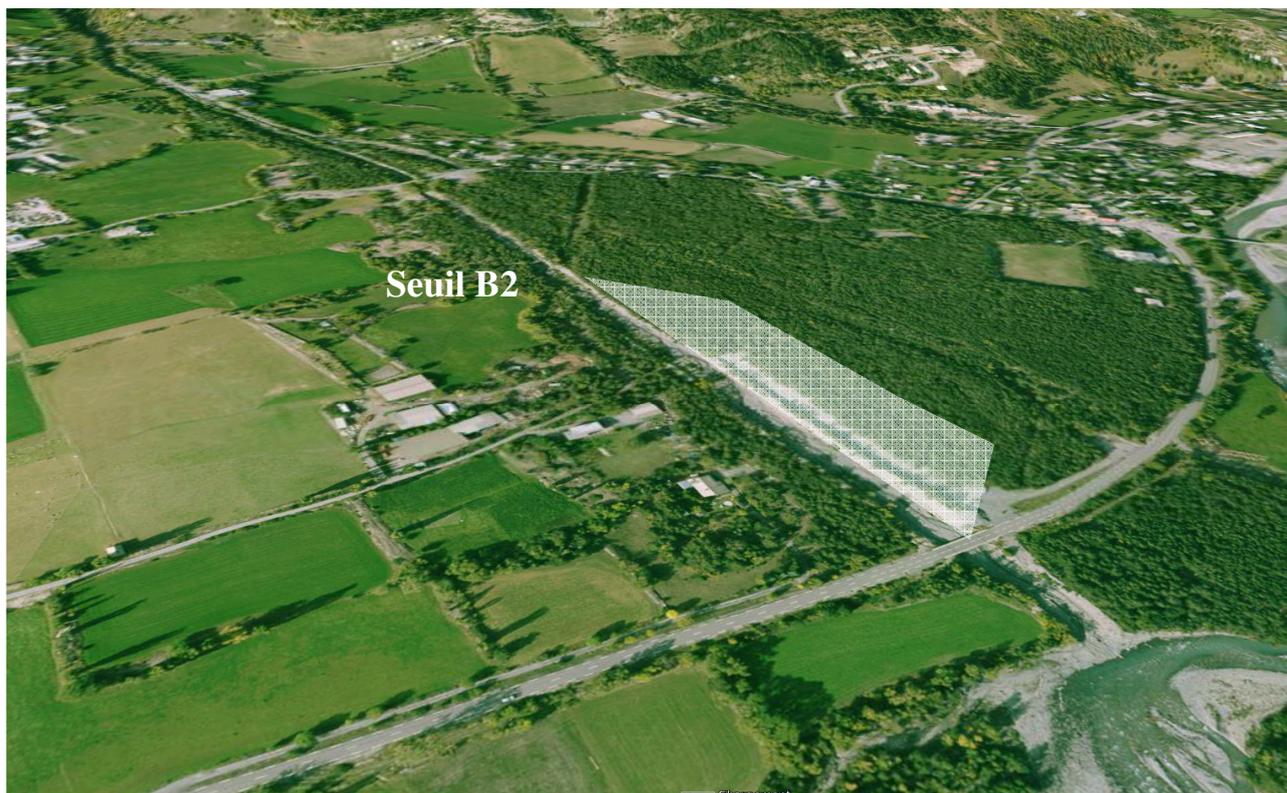


Figure 35 : Localisation approximative de la plage de dépôt.

Là encore, un aménagement global de la zone aval peut être envisagé. Il est présenté au paragraphe 4.4 page 79.

4.2.5. Évacuation du site

Étant données les fortes incertitudes sur les phénomènes, il paraît prudent de prévoir l'évacuation des secteurs les plus menacés afin de faire face à un épisode de grande ampleur.

Les principales zones critiques sont les suivantes (avec les mêmes repères sur le graphique ci-dessous que dans la liste qui suit) :

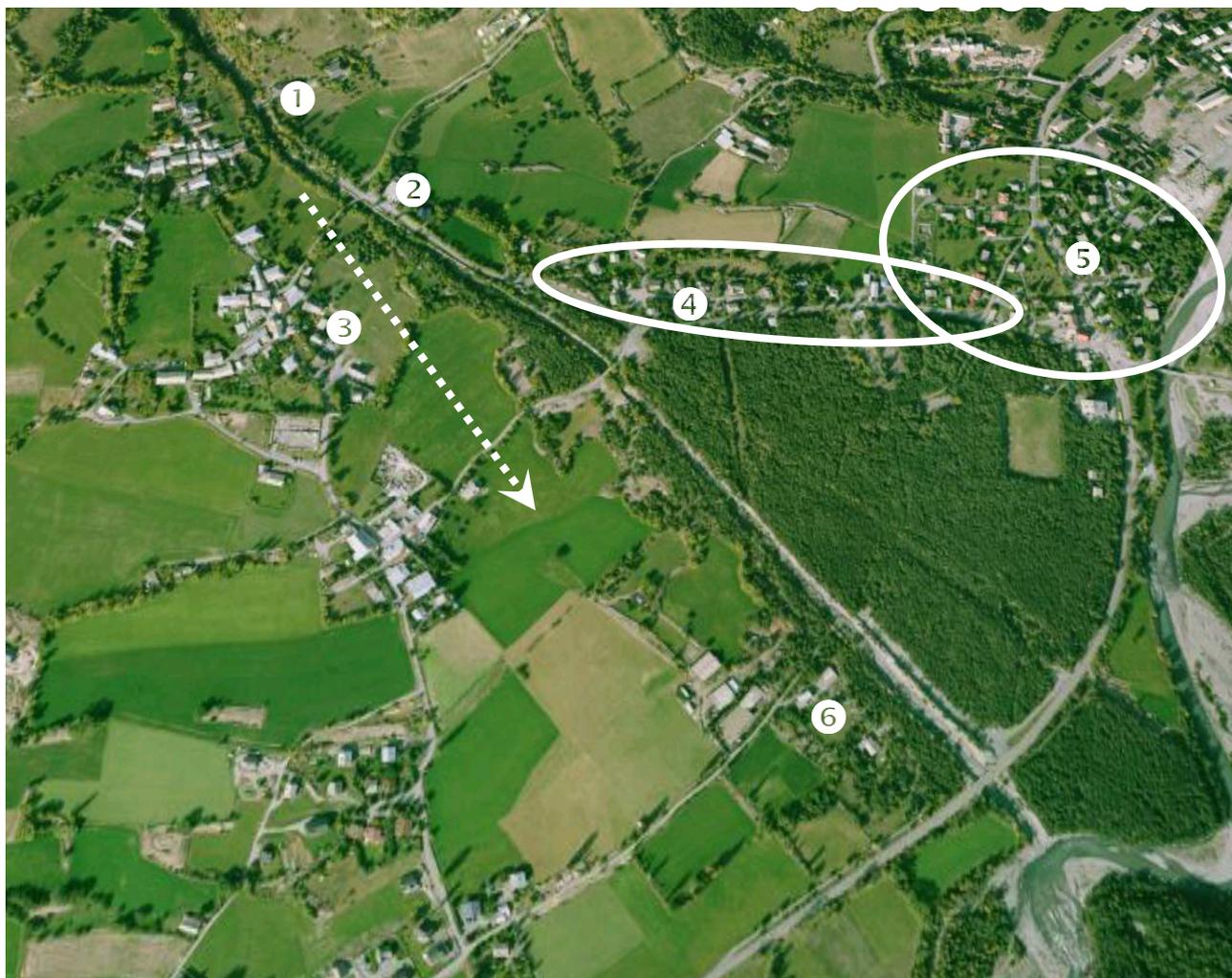


Figure 36 : Localisation des zones potentiellement atteignables par le torrent de Sanières.

Ces différentes zones présentent les caractéristiques suivantes (de l'amont vers l'aval) :

1. Bâtiment de la Rochette. Ce bâtiment est implanté sur le versant et ne serait concerné que marginalement par un débordement. Par contre, son accès principal est très exposé. Une information est indispensable pour éviter d'utiliser cet accès lors des fortes crues ou en cas de lave torrentielle.
2. Cette ferme est implantée à proximité immédiate du lit, contre la digue. L'évacuation pourrait être difficile en cas de débordement (favorisé par le pont en amont immédiat), les délais étant très courts. La proximité du lit rend ici un système d'alerte peu efficace et une sensibilisation des riverains paraît la solution la plus efficace. Les bâtiments sont assez massifs pour qu'un confinement - sur la partie aval et peu exposée du bâtiment - y soit envisageable.

3. Les hameaux du Forest, de la Rua et de Briançon paraissent peu exposés grâce à une dépression dans le cône de déjection (ancien lit repéré par une flèche ci-dessus) qui les sépare du lit actuel mais aussi à leur niveau élevé par rapport au lit. Une évacuation en direction de Barcelonnette est nettement préférable car elle évite le franchissement du torrent de Sanières sur un pont qui sera exposé.
4. Les habitations le long de la route établie sur le cône de déjection sont exposées, particulièrement en cas de débordement au droit du pont de Briançon. Une évacuation immédiate vers Jausiers doit être envisagée dès qu'un débordement est observé en rive gauche.
5. La partie aval de Jausiers est exposée en cas de débordement en rive gauche, particulièrement au sommet du cône de déjection à proximité du rétrécissement de la Rochette. Deux cas de figure doivent être distingués :
 - a. Le débordement est seulement partiel et l'essentiel du débit reste dans le lit. Dans ce cas, la propagation dans les prés serait lente et n'atteindrait vraisemblablement pas les habitations, au moins la première fois.
 - b. Le débordement est total (obstruction du lit ou rupture d'ouvrage). Ce cas est beaucoup moins probable mais la propagation vers les habitations seraient nettement plus rapide et une évacuation doit être immédiate.
6. Les habitations rive droite sont particulièrement exposées. Leur évacuation en cas de forte crue doit être immédiate, toujours en direction de Barcelonnette.

Cette analyse montre que la gestion du site est très différente suivant les points considérés et que les délais peuvent être très courts. Une information des personnes permettrait d'accélérer d'éventuelles évacuations et d'éviter les mauvais réflexes comme une évacuation par la route longeant le torrent ou en passant sur les ponts.

A titre indicatif, par rapport à un capteur situé en aval de la zone de glissement (premier barrage en aval de celui permettant le franchissement du chemin) les délais seraient les suivants en considérant des vitesses réalistes :

Site		Vitesse	3 m/s	5 m/s	10 m/s
		Distance (m)	Délais (mn)		
1	Rochette	900	5	3	1
2	Pont de la Rua	1130	6	4	2
4	Habitations	1300	7	4	2
	Pont de Briançon	1450	8	5	2
5 & 6	Habitations Jausiers	1800	10	6	3
	RD 900	2000	11	7	3

Ce tableau montre que les délais sont très faibles sauf pour la RD 900 pour laquelle l'activation d'un feu de circulation nécessite un délai très inférieur à celui nécessaire pour l'évacuation d'une habitation.

Ces délais correspondent plutôt à de valeurs minimales. En effet, rien indique que le débordement se produise lors de la première bouffée de lave torrentielle ni que la vitesse dans le lit majeur soit conservée. Dans les faits, un délai plus important paraît probable, au moins pour les phénomènes les plus courants.

Une gestion pragmatique du site (car évolutive) pourrait être la suivante :

- Suivi des alertes météo et des observations radar (réseau *RHYTMME*).
- Mise en place d'une pré-alerte basée sur les précipitations et/ou l'écoulement d'une lave torrentielle en aval du site de l'éboulement. Il peut être intéressant de caler un capteur suffisamment haut par rapport au lit pour ne détecter que les phénomènes de grande ampleur. Un capteur par câble sur l'un des barrages pourrait constituer une solution intéressante.
- En cas de pré-alerte, les secteurs les plus exposés (n°2 & 6) pourraient être évacués immédiatement et un observateur serait localisé dans le site de la Rochette, au sommet du cône de déjection. La solution la plus sûre consisterait à réaliser les observations depuis la rive droite (moins exposée). De plus, un éclairage de la route rive gauche pourrait être prévu jusqu'au sommet du cône de déjection afin de faciliter les observations de nuit. En fonction des débordements, l'évacuation des autres zones (n°4, voire 5) ou le confinement (n°1) pourraient être envisagés.

Le cas de la RD 900 paraît différent et les délais paraissent largement suffisants. La mise en place d'un capteur au pont de Briançon permettrait de réduire les risques de fausse alerte.

Les feux seraient implantés en dehors de la zone potentiellement inondable, soit

- ◆ Entre 200 et 500 mètres du pont en rive droite.
- ◆ À 200 mètres du pont et au droit de l'ancienne caserne en rive gauche. Cette disposition prend en compte les risques d'atteinte par la lave dans le secteur du Pont Barnuquel.

Le capteur serait constitué d'un câble tendu au dessus du lit, sa rupture déclenchant l'alerte. Sur le plus long terme, un dispositif par sismographe paraît plus fiable mais doit être calé. L'installation dès à présent d'un tel dispositif est donc préconisée.

Dans un premier temps, le câble serait tendu 2.5 m au dessus de la cuvette du premier barrage en aval de celui permettant le passage du chemin (pour réduire les risques de vandalisme). Le sismographe serait implanté à proximité immédiate.

Ensuite, le niveau serait progressivement adapté en fonction du retour d'expérience. Notons que la mesure correspond à une section ponctuelle (et même pas à un débit) alors que le risque de débordement dans la partie aval dépend du volume de la lave.

Les risques de fausse alerte, notamment au niveau de la RD 900 paraissent donc élevés. La mise en place d'un second capteur (par exemple sur le seuil B2) pourrait alors être justifiée, même s'il conduit à une complication importante du dispositif).

4.3. Protections de niveau croissant

Les préconisations précédents sont reprises et classés avec trois degrés d'urgence en fonction de la protection qu'elles apportent et des contraintes qu'elles génèrent.

4.3.1. Mise en œuvre immédiate

Il s'agit ici de mettre en œuvre les actions suivantes :

- ↻ Information de la population et mise en place des systèmes d'alerte.
- ↻ Terrassement du lit amont afin de permettre une régulation du transport solide.
- ↻ Réduction des risques de débordement au niveau du rétrécissement de la Rochette par un muret entre la route et les prés.
- ↻ Gestion des débordements en rive gauche au droit du pont de Briançon par raccordement du chenal existant.
- ↻ Préparation des opérations de curage afin de pouvoir intervenir très rapidement.

La figure suivante montre la localisation de ces différentes interventions :

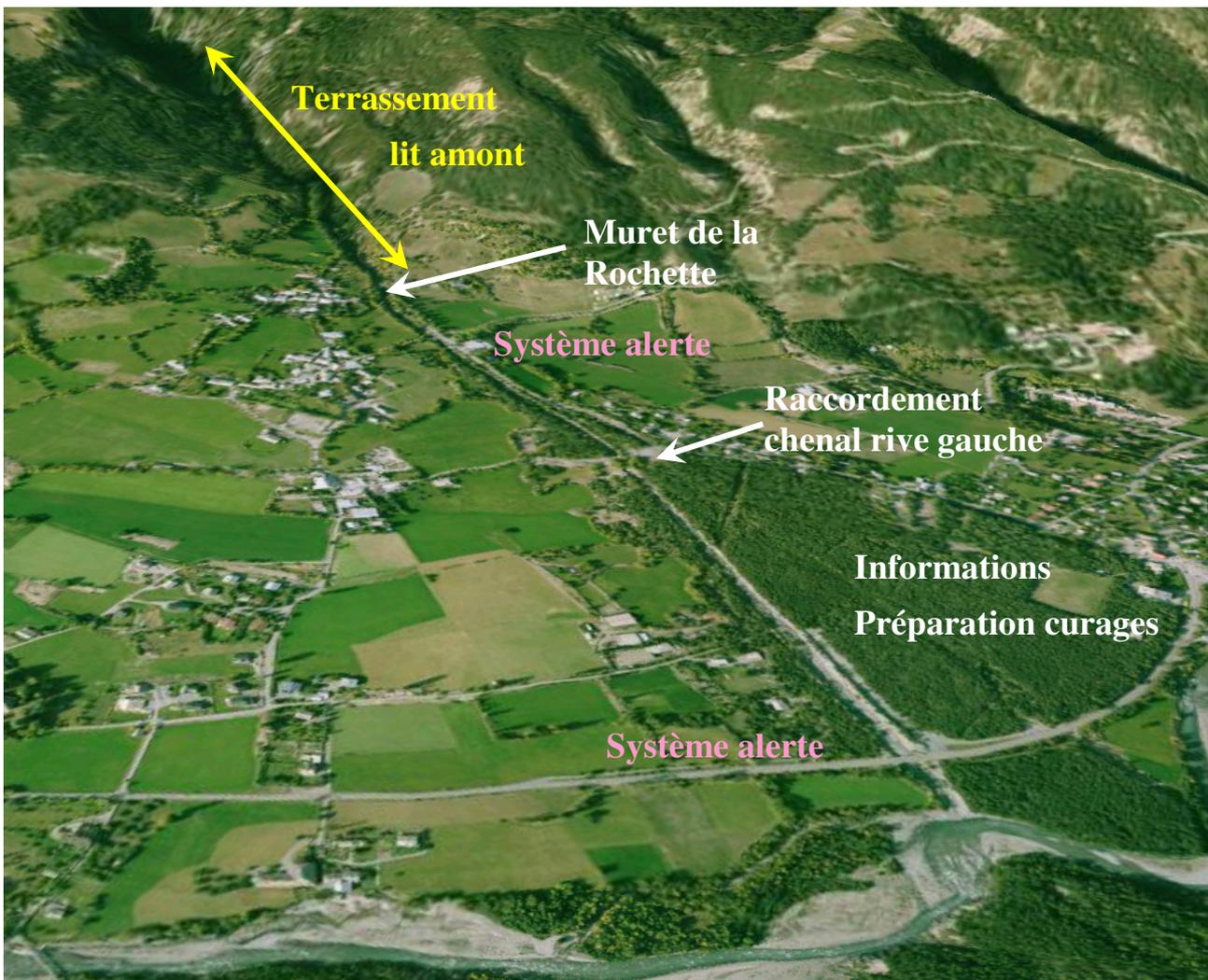


Figure 37 : Localisation des interventions à mettre en œuvre immédiatement.

4.3.2. Mise en œuvre rapide souhaitable

Les actions suivantes doivent être prévues et pourraient être mise en œuvre à court terme :

- ◆ Recul de la berge rive droite au droit du rétrécissement de la Rochette.
- ◆ Reprise de l'entonnement du pont de Briançon et rehausse du tablier.
- ◆ Rehausse des berges en aval du pont de Briançon.
- ◆ Confortement des digues en aval du seuil B2 (à optimiser en fonction de la création - ou non - de la plage de dépôt).
- ◆ Préparation de la création d'une plage de dépôt en aval du seuil B2 notamment par l'acquisition du foncier et le lancement des études de détail.
- ◆ Rehausse de la digue rive gauche entre le pont de la Rua et le pont de Briançon.

La figure suivante montre la localisation de ces différentes interventions :

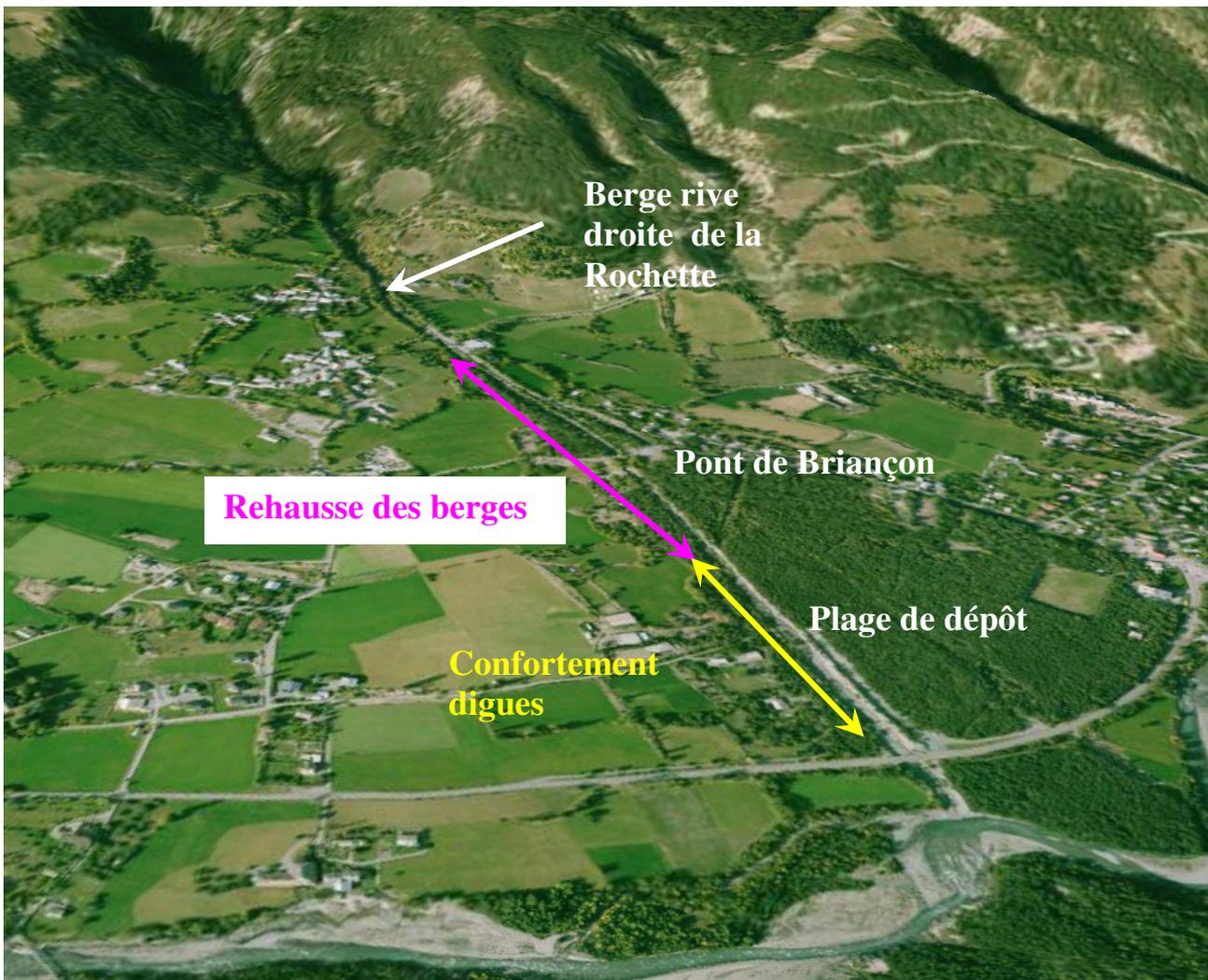


Figure 38 : Localisation des interventions à mise en œuvre souhaitable.

4.3.3. Mise en œuvre en cas de dégradations ou de disfonctionnement

Les actions en cas d'accroissement de l'activité de l'éboulement ou des disfonctionnements observés devront évidemment être adaptées à l'évolution de la situation et sont difficilement prévisibles dans l'état actuel. Certaines des actions suivantes seraient envisageables :

- Remontée des ponts de la Rua et de la RD 902.
- Création ou accroissement de la capacité de la plage de dépôt aval.
- Abaissement des seuils pour préserver une section suffisante et reprise parafouille des ouvrages en amont.
- Augmentation de la régulation du transport solide en amont du cône de déjection par des barrages de grande taille.
- Analyse d'une remontée du niveau du lit en aval de l'éboulement si celui-ci devient de grande ampleur.

La figure suivante montre la localisation de ces différentes interventions :

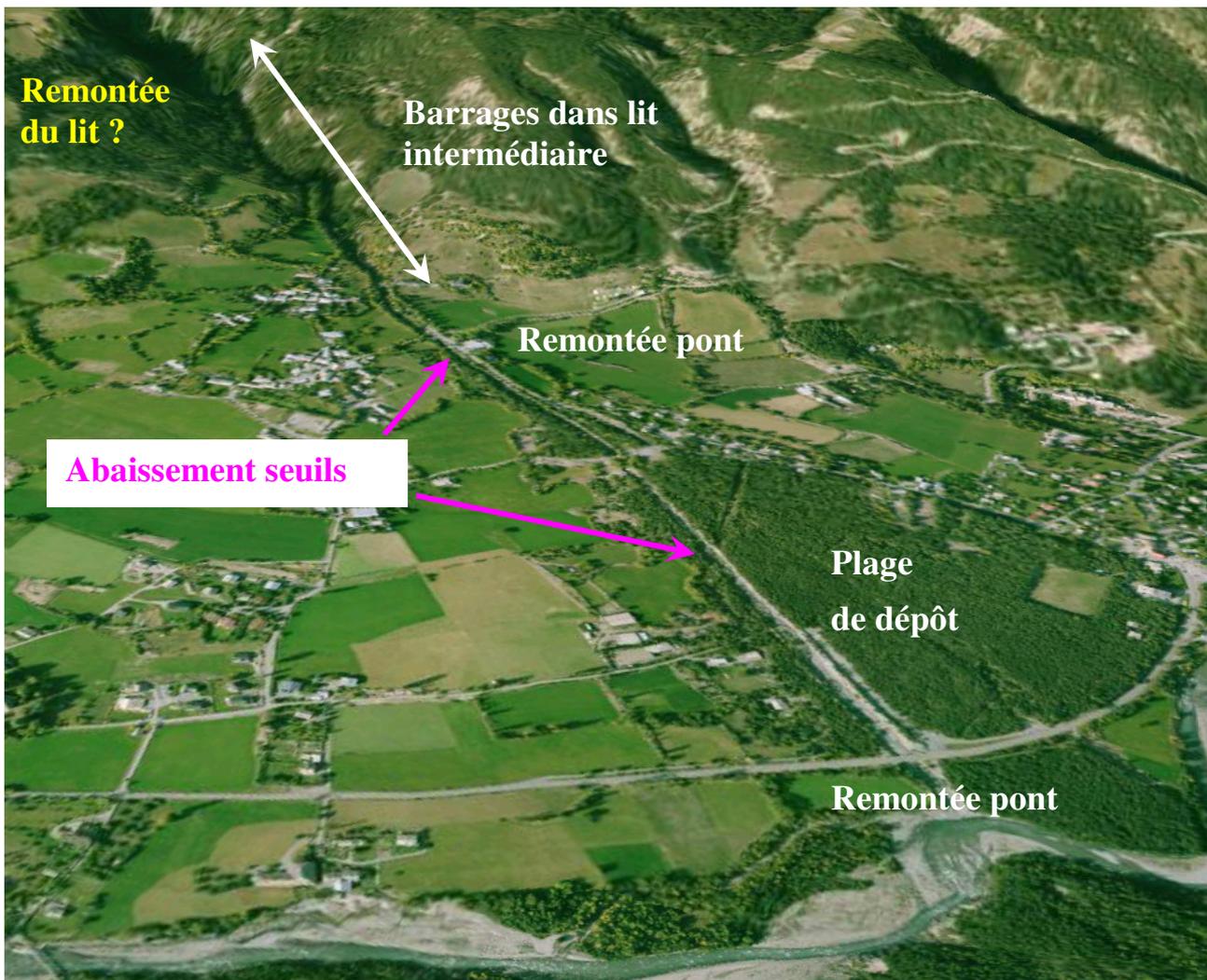


Figure 39 : Localisation des interventions en cas de dégradation.

4.4. Réaménagement du lit aval

4.4.1. Principe général

La zone aval présente des sections réduites (particulièrement entre le pont de Briançon et le seuil B2), des enjeux importants et un déficit de capacité de stockage. Il s'agit d'un secteur totalement artificiel correspondant au déplacement de la confluence du torrent avec l'Ubaye.

Des modifications profondes de cette zone sont nécessaires. Cependant, certains éléments paraissent incontournables :

- La localisation de la confluence avec l'Ubaye est optimale en minimisant le linéaire nécessaire pour le torrent et en s'éloignant de la traversée de Jausiers. Par la suite, le projet est établi en considérant le point de confluence comme inchangé.
- Le pont de la RD 900 est conservé. Sa localisation ne peut être modifiée (un déplacement de quelques dizaines de mètres en direction de Jausiers serait préférable). Notons qu'une rehausse de cet ouvrage est vivement souhaitable et paraît incontournable pour éviter un débordement sur la route, mais renchérirait fortement le projet.
- Les principaux ouvrages sont conservés (protection de berge en rive gauche en amont du pont de Briançon et en rive droite en aval. Cela impose la préservation du seuil B2 afin d'éviter la reprise en sous œuvre et la construction d'un nouveau seuil. Cette hypothèse permet de réduire fortement le coût du projet.
- L'ancien lit constitue une limite préférentielle le long de la rive gauche.

Ainsi, le projet consiste à réaliser les ouvrages suivants :

- En amont du seuil B2, la tendance sera au transit des laves.
 - Le pont de Briançon sera remonté et la culée reprise, notamment en rive gauche, afin de réduire les risques de surélévation de l'écoulement de lave lors des crues.
 - En rive gauche en aval du pont, l'entonnement vers l'ancien chenal sera réalisé par terrassement afin de supprimer les risques de débordement vers les habitations. Un débordement entre les deux chenaux sera alors accepté jusqu'au droit du seuil B2. Le lit actuel constituera le lit principal et, en cas de changement de lit lors de la crue, le chenal actuel sera restauré.
 - En rive droite, le niveau de la chaussée sera fortement remonté afin d'obtenir une pente vers le lit et réduire ainsi le risque d'un débordement. En aval, la berge rive droite sera fortement remontée au moyen d'un merlon s'appuyant sur le mur en place. La hauteur de la berge par rapport au fond actuel devra être de 5 mètres minimum. Cette intervention nécessite des volumes importants provenant de la plage de dépôt aval.
- En aval du seuil B2, la zone de dépôt doit maximiser la possibilité d'arrêt des matériaux lors des fortes crues. Cet ouvrage sera constitué des éléments suivants :
 - En rive droite, une digue en tout venant particulièrement large sera constituée, jusqu'au droit des habitations, avec les matériaux de curage.

- En rive gauche, la digue rive gauche de l'ancien chenal sera renforcée et rehaussée si nécessaire. Elle se rejoindra progressivement le lit actuel, permettant un entonnement de la RD 900. Elle présentera les mêmes caractéristiques que la digue rive droite.
- Entre les deux lits, les terrains seront arasés et abaissés afin de maximiser la capacité de dépôt.

La figure suivante montre une telle configuration :

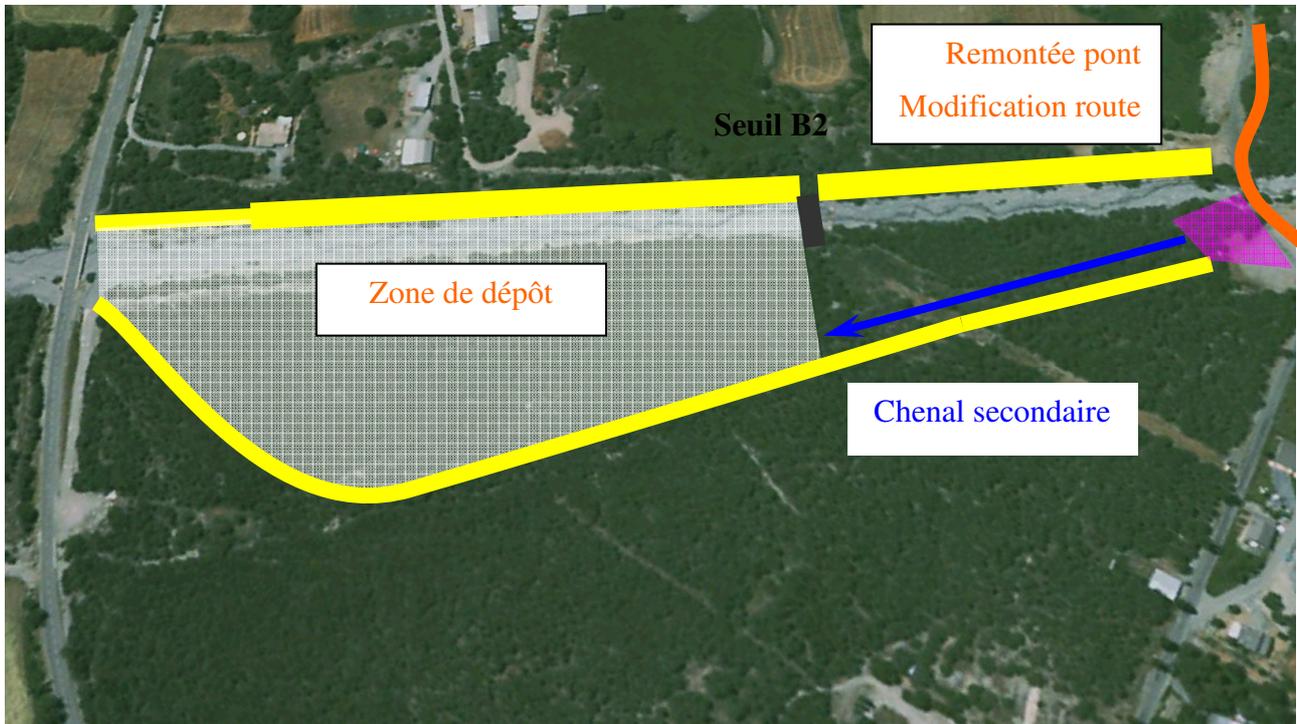


Figure 40 : Vue schématique de l'aménagement aval.

Les différents éléments constitutifs de ce projet sont détaillés ci-dessous. Notons que ce projet ne permet qu'une réduction modérée des risques de débordement sur la RD 900.

Ce projet de grande ampleur doit bénéficier d'un traitement paysager approfondi avec notamment les recommandations suivantes :

- Les digues ne seront pas rectilignes mais présenteront des courbes et un tracé irrégulier. Les angles seront faibles dans le cas des contractions du lit, mais les élargissements pourront être très brutaux.
- La section des digues présentées par la suite correspond à un minimum. Il est conseillé de réaliser des ouvrages de largeur variable avec des fruits irréguliers (mais supérieurs à ceux évoqués ci-dessous).
- Dans la mesure du possible les digues seront boisées.

4.4.2. Pont de Briançon

Les actions proposées sont les suivantes :

- Reprise de l'entonnement, particulièrement en rive gauche afin de favoriser le transit des laves. Il s'agit de reconstruire la culée rive gauche afin qu'elle soit parfaitement alignée avec le mur existant en amont. La photo suivante permet de préciser cette intervention :

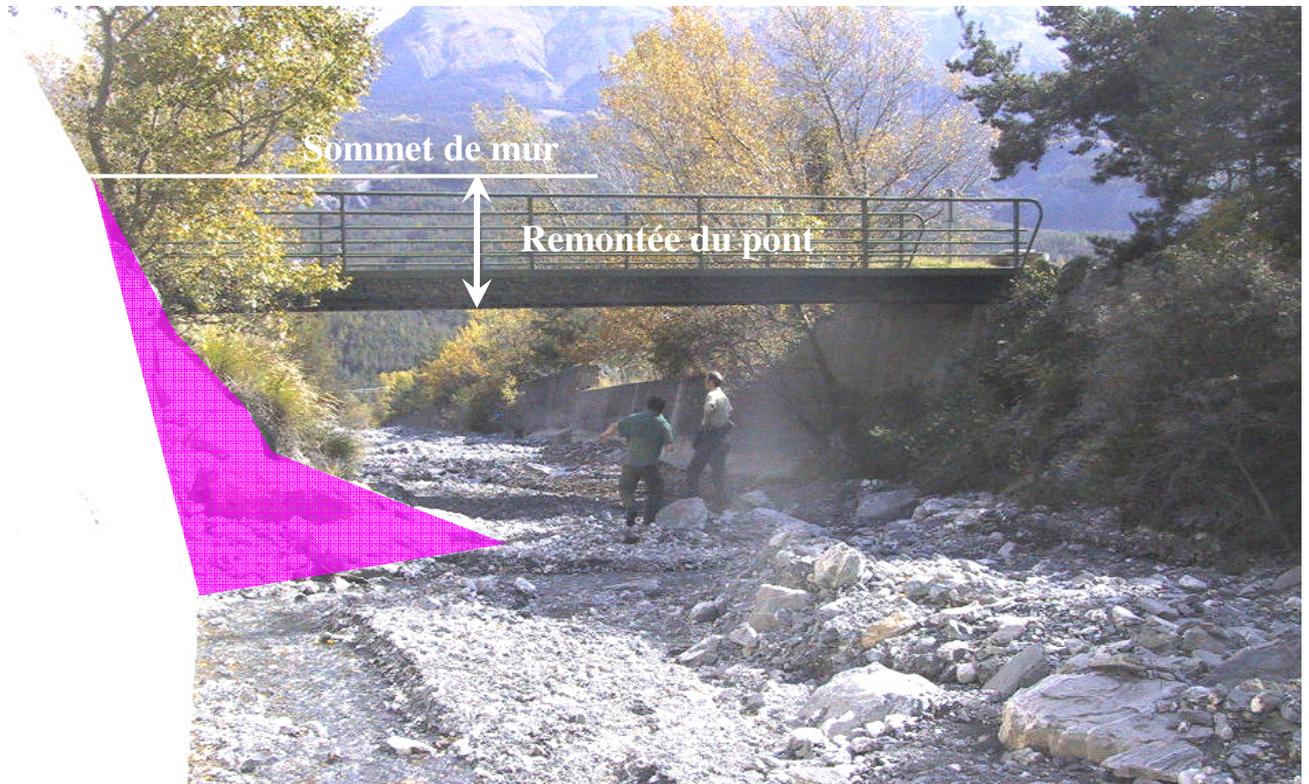


Figure 41 : Reconstruction de la culée rive gauche du pont de Briançon.

En rive droite, un recul de la berge n'est pas nécessaire et un entretien de la végétation paraît suffisant. Par contre, la culée devra vraisemblablement être reconstruite pour permettre la surélévation du pont (voir ci-dessous).

- Remontée du pont pour offrir une section cohérente avec celle du lit amont. Il est alors nécessaire que le niveau de la sous poutre du nouveau pont soit calé au dessus du sommet du mur rive gauche. Cette cote n'est pas indiquée dans les éléments topographiques qui nous ont été transmis mais il paraît probable que la remontée du pont soit supérieure à 1.5 mètres comme le montre la photo ci-dessus.

4.4.3. Amont du seuil B2

4.4.3.1. Rive droite

Il s'agit ici de conserver le mur actuel et de créer un remblai en retrait pour éviter un débordement à ce niveau. La figure suivante indique le type d'intervention sur cette berge :

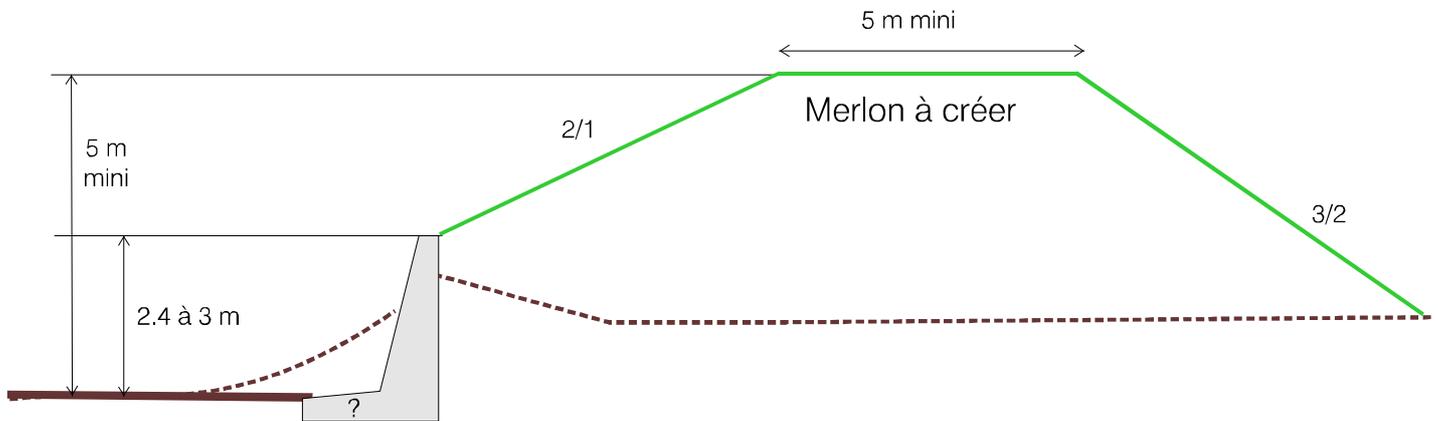


Figure 42 : Coupe schématique de la rehausse du mur rive gauche.

Ce merlon en appui sur le mur existant présentera les caractéristiques suivantes :

- ◆ Appui sur le mur existant ce qui permet de s'abstenir de toute protection parafouille et de réduire considérablement le coût du projet et la largeur de la digue.
- ◆ Fruit de 2H/1V du côté du torrent afin de minimiser la poussée des terres sur le mur.
- ◆ Largeur en crête de 5 mètres minimum.
- ◆ Fruit de 3H/2V sur la face extérieur. Cette valeur correspond à la tenue des terres car il n'y a pas de contrainte hydraulique à ce niveau.
- ◆ Ce merlon pourra être boisé afin de faciliter son intégration paysagère.
- ◆ En amont, il est nécessaire de prévoir le captage d'un éventuel débordement rive droite au niveau du pont de Briançon par un recul local de ce merlon. La géométrie ne peut être définie dans le cadre de cette étude car il est très dépendant du tracé routier qui sera finalement retenu.

La section de ce merlon serait proche de 60 m² soit un volume de l'ordre de 12 000 m³.

D'autre part, l'arasement partiel du merlon en rive gauche du lit ordinaire peut être envisagée en restaurant une pente en direction du lit mineur montre le montre la coupe schématique suivante :



Figure 43 : Arasement du merlon rive gauche le long du chenal ordinaire.

4.4.3.2. Rive gauche

La rive gauche est composée de trois parties comme le montre la figure ci-dessous avec la même numérotation :

1. La zone entre les deux lits qui sera globalement conservée en l'état.
2. L'ancien chenal qui devra être entretenu (restauration approximative de la géométrie actuelle en cas de dépôt ou d'érosion, enlèvement de la végétation...).
3. l'ancienne digue qui paraît trop basse. Cette digue doit être remontée afin d'être calée, comme en rive gauche, 5 mètres minimum au dessus du fil d'eau d'étiage.

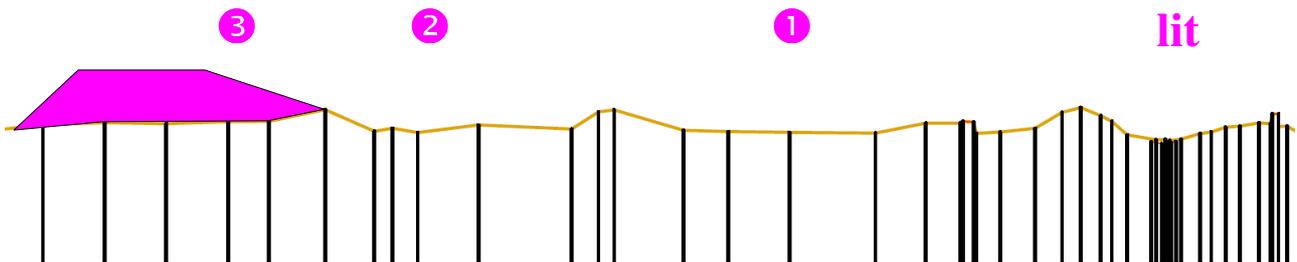


Figure 44 : Coupe type en amont du seuil B2.

Ce merlon en rive gauche présentera les caractéristiques suivantes :

- Il sera implanté en retrait de l'ancien lit. L'absence d'écoulement ordinaire dans ce chenal permet de s'abstenir d'une protection de berge en pied. En cas d'érosion de la crête de digue les habitations en retrait (zones 4 et 5) devront être évacuées en aval de l'érosion constatée.
- Fruit de 2H/1V du côté du torrent ce qui permet d'assurer la stabilité du terrain même avec une érosion en pied modérée.
- Largeur en crête de 10 mètres minimum dans un double objectif :
 - Assurer la stabilité en cas de recul modéré de la berge.
 - Permettre l'arrêt des laves et la formation d'un bourrelet latéral sur le merlon en cas d'improbable débordement.
- Fruit de 3H/2V sur la face extérieure. Cette valeur correspond à la tenue des terres car il n'y a pas de contrainte hydraulique à ce niveau. Par contre, comme sur l'ensemble du projet, l'intégration paysagère pourra conduire à des pentes variables et plus faibles.
- Ce merlon pourra être boisé afin de faciliter son intégration paysagère et son tracé ne sera pas rectiligne.
- En amont, il est nécessaire de prévoir le captage d'un éventuel débordement rive gauche au niveau du pont de Briançon par un recul local de ce merlon. La géométrie ne peut être définie à ce niveau d'étude car il est très dépend du tracé routier.

La section de ce merlon serait de l'ordre de 90 m² soit un volume de l'ordre de 18 000 m³ jusqu'au droit du seuil B2.

4.4.4. Zone de dépôt - Entonnement RD 900

Le principe ici consiste à maximiser la section disponible et la superficie du lit pour permettre le dépôt d'un volume solide important.

Dans l'état actuel le pont de la RD 900 est situé au niveau d'une rupture de pente, ce qui explique qu'il s'agisse du lieu où l'engravement sera le plus important lors de la prochaine crue. Cette situation ne doit rien au hasard mais s'explique par la volonté - illusoire - d'abaisser au maximum le niveau sous le pont lors des curages.

Cette situation est peu satisfaisante. Ainsi, le profil en long est modifié dans le cadre de cet aménagement afin de déplacer la rupture de pente une centaine de mètres en amont du pont ce qui permet de réduire les engravements ordinaires sous l'ouvrage. La pente aval est conservée, afin de faire transiter au maximum les matériaux jusqu'à l'Ubaye. En amont, la pente du lit est respectée.

Le profil en long suivant montre la nouvelle définition des niveaux entre le B2 et l'Ubaye :

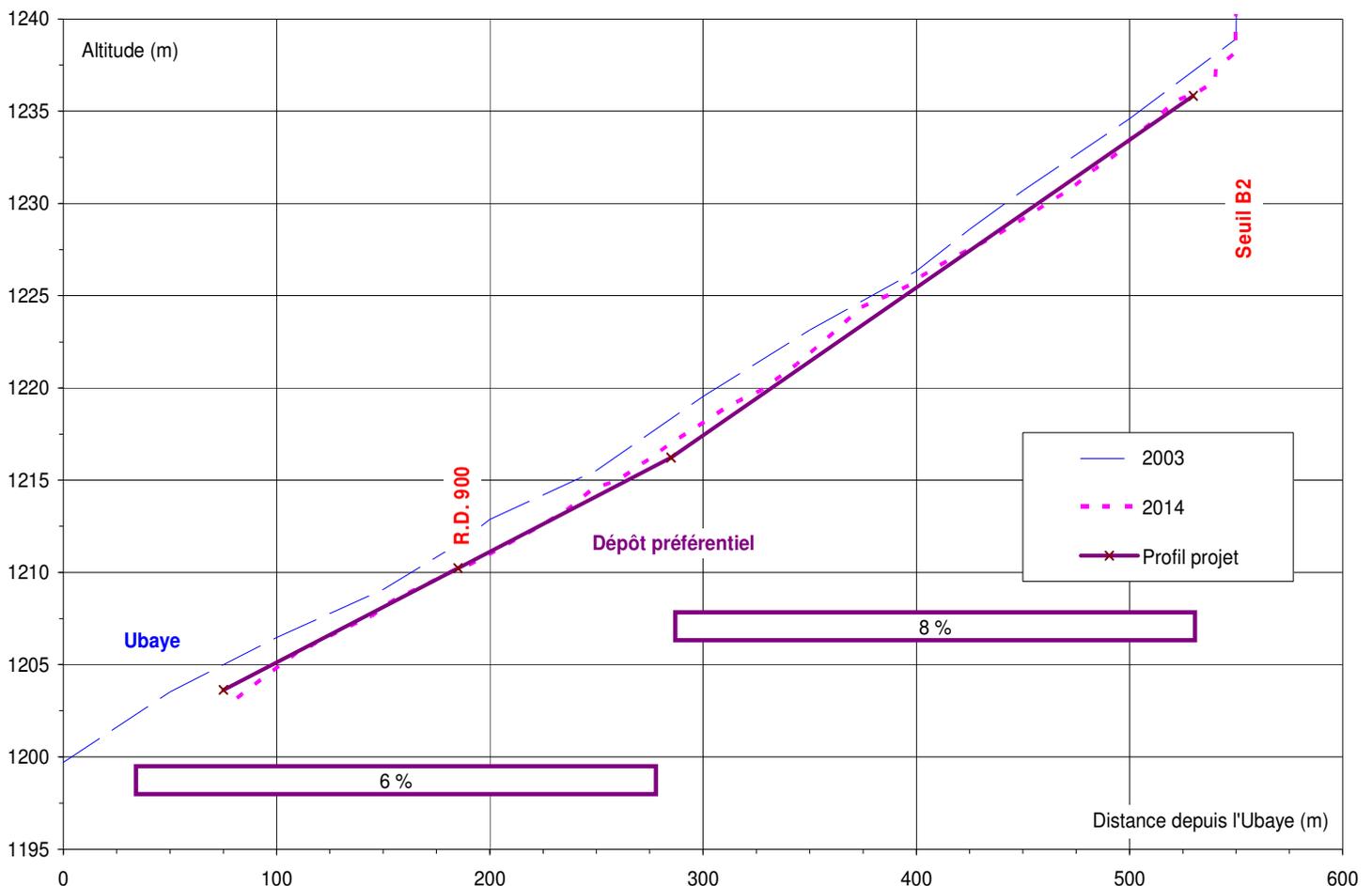


Figure 45 : Profil en long de l'aménagement de la zone de dépôt.

Ce profil en long est défini de la façon suivante (voir graphique précédent) :

- Niveau au droit du pont de la RD 900 identique à celui de 2014, soit 1210.2 NGF sous l'ouvrage.
- Prolongation vers l'aval, jusqu'à l'Ubaye, avec une pente de 6 %.
- Prolongation sur 100 mètres en amont du pont de la RD 900 avec la même pente de 6 %, soit une cote de 1216.2 NGF à la rupture de pente.
- En amont de ce point de dépôt préférentiel, la pente sera de 8 % jusqu'au contre-seuil du B2.

Les écarts de niveau avec le profil en long actuel restent très modérés mais le dépôt débute une centaine de mètres en amont du pont de la RD 900 ce qui facilitera la gestion du site en minimisant la fréquence des interventions et réduit les risques de submersion de la route pour les petites crues.

La figure suivante montre une coupe schématique de cet aménagement dans un profil proche de l'habitation rive droite, le niveau étant localement abaissé par rapport à l'actuel :

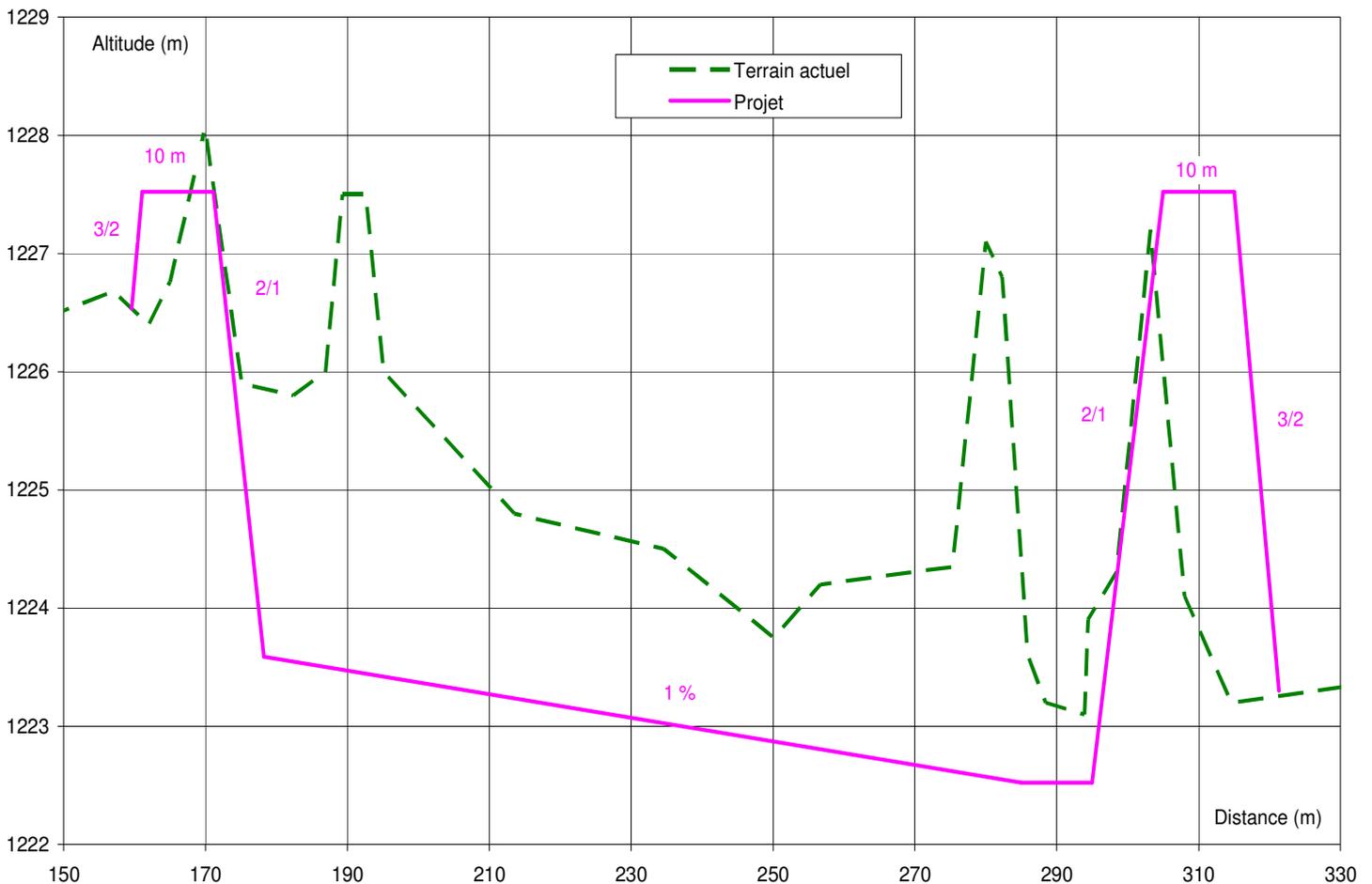


Figure 46 : Coupe type de la zone de dépôt aval.

Cette coupe montre des digues nettement plus massives et donc plus fiables que les digues actuelles.

L'aménagement de cette zone impose les travaux suivants :

- ◆ En rive droite, une digue doit être construite en suivant la digue actuelle, mais avec des dimensions très supérieures. Elle présentera les caractéristiques suivantes :
 - Elle sera implantée à proximité de la digue actuelle mais avec un tracé non rectiligne pour l'intégration paysagère.
 - Fruit de 2H/1V du côté du torrent ce qui permet d'assurer la stabilité du terrain même avec une érosion en pied.
 - Largeur en crête de 10 mètres minimum en amont de l'habitation rive droite. En aval de ce bâtiment, la largeur en crête pourra être réduite à 5 mètres. Cette largeur importante présente un double avantage :
 - Assurer la stabilité en cas de recul modéré de la berge.
 - Permettre l'arrêt des laves et la formation d'un bourrelet latéral sur le merlon en cas d'improbable débordement, ce qui réduit fortement le risque de débordement.
 - En cas d'érosion du talus côté du torrent les terrains en retrait devront être évacués.
 - Fruit de 3H/2V minimum sur la face extérieure. Cette valeur correspond à la tenue des terres car il n'y a pas de contrainte hydraulique à ce niveau mais essentiellement des contraintes foncières et paysagères.
 - La crête de digue sera calée 5 mètres au dessus du fil d'eau d'étiage du projet défini précédemment (rupture de pente 100 m en amont du pont). Il est nécessaire de s'assurer que la pente de la crête de digue - en suivant le linéaire de la digue - n'est pas inférieure à 7 %, ce qui conduira localement à une hauteur supérieure à 5 mètres par rapport au lit du projet. Cette pente est nettement supérieure à la pente observée pour les dépôts de lave torrentielle dans les plages de dépôt.
 - Ce merlon pourra être boisé afin de faciliter son intégration paysagère.
 - En amont, il est nécessaire de prévoir le captage d'un éventuel débordement rive droite par un recul local de ce merlon. Ce recul permet aussi d'éviter l'érosion liée l'affouillement ponctuel en pied de barrage.
 - Si la digue paraît trop proche de l'habitation rive droite, alors deux solutions sont envisageables. La première consiste à mettre en place une digue avec une protection en enrochements avec un fruit de 3H/2V aussi du côté du torrent et une largeur en crête de 5 mètres. La seconde consiste à déplacer sensiblement le tracé en plan de la digue vers le torrent, ce qui peut être réalisé en lien avec l'intégration paysagère du projet.
- ◆ En rive gauche, la digue le long de l'ancien lit sera prolongée et rejoindra dans la partie aval, le pont de la RD 900. Elle présentera des caractéristiques très proches de la digue rive droite :
 - Fruit de 2H/1V du côté du torrent ce qui permet d'assurer la stabilité du terrain même avec une érosion en pied. Notons que le terrain sera ici fortement décaissé, comme indiqué sur le profil transversal. La digue ne présentera plus qu'une hauteur de 1 à 2 mètres par rapport au terrain naturel.
 - Fruit de 3H/2V sur la face extérieure. Cette valeur correspond à la tenue des terres car il n'y a pas de contrainte hydraulique à ce niveau. Notons que la hauteur de ce talus est très modérée, une intégration paysagère reste souhaitable.

- Largeur en crête de 10 mètres minimum dans la partie amont. Cette largeur assure la stabilité de l'ouvrage en cas de recul de la berge et permet l'arrêt des laves et la formation d'un bourrelet latéral sur le merlon en cas d'improbable débordement, ce qui permet de minimiser le risque de débordement à l'extérieur du dispositif. Si l'érosion du talus coté du torrent atteint la crête de digue, les terrains en retrait devront être évacués
- Dans la partie aval de retour vers le pont de la RD 900, la largeur en crête pourra être réduite à 5 mètres dès que la digue est implantée à moins de 100 mètres de l'axe du torrent. En effet, un débordement à ce niveau ne menace plus que la RD 900... déjà submergée au niveau de son pont sous-dimensionné.
- Au niveau du pont de la RD 900, les deux digues se rapprocheront afin de former un entonnement du pont. Une protection en enrochements de l'extrémité des digues paraît alors souhaitable.
- La crête de digue sera calée au même niveau que la digue rive droite. De plus, il est nécessaire de s'assurer que la pente - en suivant le linéaire de la digue - n'est pas inférieure à 5 %, ce qui peut être contraignant dans la partie aval. Cette pente est supérieure à la pente observée pour les dépôts de lave torrentielle dans les plages de dépôt.
- Ce merlon pourra être boisé afin de faciliter son intégration paysagère.
- ◆ Entre les deux digues, les terrains seront arasés avec les cotes suivantes :
 - En rive droite, le niveau du lit actuel sera conservé sur toute la largeur.
 - En rive gauche, le nouveau lit présentera une pente transversale de l'ordre de 1 %, ce qui permet de minimiser le coût des travaux et de faciliter le regroupement des laves vers le pont de la RD 900. De plus, cette pente suit le tracé général du lit et permet de minimiser les terrassements.
 - Cette géométrie devra être restaurée à chaque curage. Elle est donc seulement approximative. En cas de dégradation au niveau de l'éboulement, elle pourrait être fortement modifiée pour accroître le volume disponible.

Cette zone de dépôt va présenter une superficie de l'ordre de 4 ha soit - pour une hauteur de dépôt de 4 mètres - un volume de 160 000 m³ qui excède nettement les apports estimés pour une crue centennale (100 000 m³). D'autre part, ce dispositif ne devrait pas modifier l'écoulement vers l'Ubaye, ce qui peut représenter un volume important, le stockage ne constituant d'une fraction - difficilement estimable - des apports du torrent.

La détermination des volumes de dépôt reste cependant difficile car il s'agit ici d'écoulements purement tridimensionnels qui dépendent notamment des écoulements - ou non - dans l'ancien lit rive gauche.

Pour une crue centennale, un débordement sur le pont sous dimensionné de la RD 900 paraît inévitable. Par contre un débordement sur les digues, et notamment vers les habitations, reste très improbable, d'autant plus que les digues en amont des habitations sont particulièrement larges (10 mètres en crête).

Ces interventions nécessitent, en première approximation, un terrassement important avec le bilan suivant :

- Déblai : 70 000 m³.
- Remblai pour mise en digue : 40 000 m³.

Le volume décaissé sera utilisé pour la constitution des digues en amont du seuil B2. L'excédent pourra être valorisé, aucune pénurie en matériaux ne caractérisant le torrent de Sanières !

4.4.5. Ordre de grandeur des coûts

L'ordre de grandeur des différentes interventions est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Ce coût n'intègre ni les travaux sur les réseaux (routiers en particulier) ni le foncier. Il convient de noter que l'essentiel des travaux correspond à des terrassements dont le coût peut être très variable en fonction des conditions économiques sur Jausiers au moment des travaux. D'autre part, le volume de matériaux valorisable à l'issue de l'intervention ne pourra être connu qu'à l'issue d'une étude de détail du projet.

Il est retenu par la suite un coût unitaire de 5€/m³ pour la mise en place des matériaux constituant les digues. Le volume des déblais n'est pas pris en compte, les matériaux étant destinés aux digues ou valorisés.

Pour le pont de Briançon, le coût correspond uniquement à la reconstruction des culées avec l'hypothèse que le tablier est conservé.

Le tableau suivant indique un ordre de grandeur des coûts correspondant aux travaux proposés :

Intervention	Coût (k€)
Pont de Briançon	50
Rive droite amont B2	60
Rive gauche amont B2	90
Zone de dépôt aval	225
Divers et imprévus	75
Total	500

4.4.6. Dépassement de la crue de projet

L'ouvrage offre une capacité de stockage très supérieure aux apports d'une crue centennale. Par contre, il est difficile de s'assurer que la lave va se répartir uniformément sur toute la superficie avant débordement, même si l'épaisseur importante permet de minimiser l'influence de la contrainte de cisaillement critique et facilite un étalement uniforme.

Les causes d'un éventuel débordement seraient les suivantes :

- L'érosion des digues paraît peu probable, les laves torrentielles étant très peu érosives et les débits liquides ordinaires étant réduits. Les digues actuelles - en tout venant - ne sont que marginalement érodées. Une érosion est possible mais elle serait lente. L'évacuation des

habitations en retrait des digues doit être envisagée sans délai en cas de déstabilisation de la crête de digue. étant donnée la largeur à ce niveau (10 mètres en crête) le délai avant l'érosion de toute la digue est important, même si une quantification paraît hors de portée.

- Deux cas sont imaginables pour une surverse :
- Un remplissage de la plage de dépôt sur une superficie importante et donc à une évolution lente et progressive.
 - Le débordement causé par la vague liée au front de lave. Cette vague serait laminée car le lit est large en aval du pont de Briançon. Ce débordement très temporaire correspond à des volumes de déversement sur la digue très modérés... et à la formation d'un bourrelet de lave qui peut être imposant sur une crête de digue de 10 mètres de largeur. Le risque de déversement est alors faible.

Rappelons qu'en cas de débordement, la lave a tendance à s'arrêter rapidement sur le cône de déjection (la pente est ici de 6 à 8 % seulement) et même sur les digues, comme le montre la photo suivante avec un bourrelet latéral.



Photo 26 : Bourrelet latéral sur la crête de digue du torrent de Faucon.

Malgré la création de la plage de dépôt, la RD 900 et son pont sous-dimensionné restent fortement exposés au débordement. La mise en place du détecteur de laves torrentielles est alors indispensable en l'absence de reconstruction du pont.

4.4.7. Entretien

Le torrent des Sanières n'est naturellement pas à l'équilibre et il se dépose une partie des matériaux dans le cours aval. Un entretien à long terme est alors indispensable.

Les aménagements ont été conçus de façon à maximiser le transit vers l'Ubaye notamment en préservant la pente du lit dans le cours aval. Le volume devant être curé est donc inchangé par rapport à l'état avant aménagement. Il est nécessaire de distinguer deux gestions différentes entre l'amont - où le phénomène prépondérant est le transit - et l'aval avec une forte tendance au dépôt.

Ainsi, en amont du seuil B2, un curage des dépôts obstruant partiellement le lit doit être régulièrement pratiqué pour éviter un débordement. Les volumes sont - a priori - très faibles. Les modalités de prélèvement sont indiquées au paragraphe 4.2.4.1 page 71.

Au contraire de la zone amont, l'aval du seuil B2 présente une tendance très marquée au dépôt dans l'état actuel. Il persistera - mais sera limité à l'intérieur des digues - après aménagements. L'écoulement naturel vers l'Ubaye étant préservé, ainsi que la pente du lit, les volumes à extraire seront les mêmes que dans la situation actuelle.

Le risque de succession de laves torrentielles impose le curage rigoureux et rapide de cette zone afin de restaurer la géométrie initiale de la plage de dépôt. Par contre, lorsque le lit est très large comme ici, il paraît préférable d'éviter un curage à moins de 5 mètres du pied de berge pour réduire et retarder l'érosion de la berge.

En aval de la plage de dépôt, les curages devront être réalisés en cas d'engravement dans la zone de confluence afin de restaurer la topographie actuelle. Une intervention rapide est indispensable, la zone de confluence étant la plus menacée par la succession rapprochée de laves torrentielles.

Aucun curage n'est à réaliser dans le lit en eau de l'Ubaye. Les curages devront se limiter aux apports du torrent, les dépôts dans le lit de la rivière étant repris par la suite, ce qui permet de minimiser les impacts. Seule l'improbable accumulation de blocs dans le lit de l'Ubaye pourrait y nécessiter une intervention directe.

Le curage sera déclenché pour un **engravement supérieur à 0.5 mètres sur un linéaire d'au moins 100 mètres** par rapport au profil en long du projet. Cela correspond aux cotes suivantes :

- Niveau au droit du pont de la RD 900 majoré de 50 centimètres, soit 1210.7 NGF sous l'ouvrage.
- Prolongation vers l'aval, jusqu'à l'Ubaye avec une pente de 6 %.
- Prolongation vers l'amont sur 100 mètres avec la même pente de 6 %, soit 1216.7 NGF à la rupture de pente.
- En amont de ce point, la pente sera de 8 % jusqu'au contre seuil du B2.

Le dépôt devrait naturellement débiter une centaine de mètres en amont du pont, au niveau de la nouvelle rupture de pente. Il peut être judicieux de disposer des repères de niveaux dans cette zone (par exemple à 50 et 100 mètres de part et d'autre de la rupture de pente).

LISTE DES GRAPHIQUES ET DESSINS

Figure 1 : Vue d'ensemble du bassin versant et de la zone d'éboulement	1
Figure 2 : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection.....	3
Figure 3 : Coupe schématique du mur rive gauche.	4
Figure 4 : Carte d'État Major et photographie actuelle (document Géoportail).....	6
Figure 5 : Photo aérienne de 1956 (document Géoportail).	7
Figure 6 : Photo aérienne de 1971 (document Géoportail).	8
Figures 7 & 8 : Confluent torrent de Sanières - Ubaye avant et après la crue de 2008.	10
Figure 9 : Relation entre hauteur et pente d'écoulement pour les laves torrentielles.	12
Figure 10 : Profil transversal (P12) correspondant aux gorges.....	38
Figure 11 : Profil transversal (P17) correspondant au cône de déjection.	38
Figure 12 : Dépôt du Nant S ^t Claude	44
Figure 13 : Zone de reprise au pied de l'éboulement.....	45
Figure 14 : Zone de fourniture de Bon Attrait.....	46
Figure 15 : Répartition des crues de la Ravoire de Pontamafrey.	47
Figure 16 : Engrèvement généralisé à Pontamafrey en 1966.	48
Figure 17 : Zone de dépôt sur le S ^t Antoine.	49
Figure 18 : Zone de dépôt de la lave de juin 1998 sur le S ^t Antoine.	50
Figure 19 : Crue de 1999 sur le S ^t Antoine.	51
Figure 20 : Profondeur et section du lit avant débordement.....	54
Figure 21 : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection.	56
Figure 22 : Comparaison des profils en long de 2003 et 2014.	57
Figure 23 : Évolution de la largeur.	58
Figure 24 : Coupe schématique de la zone de régulation amont.....	61
Figure 25 : Coupe schématique du confortement au sommet du cône de déjection.	65
Figure 26 : Vue schématique des interventions au droit du rétrécissement de la Rochette.	65
Figure 27 : Profil transversal au droit du pont de la Rua.	66
Figure 28 : Profil transversal au droit du pont de Briançon.	66

Figure 29 : "Entonnoir" du chenal rive gauche en aval du pont de Briançon.	67
Figure 30 : Profil transversal au droit du pont de la RD 902.....	68
Figure 31 : Profil en amont du seuil B2.	69
Figure 32 : Profil en aval du seuil B2.....	69
Figure 33 : Coupe schématique de la rehausse du mur rive gauche.....	70
Figure 34 : Vue schématique de l'entretien du lit amont.....	71
Figure 35 : Localisation approximative de la plage de dépôt.	72
Figure 36 : Localisation des zones potentiellement atteignables par le torrent de Sanières.....	73
Figure 37 : Localisation des interventions à mettre en œuvre immédiatement.	76
Figure 38 : Localisation des interventions à mise en œuvre souhaitable.	77
Figure 39 : Localisation des interventions en cas de dégradation.	78
Figure 40 : Vue schématique de l'aménagement aval.....	80
Figure 41 : Reconstruction de la culée rive gauche du pont de Briançon.	81
Figure 42 : Coupe schématique de la rehausse du mur rive gauche.....	82
Figure 43 : Arasement du merlon rive gauche le long du chenal ordinaire.....	82
Figure 44 : Coupe type en amont du seuil B2.	83
Figure 45 : Profil en long de l'aménagement de la zone de dépôt.	84
Figure 46 : Coupe type de la zone de dépôt aval.	85

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Pont de Briançon après la crue (photo prise de la rive gauche).....	5
Photo 2 : Zone d'éboulement de la Roche Plombée en 2003.	13
Photo 3 : Amas de blocs et rapide dans la zone d'éboulement en 2004.....	14
Photo 4 : Lit au droit de l'éboulement en 2004.....	15
Photo 5 : Lit amont en décembre 2013.	23
Photo 6 : Chaos de blocs dans la partie supérieure en décembre 2013.	24
Photo 7 : Limite aval des apports grossiers supérieurs en décembre 2013.....	25
Photo 8 : Apports grossiers amont et partie centrale en décembre 2013.....	25
Photo 9 : Partie aval de la zone d'éboulement en décembre 2013.....	26
Photo 10 : Extrémité aval de la zone d'éboulement en décembre 2013.	27
Photos 11 & 12 : Évolutions récente dans la zone active amont.	29
Photos 13 & 14 : Apports de blocs dans la partie centrale.	30
Photos 15 & 16 : Dépôts de blocs récent et recouvrement du lit.....	31
Photos 17 & 18 : Évolutions récente dans la zone active aval.	32
Photo 19 : Limite aval de l'impact actuel de l'éboulement.	34
Photo 20 : Barrages de régulation du transport solide en aval de l'éboulement.....	35
Photo 21 : Écoulement de lave dans le Ravin de Couano en 2003.....	35
Photo 22 : Lit en amont du village.	36
Photo 23 : Transition entre le pied de versant et le cône de déjection.	37
Photo 24 : Reprise des matériaux lors de la crue de 2003.	42
Photo 25 : Chenal rive gauche après enlèvement de la végétation.....	67
Photo 26 : Bourrelet latéral sur la crête de digue du torrent de Faucon.....	89