

# Service RTM des Alpes de Haute-Provence

---

## Étude hydraulique du torrent de Sanières

**Décembre 2003**



**Eaux, Torrents & Rivières de Montagne**

S.A.R.L. E.T.R.M.  
Vincent KOULINSKI  
Allée du Génépi  
Les Contamines  
73700 S É E Z  
Tél 04.79.40.04.78  
[etrm@libertysurf.fr](mailto:etrm@libertysurf.fr)

# SOMMAIRE

<b><u>1.</u></b>	<b><u>OBJET DE L'ÉTUDE</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2.</u></b>	<b><u>ÉTUDE HYDROLOGIQUE</u></b>	<b><u>2</u></b>
2.1.	OBJECTIF .....	2
2.2.	ÉTUDE RÉGIONALE DES PRÉCIPITATIONS.....	2
2.3.	PRÉCIPITATIONS À FAIBLE PAS DE TEMPS .....	5
2.4.	RELATION STATISTIQUE ENTRE PLUIE ET DÉBIT .....	7
<b><u>3.</u></b>	<b><u>TRANSPORT SOLIDE</u></b>	<b><u>10</u></b>
3.1.	ÉROSION DANS LE BASSIN VERSANT .....	10
3.2.	ANALYSE DU PROFIL EN LONG .....	11
3.2.1.	Profil en long du cône de déjection .....	11
3.2.2.	Profil en long du torrent de l'Ubaye.....	14
3.3.	DESCRIPTION DU LIT SUR LE CÔNE DE DÉJECTION .....	16
3.4.	QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE .....	19
3.4.1.	Nature des phénomènes .....	19
3.4.2.	Estimation des volumes de lave torrentielle .....	20
3.4.2.1.	Méthode basée sur les précipitations .....	20
3.4.2.2.	Formules sommaires .....	21
3.4.3.	Transport solide par charriage .....	22

## **4. CONDITIONS D'ÉCOULEMENT** **24**

4.1.	CAS DU CHARRIAGE TORRENTIEL .....	24
4.2.	ÉCOULEMENT DES LAVES TORRENTIELLES.....	24
4.3.	ÉCOULEMENT SUR LE CÔNE DE DÉJECTION .....	27

## **5. AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS** **28**

5.1.	OBJECTIFS POURSUIVIS .....	28
5.2.	AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS .....	29
5.2.1.	Partie amont du cône de déjection.....	29
5.2.2.	Pont de Briançon .....	29
5.2.3.	Aval du seuil.....	31
5.3.	DÉPASSEMENT DE LA CRUE DE PROJET .....	34
5.4.	ENTRETIEN DU CHENAL ACTUEL .....	35

# 1. OBJET DE L'ÉTUDE

Le torrent de Sanières draine un bassin versant de 4.6 km<sup>2</sup> 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.

Le torrent conflue avec l'Ubaye après avoir traversé un cône de déjection très étendu sur lequel sont installés plusieurs villages.

Une puissante lave s'est formée en été 2002 puis en 2003, la seconde étant un peu moins importante.

Une étude paraît nécessaire afin de :

- Comprendre le fonctionnement du torrent de Sanières.
- Mettre en évidence les principaux risques sur le cône de déjection dans l'état actuel et surtout les phénomènes rencontrés dans la zone de confluence avec l'Ubaye.
- Proposer des principales d'interventions au niveau des points critiques définir les curages nécessaires dans la zone de curage avec l'Ubaye.

Ce torrent bénéficie d'une imposante correction torrentielle dans son bassin versant mais elle ne permet pas d'éviter des apports massifs de laves torrentielles sur son cône de déjection et jusqu'à l'Ubaye.

## 2. ÉTUDE HYDROLOGIQUE

### 2.1. Objectif

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

- Analyse de la répartition spatiale des précipitations journalières,
- Analyse des pluies à faible pas de temps,
- Choix des paramètres représentatifs sur le bassin versant et détermination des débits à partir des relations statistiques entre pluie et débit,
- Comparaison avec les bassins versants voisins,
- Détermination des débits caractéristiques.

Cette partie de l'étude ne concerne que les phénomènes de charriage dans le torrent de Sanières. En effet, une crue sans lave est possible pour une fréquence décennale.

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

### 2.2. Étude régionale des précipitations

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

Pour bien mettre en évidence l'influence du relief, on s'est attaché à en étudier l'influence suivant un axe EST - OUEST.

On a exclu tous les postes pour lesquels la durée d'exploitation est inférieure à 15 ans.

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

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

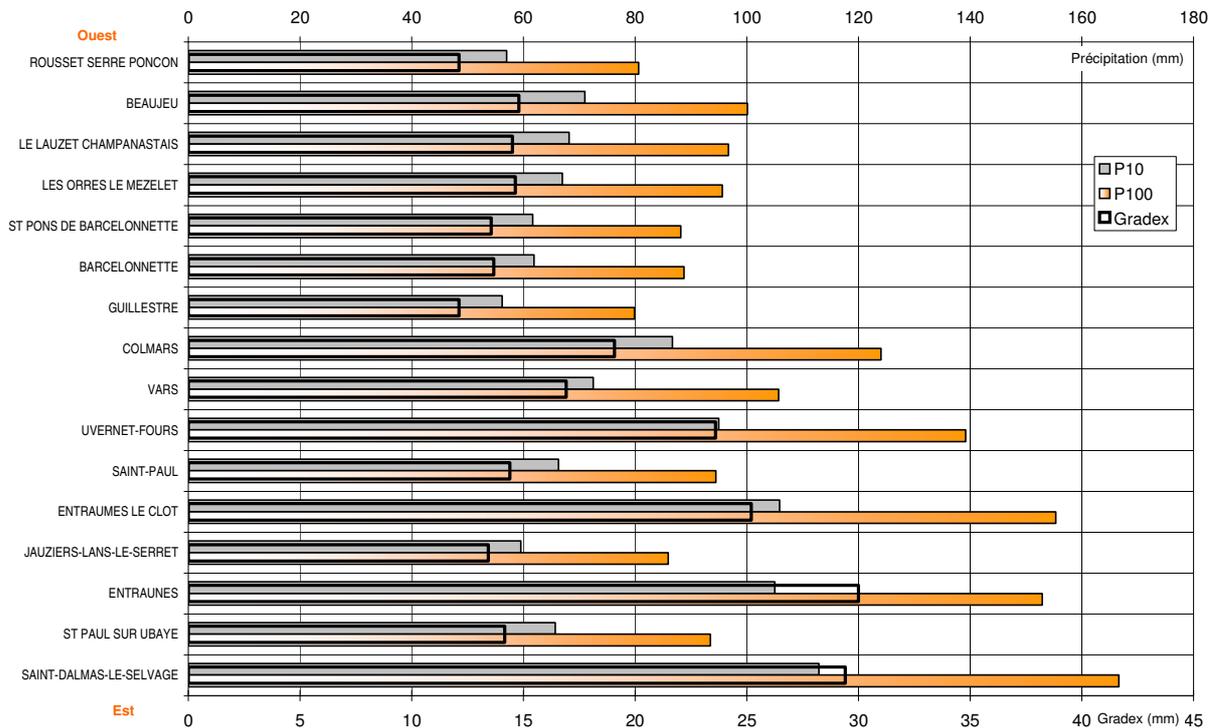
Avec

- $P_T$  Pluie de période de retour T
- $P_{T_0}$  Pluie de période de retour  $T_0$
- $g$  Gradex de la pluie (mm)

Le tableau suivant indique les données caractéristiques des postes :

Nom du poste	Altitude (m)	Début d'exploitation	Durée des données disponibles (années)
ROUSSET	675	1959	36
BEAUJEU	1050	1934	58
LE LAUZET	930	1958	15
LES ORRES LE MEZELET	1445	1948	47
ST PONS	1135	1958	15
<b>BARCELONNETTE</b>	<b>1135</b>	<b>1928</b>	<b>62</b>
GUILLESTRE	980	1958	15
COLMARS	1250	1934	41
VARIS	1810	1936	32
UVERNET-FOURS	1660	1954	42
SAINT-PAUL	1903	1971	25
ENTRAUMES LE CLOT	1250	1959	36
JAUSIERS-LANS	1500	1961	34
ENTRAUNES	1250	1928	68
ST PAUL SUR UBAYE	1903	1959	36
SAINT-DALMAS	1500	1931	61

La figure suivante indique, pour chacun de ces postes, la pluie décennale, la pluie centennale journalières et le gradex :



**Figure 1** : Répartition des précipitations à proximité du torrent de Sanières.

Ce graphique conduit aux remarques suivantes :

- L'altitude du poste n'est pas un paramètre explicatif des précipitations.
- Une évolution de l'Ouest vers l'Est est très nette, les valeurs les plus élevées correspondant à la chaîne centrale des Alpes, au contraire des reliefs plus modérés dans les environs de Serre Ponçon.
- Les postes de Barcelonnette et St Pons sont inclus dans les zones de précipitations modérées. Ils présentent des précipitations très comparables.
- La proximité du relief paraît un élément prépondérant pour l'explication des fortes précipitations, comme le montre les sites très encaissés d'Uvernet (hameau de St Laurent), d'Entraunes et de St Dalmas.

La différence très importante entre le poste de Barcelonnette et celui d'Uvernet met nettement en évidence l'effet du relief.

Le bassin versant du torrent de Sanières est évidemment situé sur autre massif que celui d'Uvernet. Cependant, les altitudes élevées suggèrent aussi de fortes précipitations.

La crue d'août 2003 illustre l'effet du relief : alors que les précipitations dans la vallée étaient relativement médiocres, le torrent a connu une forte crue, vraisemblablement causée par des

précipitations intenses dans le bassin versant. Les chutes de grêles auraient été remarquables lors de cet épisode.

Ainsi, les précipitations représentatives dans le bassin versant sont probablement nettement supérieures à celles mesurées à Barcelonnette. On retiendra donc les valeurs journalières suivantes :

Pluie décennale	80 mm
Pluie centennale	120 mm
Gradex	17 mm

### **2.3. Précipitations à faible pas de temps**

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

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

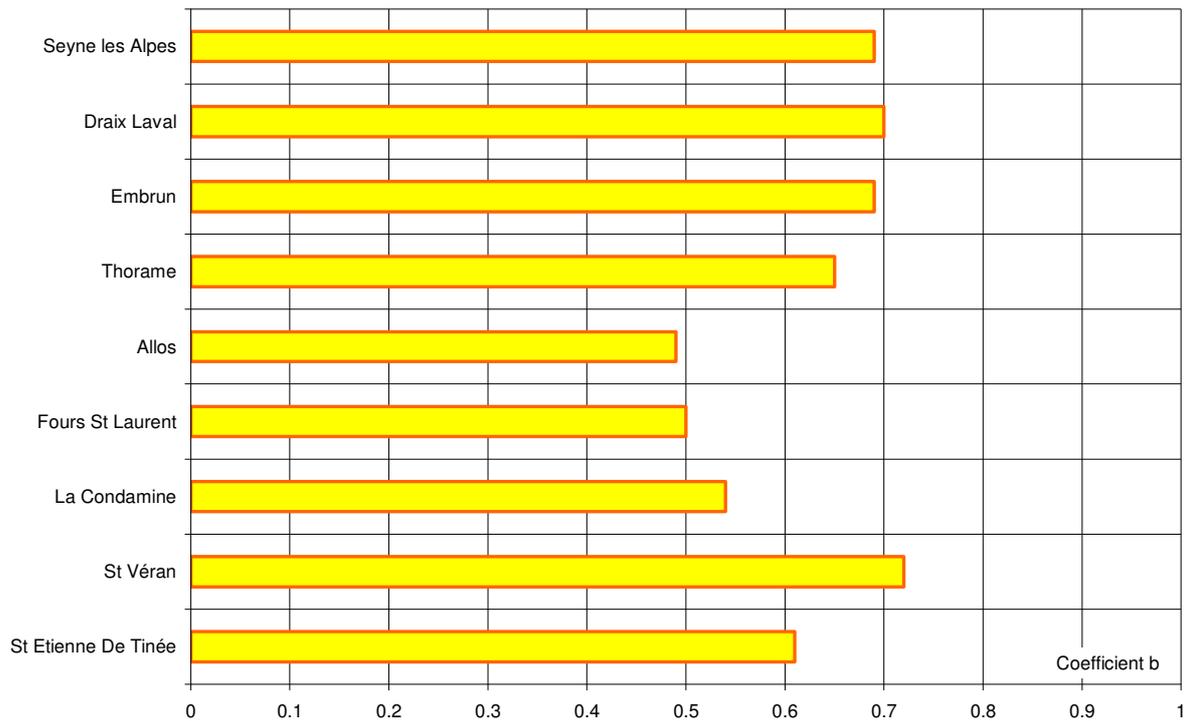
$$I = a d^{-b} \quad \text{et} \quad g = a' d^{1-b}$$

Avec

I	Intensité moyenne de la pluie (mm/h)
d	Durée de la pluie (h)
g	Gradex de la pluie (mm)

a, a', b Coefficients de Montana

La figure suivante indique le coefficient  $b$  pour les pluviographes situés à proximité du bassin versant :



**Figure 2** : Coefficient  $b$ .

Là encore, la différence entre les stations de vallées larges et les sites de "montagne" apparaît nettement. Dans le premier cas, le coefficient  $b$  est de l'ordre de 0.7, signe de précipitations qui perdent rapidement leur intensité. Dans le second cas, le coefficient  $b$  est de l'ordre de 0.5 traduisant des intensités de pluie qui diminuent faiblement en fonction de leur durée.

Le bassin versant du torrent de Sanières occupe une situation intermédiaire, ce qui nous incitent à retenir un coefficient  $b$  de 0.6 et conduit aux valeurs suivantes :

$b$  0.6  
 $a$  22.4 mm  
 $a'$  4.8 mm

## 2.4. Relation statistique entre pluie et débit

Dans un premier temps, les débits sont calculés en utilisant les pluies et des formulations reliant la pluie au débit. On utilise d'abord les relations établies entre la pluviométrie locale et le débit décennal. On a retenu trois formules :

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

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

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

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

L'estimation du débit centennal est purement indicative. En effet, il paraît très improbable qu'une crue centennale puisse se produire sans formation d'une lave torrentielle. Les débits sont alors beaucoup plus élevés.

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

**Torrent de Sanières**  
**Calcul du temps de concentration et du débit décennal**

**Caractéristiques du bassin versant (calcul du débit décennal)**

Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Pluie décennale journalière (mm)	Coefficient régional Crupédix	Dénivelée spécifique (m)	Hauteur d'infiltration (Méthode SCS)	$Pluie = \frac{a \text{ duré } e}{(\text{duré } e + c)^b}$		
					a	b	c
4.6	80	1.5	1400	100	22.4	0.6	0

**Caractéristiques du bassin versant (calcul du temps de concentration)**

Coefficient de Passini	Longueur du talweg (km)	Pente moyenne (%)	caractéristiques sol (Méthode de Zeller)		Longueur d'écoulement en nappe (m)	Vitesse d'écoulement estimée (m/s)	q* (méthode SCS)
			Coefficient de débit	Coefficient de ruissellement			
2.00	3	40	0.1	0.3	400	3	0.015

**Calcul du temps de concentration**

	temps de concentration calculé (en heure)
Formule de Passini	0.8
Formule de Giandotti	0.7
Méthode de Zeller	0.9

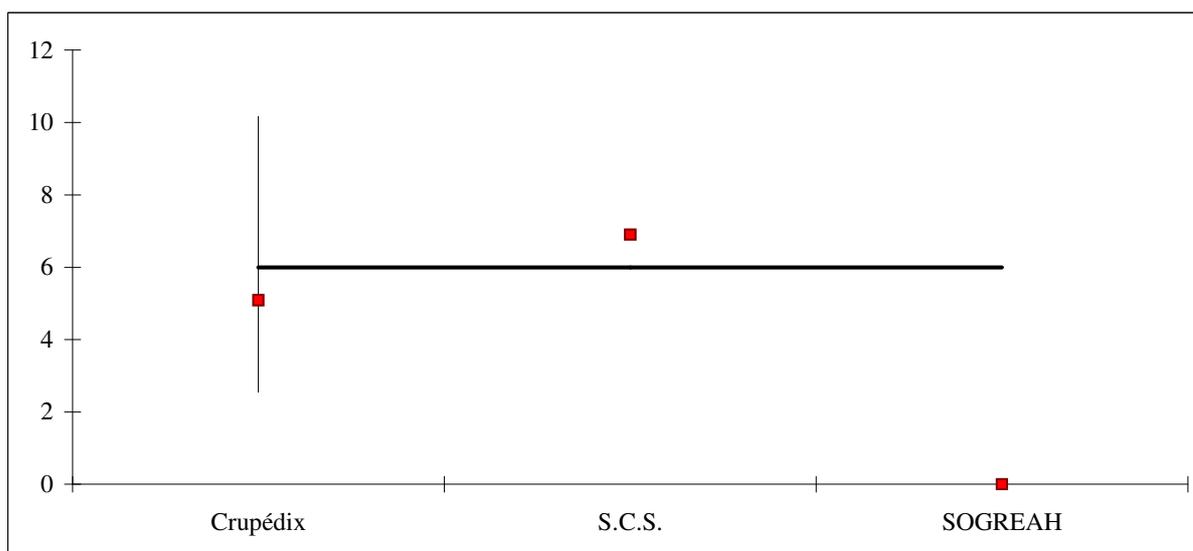
<b>temps de concentration retenu (en heure)</b>	<b>1</b>
---	----------

**Calcul du débit décennal**

Nom de la méthode	débit de pointe calculé (m <sup>3</sup> /s)
Crupédix	5
S.C.S.	7
SOGREAH	-

<b>débit de pointe décennal retenu (en m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>6</b>
---	----------

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



## Torrent de Sanières

### Calcul des débits de différentes périodes de retour

#### Caractéristiques du bassin versant (méthode du gradex)

$Gradex = \frac{a' \text{ duré } e}{(duré e + c')^{b'}}$			Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la crue
a	b	c	
4.8	0.6	0	2.0

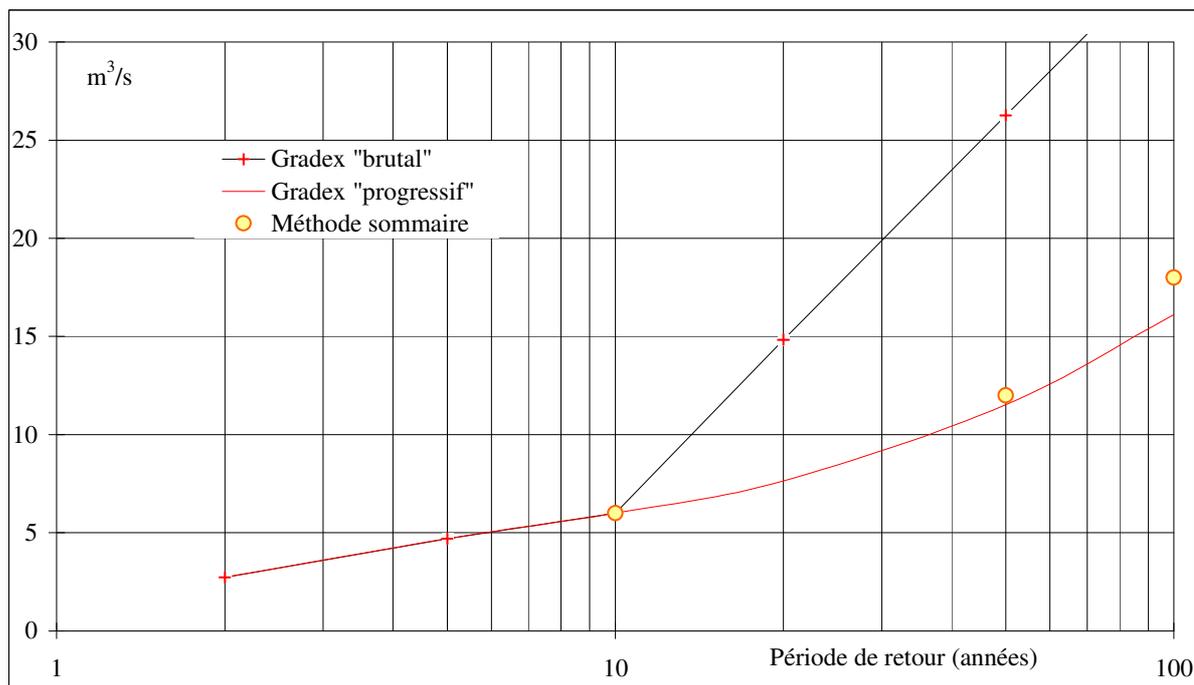
#### Calcul du gradex des débits

Période de retour inférieure à 10 ans	1.7
Période de retour supérieure à 10 ans	12.3

#### Calcul des débits de pointe

Période de retour (années)	Méthode sommaire	Gradex "brutal"	Gradex "progressif"
2		3	3
5		5	5
10	6	6	6
20		15	8
50	12	26	12
100	18	35	16

Période de retour	Débit retenu
10	6
100	18



## **3. TRANSPORT SOLIDE**

### **3.1. Érosion dans le bassin versant**

Le bassin versant du torrent de Sanières met clairement en évidence trois secteurs aux comportements très différents :

- Dans le cours amont, l'érosion est active tant en rive droite (glissement de terrain) qu'en rive gauche (chutes de blocs). Les glissements de terrain que l'on peut observer en rive gauche sont - à priori - très préoccupants, le pendage du substratum étant particulièrement favorable au glissement. Cependant, ce point pourrait être vérifié par des sondages, l'épaisseur en mouvement semble très modérée et le substratum est très présent, notamment dans le lit. Une déstabilisation brutale de cette zone est donc peu probable. Une correction active y semble très difficile étant donnée la pente très élevée des berges et du lit. Il est peut être possible - et souhaitable - de prolonger la protection existante vers l'amont, ce qui permettrait de caler un glissement de terrain situé peu en amont et - éventuellement - de recentrer l'écoulement en amont du barrage actuellement le plus en amont.
- Dans le cours central, une correction torrentielle a été mise en œuvre. Elle est globalement en bon état et est efficace, les apports latéraux y étant très réduits. Le phénomène prépondérant est alors le transit. Il convient de noter que les multiples zones d'atterrissement en amont des ouvrages permet une régulation efficace des apports. En effet, lorsque la crue est particulièrement chargée, elle dépose des matériaux et les reprends pour des épisodes moyens. Cette zone est limitée à son aval par une grande cascade.
- La partie terminale est caractérisée par un équilibre - partiel - entre la capacité de transport et les apports amont. Il s'agit donc d'un lit alluvionnaire localement influencé par les barrages qui y sont implantés. Ces barrages permettent une remontée du lit qui offre une butée de pied aux glissements que l'on peut observer sur les berges, notamment en rive droite. Le dispositif se termine par deux anciennes plages de dépôt qui - dans une vallée relativement étroite - ne pourraient offrir qu'un volume limité. L'ouvrage aval étant détruit, ces plages de dépôt fonctionnent comme de classiques seuils.

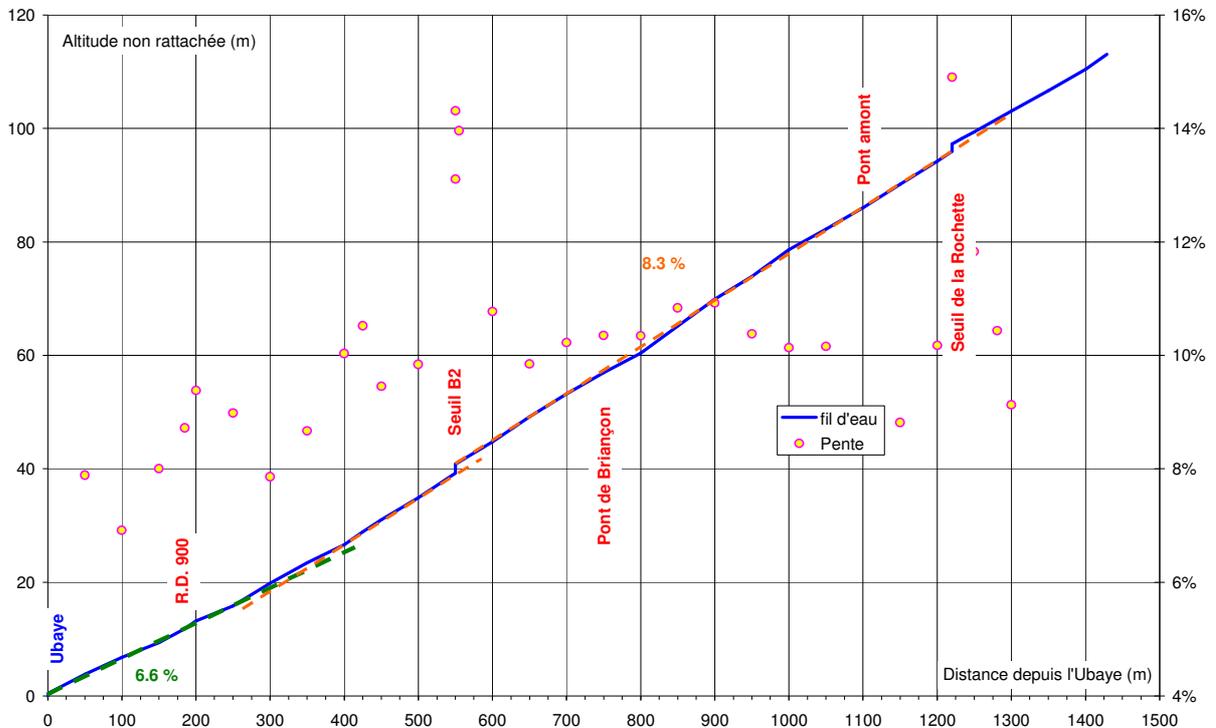
Ce sont donc des apports importants mais relativement régulés, pouvant inclure de gros blocs, qui arrivent sur le cône de déjection et qui doivent cheminer jusqu'à l'Ubaye.

La protection active joue donc un rôle nettement positif, mais ne permet de réduire les volumes apportés de que manière à peine sensible. Cette correction doit être entretenue, mais il semble difficile d'aller significativement au-delà des résultats positifs déjà obtenus.

## 3.2. Analyse du profil en long

### 3.2.1. Profil en long du 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 :



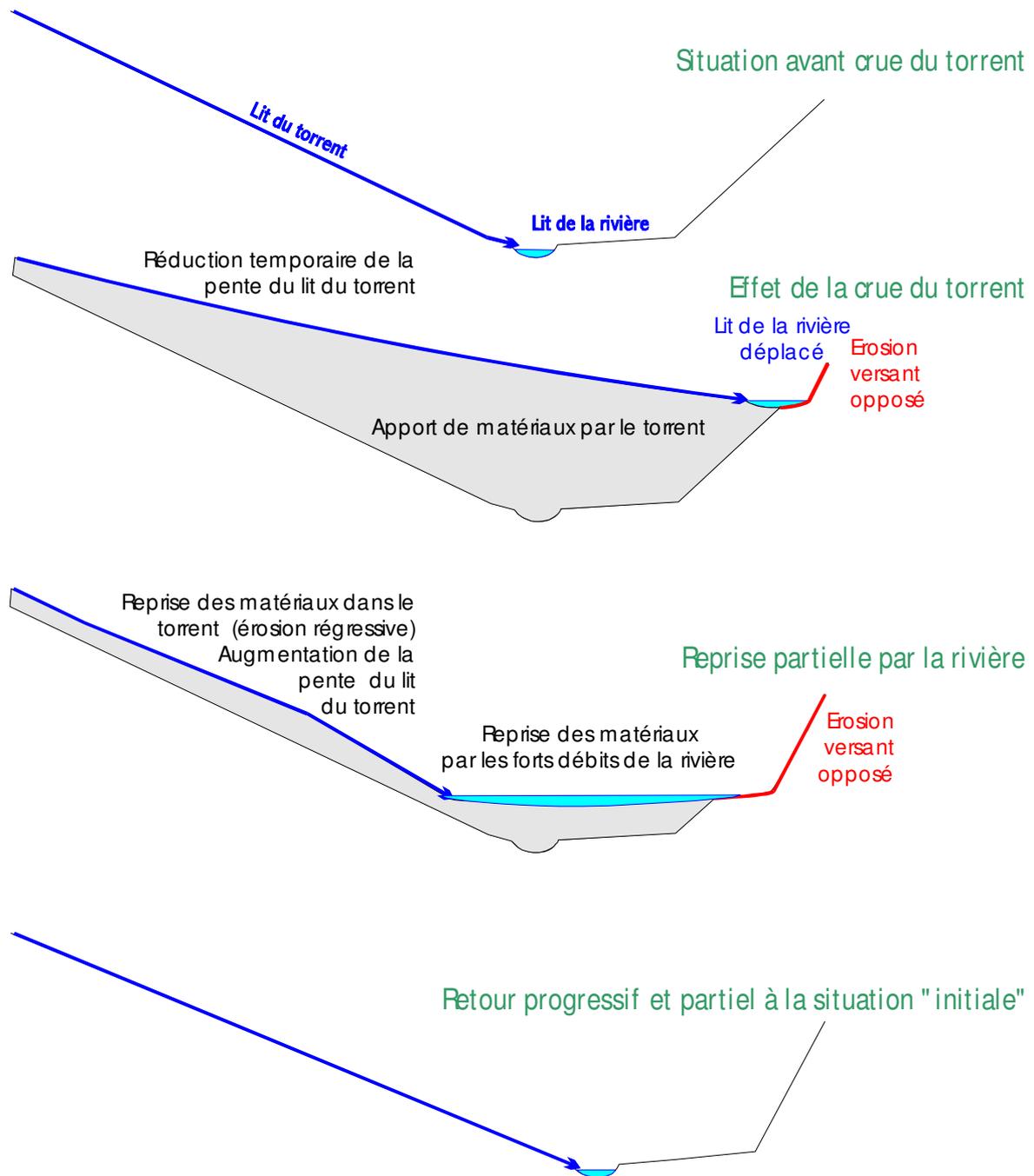
**Figure 3** : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection.

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 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. Il convient d'être prudent dans cette zone car le levé topographique correspond à un lit qui a été curé après la crue de 2002 et qui est donc partiellement artificiel. Il est cependant probable que les curages se soient attachés à restaurer le niveau du lit avant la crue. Cette situation est liée aux 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. Le levé topographique 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 correspond à une coupe transversale de la rivière (et donc longitudinale du torrent) au droit du confluent et illustre ce type de fonctionnement :



**Figure 4 :** Fonctionnement schématique d'un confluent.

Ce fonctionnement n'est pas sans poser de problème à proximité du confluent. En effet, l'engravement remonte dans le lit du torrent de Sanières et y favorise le débordement. Le principal aménagement dans cette zone est le franchissement de la R.D. 900.

### 3.2.2. Profil en long du torrent de l'Ubaye

Le graphique suivant permet de mettre en évidence les évolutions de pente de l'Ubaye :

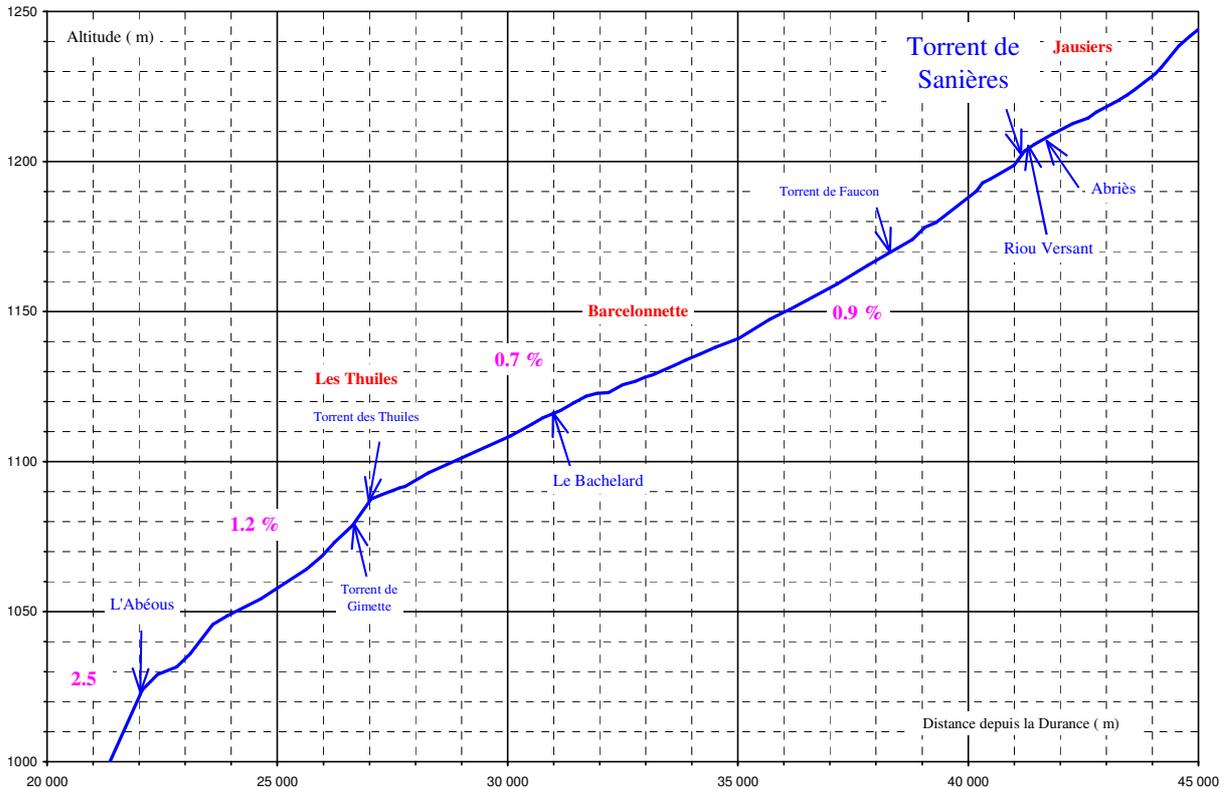


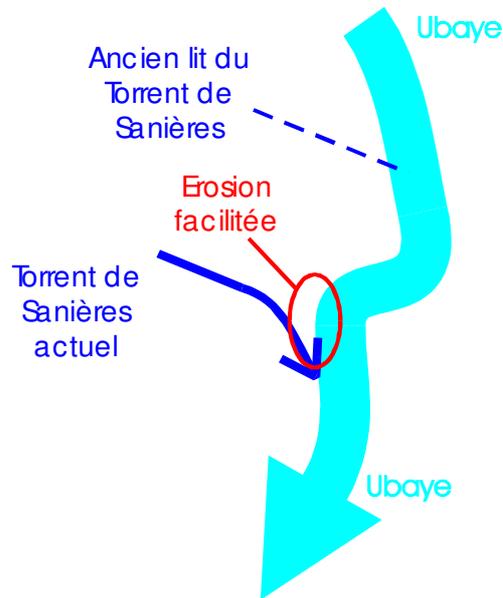
Figure 5 : Profil en long du torrent de l'Ubaye.

Le torrent de Sanières est situé dans une zone particulièrement contrainte. En effet, l'Ubaye reçoit en aval de Jausiers trois torrents majeurs :

- Le Riou Versant et surtout le torrent d'Abriès drainent des bassins versants très étendus où l'érosion est active. Ils apportent donc des volumes de matériaux important à l'Ubaye. Par contre, le phénomène prépondérant y est le charriage torrentiel et non les laves torrentielles. Les matériaux apportés sont alors relativement petits et peuvent être repris par l'Ubaye... au prix d'une augmentation de la pente.
- Le torrent de Sanières, au contraire, draine un bassin versant assez réduit et les apports moyens à l'Ubaye sont faibles malgré une forte érosion dans le bassin versant. Par contre, ce torrent est capable d'apporter des blocs de grande taille (mais visiblement assez rares) à l'Ubaye, engendrant une augmentation de la pente. Ce phénomène est sensible et procure une forte capacité de reprise à l'Ubaye dans la zone de confluence.

Il convient cependant d'être prudent car ce profil en long date de 1908. Or, depuis, le torrent de Sanières a été déplacé et le confluent est aujourd'hui plus en aval qu'en 1908. Il n'est pas impossible qu'il soit situé dans la partie aval du tronçon à forte pente, ce qui réduit la capacité de reprise par l'Ubaye dans cette zone. Un profil en long actuel de l'Ubaye dans cette zone serait cependant nécessaire pour être affirmatif.

Notons que la configuration du lit de l'Ubaye est favorable à une reprise des matériaux. En effet, le lit est étroit et le torrent de Sanières arrive dans un extrados de la rivière. La reprise est alors plus facile, comme le montre la figure suivante :



**Figure 6 :** Vue en plan de la zone de confluence.

Cependant, quel que soit le tracé de la zone de confluence, l'Ubaye ne peut en aucun cas reprendre immédiatement les apports du torrent de Sanières. En effet, lors de crues, ce dernier est capable d'apporter plusieurs dizaines de  $m^3$  de matériaux par seconde dans la zone de confluence. L'Ubaye n'est pas capable, même lors plus forte crues, de déplacer plus d'un  $m^3$  de matériaux par seconde. La différence doit se déposer - temporairement - dans la zone de confluence.

Heureusement, les crues du torrent de Sanières sont rares et ne durent que quelques dizaines de minutes alors que l'Ubaye connaît des crues fréquentes (même si elles sont modestes) et durant de longues heures. Elle est donc capable sur le long terme de reprendre la quasi-totalité des matériaux apportés par le torrent de Sanières.

### 3.3. Description du lit sur le cône de déjection

La transition entre les gorges et le cône de déjection est progressive 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.

Des protections sur les rives apparaissent, d'abord en rive gauche avec un ouvrage en maçonnerie, puis en rive droite avec un mur en béton à faible fruit.

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 réel est un peu inférieure.

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.

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 7** : 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 et 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 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 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 faible. 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 gauche (intrados) il n'y a pas de contraction importante.

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 :



**Figure 8** : 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.
- 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 que l'on retrouve le long de la route... au milieu des habitations.

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 une pente probablement plus réduite dans la zone de confluence et une tendance au dépôt qui y est un peu plus marquée. Un profil en long actuel de l'Ubaye dans cette zone serait cependant nécessaire pour être affirmatif.

En aval du pont de Briançon, le torrent de Sanières suit ensuite un tracé rectiligne 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. C'est notamment le cas du mur<sup>1</sup> en béton qui a été établi en 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.

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) et impose une réduction sensible de la largeur (la largeur sous l'ouvrage est de 15 mètres). Ce pont est totalement incompatible avec le transit des laves torrentielles. C'est le cas de la plupart des ouvrages de franchissement sur cette route.

En aval du pont, le lit a été curé et présente une largeur tout juste supérieure à celle que l'on observe en amont. Il est destiné au transit des écoulements mais ne permet pas le stockage d'un volume significatif de laves torrentielles en cas de crue.

Ce tronçon forme 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 occupe une large fraction du lit de l'Ubaye dans cette zone, mais les matériaux devraient être repris lors de la prochaine forte crue.

---

<sup>1</sup> Ce mur qui naît en aval du pont de Briançon présente une hauteur très irrégulière, surtout en aval du pont.

## 3.4. Quantification du transport solide

### 3.4.1. 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.
- 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 deux phénomènes doivent être abordés séparément car les outils correspondants sont fondamentalement différents.

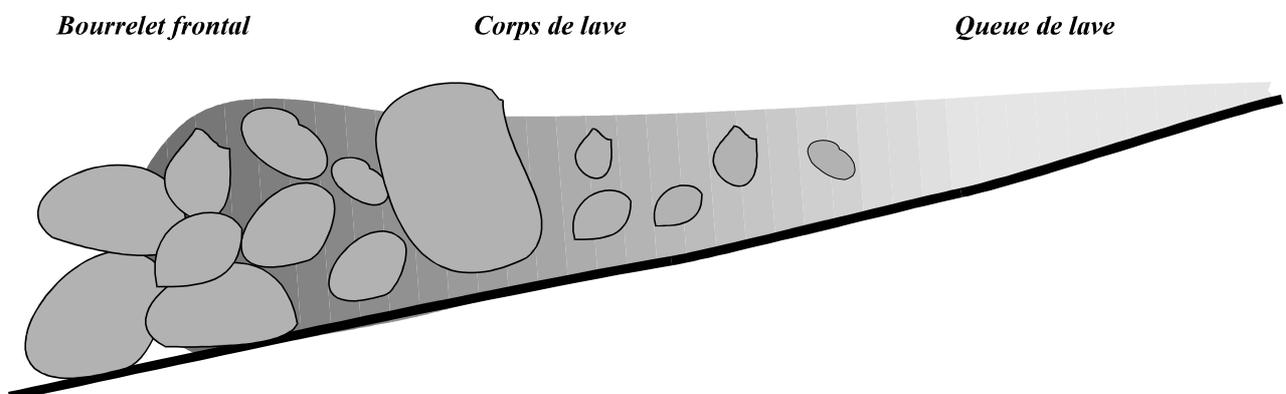
Les laves torrentielles se forment dans les lits à forte pente, lorsque l'alimentation en matériaux permet un mélange homogène d'eau et de matériaux. Les matériaux rencontrés dans le bassin versant (schistes) sont très favorables à la formation de laves torrentielles boueuses !

La formation de laves torrentielles ne fait donc guère de doute, la pente observée sur le cône de déjection correspondant parfaitement à la gamme de pentes rencontrées avec ce type de phénomène.

Une lave boueuse (comme dans le torrent de Sanières) est usuellement formée de trois parties :

1. **Le bourrelet frontal** constitué des plus gros blocs, généralement en contact direct. Ce bourrelet frontal présente une section qui peut être très importante. Il est poussé par le corps de la coulée.
2. **Le corps de la coulée** est constitué d'un mélange boueux homogène. Il joue un rôle moteur dans le déplacement de la coulée.
3. **La queue de coulée** dans laquelle on peut observer un charriage hyperconcentré. La section d'écoulement est alors nettement plus réduite.

La figure suivante schématise une telle structure :



**Figure 9** : Structure longitudinale d'une lave torrentielle.

### 3.4.2. Estimation des volumes de lave torrentielle

#### 3.4.2.1. Méthode basée sur les précipitations

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

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

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

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

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

On calcule ensuite le volume d'eau ruisselé en appliquant un coefficient de ruissellement et en considérant l'ensemble du bassin versant (4.6 km<sup>2</sup>)

Coefficient de ruissellement	0.3
Volume d'eau ruisselé (m <sup>3</sup> )	48 000

En fait, durant un tel épisode, seule une fraction de l'écoulement liquide contribue à la formation de la lave, le reste s'écoulant entre les coulées, ou rejoignant une lave déjà totalement formée. Les caractéristiques du torrent de Sanières nous conduisent à estimer que la moitié du volume précédent contribue à la formation de la lave.

Volume d'eau formant les laves (m <sup>3</sup> )	24 000
--	--------

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

Volume de lave probable (milliers de m <sup>3</sup> )	48 < V < 96
---	-------------

Le même type de calcul pour une crue décennale conduit à un volume de l'ordre de 20 000 m<sup>3</sup>.

Il n'est malheureusement pas possible de rapprocher cette estimation des relevés historiques. En effet aucune quantification n'a été réalisée sur les volumes transitant dans le torrent durant les crues.

---

<sup>2</sup> Ce rapport est souvent rencontré pour les laves boueuses. Mais le volume de lave peut être nettement supérieur dans les cas défavorables.

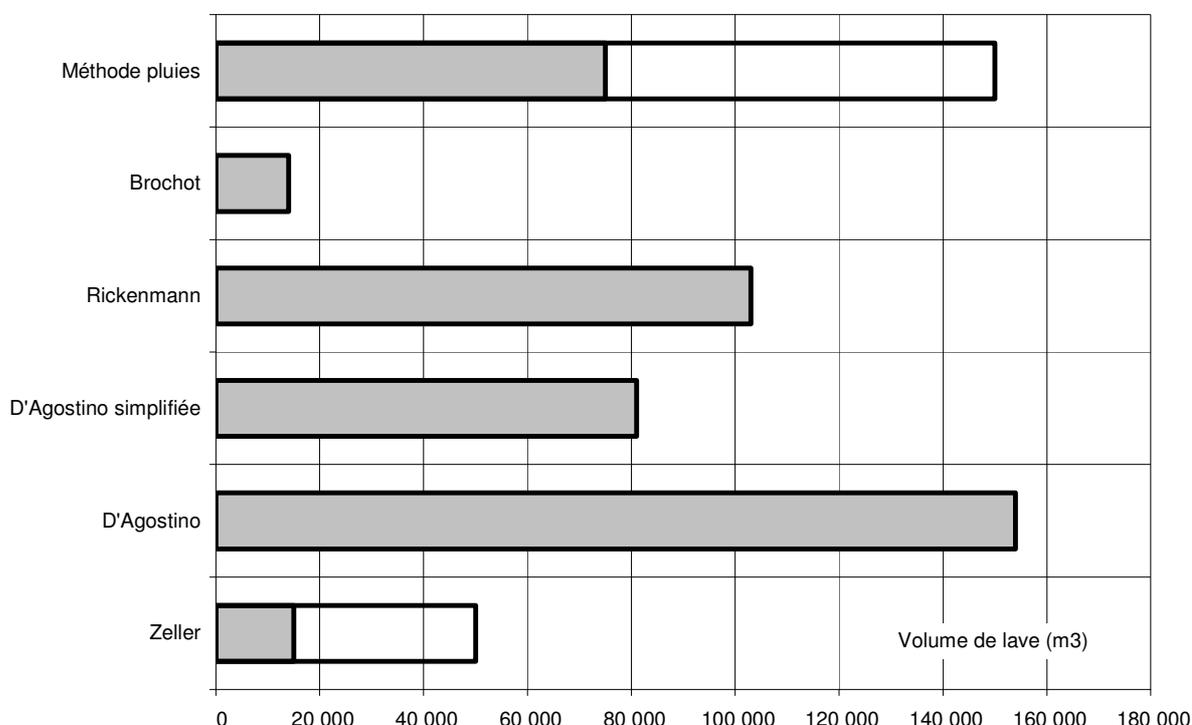
### 3.4.2.2. Formules sommaires

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

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

Surface BV	4.6 km <sup>2</sup>
Surface non végétalisée	30 %
Pente cône	8.6 %
Pente moyenne	43 %
Longueur torrent	3.2 km
Indice géologique D'Agostino	3
Indice torrentialité D'Agostino	1
Indice Robert Marie	4

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



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 m<sup>3</sup>.

**Le volume de 100 000 m<sup>3</sup> 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 phénomène de laves torrentielles sera donc quantifié par la suite.

### 3.4.3. 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 :

$$\frac{Q_s}{Q} = 4.45 \left( \frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} \frac{\rho}{\rho_s - \rho} I^{1.5} \left( 1 - \left( \frac{Q_{lc}}{Q} \right)^{0.375} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Avec

$$\frac{Q_{lc}}{\sqrt{gd_m^5}} = 0.295 \times I^{-13/6} (1 - 1.2I)^{8/3} \dots \dots \dots (3)$$

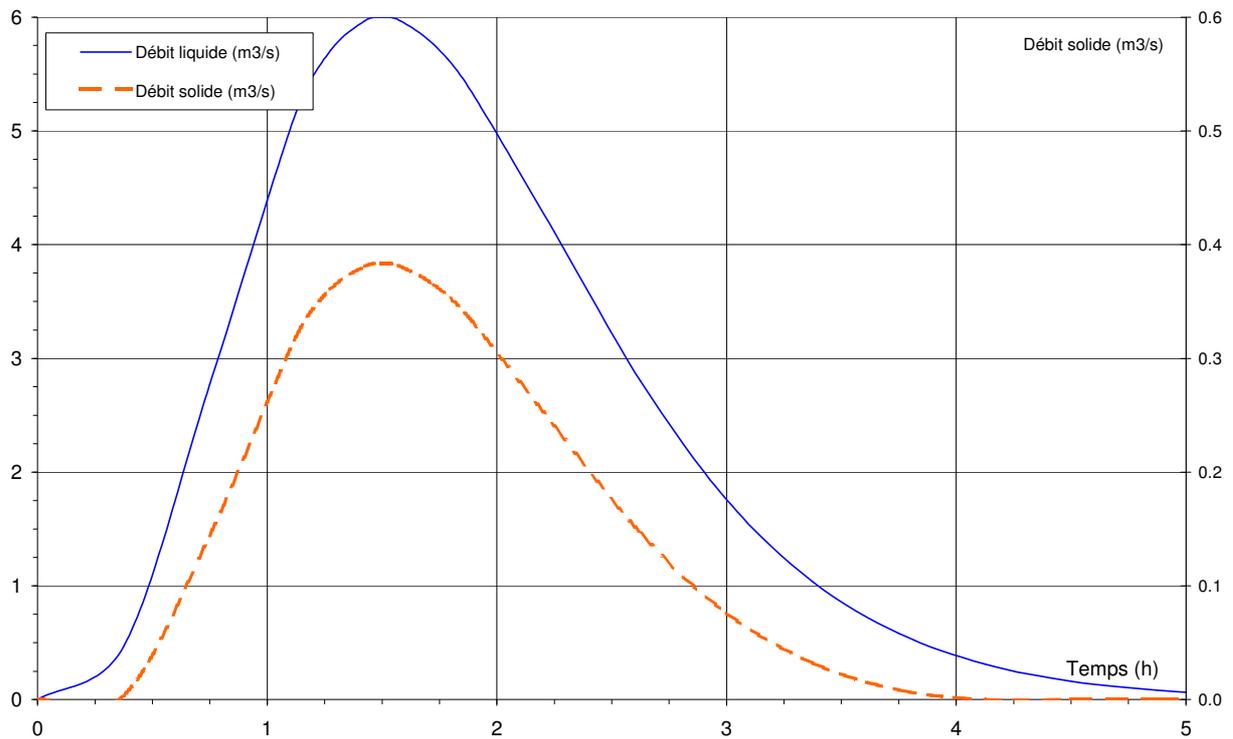
Les symboles utilisés ont les significations suivantes :

d <sub>30</sub>	diamètre pour lequel 30 % des grains sont plus petits		ρ	densité de l'eau
d <sub>90</sub>	diamètre pour lequel 90 % des grains sont plus petits		ρ <sub>s</sub>	densité du matériau
d <sub>m</sub>	diamètre moyen des grains de l'échantillon		I	pente
Q <sub>s</sub>	débit solide			
Q	débit liquide			
Q <sub>lc</sub>	débit liquide de début d'entraînement des matériaux.			

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 10** : Hydrogrammes solide et liquide sur le torrent de Sanières.

Le volume correspondant est de 2 300 m<sup>3</sup> 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.

# 4. CONDITIONS D'ÉCOULEMENT

## 4.1. Cas du charriage torrentiel

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.

Dans la partie aval, entre le seuil et la R.D. 900, la réduction de pente est favorable au dépôt et celui ci pourrait atteindre 2 300 m<sup>3</sup> pour une crue décennale. C'est un volume négligeable par rapport aux apports de lave torrentielle. Ce dernier phénomène est donc largement prépondérant et doit être étudié en détail.

## 4.2. Écoulement des laves torrentielles

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, COUSSOT<sup>3</sup> a montré que la loi de comportement des mélanges boueux pouvait être représentée par un modèle de HERSCHEL & BULKLEY :

$$\tau = \tau_c + K \frac{\partial v}{\partial y}^{1/3} \quad \text{pour } \frac{\partial v}{\partial y} \neq 0 \dots\dots\dots (4)$$

Avec

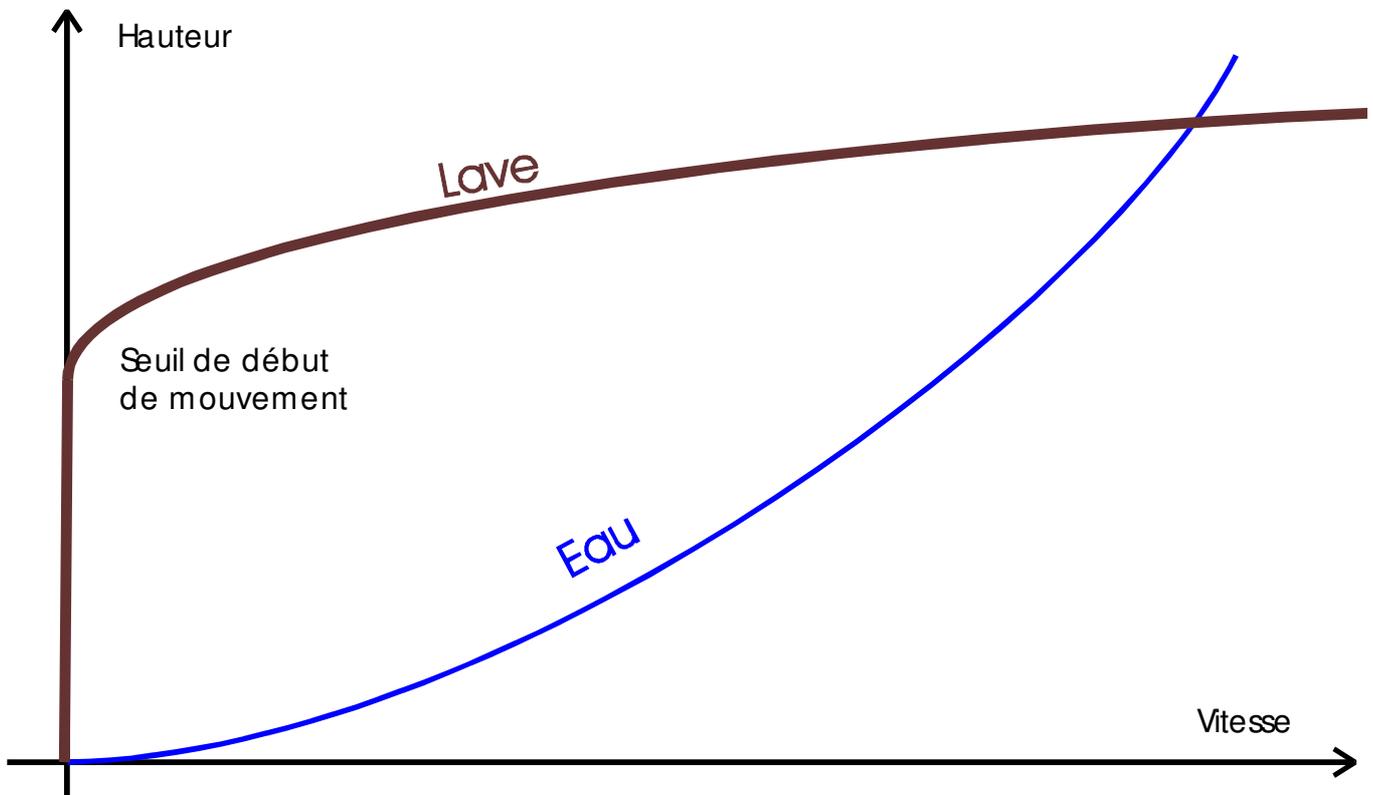
- $\tau$  Contrainte de cisaillement
- $\tau_c$  Seuil de contrainte dépendant du matériau
- $K$  Coefficient caractéristique du matériau
- $v$  Vitesse de lave à la cote  $y$
- $y$  Distance depuis le fond

Il s'agit d'un comportement totalement différent 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.

---

<sup>3</sup> *Rhéologie des laves torrentielles* - Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble - 1992.

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 11** : 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.

Cette limitation ne semble pas très importante dans le cas du torrent de Sanières sur son cône de déjection car il est probable que les gros blocs soient relativement rares en cas de crue. Par contre, une lave torrentielle serait accompagnée d'arbres qui en augmentent la section et l'impact sur les constructions. 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, BOSSAN<sup>4</sup> a établi les équations permettant le calcul des conditions d'écoulement en canal rectangulaire ou trapézoïdal en exprimant la contrainte de

<sup>4</sup> *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.

cisaillement à la paroi  $\tau_p$ . 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).

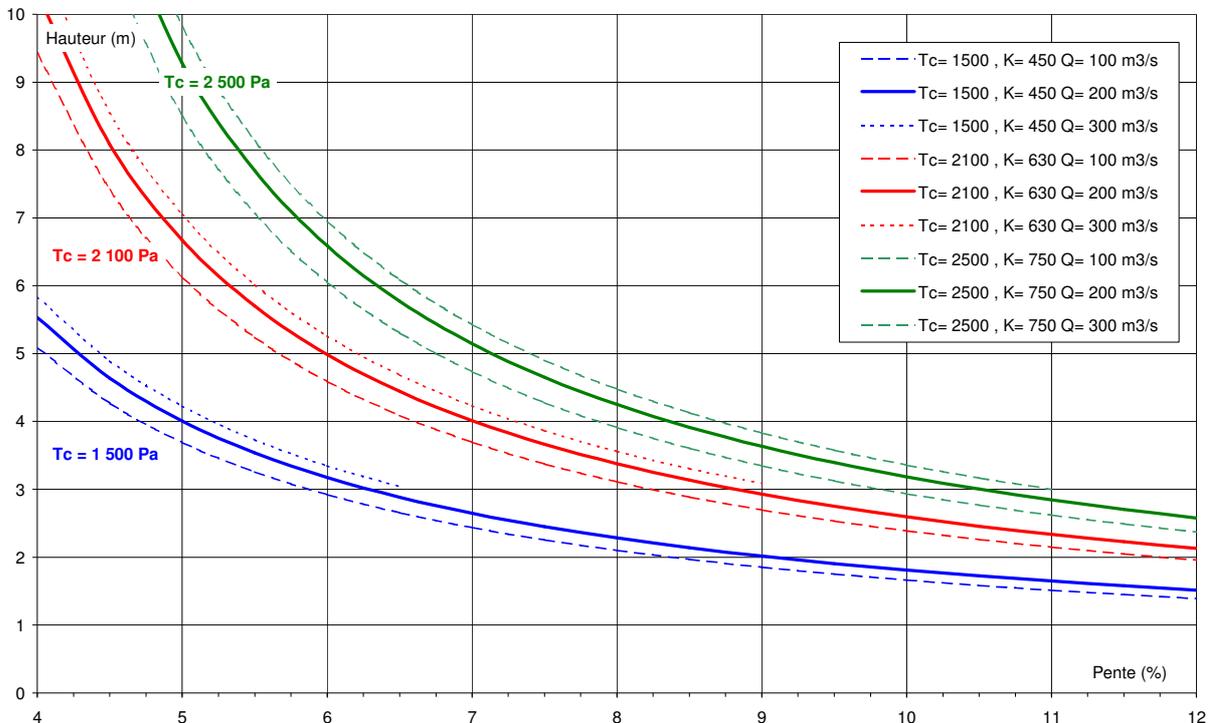
Les paramètres rhéologiques correspondants en considérant un coefficient  $K/\tau_c$  égal à 0.3, ce qui est classique dans les Alpes. D'autre part, on retient une hauteur d'écoulement de 2, 3 ou 4 mètres dans la partie amont du cône de déjection. Ces valeurs sont cohérentes avec la submersion, même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

On est alors conduit aux valeurs suivantes :

$\tau_c$ (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.

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 m<sup>3</sup>/s :



**Figure 12** : Relation entre hauteur et pente d'écoulement pour les laves torrentielles.

Ces calculs sont réalisés avec une largeur de lit de 10 mètres et conduisent aux remarques suivantes :

- Pour une pente de 8.3 % (comme dans la partie amont du cône de déjection), les hauteurs de laves sont comprises entre **2 et 4.5 mètres**.
- Dans le cours aval, la hauteur de l'écoulement de lave est majorée par la réduction de pente à 6.6 % seulement. La hauteur de l'écoulement est alors comprise entre 2.5 et 6 mètres, soit une surélévation de 1.5 mètres environ.

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.

### **4.3. Écoulement sur le cône de déjection**

Il n'est pas question ici de réaliser un calcul d'écoulement sur le cône de déjection du torrent de Sanières, l'objectif de l'étude étant la détermination de la gestion de la zone de confluence. Il est cependant possible de faire les observations suivantes :

- 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 apparemment une section insuffisante (un levé topographique serait nécessaire pour être plus précis). C'est clairement le cas en amont immédiat du seuil.
- Le tronçon aval, du seuil jusqu'à l'Ubaye, est largement insuffisant pour l'écoulement et ne permet pas de dépôt important. Ainsi, un volume de 100 000 m<sup>3</sup> représente une hauteur de dépôt de 13 mètres sur 500 mètres de long en considérant un lit de 15 m de largeur. Dans la réalité, la lave s'étale et les hauteurs sont bien moindres.

# 5. AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

## 5.1. Objectifs poursuivis

Étant donnée l'activité du torrent de Sanières et de l'érosion dans son bassin versant, il ne paraît pas accessible de modifier sensiblement son fonctionnement et d'éviter les laves torrentielles sur le cône de déjection :

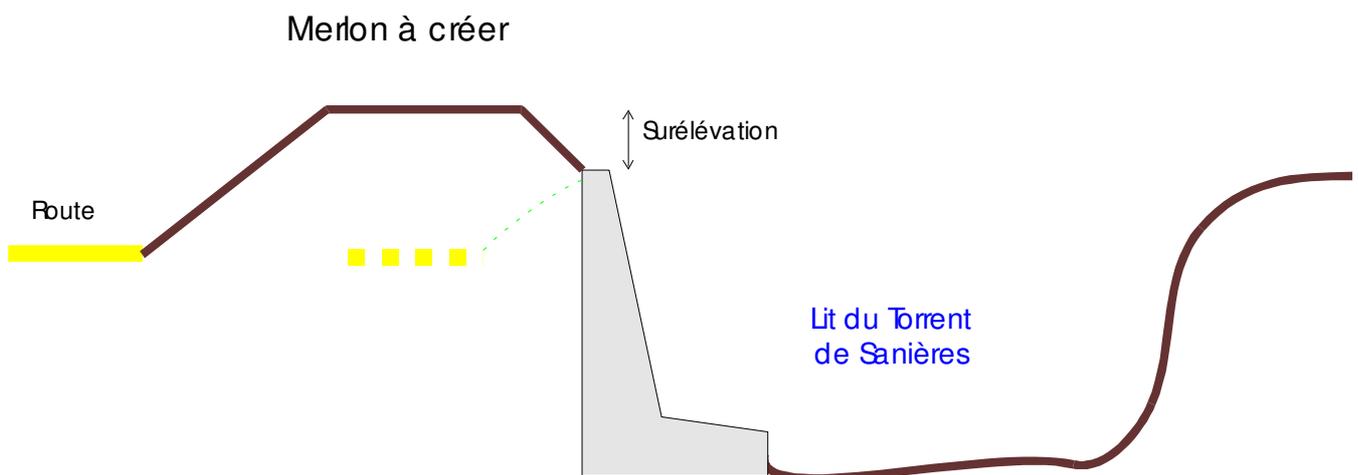
- Une protection active, si elle peut permettre une amélioration locale, n'est pas à l'échelle des phénomènes très actifs qui se développent dans le haut bassin versant. Des travaux considérables dans les gorges seraient nécessaires pour y réduire sensiblement l'érosion et il est probable qu'une fraction importante des matériaux provienne de dérochoirs où une correction active n'est pas envisageable. Il convient cependant de rappeler que les ouvrages réalisés, en offrant des zones de régulation du débit solide, jouent un rôle très positif, mais qu'il semble difficile d'aller beaucoup plus loin.
- La mise en place d'une vaste plage de dépôt dans la partie amont du cône de déjection est évidemment possible. Mais elle demanderait un entretien très contraignant (les curages seraient vraisemblablement très coûteux étant donnée la faible valeur des matériaux) et le risque de déstabilisation du lit sur le cône de déjection est très élevé. La réalisation d'une plage de dépôt capable de stocker un volume de 100 000 m<sup>3</sup> représente un coût très important et une emprise de plusieurs hectares, ce qui risque de poser de sérieux problèmes fonciers. Or, une large fraction des apports du torrent de Sanières transite naturellement jusqu'à l'Ubaye. Toute solution d'aménagement doit donc chercher à préserver, voir renforcer, ce transit naturel vers l'aval afin de réduire les coûts d'entretien. Une telle solution n'est pas en rapport avec les problèmes posés par le torrent de Sanières.
- Augmenter la section d'écoulement afin de permettre le transit des matériaux. Une telle solution imposerait des travaux considérables si elle est prolongée jusqu'au confluent avec l'Ubaye. Si l'on accepte la coupure occasionnelle de la route, la stratégie dans cette zone consiste à gérer le dépôt. Par contre, le débordement au droit du pont de Briançon aurait plus de conséquences et une modification de l'ouvrage doit être recherchée.
- Aménager des zones de dépôts de matériaux entre le seuil et l'Ubaye afin de réduire et de maîtriser l'emprise des dépôts inévitables en cas de crue.

## 5.2. Aménagements proposés

### 5.2.1. Partie amont du cône de déjection

Le mur en rive gauche constitue un élément essentiel de la protection contre le torrent. Les efforts à ce niveau doivent porter sur deux aspects :

- Reprendre le sabot dans les zones où l'abrasion est importante et recharger la semelle avec du béton haute résistance. Ce travail peut être étalé dans le temps et effectué au fur et à mesure du découverture des zones dégradées. Il faut être conscient que tout retard dans les réparations augmente le coût total de l'entretien de l'ouvrage, la situation se dégradant très vite une fois que des cheminements préférentiels se forment sur le béton.
- Remonter le niveau de la berge en rive gauche afin de prévenir tout débordement. Ce résultat peut être économiquement obtenu par la mise en place d'un merlon en tout venant derrière le mur et permettant une surélévation de l'ordre du mètre. Les matériaux peuvent provenir des opérations de curage. 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 reprise de la chaussée. La figure suivante illustre une telle intervention :



**Figure 13** : Coupe schématique du mur rive gauche.

### 5.2.2. Pont de Briançon

Cet ouvrage est calé trop bas par rapport au lit. Une première solution consisterait à déplacer le seuil et à le remonter à l'amont immédiat du pont. Cette solution présente plusieurs avantages :

- La hauteur disponible sous le pont est majorée de 1.6 mètres, ce qui semble suffisant.
- Le seuil permet une mise en vitesse de l'écoulement sous le pont et une réduction localisée de la hauteur de l'écoulement, ce qui est très bénéfique.
- L'abaissement du lit en aval réduit nettement le risque de débordement entre le pont et l'emplacement du seuil actuel.

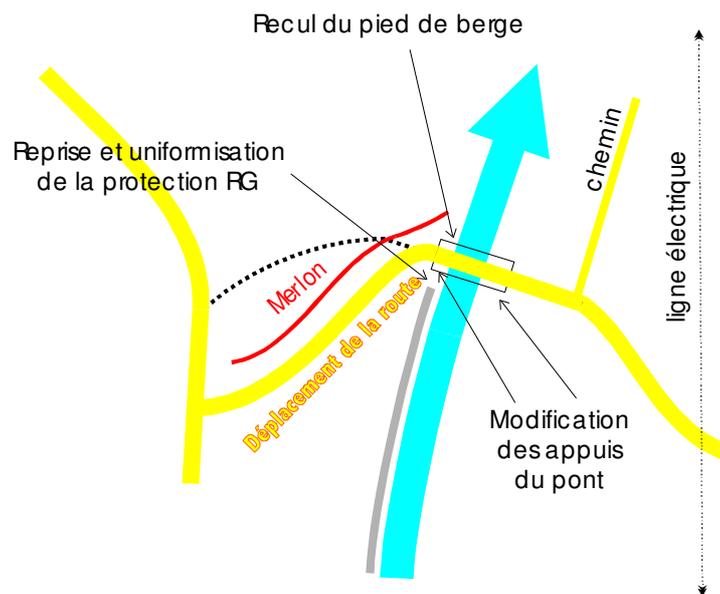
Cette solution nécessite cependant des travaux importants :

- ⇒ Destruction du seuil existant (le contre seuil peut être conservé),
- ⇒ Reprise des protections de berges entre le seuil existant et le nouveau seuil. Les nouvelles protections de berges pourront vraisemblablement être réalisées de façon plus économique par des remblais de grande largeur. Il est probable que les culées doivent être reprises pour prendre en compte l'enfoncement du lit dans cette zone.
- ⇒ Reconstruction d'un seuil avec mise en vitesse en amont immédiat du pont.

D'autres interventions, plus économiques mais moins efficaces, peuvent être réalisées avec conservation du lit actuel :

- Supprimer l'avancée de la rive gauche. Il est alors nécessaire de reprendre la berge au droit de la culée du pont afin d'obtenir une berge dans le prolongement du lit amont. Une telle intervention nécessite la mise en place d'un ouvrage en béton ou en enrochements maçonnés dans le prolongement du mur amont. En aval, la nécessité d'un fruit pour la berge doit conduire à un recul du haut de berge et non à l'avancée du pied de berge.
- Remonter le pont. Une telle action serait la seule qui permette d'assurer le passage des fortes crues sous l'ouvrage. Il serait nécessaire de remonter l'ouvrage de l'ordre de 1.5 mètres afin d'obtenir un ouvrage cohérent avec le lit amont. Cette action est coûteuse à cause des accès nécessaires qui doivent être repris sur un linéaire important (la réalisation de l'accès en rive gauche paraît particulièrement délicate). Si la surélévation de l'ouvrage n'est pas possible, deux actions doivent être envisagées :
  - ✓ Modifier les appuis du pont afin que le tablier puisse facilement être emporté par une forte lave torrentielle sans faire obstacle à l'écoulement. Il est donc nécessaire de prévoir un glissement du tablier vers l'aval.
  - ✓ Aménager l'accès en rive gauche pour permettre un accès au pont avec une pente nulle ou en direction du pont afin d'éviter un écoulement de la lave en suivant la route. Un merlon doit être établi en aval immédiat de la route pour contenir la lave. Il aura une hauteur de 2.5 mètres à proximité du lit et elle diminuera progressivement en s'éloignant du lit avec une pente de l'ordre de 5 à 8 %. Un tel aménagement impose de déplacer le raccordement à la route de la Rua vers l'amont (voir figure suivante).

La figure suivante illustre une telle configuration de façon schématique :



**Figure 14** : Coupe schématique du mur rive gauche.

Le chemin en rive droite peut drainer les eaux vers l'aval et notamment les conduire, peu en amont du seuil, dans un champ situé à l'ouest, éloignant encore l'écoulement du lit. L'habitation située en aval - et au-delà l'ensemble du cône de déjection et la R.D. 900 - sont alors menacés.

Il est donc conseillé de condamner cet accès en aménageant un merlon au niveau de cet accès (qui reste franchissable par un tracteur) et en vérifiant que l'écoulement peut être conduit jusqu'à la plage de dépôt en aval.

### 5.2.3. Aval du seuil

Il s'agit d'organiser le dépôt dans cette zone. Étant données les volumes apportés à l'amont, il est nécessaire d'utiliser la plus grande surface possible. Cependant, la R.D. 900 coupe la zone de dépôt. La solution proposée ici est basée sur les principes suivants :

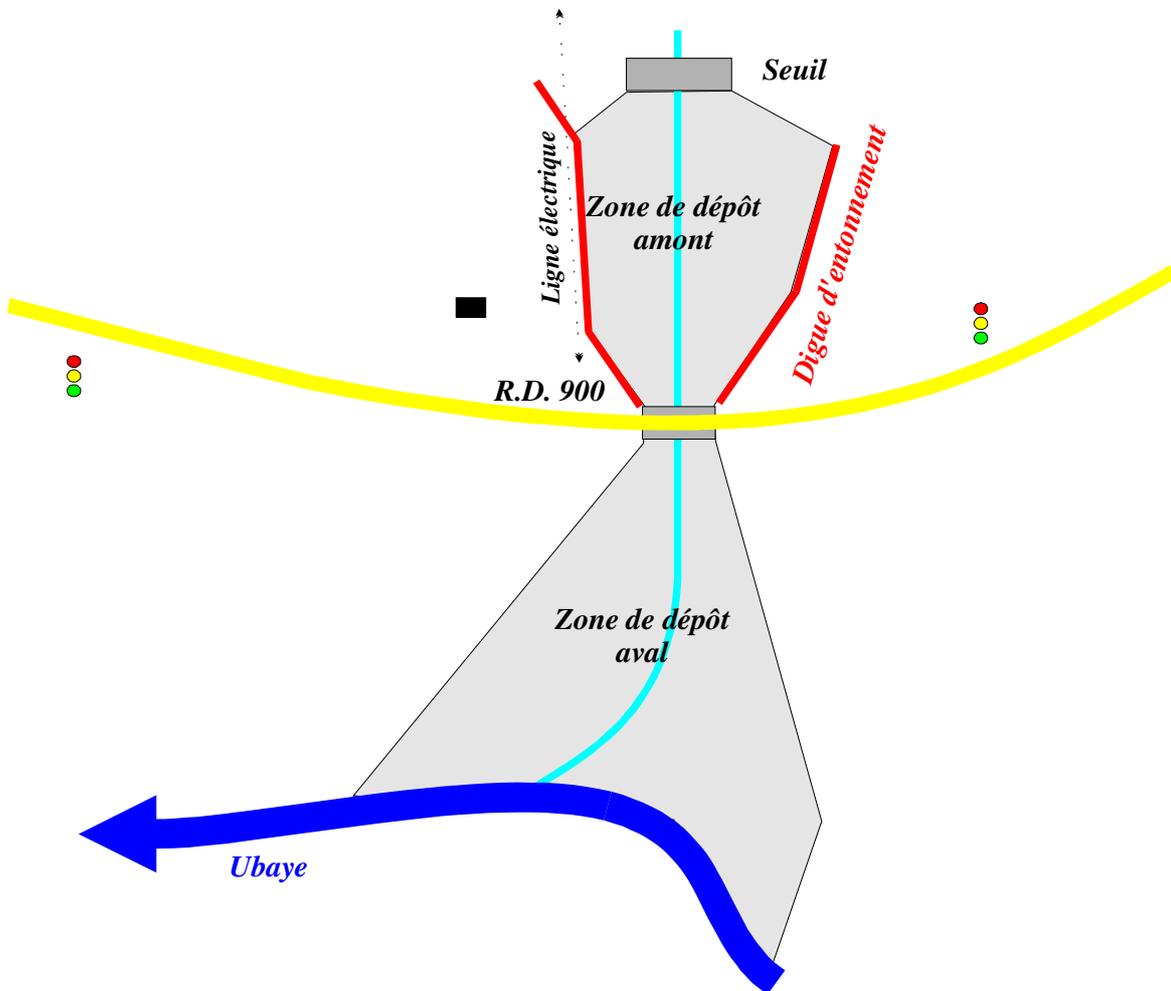
- La submersion de la R.D. 900 est acceptée pour les fortes crues et le pont n'est pas modifié. Cependant, l'aménagement doit en réduire la fréquence et l'étendue des débordements.
- La sécurité des usagers peut être nettement améliorée par la mise en place d'un détecteur de laves torrentielles au sommet du cône de déjection. On dispose alors d'un délai largement suffisant pour permettre la coupure de la route par des feux.

Les interventions consistent en la création d'une zone de dépôt en amont de la route, refermée par un entonnement en amont de la R.D. 900 afin de limiter l'étendue des débordements.

Entre la R.D. 900 et l'Ubaye, le lit doit présenter une très grande largeur afin de favoriser le dépôt. Aucun ouvrage ou remblai ne doit s'opposer à l'étalement de la lave dans cette zone sans enjeux.

Pour réduire le coût des travaux, la ligne électrique, qui longe le torrent, ne sera pas déplacée ce qui limite sensiblement la largeur de la zone de dépôt. A son extrémité amont, le merlon rive droite passera sous la ligne électrique afin de récupérer un éventuel débordement qui aurait suivi le chemin rive droite.

La figure suivante correspond à ce type d'aménagement :



**Figure 15** : Profil type dans le lit central.

Le tableau suivant indique les largeurs du lit en fonction de la distance par rapport au seuil :

distance par rapport au seuil (m)	largeur approximative du lit (m)
0 (seuil)	15
50	70
305	60
365 (R.D. 900)	15
415	100
520 (confluent)	150

Aucune modification du profil en long général n'est nécessaire. Par contre, un lissage des pentes et un abaissement du lit de 1 mètre environ au droit et en aval du pont de la R.D. 900 sont souhaitables et permettraient de minimiser les submersions de la chaussée.

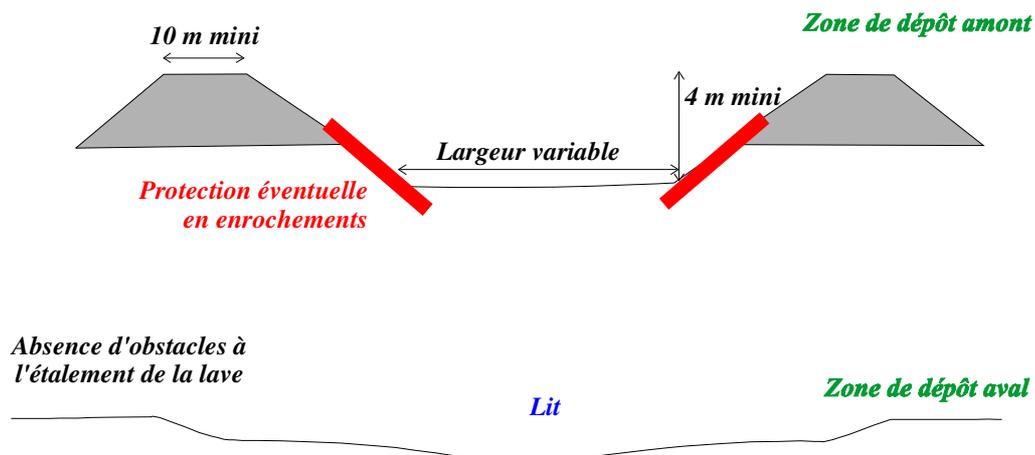
En amont de la R.D. 900, des merlons latéraux sont nécessaires pour réduire l'extension des débordements. Ils présenteront une hauteur d'au moins 4 mètres par rapport au niveau du lit et un fruit de 3H/2V à 2H/1V. Leur largeur en crête sera de 10 mètres minimum (20 mètres à terme) afin de pouvoir faire face à une érosion.

Une telle largeur ne permet pas de supprimer tout risque d'érosion pour une crue avec charriage, mais en réduit fortement la probabilité alors que le coût d'une telle protection est très réduit.

Une protection en enrochements est souhaitable afin de réduire les érosions des digues en cas de crue avec charriage. Ce résultat peut être obtenu par un perré en enrochements sur une hauteur de 2 à 3 mètres par rapport au niveau du lit. On peut aussi réaliser de façon plus sommaire un perré en enrochements en pied de digue avec les blocs de plus d'une tonne trouvés dans le lit. Cette solution est beaucoup plus économique mais moins fiable.

A cause de la réduction de largeur du lit, une protection paraît inévitable à moins de 30 mètres du pont de la R.D. 900.

La figure suivante schématise la section du lit après travaux :



**Figure 16** : Aménagement dans le cours aval.

Un lit mineur<sup>5</sup> permettant les écoulements en dehors des crues pourra être tracé au centre de la zone de dépôt. Il permet de recentrer l'écoulement et de réduire les risques d'érosion de berge, même si le torrent formera des divagations dès la première crue.

Notons qu'un curage régulier de cette zone est nécessaire. Les coûts d'exploitations du site seront considérablement réduits si une valorisation des matériaux est possible. Ils ne sont pas supérieurs aux coûts de gestion actuels du lit.

<sup>5</sup> Ce type d'aménagement est favorable pour la faune piscicole mais elle est probablement très peu représentée sur ce torrent

### **5.3. Dépassement de la crue de projet**

L'aménagement proposé permet une amélioration très nette par rapport à l'état actuel, mais il est illusoire de croire qu'il permettra de faire face à toutes les crues – même les plus extrêmes – sans dégâts.

La recherche d'un aménagement économique ne permet pas une protection contre une crue centennale. En particulier dans le cours aval.

La démarche retenue est de minimiser autant que possible la surélévation du lit et de permettre l'étalement des laves :

- Dans le cours amont, la remontrée de la berge rive gauche et la dissymétrie du lit permettront un débordement en rive droite pour les plus fortes crues.
- Le pont de Briançon, en l'absence de travaux lourds, demeure un point faible et un débordement ne peut y être écarté. Il sera plus probable en rive droite qu'en rive gauche lorsque les travaux auront été réalisés. La mise en place de feux de circulation (commandés en même temps que ceux de la R.D. 900) permettrait d'améliorer la sécurité de ce franchissement.
- Dans le cours aval, l'ouvrage permet de limiter l'ampleur des débordements mais ne permet pas de les exclure :
  - ✓ La R.D. 900 reste donc menacée pour les plus fortes crues en dehors de la zone correspondant au pont en cas de rupture d'un merlon. Il est nécessaire de prendre en compte ce phénomène pour l'implantation des feux permettant de couper la circulation.
  - ✓ Ces feux, commandés par le détecteur de lave torrentielle situé au sommet du cône de déjection, permettent une très nette amélioration par rapport à la situation actuelle.
  - ✓ En aval de la R.D. 900, les enjeux sont très réduits et l'étalement de la lave torrentielle est très favorable en cas de dépassement de la crue de projet, notamment en réduisant les risques d'obstruction de l'Ubaye par les apports du torrent de Sanières.

## **5.4. Entretien du chenal actuel**

Les travaux proposés ne peuvent être réalisés immédiatement. Or, comme la plupart des torrents, le torrent de Sanières connaît des variations importantes de niveau lors des crues.

Des curages doivent alors être envisagées dans l'état actuel afin de restaurer une section suffisante dans le lit. Ces curages doivent être strictement encadrés afin de ne pas conduire à la déstabilisation du lit.

Les contraintes liées à une telle intervention seraient alors les suivantes :

- Recherche d'une pente régulière afin de favoriser le transit.
- Suppression - ou réduction maximale de la longueur - des merlons d'endiguement à l'aval de la RD900.
- Réduction de la longueur d'écoulement entre le pont et le débouché dans l'Ubaye.
- Il ne faut pas mettre en péril les fondations de l'ouvrage de franchissement ni du seuil. Ainsi, en l'absence d'indication sur les niveaux de fondation de ces ouvrages, il convient de retenir comme niveau au droit de ces deux ouvrages le niveau levé lors du profil en long réalisé en 2003.

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Répartition des précipitations à proximité du torrent de Sanières. ....	4
<b>Figure 2</b> : Coefficient b. ....	6
<b>Figure 3</b> : Profil en long du torrent de Sanières sur son cône de déjection. ....	11
<b>Figure 4</b> : Fonctionnement schématique d'un confluent. ....	13
<b>Figure 5</b> : Profil en long du torrent de l'Ubaye. ....	14
<b>Figure 6</b> : Vue en plan de la zone de confluence. ....	15
<b>Figure 7</b> : Coupe schématique du mur rive gauche. ....	16
<b>Figure 8</b> : Pont de Briançon après la crue (photo prise de la rive gauche). ....	17
<b>Figure 9</b> : Structure longitudinale d'une lave torrentielle. ....	19
<b>Figure 10</b> : Hydrogrammes solide et liquide sur le torrent de Sanières. ....	23
<b>Figure 11</b> : Relation hauteur vitesse pour de l'eau et pour une lave torrentielle. ....	25
<b>Figure 12</b> : Relation entre hauteur et pente d'écoulement pour les laves torrentielles. ....	26
<b>Figure 13</b> : Coupe schématique du mur rive gauche. ....	29
<b>Figure 14</b> : Coupe schématique du mur rive gauche. ....	31
<b>Figure 15</b> : Profil type dans le lit central. ....	32
<b>Figure 16</b> : Aménagement dans le cours aval. ....	33