

Création d'un itinéraire cyclable entre
Jausiers et Barcelonnette
Étude du franchissement du torrent de
Sanières

SEPTEMBRE 2022

Rapport provisoire



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

SOMMAIRE

1. CARACTÉRISTIQUES DU TORRENT 1

1.1.	OBJET DE L'ÉTUDE	1
1.2.	HYDROLOGIE	2
1.3.	ANALYSE DU PROFIL EN LONG	3
1.3.1.	Profil en long général	3
1.3.2.	Analysé du profil en long sur le cône de déjection	5
1.4.	HISTORIQUE DU SITE	7
1.4.1.	Crues historiques	7
1.4.2.	Évolution diachronique du tracé en plan	10
1.4.3.	Évolutions récentes du profil en long	15
1.4.4.	Évolutions récentes des profils en travers	16

2. DESCRIPTION DU LIT 19

2.1.	ZONE DE L'ÉBOULEMENT	19
2.2.	GORGES AVAL	24
2.3.	CÔNE DE DÉJECTION EN AMONT DU PONT DE BRIANÇON	26
2.4.	BRAS PRINCIPAL AVAL	32
2.5.	BRAS SECONDAIRE	40

3. PHÉNOMÈNES DE CRUE 41

3.1.	TRANSPORT SOLIDE	41
3.1.1.	Nature des phénomènes	41
3.1.2.	Transport solide par charriage.....	41
3.1.3.	Estimation des volumes de lave torrentielle	43
3.2.	ÉCOULEMENT DES CRUES.....	44
3.2.1.	Charriage	44
3.2.2.	Laves torrentielles	45
3.2.2.1.	Nature des phénomènes et calage	45
3.2.2.2.	Écoulement en chenal trapézoïdal	47
3.2.2.3.	Écoulement en chenal rectangulaire	50
3.2.3.	Risque de dépôt.....	51

4. PROJET DE FRANCHISSEMENT 52

4.1.	NATUREL DU PROJET.....	52
4.2.	CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE SUR LE BRAS PRINCIPAL	53
4.2.1.	Principe	53
4.2.2.	Ouverture	54
4.2.3.	Calage altimétrique	55
4.2.4.	Entonnement	56
4.2.5.	Nature de l'entonnement et niveau de fondation.....	58
4.3.	FRANCHISSEMENT DU BRAS SECONDAIRE	60
4.4.	GESTION DE L'OUVRAGE	62
4.4.1.	Système d'alerte	62
4.4.2.	Entretien du lit.....	63
4.4.3.	Impact sur les écoulements de lave torrentielle	63

1. CARACTÉRISTIQUES DU TORRENT

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.

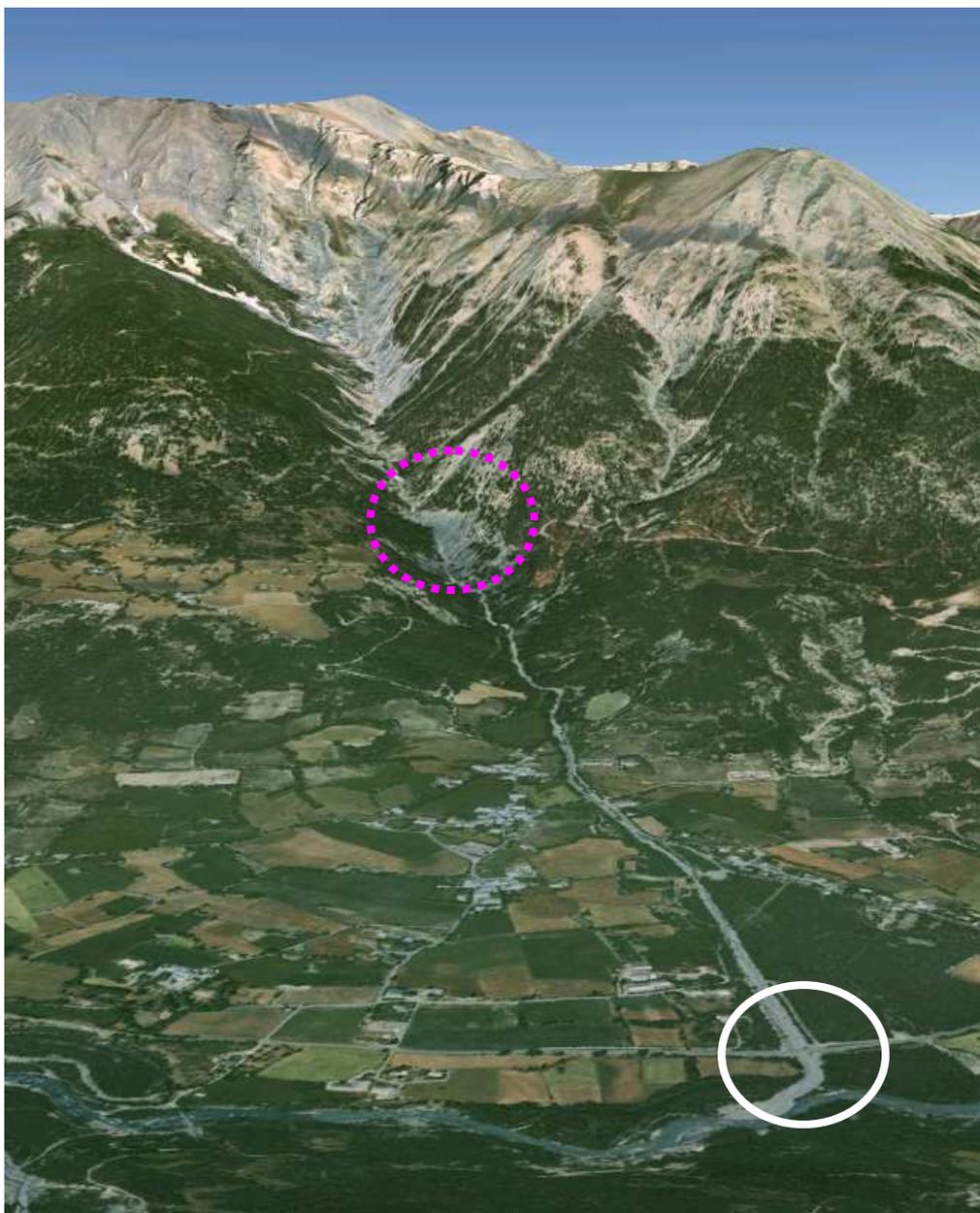


Figure 1 : Vue d'ensemble du bassin versant et de la zone d'éboulement

L'objectif de cette étude est de permettre le franchissement du torrent, juste en amont de la RD 900, comme indiqué sur la photo précédente.

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*

Une étude plus récente a été réalisée suite à l'éboulement :

*Commune de Jausiers
Étude de l'impact de l'éboulement de la Roche Plombée sur le torrent de Sanières
ETRM - Avril 2015*

L'Étude de bassin de risques réalisée par le RTM :

*Service RTM des Alpes de Haute Provence
Périmètre RTM de l'Ubaye - Forêt Domaniale de Costebelle
Division Domaniale du torrent des Sanières
Étude de bassin de risques - Rapport - Décembre 2015*

Les principales caractéristiques du torrent sont résumées ci-dessous, les justifications étant disponibles dans les rapports cités précédemment.

1.2. 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.

1.3. Analyse du profil en long

1.3.1. Profil en long général

La figure suivante montre le profil en long issu du LIDAR 2014 depuis la cascade en amont de la zone de l'éboulement :

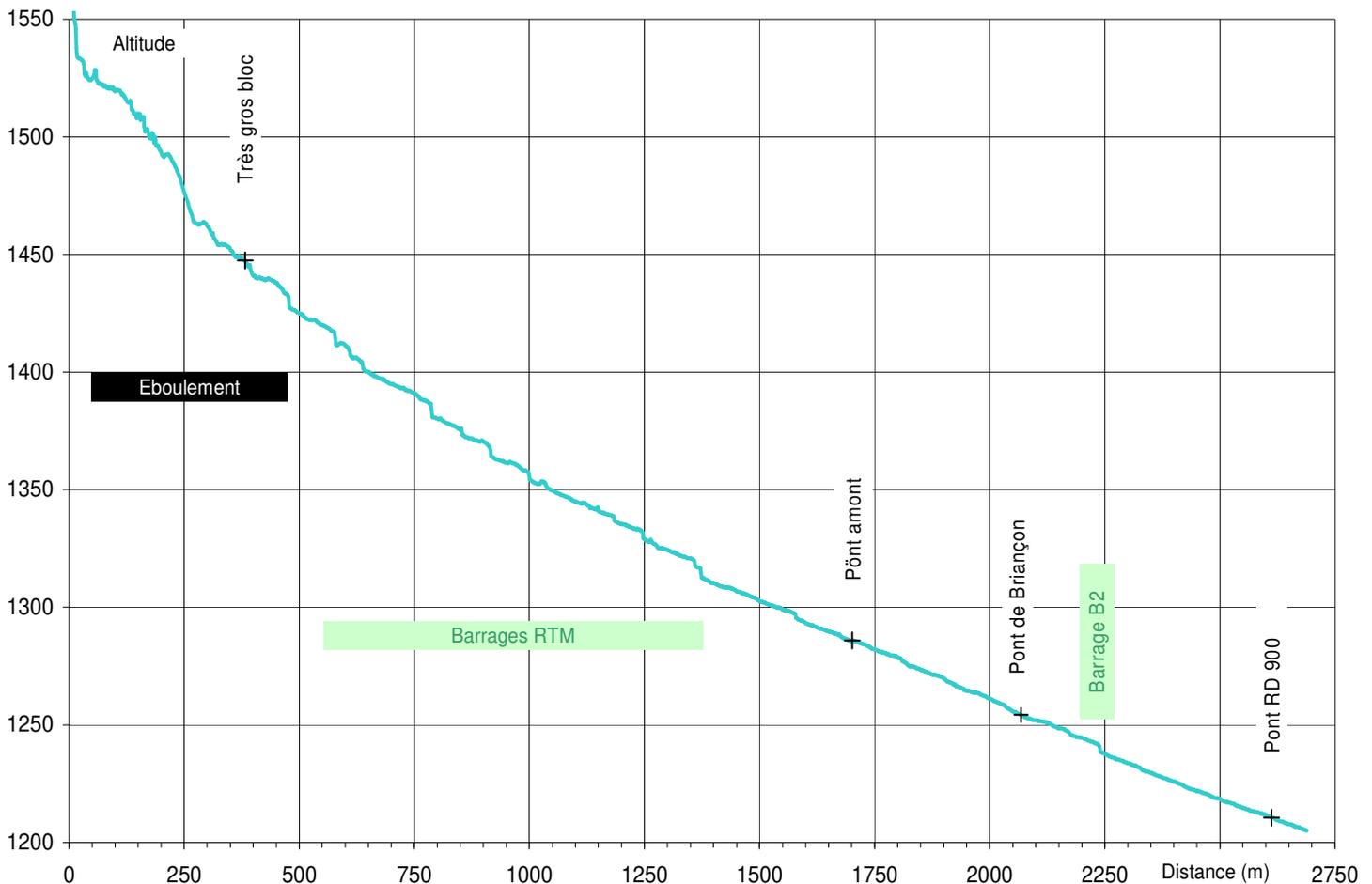


Figure 2 : Profil en long général de la partie aval du torrent des Sanières.

Ce graphique met en évidence les tronçons suivants :

- La cascade très raide en amont du profil en long représenté. Notons que des zones d'érosions sont très actives en amont et qu'une solide correction torrentielle y est en place.
- La zone d'apport de l'éboulement avec un gonflement du profil en long, particulièrement en amont du très gros bloc isolé en rive droite.
- Les gorges qui sont équipées de plus d'une dizaine de barrages. Elles se terminent au niveau des deux ouvrages situés au sommet du cône de déjection. Ces gorges connaissent une forte réduction de pente. Les barrages jouent alors un rôle très favorable en permettant un laminage des apports solides.

- Le cône de déjection avec une pente très régulière jusqu'à la confluence avec l'Ubaye, ce qui témoigne du cône de déjection mature d'un torrent très actif. Il est étonnamment coupé en son centre par le barrage B2 qui permet le passage d'un canal.
- Cette pente régulière se prolonge ensuite jusqu'à l'Ubaye, l'ouvrage projeté étant situé juste en amont de la confluence. Un petit seuil entre le franchissement et le pont n'est pas visible à cette échelle mais permet de fixer les niveaux dans la zone de confluence.

La situation très en aval du franchissement envisagé réduit considérablement les évolutions potentielles du lit sous l'effet d'apports exceptionnel depuis le bassin versant, particulièrement en cas de charriage. En effet, le dépôt se produit préférentiellement au droit des ruptures de pentes, puis progresse très lentement vers l'aval. Une éventuelle tendance au dépôt sera alors facilement contrecarrée par des curages en amont, bien avant qu'elle menace l'ouvrage projetée. Par contre, un dépôt régressif depuis la confluence avec l'Ubaye est plus probable.

Le transit de laves torrentielles alimentées dans le bassin versant reste le phénomène prépondérant, la pente soutenue et le lit relativement étroit ne permettant guère l'arrêt d'une lave torrentielle de grande ampleur.

1.3.2. Analyse du profil en long sur le cône de déjection

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 :

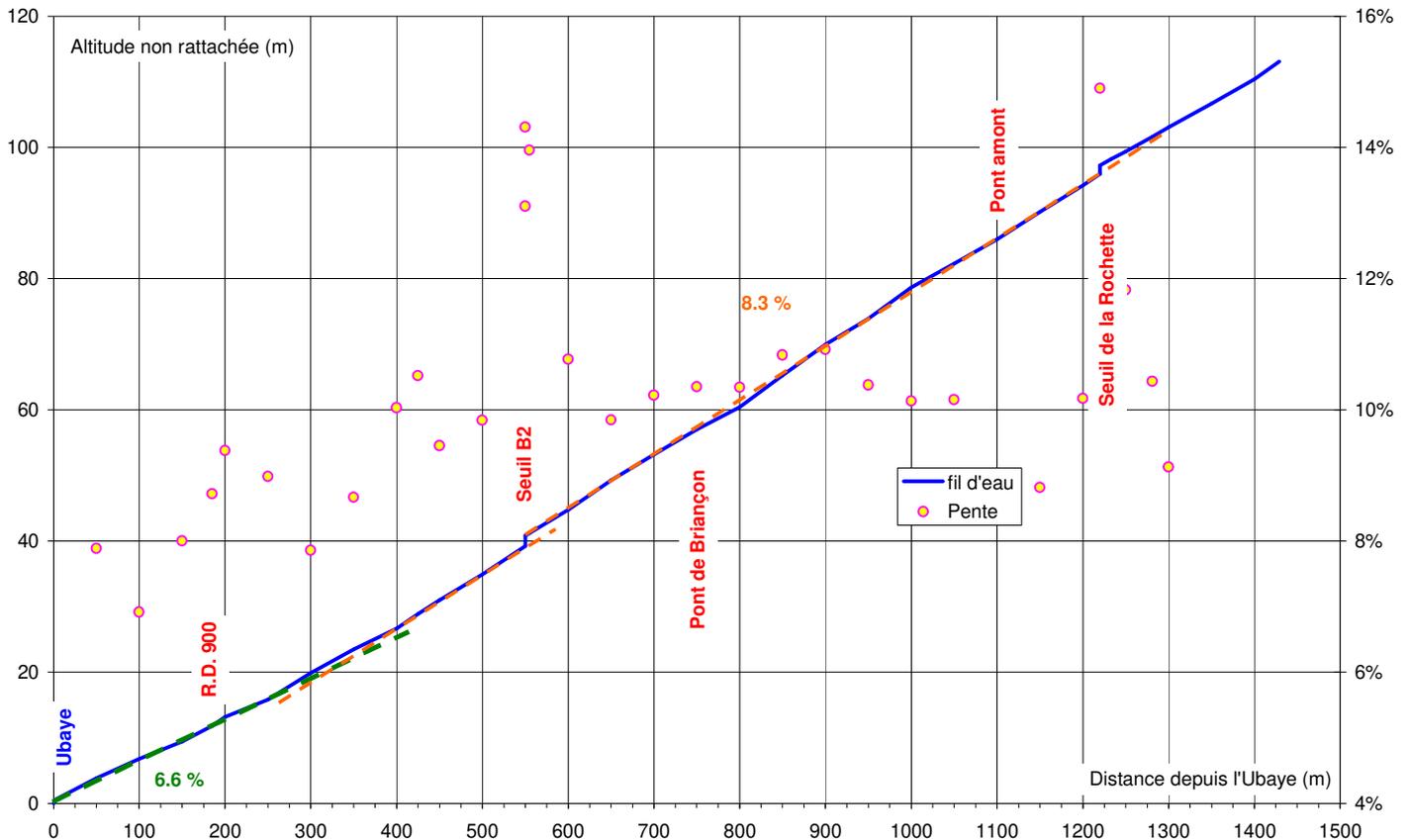


Figure 3 : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection.

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 - remontent 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 RD. 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 RD. 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.
- Cette rupture de pente doit cependant être relativisée et il n'est pas impossible qu'elle soit liée à des curages et surtout aux respirations à la confluence avec l'Ubaye. En effet, le profil en long de 2022 montre une pente remarquablement régulière de 7.4 % sur l'ensemble du linéaire aval comme le montre le graphique suivant :

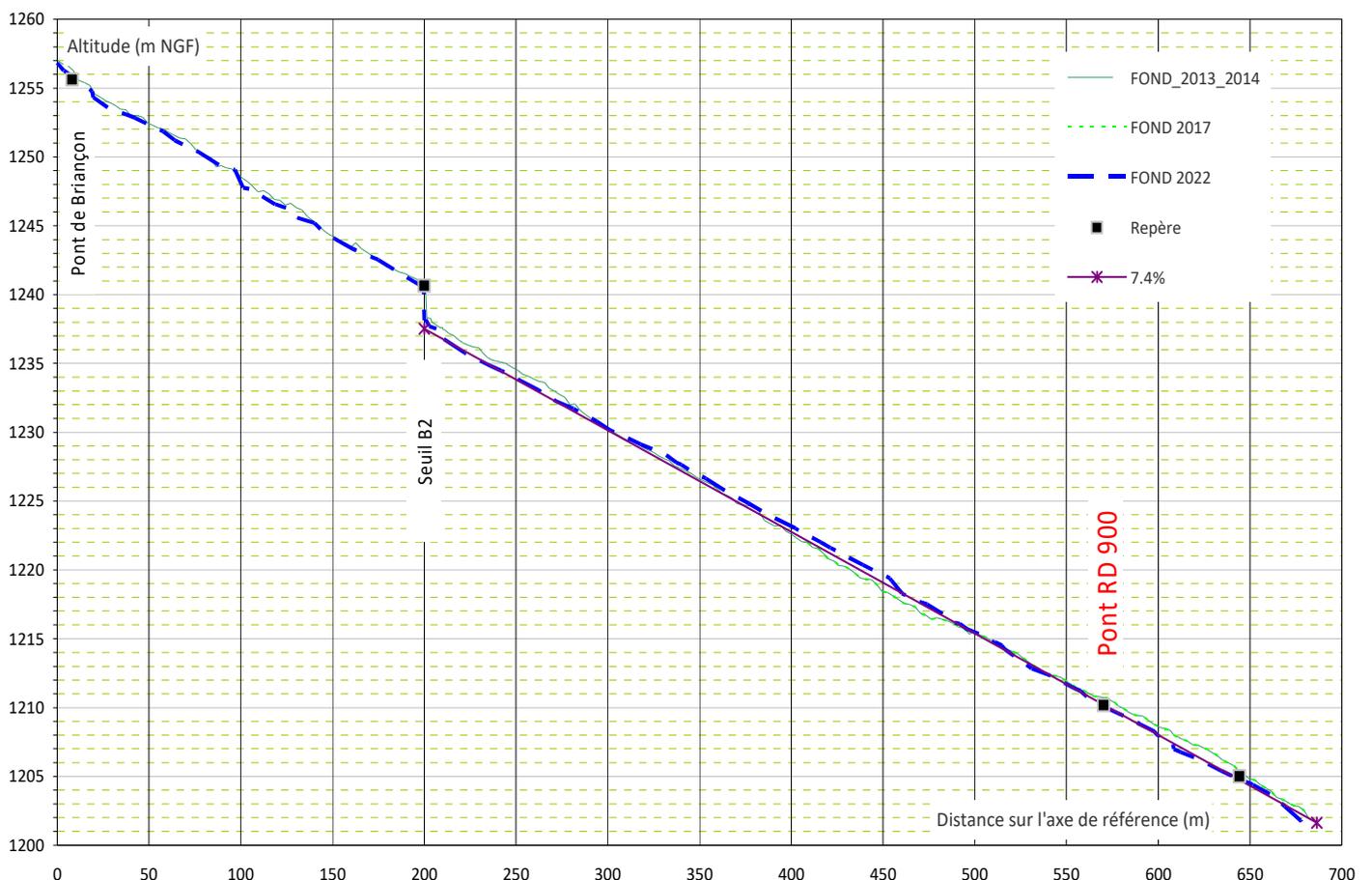


Figure 4 : Profil en long régulier de 2022 et pente de 7.4 %.

1.4. Historique du site

1.4.1. Crues historiques

Les données ci-dessous sont issues de l'Étude de bassin de risques réalisée par le service RTM des Alpes de Haute Provence.

23 juin 1732	Propriétés inondées, 80 maisons menacées.
29 mai 1856	Route impériale n° 100 (actuelle D900) coupée. Des terres agricoles submergées en rive gauche du cône. Crue généralisée avec laves torrentielles se succédant du 29 au 31 mai 1856.
25 sept 1860	Digue détruite en rive droite. Crue du torrent des Sanières avec formation de laves torrentielles (lave et gros blocs suite à des pluies torrentielles).
sept 1863	Digue rive droite endommagée. Ex RN100 (actuelle D900) recouverte par la boue et les blocs.
nov 1865	Ex RN100 (actuelle D900) engravée par de gros blocs. Circulation coupée plusieurs jours.
	Coupure de la RN 100 sur plus de 2 km.
1867	Glissement actif pendant 3 jours déclenchant plusieurs laves suite à des pluies importantes printanières.
24 juil 1868	43 ouvrages de correction ruinés suite à un orage violent.
1874	Lave torrentielle, 30 000 m ³ de matériaux suite à un orage. 20 mm de pluie tombée pendant 1h 30.
juil 1888	Destruction d'une grande partie du dispositif de correction
21 juil 1900	Destruction de 133 barrages, 49 autres endommagés. Actuelle D900 coupée au niveau des Davis (actuels Davids-Bas?), soit nettement sur la droite du lit actuel. Circulation interrompue jusqu'au 22/07 à 12h Lave torrentielle transportant d'énormes blocs (1 bloc entraîné sur 500 m a été estimé à 500 m ³) suite à un orage violent avec grêle (18h00).
août 1942	
01 sept 1946	RN 100 emportée. Circulation interrompue.
août 1954	
24 juin 1955	Pont sur la RN 100 complètement obstrué, dégâts importants à la RN 100 et au canal d'arrosage des "Pautriers". circulation interrompue sur RN 100 du 24 à 17h au 25 vers 12h
1957 - 1958	Création du bras actuel et abandon de l'actuel bras secondaire pour réduire les risques de dépôt et débordement au niveau de la RD 900.

16 sept 1960	Inondation de caves, rupture de digues, gués obstrués, passerelles emportées, barrage en construction recouvert par eaux boueuses
08 juil 1976	Canal d'arrosage du Pas de Grégoire endommagé, barrages en amont des Sanières affouillés, digue détériorée, chenal de tirage obstrué, atterrissement de barrages. Transport de blocs, lave torrentielle suite à un orage de grêle et de pluie.
13 août 2000	Dimension de la lave au pont de la Rochette: ◆ largeur: 8 m, ◆ hauteur de 0,10 à 1 m.
05 juin 2002	Gros engrèvement sous le pont du CD900. Tirant d'air restant : 1 m
05 août 2003	La crue est passée sur le pont de Briançon sans dégâts. Le chenal, de part et d'autre du CD 900 (150m à l'amont et 150m à l'aval) avait été curé auparavant ce qui n'a pas entraîné de coupure du CD 900
25 sept 2006	Cette crue a entraîné une élévation du lit qui ne laissait plus qu'1,40 m sous le pont de la D900. Un curage a eu lieu en décembre 2006 : 4 920 m³ de matériaux extraits.
19 juil 2013	Traces de prélèvement de matériaux et de passage de la crue. Dépôt de 4500 m ³ avec une hauteur de 1.5 m en amont du pont de la RD900. Ce curage a permis d'éviter le débordement du torrent au niveau du pont Crue avec charriage arrivant jusqu'à l'Ubaye.

Cet historique montre que les débordements sur la route ont été très nombreux par le passé, mais que depuis la création du nouveau bras en 1957 le pont de la RD 900 n'a jamais connu de débordement.

Ce constat conduit à une période de retour expérimentale de la capacité de cet ouvrage de plusieurs décennies.

Il convient de noter que le remarquable dispositif de protection mis en place par le RTM a réduit fortement l'occurrence - et surtout l'ampleur - des laves par rapport à ce qui a été observé au XIX^{ème} siècle.

Le RTM a réalisé une étude de la répartition des crues dans l'année comme le montre la figure suivante.

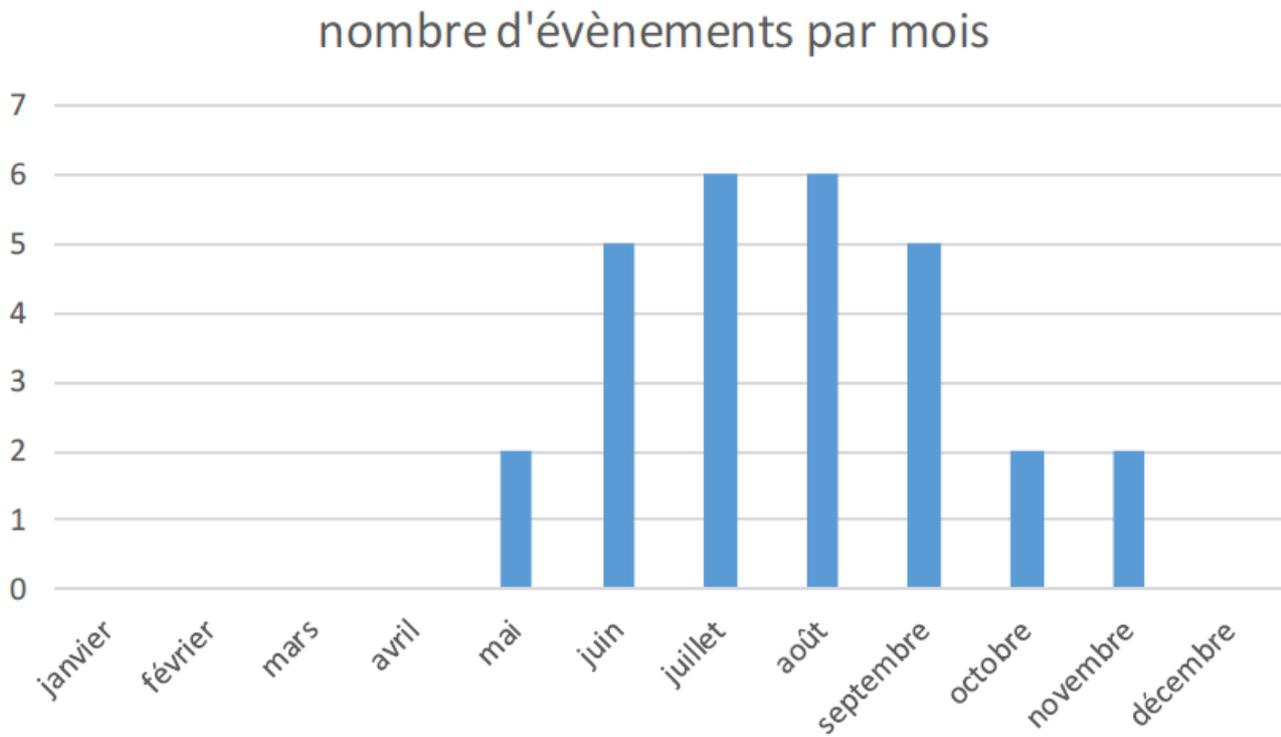


Figure 5 : Répartition mensuelle des crues du torrent des Sanières (RTM).

La corrélation paraît très forte avec l'usage d'une piste cyclable, même si la fréquentation sur ce type de voie chute lors des orages intenses favorables à la genèse des crues.

1.4.2. Évolution diachronique du tracé en plan

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 6 : 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 conflue 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 !
- ◆ 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 7 : 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 page suivante montre le site en 1971.

Bien que cette photo soit séparée de la précédente par la crue de 1957, les évolutions sont faibles à l'exception de la création du nouveau lit dans les années 1956-1957 :

- ◆ 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.



Figure 8 : Photo aérienne de 1971 (document Géoportail).

Le pont de la RD. 900 présente une très faible hauteur (1.6 mètres avant curage)

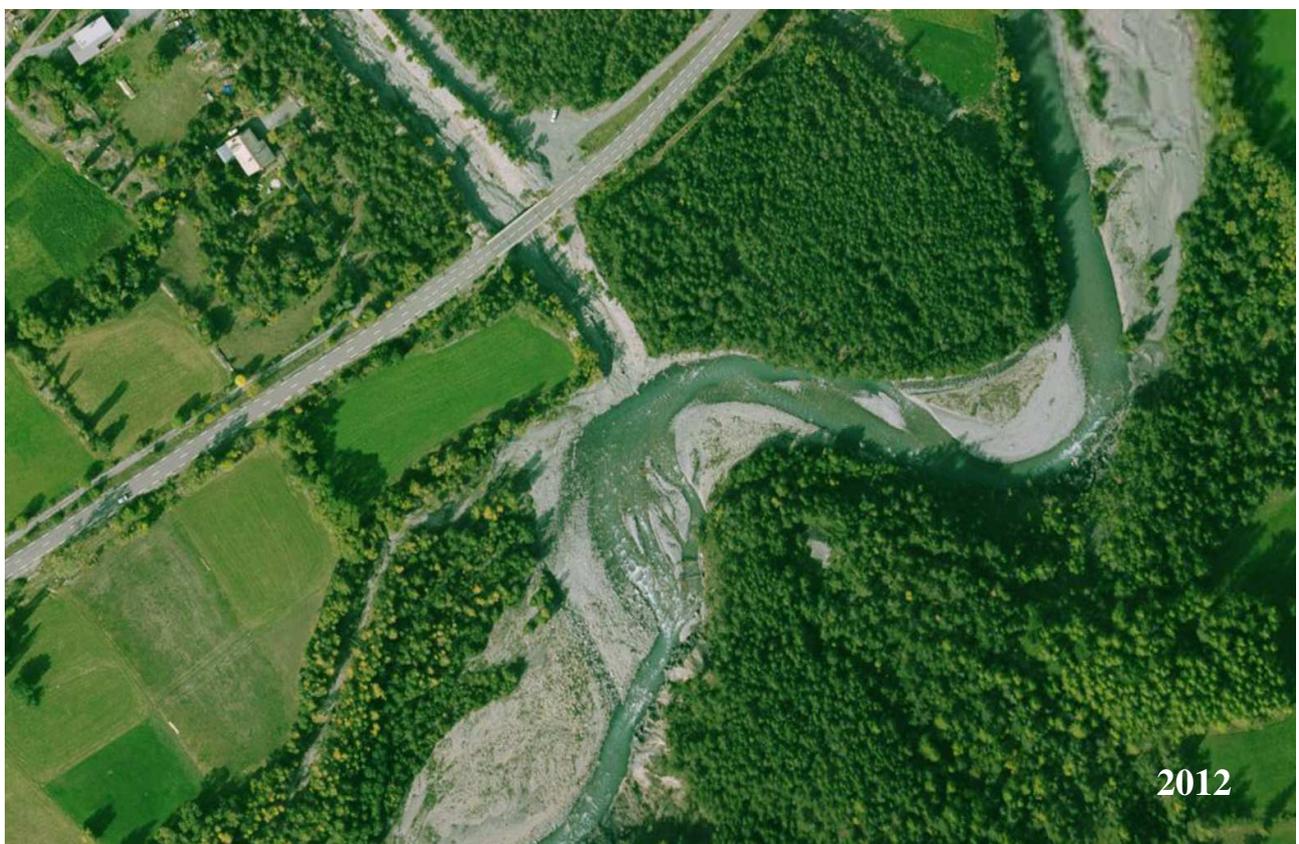
En aval du pont, le lit a été curé après la crue de 2003. Il présentait alors une largeur tout juste supérieure à celle que l'on observe en amont. Ce tronçon formait un angle vers l'Ouest afin de minimiser l'angle entre l'Ubaye et le torrent dans la zone de confluence. Le dépôt du torrent de Sanières 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.

Les photos de la seconde page montrent

- En 2018 le dépôt de lave à la confluence, avant la reprise par l'Ubaye.
- En 2021 une reprise partielle des dépôts par l'Ubaye avec un nouveau tracé suite à la petite crue de l'Ubaye du printemps 2021.

Depuis, une nouvelle lave de torrent de Sanières a repoussé le lit de l'Ubaye et restauré un cône de déjection éphémère dans le lit de l'Ubaye.



Figures 9 & 10 : Confluent torrent de Sanières - Ubaye avant et après la crue de 2008.



Figures 11 & 12 : Confluent torrent de Sanières - Ubaye avant et après la crue de 2019.

1.4.3. Évolutions récentes du profil en long

La figure suivante regroupe les différentes données disponibles :

1. Profil en long extrait du MNT de 2013-2014.
2. Profil en long extrait du MNT de 2017 qui reprend une partie du MNT de 2014.
3. Profil en long levé par topographie terrestre le 17 août 2022 par Morph'eau Conseils/SIGosphère

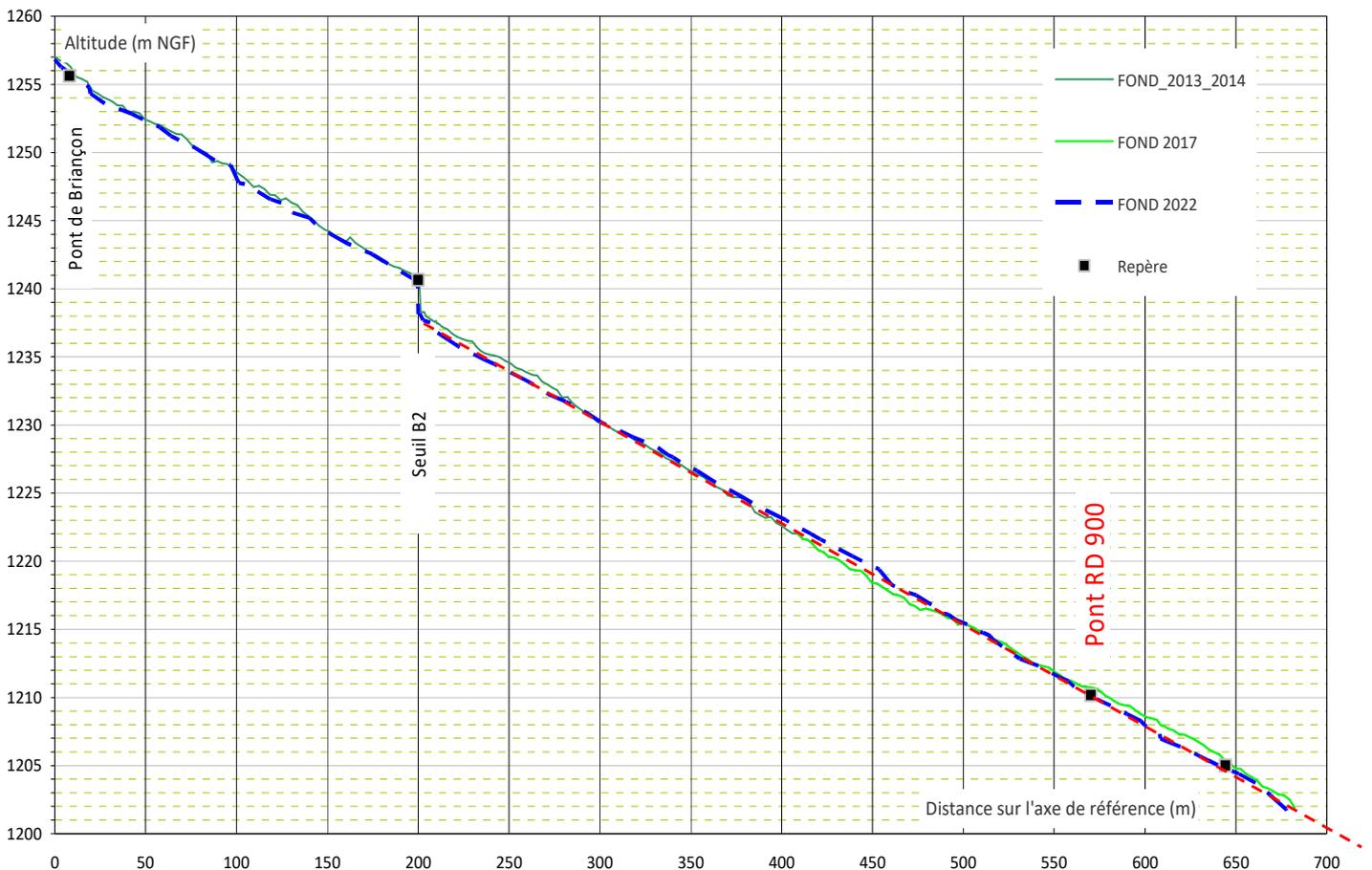


Figure 13 : évolution du profil en long entre 2013 et 2022.

Ce profil en long montre - sur à peine une décennie et en l'absence de forte crue - des évolutions modérées :

- ⇒ Entre le Pont de Briançon et le seuil B2, les évolutions du lit sont marginales, ce qui montre que la pente est proche de la pente d'équilibre et que les laves torrentielles transitent sans réelle tendance au dépôt ou à l'érosion.
- ⇒ En aval du seuil B2, les évolutions du lit sont ont conduit à une pente très régulière en 2022, les irrégularités des levés précédents ayant été gommées. Il est aussi possible d'observer que le seuil aval paraît - pour toutes les courbes - effacé et imperceptible sur le profil en long.

Ces évolutions suggèrent une respiration (variations aléatoires) de l'ordre du mètre.

1.4.4. Évolutions récentes des profils en travers

Une analyse de l'évolution des profils en travers a été réalisée en reprenant la localisation des profils de 2014, avec les mêmes jeux de données que pour les profils en long. La figure suivante montre la localisation des profils en travers entre le B2 et l'Ubaye (le profil 1 est situé au pont de Briançon) :

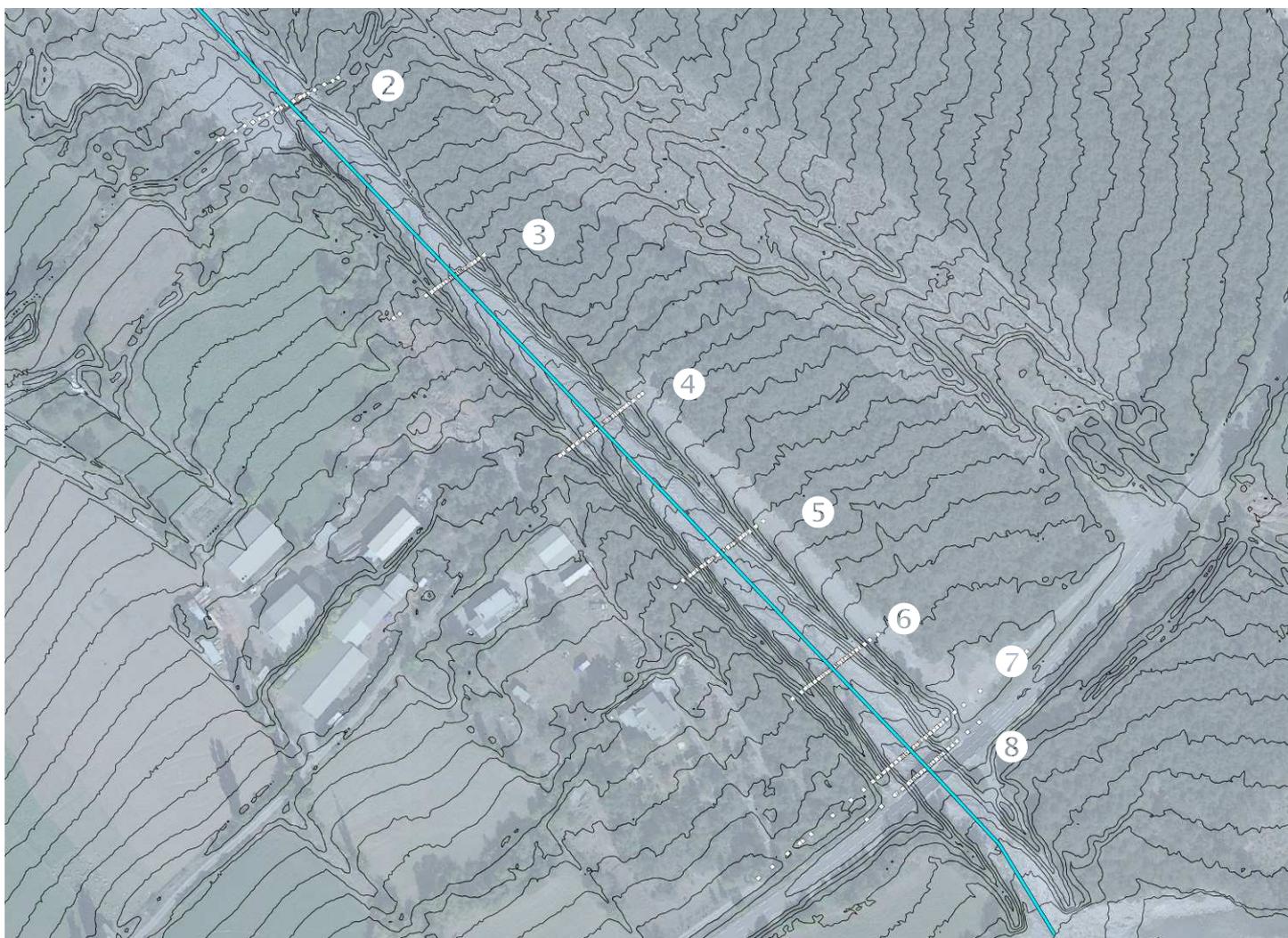
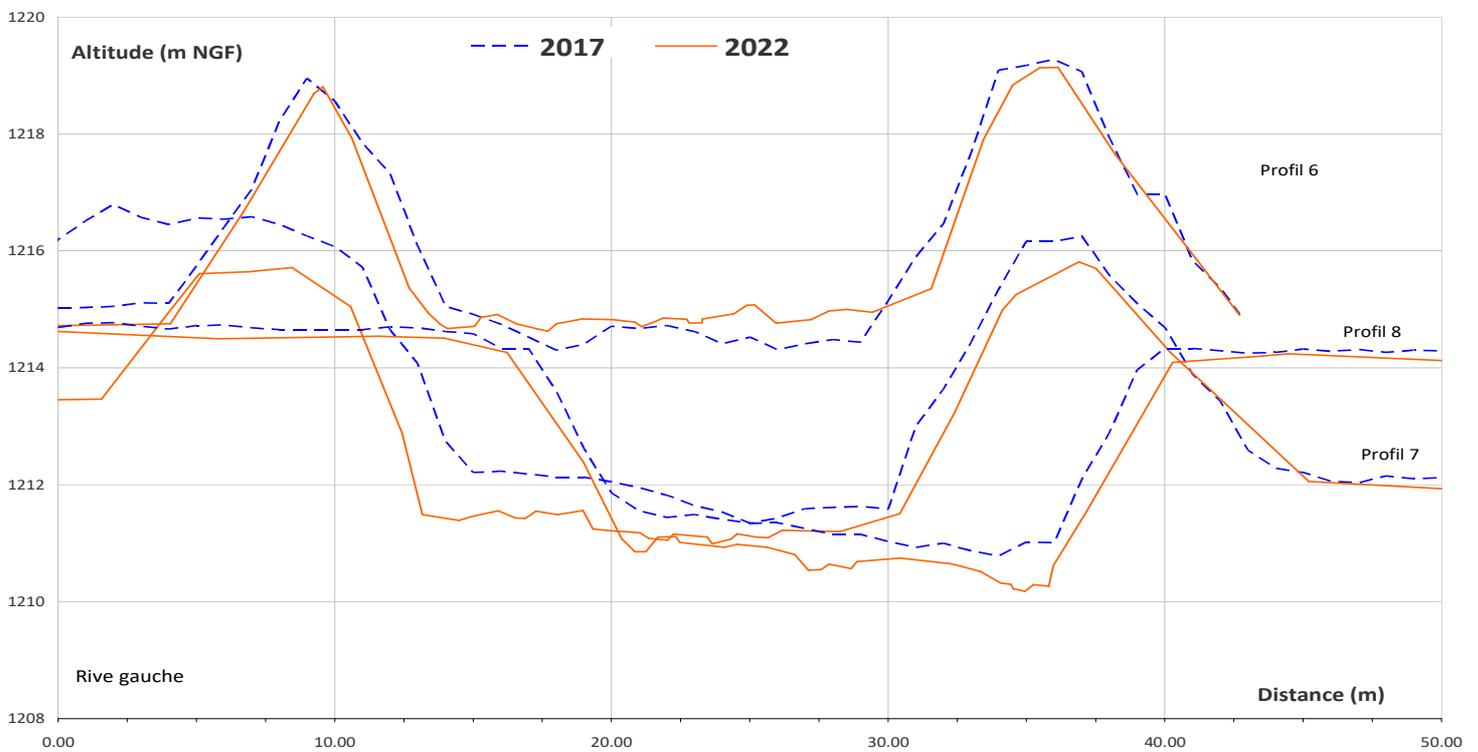
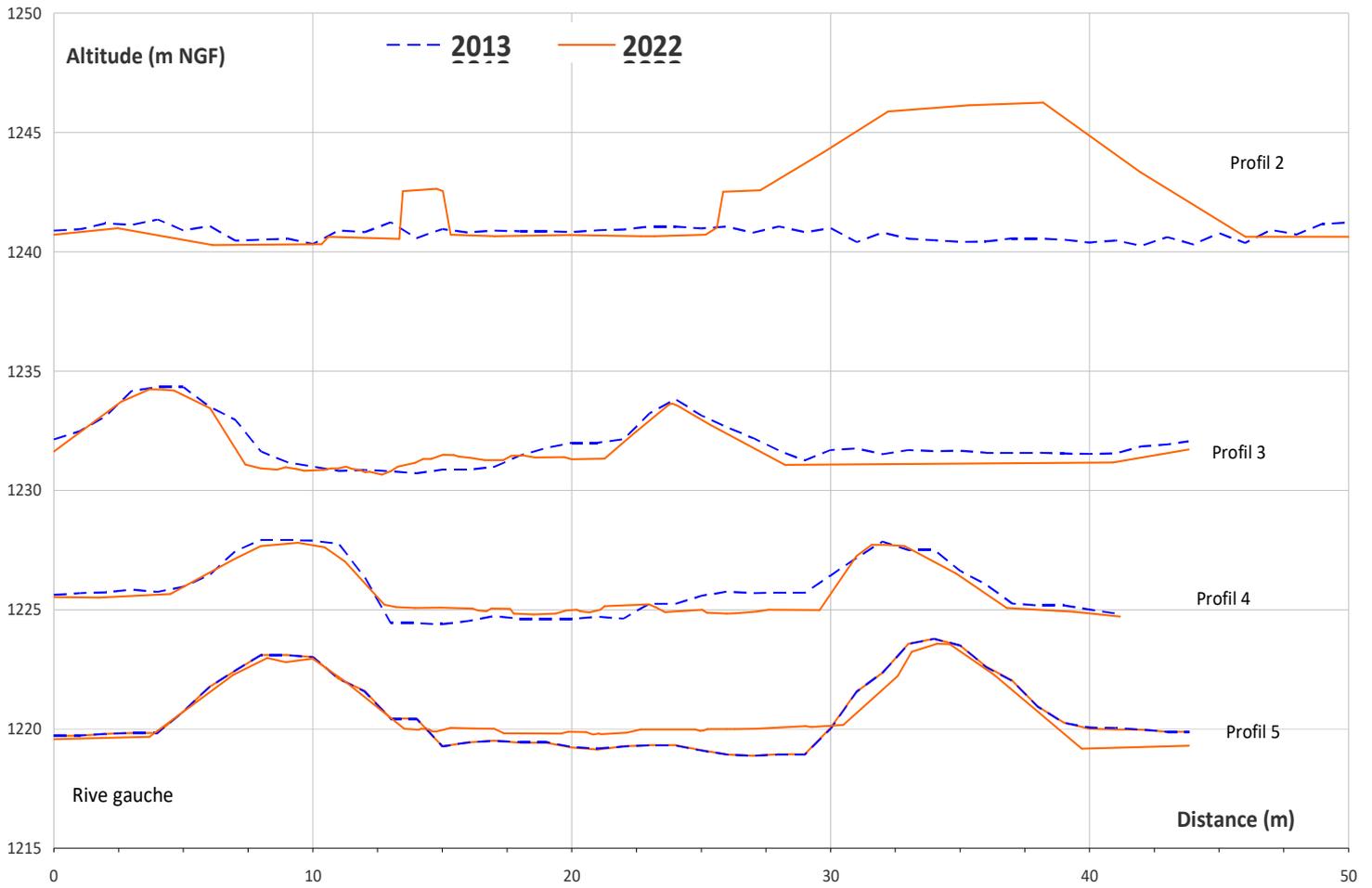


Figure 14 : Localisation des profils en travers sur l'aval du cône de déjection.

La figure suivante montre les profils en travers dans la partie amont. Si l'on observe bien des évolutions du lit (déplacement du lit ordinaire de la rive gauche vers la rive droite au profils 4 ou engrèvement du lit dans le profil 5) les évolutions sont faibles surtout si on les compare aux incertitudes de mesure qui apparaissent en dehors du lit dans des zones qui - a priori - n'ont pas évolué en 5 ans.

On notera que le profil de 2013 n'intègre pas les ouvrages au droit du barrage B2 (profil 2).

Par contre, une évolution systématique apparaît nettement sur l'ensemble des profils : **le recul des berges non protégées** même sur une courte période sans crue importante, ce qui illustre le caractère artificiel de ce tronçon et la nécessité d'intervenir régulièrement pour éviter un inexorable recul des berges.



Figures 15 & 16 : Évolution des profils en travers et recul des berges.

Dans la partie aval, le changement d'échelle (nécessaire pour distinguer les différents profils) exacerbe les évolutions du lit qui reste modérées. Dans le lit, les évolutions correspondent pour l'essentiel à un lissage de la pente.

Le profil 7 (juste en amont du pont, au droit du franchissement) montre d'étranges évolutions du niveau des sommets de berge et des terrains en retrait. La cause de ces évolutions (terrassements, erreur de mesure ou de calage...) n'est pas connue, mais est sans rapport direct avec les phénomènes hydrauliques.

Par contre, comme en amont, le recul des berges est visible en tous points et correspond bien à une tendance de fond. Au droit du profil P7 (futur franchissement), le recul en 5 ans sans crue remarquable dépasse 2 mètres.

2. DESCRIPTION DU LIT

2.1. Zone de l'éboulement

On se reportera au rapport de 2014 pour l'analyse en détail de la zone de l'éboulement. Il s'agit ici de mettre en évidence les évolutions depuis cette date et notamment l'impact de la lave torrentielle de 2018. La photo suivante montre le lit en 2022 avec la longue - et raide - zone d'érosion le long du glissement :



Photo 1 : Vue d'ensemble de la zone d'éboulement.

Le torrent est repoussé sur la rive droite mais - pour le moment - l'érosion y est modérée en l'absence de crue importante depuis l'éboulement. Dans cette zone, une correction active par une série de barrages est évidemment souhaitable. Elle pose cependant deux problèmes rédhibitoire :

- ⇒ Le risque de destruction - ou de recouvrement des ouvrages par de futurs éboulements.
- ⇒ L'impossibilité de réaliser des travaux dans un secteur aussi exposé.

La photo suivante est une vue d'ensemble en 2022 :



Photo 2 : Vue d'ensemble de la zone d'éboulement.

Les photos page suivante montrent le lit avant (2017) et après (2022) les laves torrentielles récentes est quasi intact avec des possibilités d'érosion qui restent entières.

Aucun pavage particulier n'apparaît, ce qui suggère une poursuite - voir une accélération - de l'érosion lors des prochaines crues.

La photo de 2019 met en évidence le billonnage des arbres à proximité du lit. Cette action judicieuse illustre le risque de mobilisation d'arbres par le torrent - pas seulement dans la zone de l'éboulement - qui peuvent ensuite former des embâcles sur le cône de déjection.

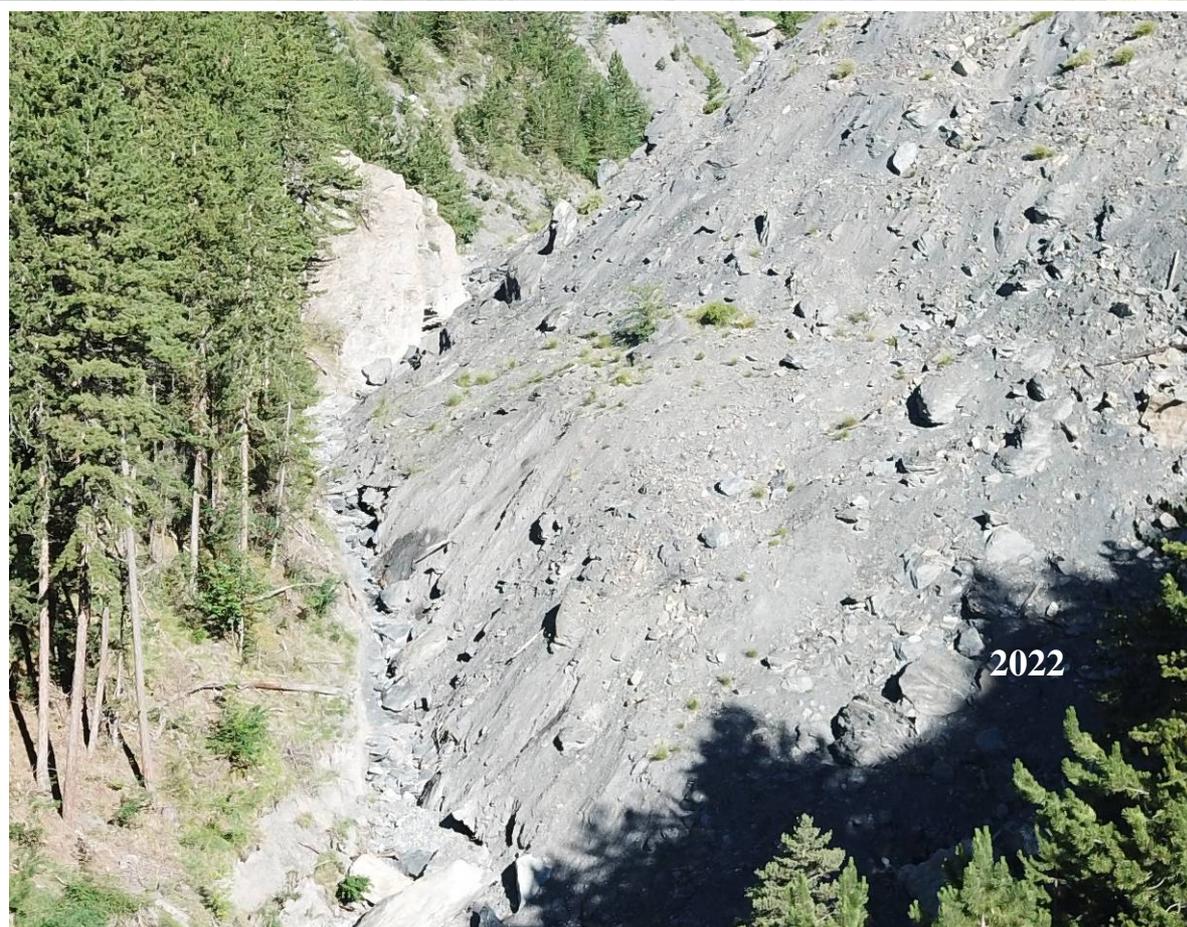


Photo3 & 4 : Front du glissement avant et après la lave de 2018.

Les photos suivantes montrent le lit en 2013, 2014, 2017 et 2022 en amont du très gros bloc :



Photos 5 & 6 : Apports de blocs dans la partie centrale.



Photos 7 & 8 : Partie centrale avant et après la lave de 2018.

2.2. Gorges aval

La figure suivante montre l'ombrage appliqué sur le MNT de 2018 dans les gorges. Il met nettement en évidence la série de barrages qui fixent le fond et qui permettent une régulation du transport solide par les zones d'atterrissement situées en amont :



Figure 17 : Vue d'ensemble des gorges 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 photo ci-dessus 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.

Les photos suivantes montrent le barrage le plus amont si l'on excepte celui qui est partiellement recouvert par l'éboulement (juste en aval du glissement) et les plus aval avec l'ouvrage de "plage de dépôt" :



Photos 9 & 10 : Barrages dans les gorges aval.

2.3. Cône de déjection en amont du Pont de Briançon

La transition est progressive entre la sortie des gorges (peu marquées en pied de versant) et le cône de déjection qui s'étale très largement dans la vallée de l'Ubaye, repoussant cette dernière au pied du versant rive gauche :



Photo 11 : Vue d'ensemble du cône de déjection.

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.

Cependant, le lit est encombré de végétation et sa largeur réelle est un peu inférieure. Cela montre que le fonctionnement ordinaire du torrent ne nécessite pas une telle largeur.

Surtout, 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.

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.

Les photos suivantes montrent le pont amont dont les culés sont parfaitement intégrés aux protections de berge, ne causant ni surélévation de l'écoulement ni embâcles :



Photos 12 & 13 : Pont de la Rua intégré au chenal existant.

Le long mur en béton en rive gauche se prolonge jusqu'au pont de Briançon.

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

On observe, comme le montre les photos suivantes, que, bien que le lit soit relativement étroit, il n'est pas pleinement occupé par les écoulements ordinaires. Ainsi, la première photo page suivante montre des terrasses sur les deux rives, celle le long du mur étant fortement boisée.



Photos 14 & 15 : Chenal entre le pont de la Rua et le pont de Briançon.

Le pont de Briançon offre une portée de **12 mètres** pour une hauteur de **3.6 mètres** par rapport au fond. Cette hauteur doit être rapprochée de celle du mur en amont immédiat qui est de 4.4 mètres. Un aménagement cohérent consisterait à construire la sous poutre au moins 50 centimètres au-dessus de la berge, ce qui conduirait à une sous poutre près de 1.5 mètres au-dessus de la situation actuelle, ce qui impose une reprise importante des accès.

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 bien supérieur. Ils sont donc avancés dans le lit de plusieurs mètres et imposent une contraction brutale qui peut conduire à une surélévation locale des niveaux. La première photo page suivante montre cette culée.

Ce débordement illustre l'effet délétère des culées saillantes par rapport à la berge et de l'absence d'entonnement. Il n'est donc pas étonnant que le débordement en août 2003 concerne surtout la partie du pont proche de la rive gauche (et de la culée saillante) comme le montre la seconde photo suivante prise par le RTM peu après la crue.



Photo 16 : Culée saillante du pont de Briançon en rive gauche.



Figure 18 : 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 (moins sollicitée), il n'y a pas d'enjeux à proximité du lit et l'écoulement quitterait rapidement la route.
- En rive gauche, au contraire, la route conduit, avec une forte pente, l'écoulement vers les habitations de Jausiers. Les enjeux sont donc beaucoup plus importants. La vulnérabilité de cette zone est illustrée par les digues et les épis anciens que l'on retrouve le long de la route... au milieu des habitations. Heureusement deux éléments limitent ce risque :
 - La route présente un large replat en rive gauche, ce qui limite fortement les risques de propagation d'une lave (mais pas d'un écoulement d'eau).
 - Un bras secondaire a été déboisé en rive gauche afin d'y favoriser l'écoulement des crues. Il convient de noter qu'aucune alimentation spécifique de ce bras n'est prévue (sauf en cas de débordement au niveau du pont), ce qui y rend un écoulement improbable.

La photo suivante montre ce pont et la possibilité d'écoulement en deux bras :



Photo 17 : Séparation en deux bras au pont de Briançon.

La figure suivante montre le bas du cône de déjection avec les deux bras, le bras principal étant souligné en bleu :



Figure 19 : Vue d'ensemble de la partie basse du cône de déjection.

Comme l'indique le RTM dans l'EBR, le lit actuel a été tracé pour résoudre le problème d'engravement à répétition (1942, 1946, 1954) du chenal et surtout du pont de la RN100 (aujourd'hui RD900). Il a été décidé en 1956 de créer un nouveau chenal d'écoulement en rive droite de l'ancien chenal, avec un tracé plus direct et empruntant un nouvel ouvrage de franchissement de plus grande capacité. Selon les documents d'archive retrouvés l'objectif principal était de faciliter le transit des écoulements en augmentant la pente du torrent.

La figure suivante montre le bas du cône de déjection durant les travaux :



Photo 18 : Création du nouveau lit en 1956-1957 (document RTM).

2.4. Bras principal aval

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 un peu plus en aval.

Ce nouveau tracé est très comparable au tracé ancien...si ce n'est que ce dernier présenterait une pente probablement plus réduite dans la zone de confluence et une tendance au dépôt qui y est un peu plus marquée. Par contre, cette confluence étant située en aval de l'ancien rapide causé par le torrent de Sanières dans l'Ubaye, les risques de remous solide depuis la confluence sont réduits.

Entre le pont de Briançon et le seuil B2, un mur en béton a été construit en rive droite comme le montre la photo suivante :



Photo 19 : Lit entre le pont de Briançon et le seuil B2.

Ce mur présente une hauteur très irrégulière, surtout en aval du pont. La photo précédente montre que seule une partie du lit est utilisée par les écoulements, les laves formant une terrasse en rive droite, le lit étant trop large pour l'écoulement des crues récentes.

Un seuil et un contre seuil ont été construits entre le pont de Briançon et celui de la RD. 900. Il est indispensable pour prévenir l'affouillement des protections et notamment du mur en béton rive droite.

Ce seuil 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.

Il serait souhaitable d'abaisser ce seuil, mais il paraît nécessaire au franchissement d'un canal d'irrigation. La solution pourrait découler du maintien du niveau de la cuvette (imposé par le canal) sur un seuil implanté une cinquantaine de mètres plus en amont.



Photos 20 & 21 : Seuil B4 et épis en gabion associé.

Les photos suivantes montrent le chenal rectiligne et totalement artificiel (fruit des curages réguliers dans ce tronçon) entre le seuil et le pont de la RD 900 :



Photos 22 & 23 : Lit rectiligne entre le B4 et le pont de la RD 900.

Ce lit présente une largeur d'une quinzaine de mètres. Cependant les berges ne présentent aucune stabilité :

- Ni géotechnique, le fruit étant beaucoup trop faible pour permettre la stabilité de ces terrains très granulaires. Des glissements de berge sont donc visibles, entraînant la végétation qui a pu localement se développer comme le montre les photos précédentes. Plus généralement les berges sub-verticales s'éboulent lentement.
- Ni hydraulique, les matériaux de granulométrie réduite ne présentant aucune résistance à l'érosion en cas d'écoulement. Cela est particulièrement net par rapport au charriage, mais, même les laves torrentielles - pourtant peu érosives - ce qui conduit à un recul du pied de berge, augmentant encore son instabilité.

Ainsi, les berges en place n'offrent ni protection ni pérennité. Elles ne doivent leur existence qu'aux opérations de curage réalisées après chaque crue et à l'insignifiance des écoulements inter-crue.

Le pont de la RD 900, illustre la transition insatisfaisante entre :

- Des berges instables et en recul.
- Des culées verticales et stables dans le temps.



Photo 24 : Culées avancées du pont de la RD 900.

Cette situation est évidemment très défavorable dans la mesure où l'avancée des culées :

- Favorise un choc frontal de la lave torrentielle, avec
 - des chocs potentiellement destructeurs par les laves.
 - une surélévation des écoulements lors des crues, avec des débordements même pour un niveau moyen inférieur à celui de la sous poutre. Le débordement au pont du Briançon en 2003 en est une malheureuse illustration.
- Accroît considérablement le risque d'obstruction par les flottants ou les fronts de laves torrentielles, les culées constituant des appuis parfaits pour le blocage des arbres.

Ainsi, dans les règles de l'art, les ponts doivent être associés à un entonnement permettant d'en accroître considérablement la capacité effective. Ce n'est pas le cas ici et cet ouvrage est très vulnérable en l'absence d'un entretien régulier du lit et des berges. La photo suivante montre le recul des berges en amont de l'ouvrage :



Photo 25 : Recul "naturel" de la berge en amont du pont.

Cette photo montre aussi que le pont est très légèrement biais par rapport à la direction générale des écoulements.

La photo suivante montre le petit seuil en aval du pont. Ce seuil présente un bilan contrasté :

- ⇒ Il stabilise les niveaux en amont de la confluence limitant l'effet des dépôts du torrent et de la reprise par l'Ubaye. Cela permet notamment en début de crue du torrent - si les apports précédents ont été repris - d'éviter un affouillement des culées du pont.
- ⇒ Il maintient un niveau haut sous le pont alors que l'ouverture de ce dernier est déjà très faible. Un abaissement du lit à ce niveau serait souhaitable, mais semble partiellement illusoire à cause des dépôts massifs dans cette zone de confluence.



Photo 26 : Pont et seuil vus de l'aval.

Un petit épi juste en amont en rive droite est destiné à limiter les risques de contournement du seuil.

La photo suivante montre la zone de confluence avec de fortes respirations - verticales comme latérales - du lit :



Photo 27 : Confluence avec l'Ubaye.

2.5. Bras secondaire

Le bras secondaire, plus au nord correspond à un ancien tracé du torrent mais n'a pas connu d'écoulement depuis plusieurs décennies. Il a été déboisé suite à l'activation de l'éboulement de Roche Plombé. La photo page suivant montre le pont actuel de franchissement de ce bras avec une ouverture insignifiante. Il est prévu de remplacer cet ouvrage par une buse Φ 2000 mm sous la RD 900 qui sera peu compatible avec l'écoulement de lave torrentielle.

Il est prévu que la piste cyclable franchisse ce bras peu en amont du passage busé.

Le lit en aval du pont n'est guère visible aujourd'hui.



Photo 28 : Pont obstrué du bras secondaire sur le RD 900.

Il est prévu d'utiliser ce bras, puis l'espace entre les deux bras, comme une éventuelle zone de dépôt, notamment en cas de majoration des apports du transport solide du torrent de Sanières en particulier sous l'effet de l'éboulement de Roche Plombé.

3. PHÉNOMÈNES DE CRUE

3.1. Transport solide

3.1.1. Nature des phénomènes

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 et jouent un rôle dans la zone d'étude essentiellement par l'érosion très active des berges instables en tout venant, conduisant à leur recul durant la crue.
- 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 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.

3.1.2. Transport solide par charriage

Une estimation des volumes transportés lors des crues permet de mieux connaître l'ampleur des évolutions du lit lors des phénomènes exceptionnels.

Il est possible d'établir une relation entre débit liquide et débit solide à partir de la formule de Lefort. Cette formule présente l'avantage de relier directement débit solide et débit liquide, sans faire intervenir le calcul de conditions hydrauliques très mal connues lors des crues dans les cours d'eau à forte pente.

Elle s'écrit :

$$\frac{Q_s}{Q} = 4.45 \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} \frac{\rho}{\rho_s - \rho} I^{1.5} \left(1 - \left(\frac{Q_{lc}}{Q} \right)^{0.375} \right)$$

Avec

$$\frac{Q_{lc}}{\sqrt{gd_m^3}} = 0.295 \times I^{-13/6} (1 - 1.2I)^{8/3}$$

Les symboles utilisés ont les significations suivantes :

d_{30} diamètre pour lequel 30 % des grains sont plus petits

d_{90} diamètre pour lequel 90 % des grains sont plus petits

d_m diamètre moyen des grains de l'échantillon

Q_s débit solide

Q débit liquide

Q_{lc} débit liquide de début d'entraînement des matériaux.

ρ	densité de l'eau
ρ_s	densité du matériau
I	pente

L'utilisation de cette formulation correspondant aux fortes pentes est légitime ici car la morphologie et la granulométrie du lit montrent qu'il n'y a pas de pavage constitué pour les fortes crues et donc que le seuil de début de transport des matériaux est alors largement dépassé.

Une telle formulation n'est évidemment applicable que sur le cône de déjection.

La figure suivante correspond à une crue de projet au sommet du cône de déjection et indique débit solide et débit liquide en fonction du temps :

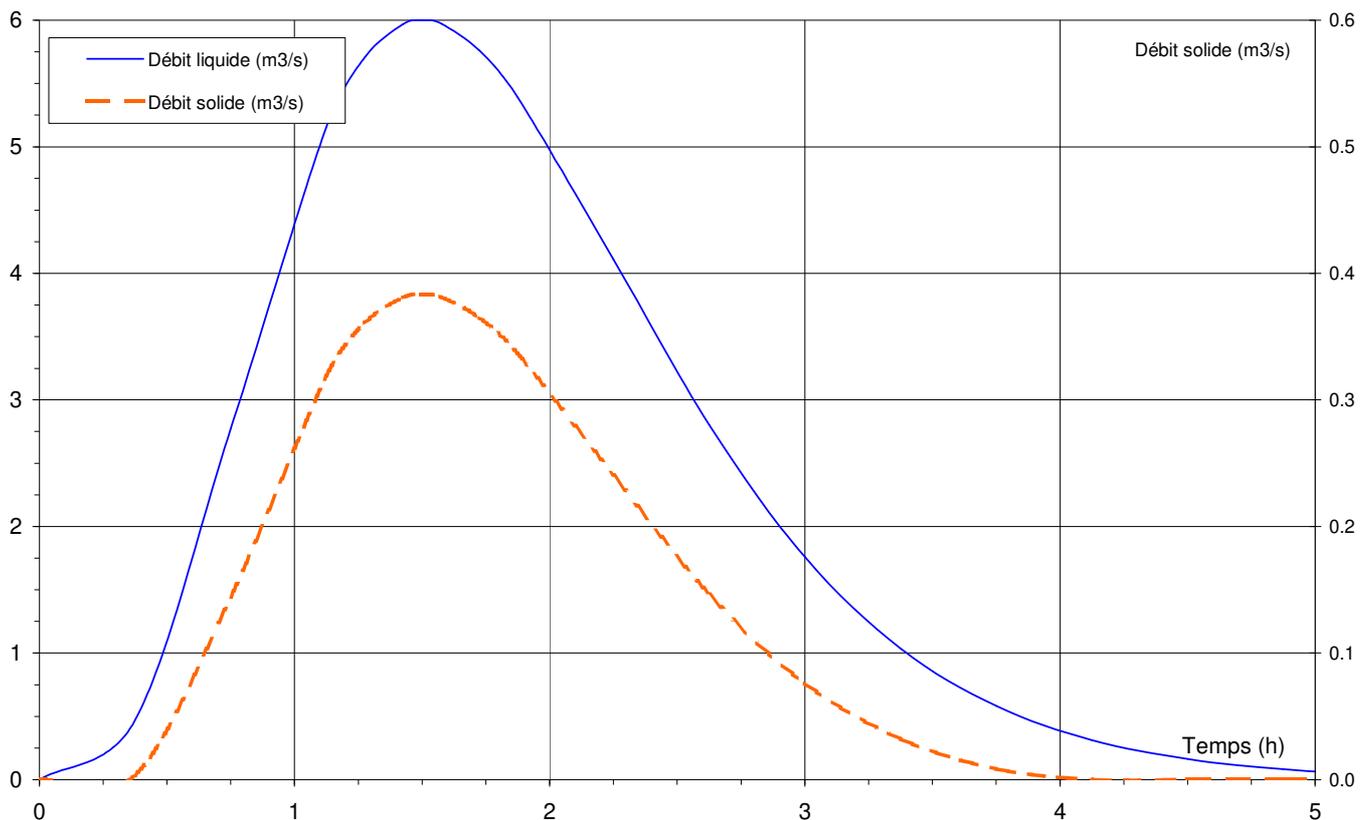


Figure 20 : Hydrogrammes solide et liquide sur le torrent de Sanières.

Le volume correspondant est de 2 300 m³ pour une crue décennale. Un tel calcul n'est pas significatif pour une crue centennale car une crue aussi forte serait très vraisemblablement accompagnée d'une lave torrentielle.

3.1.3. Estimation des volumes de lave torrentielle

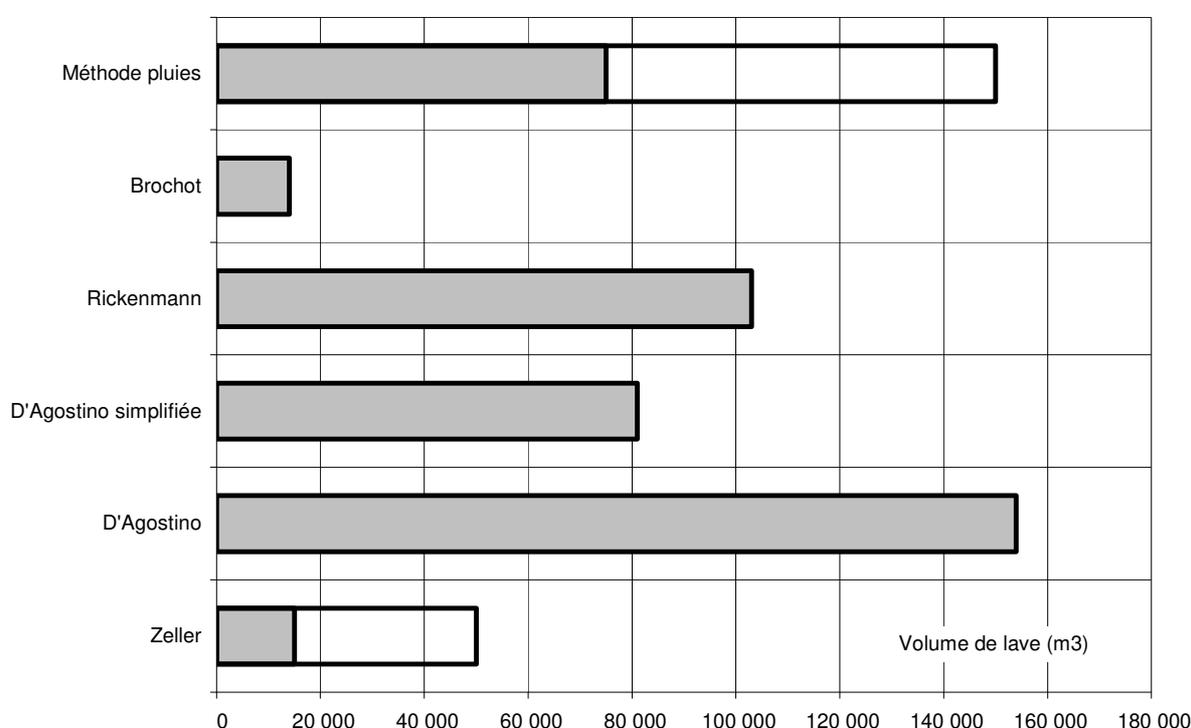
Différentes formules permettent, à partir de paramètres descriptifs du bassin versant (superficie, pente, longueur du talweg...), de calculer un ordre de grandeur des apports potentiels par le bassin versant en cas d'épisode rare (période de retour d'au moins 100 ans en général).

Le tableau suivant regroupe les paramètres retenus ainsi que les résultats obtenus :

Surface BV	4.6 km ²
Surface non végétalisée	30 %
Pente cône	8.6 %
Pente moyenne	43 %
Longueur torrent	3.2 km

Formule	Volume de lave (m ³)
Zeller	15 000 à 50 000
D'Agostino	154 000
D'Agostino simplifiée	81 000
Rickenmann	103 000
Brochot	14 000

Indice géologique D'Agostino	3
Indice torrentialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	4



Ces résultats conduisent aux remarques suivantes :

- Les formules de Brochot et Zeller conduisent vraisemblablement à une sous estimation dans le cas du torrent de Sanières.
- La formule développée de d'Agostino conduit à des volumes très élevés à cause de la forte pente moyenne du torrent. Il est probable que les valeurs correspondantes au torrent de Sanières sortent du domaine de validité de la formule.
- Les autres formulations conduisent à des valeurs assez groupées, dans la fourchette de 80 à 100 000 m³.

Le volume de 100 000 m³ pour un épisode majeur peut donc être retenu pour la suite de l'étude. Ces volumes sont très nettement supérieurs à ceux pouvant être apportés en charriage. Seul le transport solide des laves torrentielles sera donc quantifié par la suite.

3.2. Écoulement des crues

3.2.1. Charriage

Dans le cas du charriage torrentiel, la section est largement suffisante pour éviter un débordement, sauf en cas de - très improbable - dépôt massif. En effet, un calcul sommaire -et erroné car le rapport L/h est excessif - conduit à une hauteur d'eau de 0.25 mètre pour un écoulement critique lors d'une crue décennale et à 0.5 mètres pour une crue centennale si l'on retient une largeur de "seulement" 12 mètres. Une approche basée sur le rapport L/h conduit à la figure suivante qui montre les conditions d'écoulement en fonction de la largeur :

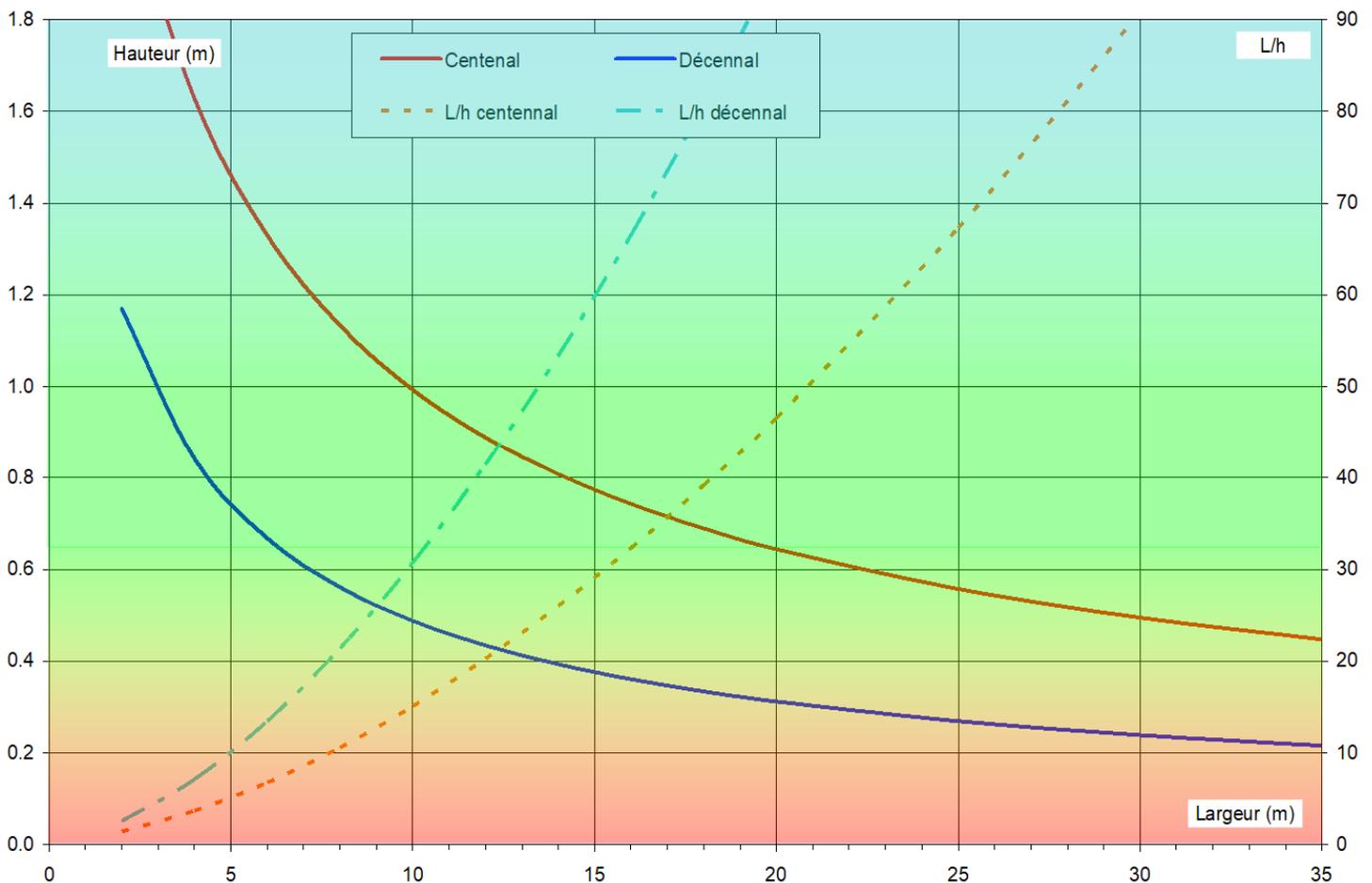


Figure 21 : Conditions d'écoulement des crues en charriage.

Cette figure conduit aux résultats suivants :

	Crue décennale	Crue centennale
Hauteur de charge maximum (m)	0.7	1.1
Largeur hauteur maxi (m)	6	8
Largeur pour $L/h = 25$ (m)	9	14

Comme indiqué précédemment, il paraît très improbable qu'une crue centennale s'écoule en charriage sans formation de lave. Ainsi, pour du charriage (hydrologie d'une crue décennale) les paramètres suivants peuvent être retenus :

- Largeur minimum pour éviter un basculement de la pente : 6 mètres.
- Largeur de transparence hydraulique sans survitesse : 9 mètres (rappelons que pour un pont de 15 mètres de portée).
- Hauteur d'écoulement: 0.7 mètre.

Ce calcul montre - sans surprise - que le lit est disproportionné par rapport à l'écoulement des crues d'eau.

Le phénomène de charriage torrentiel ne paraît pas le plus préoccupant. En effet, le volume transité est relativement faible. Surtout, sur toute la partie amont du cône de déjection, la pente très régulière ne permet pas un dépôt de matériaux. Le phénomène prépondérant est donc le transit des matériaux. Par contre, une forte crue en charriage causerait vraisemblablement des érosions de berge suite aux divagations. Il est aussi possible que des débits liquides résiduels succèdent à l'écoulement d'une lave torrentielle.

3.2.2. Laves torrentielles

3.2.2.1. Nature des phénomènes et calage

Les connaissances des écoulements de lave torrentielle ont fait des progrès considérables ces dernières années. Ces nouvelles approches sont basées sur l'analyse de la loi de comportement des matériaux. Ainsi, COUSSOT¹ a montré que la loi de comportement des mélanges boueux pouvait être représentée par un modèle de HERSCHEL & BULKLEY :

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

Avec

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

¹ *Rhéologie des laves torrentielles* - Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble - 1992.

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

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

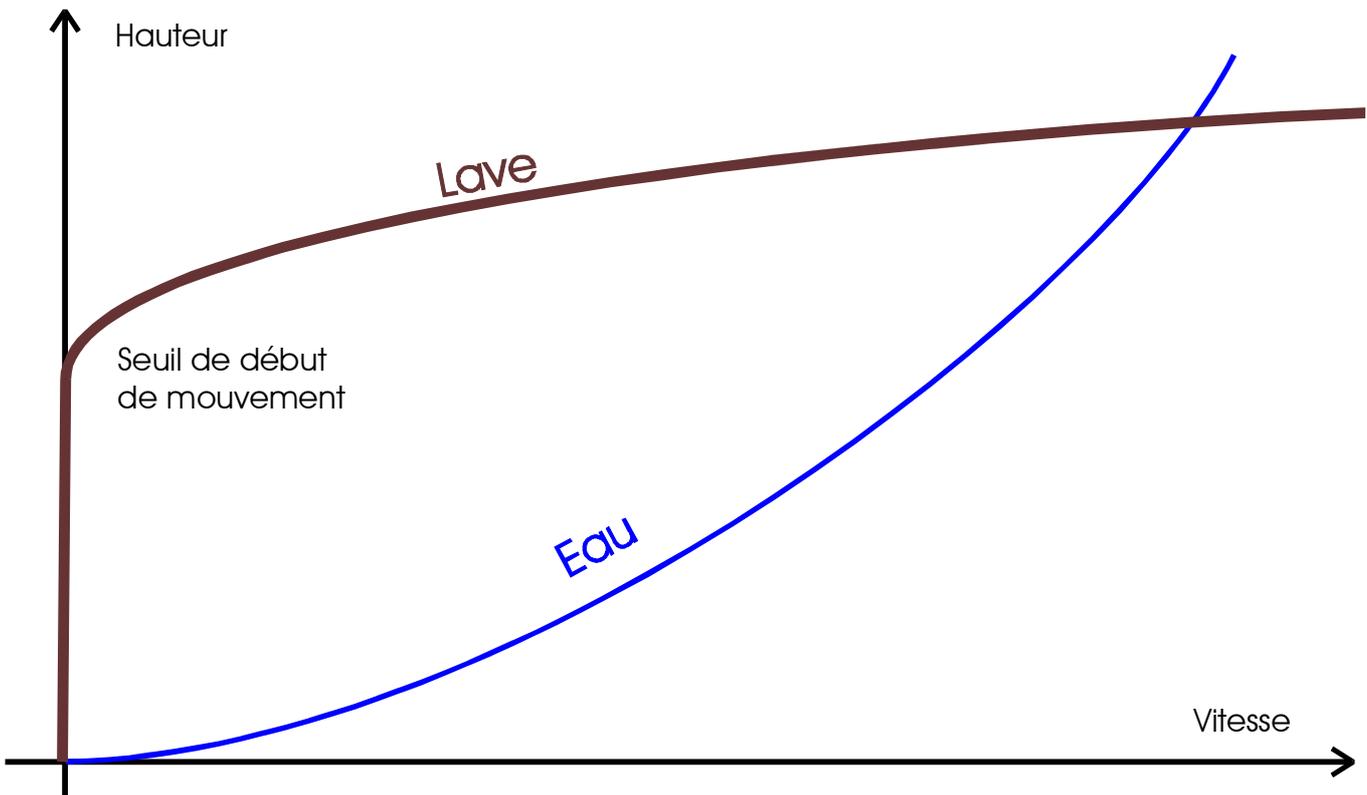


Figure 22 : Relation hauteur vitesse pour de l'eau et pour une lave torrentielle.

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

Par contre, une lave torrentielle serait accompagnée d'arbres qui en augmentent la section et l'impact sur les ouvrages. Il convient donc d'être prudent et ce type de calcul ne peut fournir que des ordres de grandeur surtout lorsque l'on ne possède que peu d'informations sur les conditions d'écoulement des crues passées.

D'autre part, les laves torrentielles s'écoulant généralement par bouffées, la hauteur du front est supérieure à celle du reste de la coulée.

A partir de cette loi de comportement, BOSSAN² a établi les équations permettant le calcul des conditions d'écoulement en canal rectangulaire ou trapézoïdal en exprimant la contrainte de cisaillement à la paroi τ_p . On peut donc calculer la hauteur normale de lave, ce qui correspond à un écoulement permanent uniforme : ce type de calcul n'est pas valable au niveau des singularités.

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

Les paramètres rhéologiques sont déterminés en considérant un coefficient K/τ_c égal à 0.3, ce qui est classique dans les Alpes. D'autre part, on retient une hauteur d'écoulement de 2, 3 ou 4 mètres dans la partie amont du cône de déjection. Ces valeurs sont cohérentes avec la submersion, même partielle du pont de Briançon.

On est alors conduit aux valeurs suivantes :

τ_c (Pa)	1500	2100	2500
K	450	630	750

Il est difficile d'exclure le cas de laves torrentielles ayant des propriétés différentes, en particulier au passage du front. Cette approche est essentiellement destinée à réaliser des tests de sensibilité en vue d'un aménagement.

Il convient d'être prudent par rapport à ces résultats. En effet, les calculs correspondent à une hauteur normale d'écoulement, c'est à dire sans variation de pente ni de largeur. De plus, les surélévations liées au bourrelet frontal ne sont pas prises en compte. Enfin, le dépôt dans le lit n'est pas pris en compte. Ce n'est pas très gênant dans le cours amont, par contre, une surélévation importante est probable dans la zone de confluence avec l'Ubaye.

3.2.2.2. Écoulement en chenal trapézoïdal

Dans un premier temps, un calcul est réalisé avec les hypothèses suivantes :

- Largeur du lit de 15 mètres, comme dans le lit aval.
- Débit de lave de 100, 200 ou 300 m³/s. Ce calcul est avant tout destiné à montrer que le débit de lave n'est pas un paramètre prépondérant.
- Section trapézoïdale de fruit unitaire.
- lave torrentielle de densité 2000 kg/m³. Ce paramètre a été utilisé pour la détermination des paramètres rhéologiques ci-dessous qui sont retenus par la suite.

² *Hydraulique des laves torrentielles - Expériences d'écoulement à surface libre de mélanges eau-argiles sur modèle réduit* - Mémoire de D.E.A. - Institut National Polytechnique de Grenoble - 1993.

Il est alors 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 :

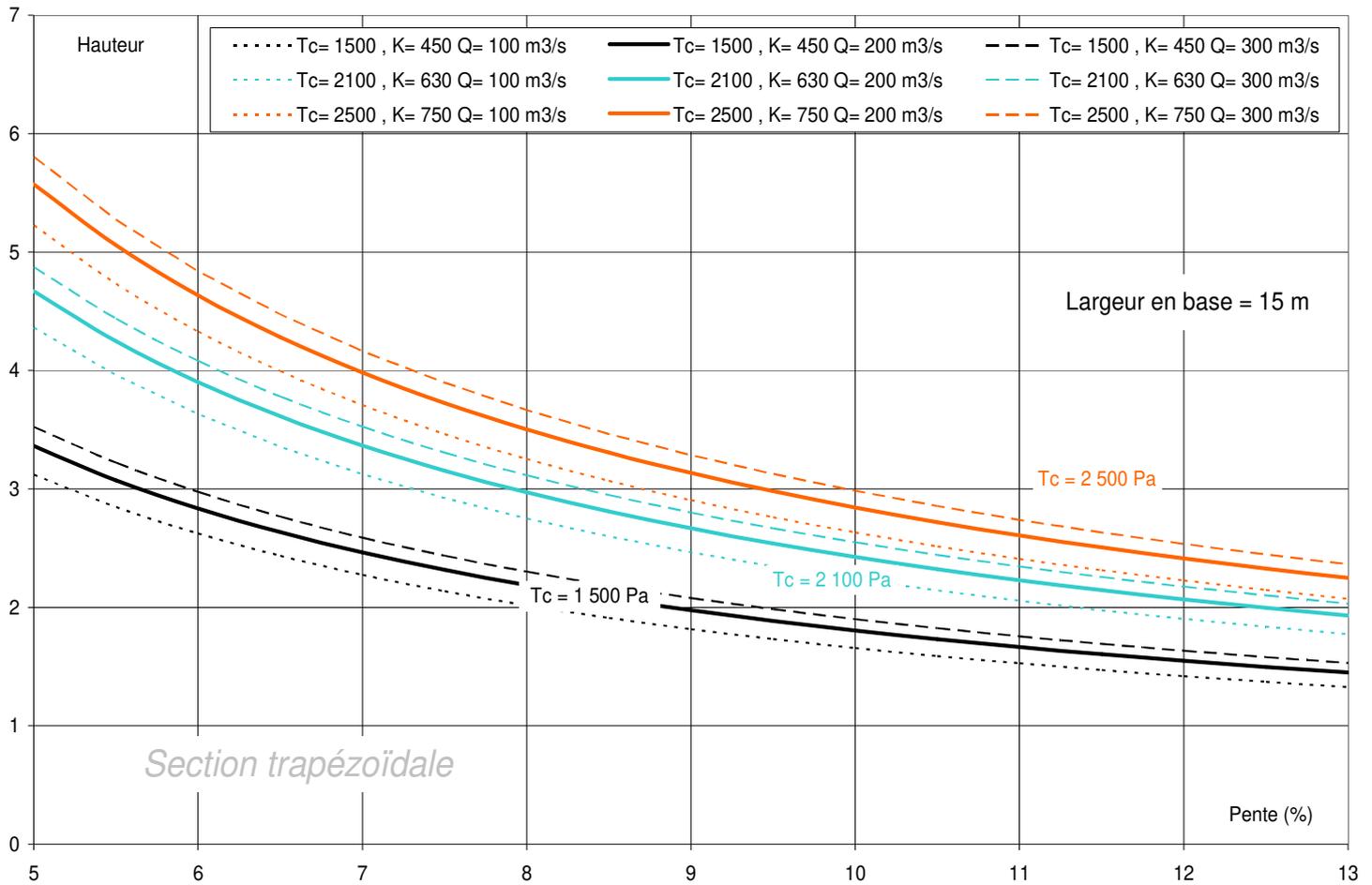


Figure 23 : Relation entre hauteur et pente d'écoulement pour les laves torrentielles.

Ces calculs conduisent aux remarques suivantes :

- Pour une pente de 7 % (comme dans la partie aval du cône de déjection), les hauteurs de laves sont comprises entre **2 et 4.2 mètres**.
- Une réduction de pente - en dessous de 7 %, conduit rapidement à une surélévation. Ainsi, une pente de 5 % seulement approcherait une hauteur de 6 mètres pour la lave la plus visqueuse.
- A contrario, une pente de 9 % ne conduirait qu'à une réduction de l'ordre du mètre.

Ces calculs montrent que le débit n'a qu'une faible influence (de quelques décimètres) lorsqu'il passe de 100 à 300 m³/s, ce qui est une caractéristique classique des laves torrentielles.

La pente paraît cependant un paramètre peu variable qui est ici très difficile à modifier durablement. Ce n'est pas le cas de la largeur du lit. Ainsi, un second calcul est réalisé en considérant une largeur variable :

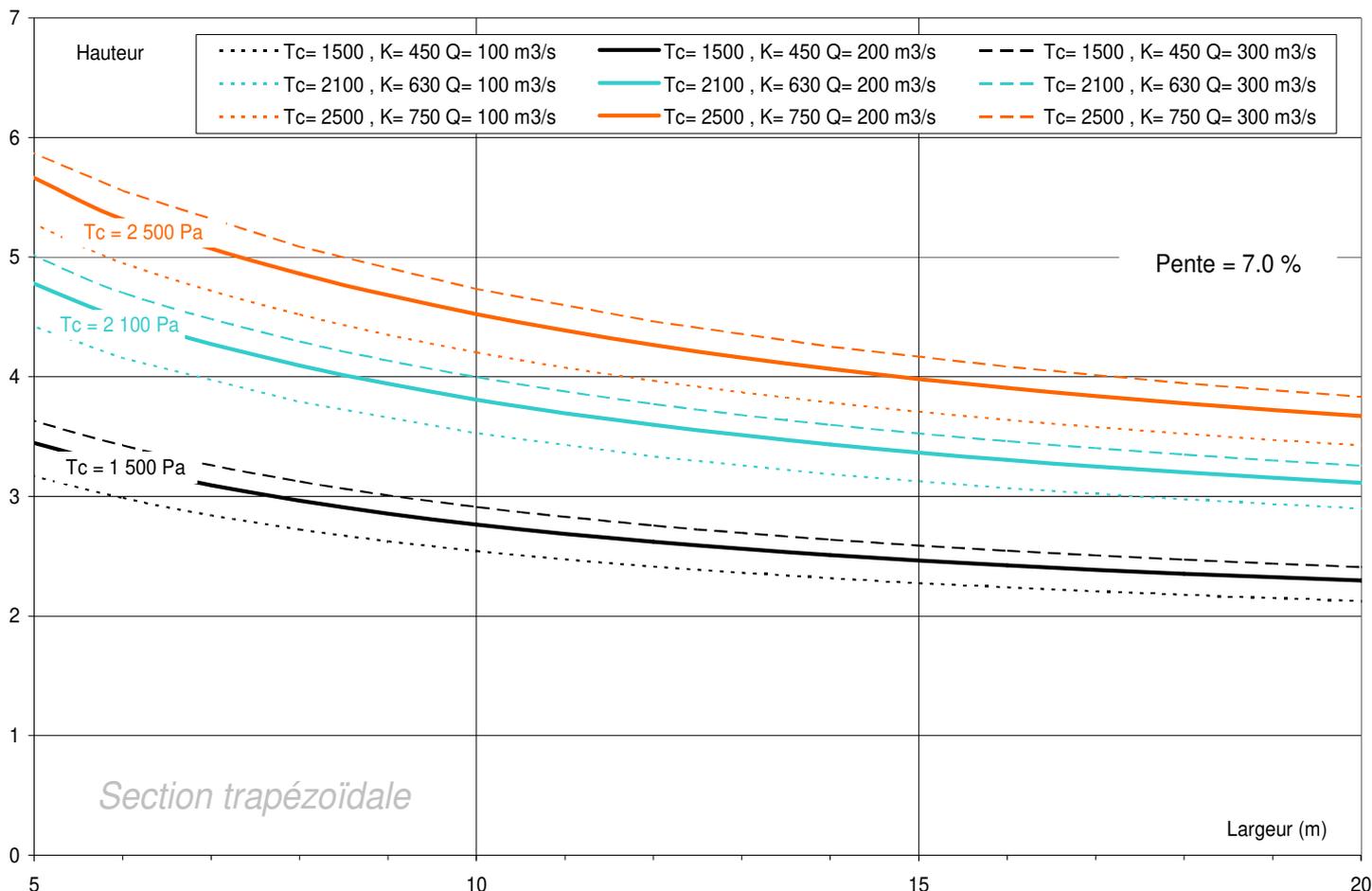


Figure 24 : Relation entre hauteur et largeur en canal trapézoïdal.

Ce graphique montre que l'impact de la largeur est faible dans cette gamme de largeur (au plus 50 centimètres pour une réduction de largeur de 5 mètres). Le gain sur les niveaux serait encore plus faible en cas d'élargissement, et le calcul serait alors optimiste, la lave ayant tendance, comme on l'observe en amont du pont de Briançon, à n'utiliser qu'une fraction de la largeur... avec des hauteurs supérieures à celles calculées.

Sans tenir compte de la contraction imposée par les culées, ce calcul montre que la hauteur du pont de la RD 900 (2.6 m en moyenne d'après le levé topographique) est à peine suffisante pour écouler les laves torrentielles même dans le cas le plus favorable.

Ce constat paraît incohérent avec le passage - sans débordement - des laves récentes, mais ces dernières - de faible ampleur - présentaient un débit et une contrainte de cisaillement critique inférieurs à ceux d'une lave torrentielle centennale.

3.2.2.3. Écoulement en chenal rectangulaire

La figure suivante regroupe les calculs réalisés précédemment pour un chenal trapézoïdal (uniquement pour le débit de 200 m³/s) et ceux pour un chenal rectangulaire, avec les mêmes paramètres :

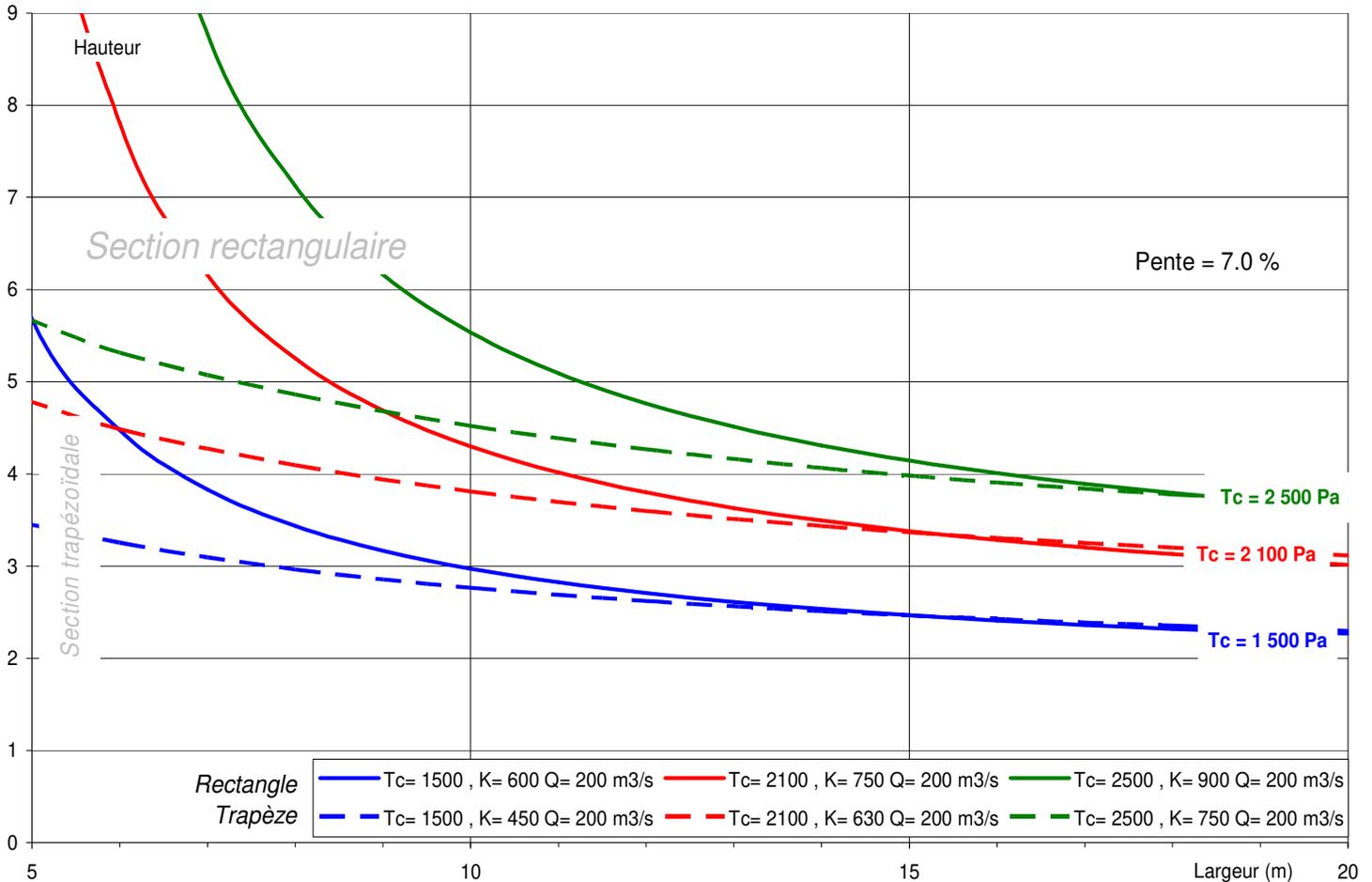


Figure 25 : Impact de la largeur pour un chenal trapézoïdal ou rectangulaire.

Sans surprise, pour un lit large et une faible hauteur d'écoulement, les niveaux atteints sont très comparables. Cela reste le cas pour un lit de 15 mètres de largeur comme sous le pont de la RD 900.

Par contre, lorsque la largeur diminue - et que la hauteur augmente - la différence de niveau devient considérable, exprimant le caractère prépondérant du rayon hydraulique.

Ces résultats montrent qu'une largeur inférieure à 10 mètres pour un lit rectangulaire serait difficilement acceptable. Par contre, la largeur de 15 mètres est largement suffisante pour permettre un écoulement de lave... sous réserve d'une hauteur de 2.5 à 4 mètres. Cela montre que la hauteur du pont est tout juste suffisante, en l'absence de dépôt et pour l'hypothèse rhéologique la plus favorable.

3.2.3. 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.

Le lit présentant en aval du seuil B2 une pente et une section très régulière, le risque de dépôt y paraît limité, mais si une respiration du lit y paraît probable.

C'est surtout dans la zone de confluence qu'un dépôt pourrait se produire, puis remonterait dans le lit du torrent de Sanières. Cependant, le remous de la lave torrentielle se produit avec une faible pente (quelques pourcents) au contraire d'un dépôt formé par du charriage.

Le risque de dépôt régressif est modéré - au moins en début de crue - grâce à une dénivelée de plus de 8 mètres entre la confluence avec l'Ubaye et le pont de la RD 900. Dans ce cadre, le seuil de faible hauteur en aval du pont limite (à hauteur de sa dénivelé) les risques d'érosion régressive.

4. PROJET DE FRANCHISSEMENT

4.1. Naturel du projet

Le projet prévoit le franchissement du torrent de Sanières en amont immédiat du pont de la RD 900 comme le montre la figure suivante :



Figure 26 : Tracé retenu pour la piste cyclable.

Le tracé devra donc être établi en amont de la RD 900 pour les deux bras, avec un contexte très différent :

- ⇒ Sur le bras principal, la brèche est importante et les écoulements y sont fréquents à défaut d'être permanents. La réalisation par un passage à gué ne paraît pas acceptable. La passerelle est alors directement liée avec le pont de la RD 900 qui paraît sous dimensionné par rapport à une crue centennale surtout si le lit est engravé.
- ⇒ Le bras secondaire n'a connu aucun écoulement important depuis son abandon en 1957. La brèche y est à peine perceptible. Un franchissement par un passage à gué en amont de l'ouvrage actuel - ou de la buse envisagée à moyen terme - paraît - de loin - la solution la plus adaptée.

Les deux franchissements étant indépendants, ils font l'objet d'une analyse séparée. Notons qu'un dispositif de détecteur de lave étant déjà en place sur le torrent la prise en compte des alertes pour la coupure de la piste cyclable et la RD 900 paraît incontournable étant donné le niveau de protection relativement modéré (et plutôt inférieur au centennal).

4.2. Caractéristiques de l'ouvrage sur le bras principal

4.2.1. Principe

Dans l'état actuel, le pont de la RD 900 présente plusieurs points faibles :

- La hauteur sous poutre est insuffisante. Une remontée de la poutre du pont d'au moins 1.5 mètres serait souhaitable, mais n'est pas envisagée à l'heure actuel.
- Le pont ne présente pas d'entonnement, les culées imposant une contraction brutale ce qui présente quatre inconvénients majeurs :
 - Il réduit la capacité effective du pont en générant des courants transversaux intenses (coefficient de contraction).
 - Il conduit à des surélévations des niveaux à cause de l'obstacle à l'écoulement (surélévation correspondant au terme d'énergie cinétique ($V^2/2g$). Les chocs qui pourraient être causé par les fronts de laves pourrait dégrader ces ouvrages pourtant massifs.
 - Il favorise l'obstruction par les flottants et le débordement en apportant un appui fiable aux embâcles.
 - Il permet un contournement de l'ouvrage, notamment pour une crue de charriage intense qui pourrait conduire à un changement de lit.

La réalisation d'un tel entonnement avait déjà été préconisée dans l'étude de 2015.

- Par contre, la portée du pont (15 mètres) est largement suffisant, et pour un écoulement d'eau claire, pour un écoulement de laves torrentielles et pour le développement d'espace annexes ou le transit de la faune. Rien ne permet de justifier un élargissement de cet ouvrage pour une protection centennale.

Ainsi, dans l'état actuel, la réalisation d'en entonnement en amont du pont constitue une priorité qui pourra être associée par la suite à une remontée du tablier, nettement plus contraignante.

La solution d'aménagement découle directement de ce constat de la situation actuelle :

- ❖ Les culées de la passerelle pour la piste cyclable seront réalisées dans le prolongement des culées existantes et intégrés au dispositif d'entonnement.
- ❖ Un entonnement progressif sera construit afin de pérenniser l'ouvrage actuel de la RD 900 et la passerelle de la piste cyclable.
- ❖ Le niveau de la sous poutre de la passerelle sera nettement supérieur à celui du pont existant afin de ne pas être à l'origine d'un débordement. Il est nécessaire aujourd'hui d'anticiper une surélévation de ce niveau en cas de reconstruction du pont de la RD 900.

4.2.2. Ouverture

Il peut être tentant lors de la construction d'un ouvrage de franchissement de limiter ses impacts en plaçant les culées en retrait de la berge. Une telle démarche est ici inadaptée et illusoire :

- ⇒ Les berges sur un cône de déjection connaissent naturellement une tendance au recul et le torrent cherche à divaguer et à balayer l'ensemble de son cône de déjection. Ainsi, un ouvrage visant le franchissement du cône de déjection sans interaction avec l'écoulement si celui-ci est libre de divaguer naturellement nécessiterait une portée de plus de 2 km, comme évoqué - sans doute avec exagération - pour le débordement associé à la crue de 1867.
- ⇒ Dans l'état actuel, les berges sont constituées de merlons instables sans aucune protection. Elles reculent donc naturellement, même en l'absence de crue majeure. C'est ainsi qu'en amont du pont le lit s'est élargi de 2 mètres en seulement 5 ans. La position actuelle des berges n'est qu'un état instable issu de dépôt de curage. Il est donc illusoire de s'implanter en retrait d'une géométrie instable et changeante.
- ⇒ La seule solution de pérenniser un ouvrage en retrait des berges actuelles consiste à réaliser des curages et un entretien permanent du lit. Ces interventions fréquentes ne constituent vraisemblablement pas la solution la plus adaptée à la préservation du milieu.
- ⇒ Le pont actuel, bien qu'il présente une portée largement suffisante pour un tel torrent à lave, impose - inévitablement - une contraction. Il paraît plus judicieux de s'intégrer à cet ouvrage que de créer un nouveau point dur plus en amont.

Ainsi, les culées du nouvel ouvrage seront implantées dans le prolongement des culées du pont de la RD 900. Un mur continu doit être prévu entre l'aval de la culée de la passerelle et l'amont des culées du pont de la RD 900.

En amont des culées de la passerelle, l'entonnement devra être réalisé en continuité.

4.2.3. Calage altimétrique

Théoriquement, un calage cohérent avec celui du pont existant constitue juste à prendre en compte la pente générale du lit, comme le montre la figure suivante :

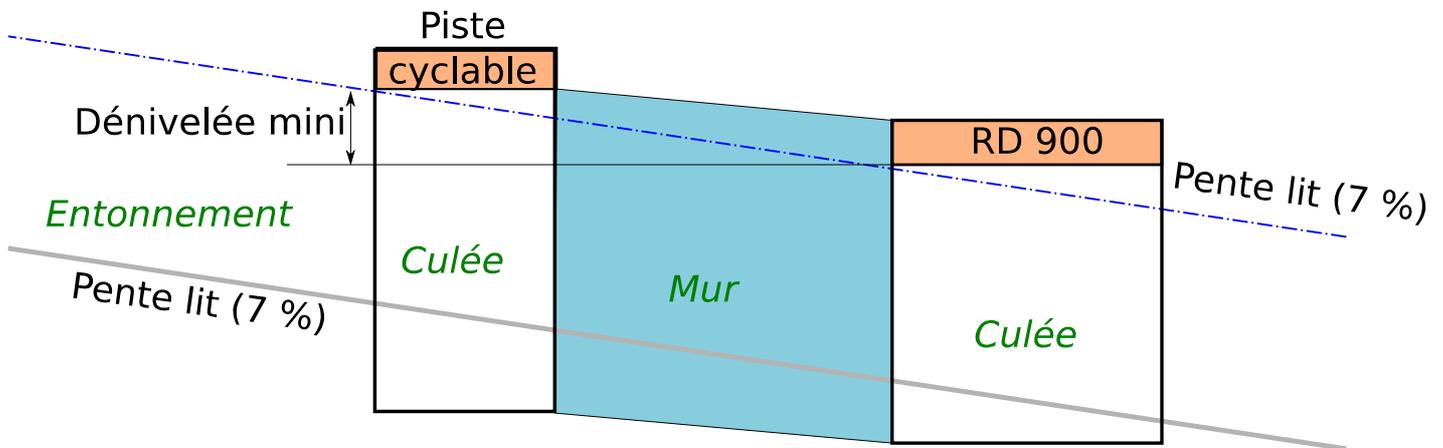


Figure 27 : Dénivelée entre les deux ouvrages intégrant la pente du lit.

Cette dénivelée théorique conduit à minimiser la distance entre les deux voiries. Par rapport à cette dénivellée théorique, il convient de prendre en compte une revanche intégrant les risques de mise en charge du pont aval.

Dans le cas d'un écoulement liquide, une revanche de quelques décimètres peut être suffisante pour obtenir un ensemble de franchissement cohérent. Pour les laves torrentielles, le scénario qui paraît le plus pénalisant est l'arrivée d'un front de grande hauteur emportant la passerelle en direction du pont avant que ce dernier ne soit submergé. Ce fonctionnement illustre la difficulté de réaliser un nouveau franchissement en amont de la RD 900 plutôt qu'en aval.

Ainsi, les précautions suivantes sont recommandées :

- L'utilisation du système d'alerte existant pour couper la circulation à proximité des deux ouvrages paraît indispensable (voir paragraphe 4.4.1 page 62).
- Une revanche doit être appliquée en plus de la dénivelée minimum présentée ci-dessous. Elle correspondra au maximum des valeurs suivantes, peu différentes :
 - ⇒ Dénivelée entre le sommet des rambardes du pont de la RD 900 et sa sous poutre, soit 2.3 mètres par rapport aux levés qui nous ont été fournis.

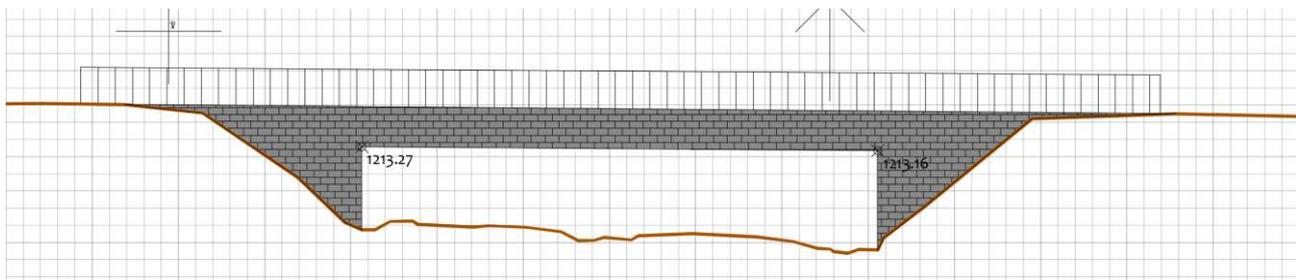


Figure 28 : Face amont du pont.

- ⇒ Prise en compte d'une hauteur de lave de 4 mètres et d'un dépôt de 1 mètre. conduisant dans l'état actuel à une surélévation de 2 mètres par rapport au pont actuel et donc à la revanche minimum.

D'autre part, afin de ne pas réduire l'efficacité d'une - judicieuse - remontée du pont actuel de la RD 900, il est recommandée de dimensionner les culées pour une remontée éventuelle de la passerelle de la piste cyclable de 2 mètres par rapport aux valeurs ci-dessus.

Il convient de noter qu'un calage aussi haut - lié à un franchissement en amont de la RD 900 - est pénalisant :

- Avec la prise en compte de l'épaisseur de la sous poutre de la passerelle (0.5 à 1 m) le calage de la piste cyclable est très élevé imposant une remontée - très pénalisante - sur le profil en long de la piste cyclable.
- Les rampes d'accès de chaque coté seront longues et présenteront une emprise importante.
- Le calage très haut de cette passerelle au dessus de la route parait délicat du point de vue paysager.

Dans le même ordre d'idée, un franchissement par l'aval ne nécessiterait aucune surélévation par rapport au pont de la RD 900 (donc pas de rampes d'accès) ni la réalisation d'un entonnement.

Dans la mesure où le système d'alerte est opérationnel, une réduction des revanches peut être envisagée si le maître d'ouvrage accepte des dégâts plus fréquents (rappelons que le pont n'a pas été accroché par les laves depuis sa construction il y a 65 ans).

4.2.4. Entonnement

Cet aménagement vise deux objectifs différents :

- Éviter un contournement, en présentant une largeur suffisante en amont du dispositif. Rappelons qu'un entretien sera indispensable pour reconstituer, après les crues, les berges en tout venant implantées en amont. Il est proposé une ouverture amont acceptant un recul de chacune des berges de l'ordre de 8 mètres mais cette valeur peu facilement être augmentée.
- Offrir une réduction de section **très progressive** avec notamment une réduction du fruit des berges sur une vingtaines de mètres de longueur.

L'entonnement est primordial pour permettre l'écoulement des crues sous les ponts et réduire les risques d'obstruction par les flottants. Il sera réalisé en enrochements maçonnés dans la partie aval (fruit inférieur à 3/2 puis en enrochements libres en amont).

La figure suivante montre une vue en plan schématique des aménagements en rive gauche, le traitement de la rive droite étant symétrique par rapport à l'axe du pont de la RD 900 :

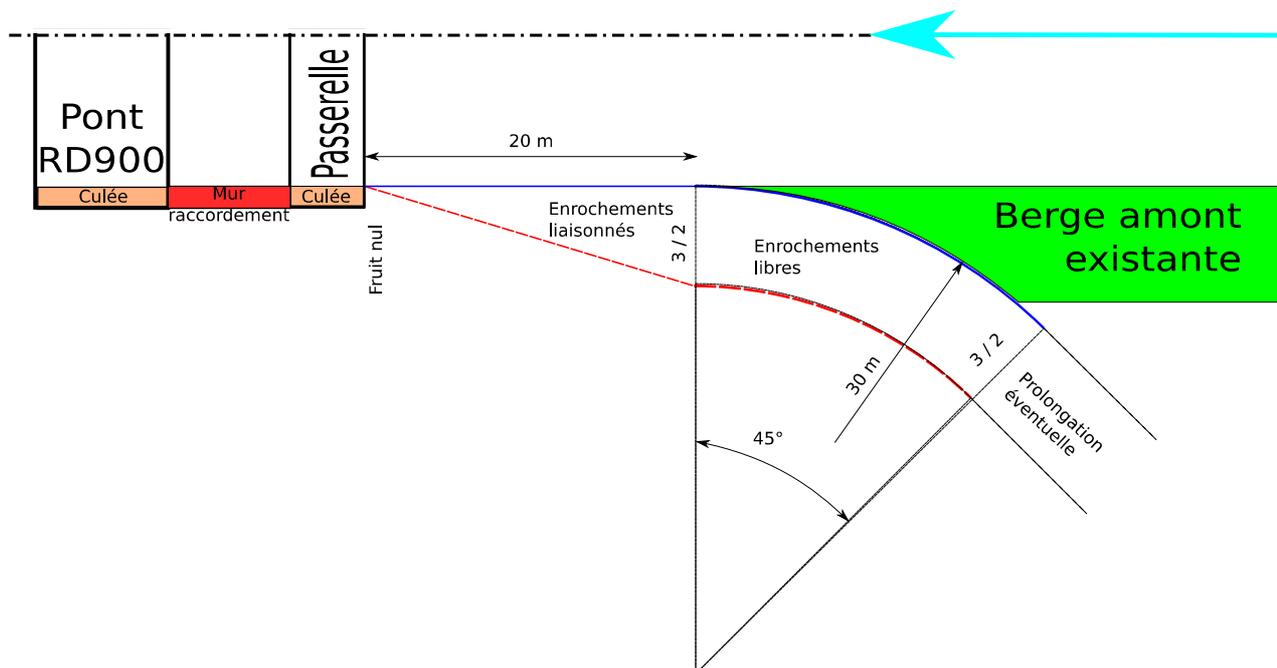


Figure 29 : vue en plan de l'entonnement rive gauche.

En amont immédiat des culées de la passerelle, les protections en enrochements maçonnés présenteront un fruit nul de façon à être tangent aux culées. Le sommet de la protection sera alors calée au niveau de la chaussée de la piste cyclable soit environ 5 mètres au dessus du niveau du lit.

Sur une longueur de 20 mètres (en remontant), le fruit sera porté à 3H/2V. Le pied de berge restera parallèle et aligné avec les culées sur ce linéaire.

En amont, la protection sera constituée d'un huitième de cône avec les caractéristiques suivantes :

- Rayon au niveau du fil d'eau d'étiage de 30 mètres.
- Fruit 3H/2V
- Hauteur au dessus du fil d'eau d'étiage : 5 mètres.
- Angle 45° soit un recul de l'ordre de 8 mètres sur chaque berge.
- En amont, la berge pourra être prolongée avec un angle de l'ordre de 45 % par exemple pour la réalisation d'une plage de dépôt.
- À défaut, la berge actuelle en tout venant sera prolongée dans la continuité du lit amont afin de présenter - avant affouillement - une section aussi régulière que possible au moyen d'un remblaiement devant l'entonnement en enrochements qui n'apparaîtra qu'en cas de recul de la berge amont.

4.2.5. Nature de l'entonnement et niveau de fondation

La figure suivante est une coupe type des protections dans la partie avec un fruit de 3/2 et des enrochements libres :

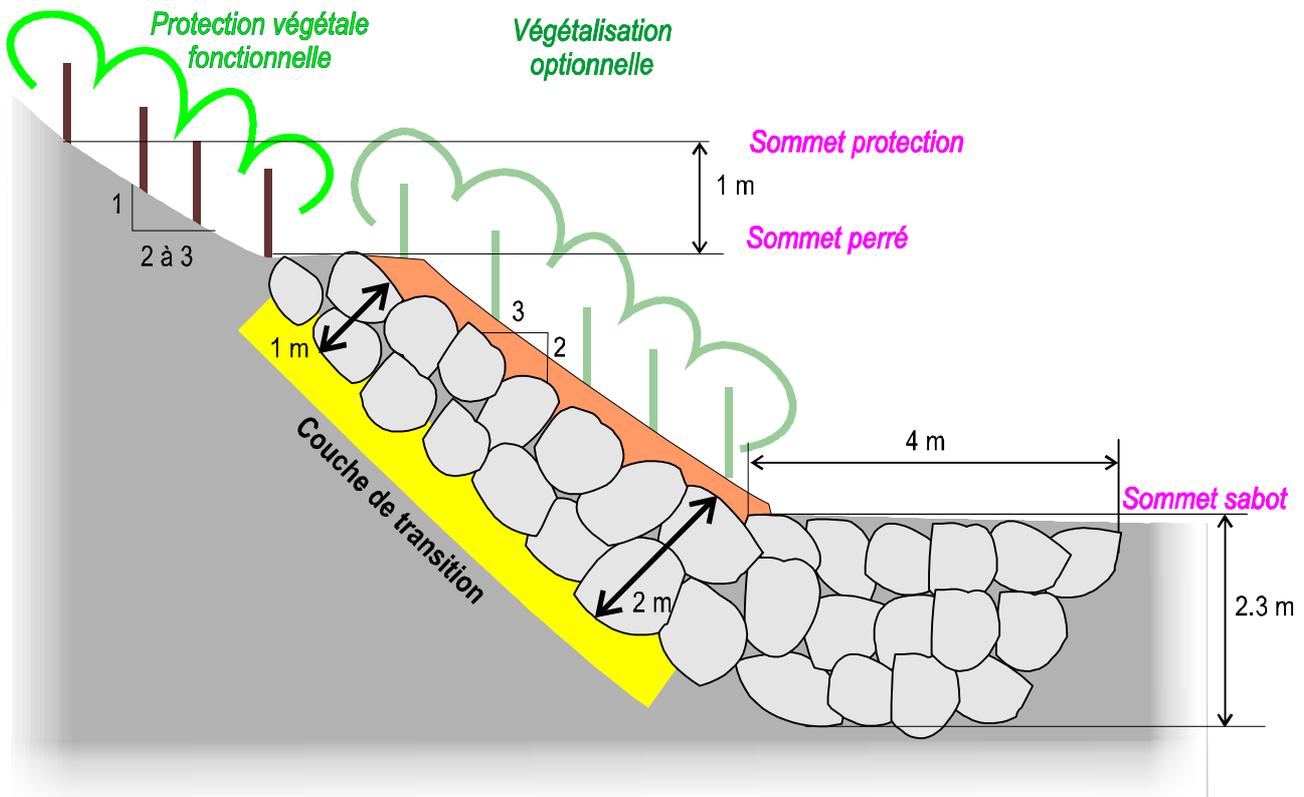


Figure 30 : Coupe schématique des protections de berge.

Cette protection aura les caractéristiques suivantes :

- Enrochements libres d'un poids de 250 à 3500 kg (poids moyen 1 000 kg). Les blocs les plus grossiers seront préférentiellement disposés du côté du torrent. On cherchera à obtenir une surface aussi lisse que possible en évitant les blocs proéminents qui risquent d'être arrachés par les laves torrentielles.
- La disposition des blocs sera dépendante de la hauteur de la protection. En effet, les contraintes les plus fortes sont rencontrées près du fond. Ainsi, les blocs les plus grossiers seront préférentiellement disposés sur le fond alors que les blocs les plus petits seront implantés dans la partie supérieure de la protection. Ainsi, l'épaisseur du perré passera de 2 mètres dans la partie basse à 1 mètre seulement au sommet du perré.
- Une couche de transition sera composée d'un géotextile ou d'une couche de 20 centimètres de déchets de carrière (diamètre moyen de 40 mm minimum et d_{80} supérieur à 100 mm). Les matériaux du lit étant assez grossiers, cette couche de transition ne paraît pas nécessaire ici.
- Fruit de 3H/2V.
- Sabot de pied de 4 mètres de largeur et de 2.3 mètres d'épaisseur avec des blocs de 250 à 3500 kg. Il sera constitué de trois couches de blocs.

- Le sommet du sabot sera calé au plus bas des niveaux suivants :
 - Niveau du sommet des parafeuilles du pont de la RD 900 en prenant en compte une pente longitudinale de seulement 6 %. Des sondages seront alors nécessaires pour déterminer la présence, la nature et le niveau de ces protections.
 - Niveau du seuil aval, toujours en considérant une pente longitudinale de seulement 6 %.

La revégétalisation rapide de la berge pourra être encouragée par percolation de terre entre les blocs et installation de boutures de saules (des essais seront nécessaires pour trouver les techniques les plus efficaces). Cette végétalisation - optionnelle - n'est pas fonctionnelle et peut être omise. Notons que cette végétalisation sera plus facile en les enrochements que sur les berges actuelles et instables. Cependant, elle risque d'être compromise si la prolongation des berges amont en tout venant recouvre les protections en enrochements.

D'autre part, sur une hauteur d'un mètre au dessus du sommet des enrochements, la berge sera talutée avec un fruit de 2H/1V minimum (3H/1V de préférence) et soigneusement végétalisée. Cette précaution permet de faire face à une surélévation modérée et temporaire du niveau d'écoulement. Elle est cependant loin de procurer la même résistance que les enrochements mais son coût est très inférieur. Cette protection est fonctionnelle et doit être mise en œuvre.

Notons que pour réduire les coûts, cette protection végétale pourrait être mise en place depuis 2 mètres au dessus du lit jusqu'au sommet des protections, les enrochements dans la partie basse permettant de guider les laves torrentielles... au prix de dégradations localisées des terrains dans la partie supérieure en cas de crue exceptionnelle.

La partie aval présentant un fruit inférieur à 3H/2V sera réalisée suivant le même principe mais avec les particularités suivantes :

- ⇒ Fruit lentement variable.
- ⇒ Enrochements liaisonnés lisses sur toute la hauteur du perré (soit depuis le niveau bas du sabot). Par contre, le sabot restera en enrochements libres.
- ⇒ Sur ce linéaire (20 mètres), le sommet de la protection en enrochements sera linéairement croissant pour atteindre le niveau de la chaussée de la piste cyclable à la jonction avec les culées.
- ⇒ La protection végétale sur les enrochements à faible fruit n'est pas conseillée, au contraire de la protection végétale de la partie supérieure qui reste indispensable.

4.3. Franchissement du bras secondaire

Comme indiqué précédemment, le bras secondaire n'a pas connu d'écoulement depuis son remplacement par le bras principal il y a 65 ans. Un passage à gué est alors tout indiqué pour effectuer le franchissement, quelques dizaines de mètres en amont du petit pont de la RD 900.

Les précautions suivantes doivent cependant être prises en compte :

- La piste cyclable sera calée au niveau du terrain naturel en respectant bien le talweg existant et dans la prolongation avec l'éventuel busage aval sous la RD 900. Une coordination avec le RTM dans cette zone est vivement recommandée. L'objectif est ici la transparence par rapport aux écoulements notamment grâce à un dévers de la chaussée vers l'aval.
- Aucune précaution particulière ne paraît nécessaire pour la chaussée. En effet les laves torrentielles sont généralement très peu affouillantes en cas de submersion. Les photos suivantes montrent la submersion d'une piste cyclable par une lave. Aucun dégât n'a été observé et la piste a pu être remise en service après nettoyage.
- Le système d'alerte est ici indispensable.



Photo 29 : Submersion d'une piste cyclable par l'Arbonne (Savoie) en 2019.



Photo 30 : Submersion d'une route et d'une piste cyclable par l'Arbonne.

4.4. Gestion de l'ouvrage

4.4.1. Système d'alerte

Le système d'alerte existant détecte les laves plus d'un kilomètre en amont des franchissements envisagés. Si l'on considère une lave torrentielle très rapide ayant une vitesse de 10 m/s sur le cône de déjection il est possible de retenir une distance par rapport aux franchissements :

- ⇒ D'un kilomètre sur la RD 900 pour les véhicules motorisés les plus lents (36 km/h).
- ⇒ 500 m pour les cyclistes (pour une vitesse de 18 km/h). Notons qu'au contraire des automobilistes, les cyclistes ont une meilleure perception de leur environnement et peuvent facilement faire demi-tour, la passerelle sur le torrent de Sanières présentant - hélas - un point haut facilitant un éloignement par rapport à cet ouvrage.

Il paraît souhaitable à la fois pour réduire le coût et renforcer le caractère impératif de la coupure, d'interrompre au même endroit et en même temps la circulation sur la RD 900 et sur la piste cyclable. Cette coupure sera réalisée préférentiellement par des barrières :

- ❖ À la sortie de Jausiers, près du pont Barnuquel,
- ❖ Au niveau des Davids Bas.
- ❖ D'autre part, il paraît judicieux de mettre en place une sirène entre les deux franchissements pour les cyclistes. Elle permet notamment de favoriser la localisation du danger présenté par le torrent.

Enfin, il est vivement conseillé de mettre en place des panneaux d'explication entre les deux franchissements à la fois pour expliquer les phénomènes torrentiels mais aussi les dangers s'y rapportant et la conduite à tenir en cas d'alerte.

Une gestion pragmatique du site permettrait la fermeture préventive de la piste cyclable (qui n'est pas menacée sur son parcours que par le torrent des Sanières) en fonction des alertes météo et des observations radar (réseau *RHYTMME*).

4.4.2. Entretien du lit

Dans l'état actuel, le lit connaît des évolutions potentiellement importantes en niveau mais aussi de son tracé en plan avec l'érosion des berges en tout venant. Ainsi des opérations d'entretien du lit doivent être envisagées avec de restaurer un lit bas, comme en juin 2022 et des berges temporairement stables. Une intervention devra donc être planifiée :

- ❖ En cas d'engravement avéré sur une épaisseur de plus de 50 centimètres.
- ❖ En cas de recul de plus de 2 mètres des berges.

Ces préconisations sont plus liées au pont de la RD 900 qu'au projet de piste cyclable. Les matériaux pourront notamment être réutilisés sur place pour le renforcement des berges en tout venant ou pourront être valorisés.

À plus long terme, une plage de dépôt avec rupture de pente devrait permettre une moindre évolution des niveaux du lit, toujours au prix d'un entretien régulier.

4.4.3. Impact sur les écoulements de lave torrentielle

Pour le franchissement du bras secondaire, la piste cyclable étant calée au niveau du terrain naturel, elle n'aura aucun impact sur d'éventuels écoulements de crue.

Pour le bras principal, les impacts sont plus forts, mais d'abord liés au pont existant.

La mise en charge du pont de la RD 900 paraît probable pour une crue exceptionnelle (de plusieurs dizaines d'années de période de retour). La passerelle de la piste cyclable présente une section proche du double de celle du pont. Elle n'apparaît donc pas comme limitante.

Le risque d'obstruction en cas de front exceptionnel est d'abord lié au pont de la RD 900 :

- ❖ Il est nettement plus bas.
- ❖ Il paraît plus à même de bloquer un front, et causer un débordement massif que la passerelle qui serait plus facilement arrachée sans causer d'obstruction.

Rappelons que l'entonnement lié au projet :

- ⇒ Augmente la capacité réelle des ouvrages.
- ⇒ Limite les risques de blocage des fronts ou des arbres.
- ⇒ Réduit le risque de surélévation des écoulements au niveau du choc sur les culées (et protège le pont).
- ⇒ Diminue les risques de contournement de l'ouvrage.

Le pont étant calé très haut dessus du terrain naturel, il va nécessiter la réalisation de rampes d'accès. Ces dernières peuvent intercepter un éventuel débordement provenant de l'amont. La lave serait stockée en amont d'un merlon dont la crête s'abaisse de près de 4 % en s'éloignant du pont.

La figure suivante montre un profil en long schématisé d'un tel écoulement après construction de la rampe d'accès au pont :

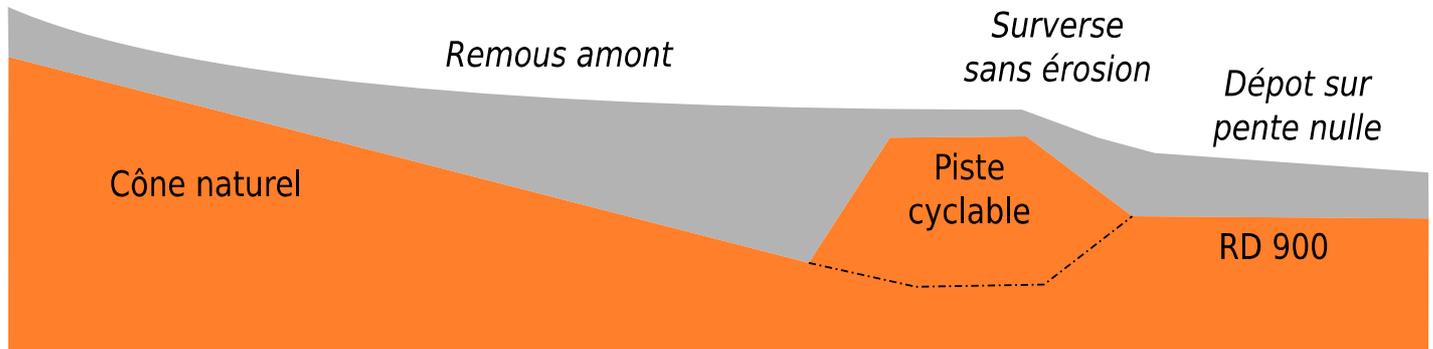


Figure 31 : Impact de la rampe d'accès sur un éventuel débordement de lave.

Ainsi, dans un premier temps, ce remblai va réduire fortement les risques de débordement sur les chaussées dans la zone du pont, et reporter les éventuels débordements "loin" du pont. Une surverse de la lave sur le remblai est alors possible.

Cette surverse se produit - au contraire d'un écoulement d'eau - sans érosion majeure... ni rupture brutale.

À titre d'exemple, la photo suivante montre la digue de grande hauteur de la plage de dépôt du torrent du Saint Antoine à Modane (73). Malgré le déversement sur la digue de plusieurs dizaines de milliers de m³, la digue n'a pas significativement été érodée.

Dans le cas présent, plusieurs éléments favorables par rapport à cette digue de plage de dépôt doivent être relevés :

- ⇒ La hauteur de la digue est moins forte.
- ⇒ La pente serait plus faible (3H/2V contre 1/1),
- ⇒ Une possibilité de contournement est fournie par la pente de la piste en s'éloignant du pont.
- ⇒ La RD 900 - "plate" - est située juste en aval. Le dépôt qui s'y produirait limiterait - et même supprimerait la hauteur de chute.
- ⇒ Le système d'alerte doit couper la route et la piste cyclable en cas de lave et il n'y a aucun autre enjeu majeur jusqu'à l'Ubaye ou la lave se déposerait avant d'être reprise par une crue de la rivière.



Photo 31 : Surverse massive sur une digue sans érosion significative.

Ainsi, les rampes d'accès n'ont pas d'impact sensible en aval.

En amont, elles vont favoriser le dépôt, ce qui est plutôt bénéfique pour les débordements de faible ampleur en protégeant alors la RD 900 comme le montre la figure de la page précédents.

Pour des volumes plus importants, la hauteur de dépôt - et donc le rayon hydraulique - augmentent ce qui conduit à des dépôts à très faible pente. Ce phénomène est classiquement observé dans les plages de dépôt et il est radicalement différent de celui observé avec du charriage.

Le remous en amont serait alors très limité étant donnée la pente du cône de déjection. Pour une surélévation de 3 mètres, le remous remonterait - en première approximation - à une cinquantaine de en amont pour une pente de 7 %.

Une mention particulière est nécessaire pour l'habitation - très exposée dans l'état actuel - situé en rive droite du torrent. Elle est située à 70 mètres de la RD 900 et à 60 mètres du lit du torrent comme le montre la figure suivante :

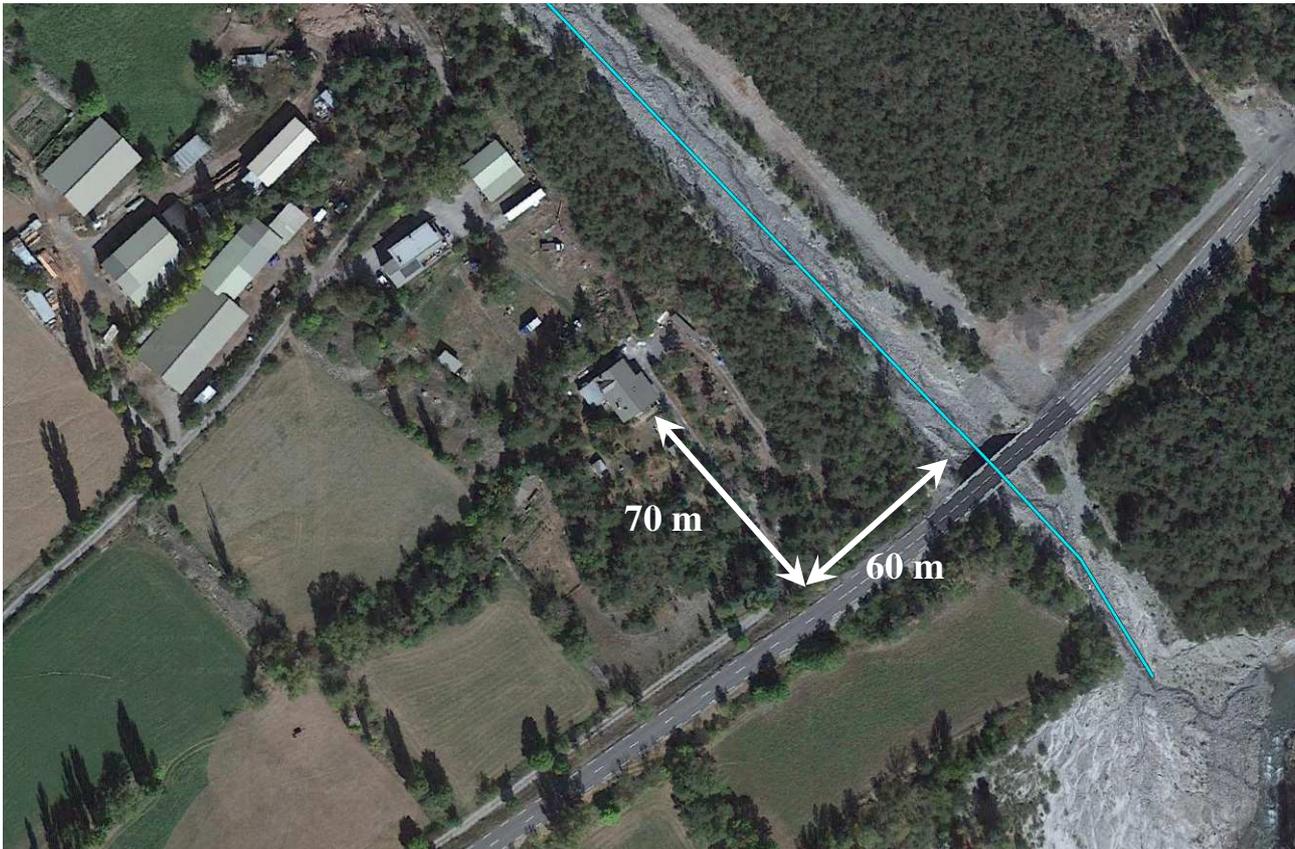


Photo 32 : Localisation de l'habitation rive droite la plus aval.

Il est possible de calculer le remous lié à l'ouvrage à partir des hypothèses suivantes qui devront être précisé dans le projet définitif :

- ⇒ Cote de sous poutre : 1215.5 m d'altitude.
- ⇒ Pente de la piste 4 %, soit une cote de 1213.1 NGF au droit de l'habitation.
- ⇒ Cote du terrain à l'aval immédiat du bâtiment : 1216 NGF d'après le MNT de 2014.

Ainsi l'habitation est située près de 3 mètres au dessous de la piste cyclable, ce qui rend négligeable à ce niveau le phénomène de remous.

Au final l'impact des remblais sur un écoulement de lave est négligeable... et plutôt favorable sur la RD 900 en y réduisant et retardant le débordement.

Il convient de noter qu'il n'est pas possible de réaliser des ouvrages de décharge pour les laves torrentielles dans un tel contexte. En effet, Les laves ne peuvent s'écouler que pour une contrainte de cisaillement supérieure à la contrainte de cisaillement critique, soit une forte pente et un rayon hydraulique élevé. Cela impose des ouvrages de décharge présentant une section proche de celle du pont principal, sous la piste cyclable... mais aussi sous la RD 900 !

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 général de la partie aval du torrent des Sanières.	3
Figure 3 : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection.....	5
Figure 4 : Profil en long régulier de 2022 et pente de 7.4 %.....	6
Figure 5 : Répartition mensuelle des crues du torrent des Sanières (RTM).	9
Figure 6 : Carte d'État Major et photographie actuelle (document Géoportail).....	10
Figure 7 : Photo aérienne de 1956 (document Géoportail).	11
Figure 8 : Photo aérienne de 1971 (document Géoportail).	12
Figures 9 & 10 : Confluent torrent de Sanières - Ubaye avant et après la crue de 2008.	13
Figures 11 & 12 : Confluent torrent de Sanières - Ubaye avant et après la crue de 2019.....	14
Figure 13 : évolution du profil en long entre 2013 et 2022.	15
Figure 14 : Localisation des profils en travers sur l'aval du cône de déjection.	16
Figures 15 & 16 : Évolution des profils en travers et recul des berges.....	17
Figure 17 : Vue d'ensemble des gorges aval.	24
Figure 18 : Pont de Briançon après la crue (photo prise de la rive gauche).....	29
Figure 19 : Vue d'ensemble de la partie basse du cône de déjection.	31
Figure 20 : Hydrogrammes solide et liquide sur le torrent de Sanières.....	42
Figure 21 : Conditions d'écoulement des crues en charriage.	44
Figure 22 : Relation hauteur vitesse pour de l'eau et pour une lave torrentielle.....	46
Figure 23 : Relation entre hauteur et pente d'écoulement pour les laves torrentielles.	48
Figure 24 : Relation entre hauteur et largeur en canal trapézoïdal.....	49
Figure 25 : Impact de la largeur pour un chenal trapézoïdal ou rectangulaire.	50
Figure 26 : Tracé retenu pour la piste cyclable.	52
Figure 27 : Dénivelée entre les deux ouvrages intégrant la pente du lit.	55
Figure 28 : Face amont du pont.	55
Figure 29 : vue en plan de l'entonnement rive gauche.	57
Figure 30 : Coupe schématique des protections de berge.	58
Figure 31 : Impact de la rampe d'accès sur un éventuel débordement de lave.	64

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Vue d'ensemble de la zone d'éboulement.....	19
Photo 2 : Vue d'ensemble de la zone d'éboulement.....	20
Photo3 & 4 : Front du glissement avant et après la lave de 2018.....	21
Photos 5 & 6 : Apports de blocs dans la partie centrale.....	22
Photos 7 & 8 : Partie centrale avant et après la lave de 2018.....	23
Photos 9 & 10 : Barrages dans les gorges aval.....	25
Photo 11 : Vue d'ensemble du cône de déjection.....	26
Photos 12 & 13 : Pont de la Rua intégré au chenal existant.....	27
Photos 14 & 15 : Chenal entre le pont de la Rua et le pont de Briançon.....	28
Photo 16 : Culée saillante du pont de Briançon en rive gauche.....	29
Photo 17 : Séparation en deux bras au pont de Briançon.....	30
Photo 18 : Création du nouveau lit en 1956-1957 (document RTM).....	32
Photo 19 : Lit entre le pont de Briançon et le seuil B2.....	33
Photos 20 & 21 : Seuil B4 et épis en gabion associé.....	34
Photos 22 & 23 : Lit rectiligne entre le B4 et le pont de la RD 900.....	35
Photo 24 : Culées avancées du pont de la RD 900.....	36
Photo 25 : Recul "naturel" de la berge en amont du pont.....	37
Photo 26 : Pont et seuil vus de l'aval.....	38
Photo 27 : Confluence avec l'Ubaye.....	39
Photo 28 : Pont obstrué du bras secondaire sur le RD 900.....	40
Photo 29 : Submersion d'une piste cyclable par l'Arbonne (Savoie) en 2019.....	60
Photo 30 : Submersion d'une route et d'une piste cyclable par l'Arbonne.....	61
Photo 31 : Surverse massive sur une digue sans érosion significative.....	65
Photo 32 : Localisation de l'habitation rive droite la plus aval.....	66