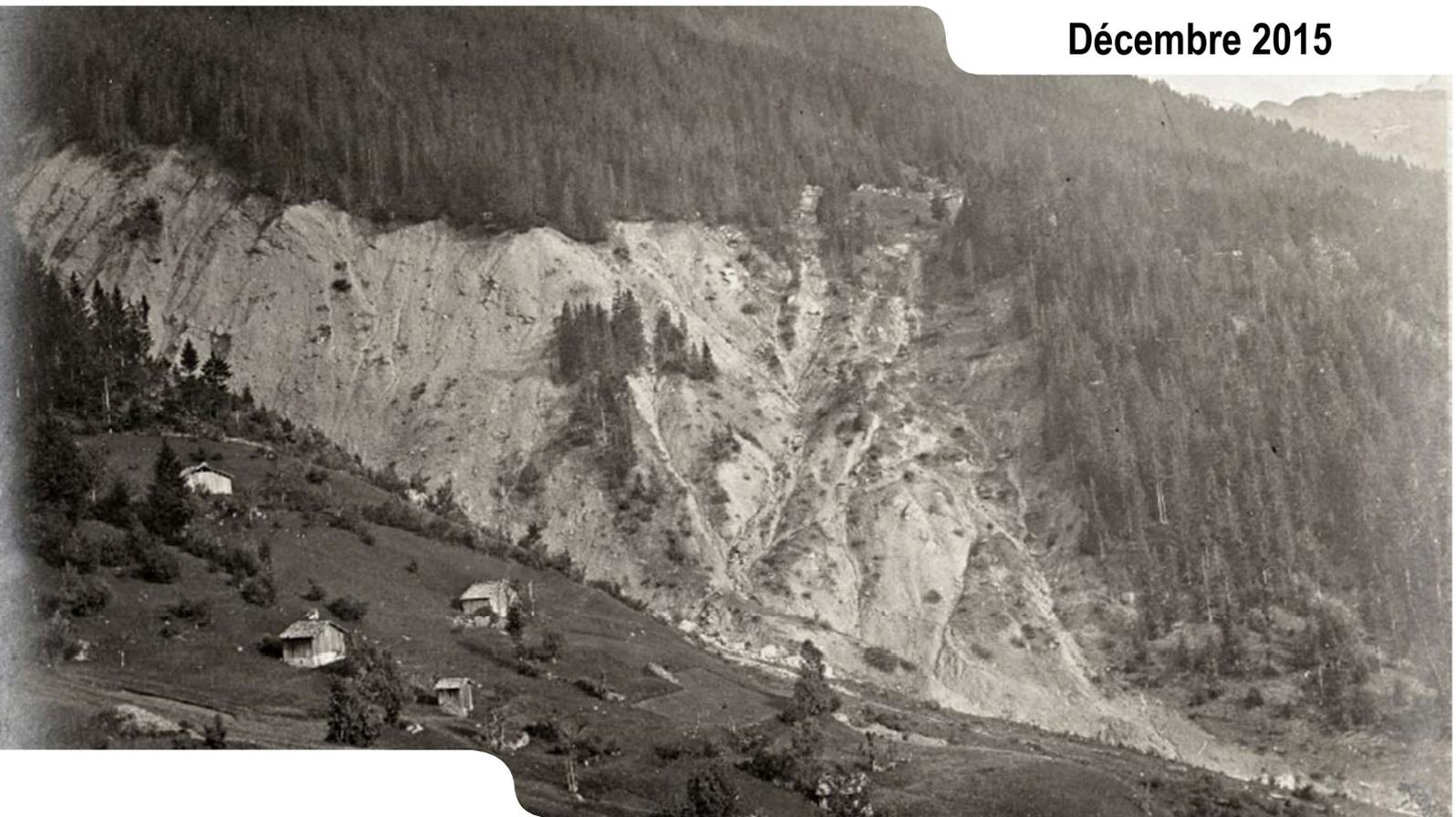


Département de la Haute Savoie  
Périmètre RTM de l'Arve  
Forêt Domaniale de Sixt Fer à Cheval

## ETUDE DE BASSIN DE RISQUE DIVISION DOMANIALE DU NANT SEC

Décembre 2015



**Réalisation**  
Office National des Forêts  
Service RTM de Haute-Savoie



[www.onf.fr](http://www.onf.fr)



### **Version 1**

Rédigé par B DEMOLIS

Chef de projet

Validé par F CHARLES & R MARTIN

Chef de service & Ingénieur Travaux

### **Nos coordonnées**

Office National des Forêts  
Service RTM de Haute-Savoie  
6 avenue de France  
74000 ANNECY

Tél : 04 50 23 83 94  
Fax : 04 50 23 83 95  
rtm.annecy@onf.fr



[www.onf.fr](http://www.onf.fr)



# SOMMAIRE

<b>Sommaire</b> .....	<b>1</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>4</b>
<i>Phénomènes reconnus et phénomènes visés par l'action RTM</i> .....	4
<i>Historique des travaux et ouvrages RTM</i> .....	4
<i>Caractéristiques des aléas par phénomènes visés par l'action RTM</i> .....	4
<i>Etat des dispositifs / stratégie de gestion-programmation</i> .....	5
<b>1. Contexte et objectifs</b> .....	<b>7</b>
1.1. <i>Situation géographique</i> .....	7
1.2. <i>Contexte et périmètre de l'étude</i> .....	7
1.3. <i>Objectifs de l'étude</i> .....	8
1.4. <i>Données consultées</i> .....	8
<b>2. Historique des crues</b> .....	<b>9</b>
2.1. <i>Tableau de synthèse des principales crues</i> .....	9
2.2. <i>Présentation des évènements les plus marquants</i> .....	10
2.2.1. <i>Août 1903</i> .....	10
2.2.2. <i>Crue de 1960</i> .....	11
<b>3. Présentation du bassin versant</b> .....	<b>13</b>
3.1. <i>Caractéristiques générales du bassin versant</i> .....	13
3.2. <i>Contexte géologique et description du lit</i> .....	14
3.3. <i>Profil en long</i> .....	23
3.3.1. <i>Profil général</i> .....	23
3.3.2. <i>Profil en long du cône de déjection – évolution du lit</i> .....	24
3.3.3. <i>Points particuliers : ouvrages de franchissement</i> .....	29
3.4. <i>Couverture végétale – Gestion sylvicole</i> .....	30
3.5. <i>Délimitation des enjeux</i> .....	30
3.6. <i>Autres aléas affectant le bassin versant</i> .....	31
3.6.1. <i>Les avalanches</i> .....	31
3.6.2. <i>Les mouvements de terrain</i> .....	31
<b>4. Description des dispositifs de protection existants</b> .....	<b>34</b>
4.1. <i>Création du périmètre de l'Arve et de la série RTM de Sixt</i> .....	34
4.2. <i>Objectifs de protection visés lors de la création du périmètre</i> .....	34
4.2.1. <i>Synthèse des travaux réalisés</i> .....	35
4.2.2. <i>Travaux forestiers</i> .....	37
4.3. <i>Description du dispositif domanial</i> .....	38
4.3.1. <i>Dispositif « endiguement »</i> .....	38

4.3.2.	Dispositif « correction torrentielle » .....	41
4.3.3.	Dispositif « paravalanche » .....	44
4.4.	<i>Travaux complémentaires sous maîtrise d'ouvrage communale</i> .....	47
<b>5.</b>	<b>Analyse hydrologique</b> .....	<b>48</b>
5.1.	<i>Approche hydrologique</i> .....	48
5.2.	<i>Analyse des phénomènes torrentiels</i> .....	49
5.2.1.	Type de transport solide.....	49
5.2.2.	Production sédimentaire du bassin versant.....	50
5.2.3.	Estimation des apports par laves torrentielles.....	51
5.2.4.	Estimation des apports par charriage .....	52
5.2.5.	Synthèse – crue de référence.....	53
5.2.6.	Gestion des matériaux.....	54
<b>6.</b>	<b>Analyse des aléas torrentiels</b> .....	<b>56</b>
6.1.	<i>Aléas liés à des crues avec apport de type charriage</i> .....	56
6.2.	<i>Aléas liée à des crues sous forme de lave torrentielle</i> .....	57
6.2.1.	Modèle Flo 2D .....	57
6.2.2.	Choix des paramètres de modélisation .....	57
6.2.3.	Modélisation de 2 scénarii de laves torrentielles sur la topographie actuelle .....	58
6.3.	<i>Synthèse de l'aléa torrentiel sur le cône</i> .....	60
<b>7.</b>	<b>Analyse de l'aléa avalanche</b> .....	<b>61</b>
7.1.	<i>Scénario de référence</i> .....	61
7.2.	<i>Modélisation de propagation des Scénarii de référence</i> .....	62
7.2.1.	Modèles de calcul.....	62
7.2.2.	Propagation de l'avalanche de scénario rare .....	62
7.2.3.	Propagation de l'avalanche de scénario exceptionnel.....	64
<b>8.</b>	<b>Examen des dispositifs existants – impact des aménagements – perspectives</b> .....	<b>66</b>
8.1.	<i>Analyse de la performance des dispositifs de protection et analyse des risques sur le cône de déjection</i> .....	66
8.1.1.	Methodologie .....	66
8.1.2.	Performance du dispositif d'endiguement.....	66
8.1.3.	Performance du dispositif « correction torrentielle ».....	67
8.2.	<i>Dépassement de la crue de référence/ Défaillance du dispositif</i> .....	68
8.2.1.	Défaillance de la tourne paravalanche.....	68
8.2.2.	Dépassement de la crue de référence .....	69
8.2.3.	Dépassement du scénario avalanche .....	72
<b>9.</b>	<b>Définition de la stratégie de gestion et d'aménagement du bassin versant</b> .....	<b>73</b>
9.1.	<i>Stratégie de gestion</i> .....	73
9.2.	<i>Surveillance des aléas</i> .....	73
9.3.	<i>Entretien des ouvrages existants</i> .....	73
9.3.1.	Abandon d'ouvrages.....	73
9.3.2.	Suivi et entretien des ouvrages .....	74
9.4.	<i>Amélioration des dispositifs</i> .....	74

9.4.1. Adaptation de la tourne paravalanche.....	74
9.5. <i>Gestion de matériaux dans le lit</i> .....	75
9.5.1. Opération de dégagement d'une travée du pont de Feulatière.....	75
9.5.2. Gestion des matériaux suite à des crues.....	75
9.6. <i>Adaptation de la sylviculture</i> .....	78
9.7. <i>Programmation</i> .....	78
<b>10. Bibliographie.....</b>	<b>80</b>

# RESUME

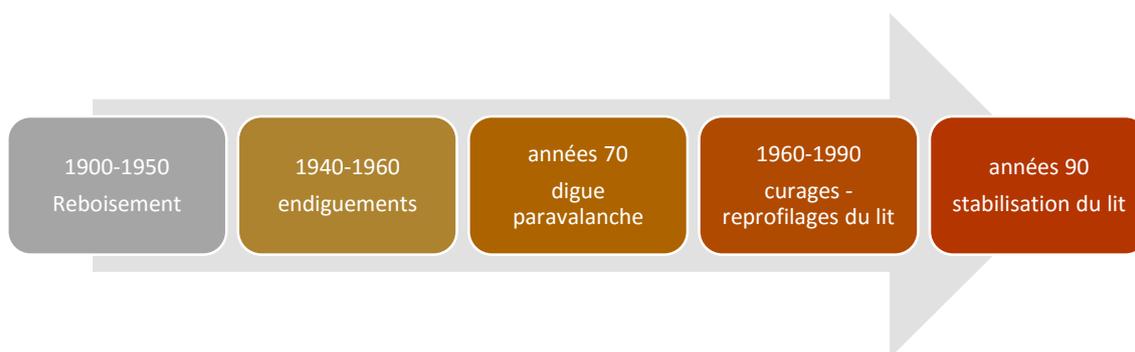


## Phénomènes reconnus et phénomènes visés par l'action RTM

Les phénomènes reconnus sont les crues torrentielles et les avalanches (site « torrent du Nant Sec\_D » et site « Nant Sec (CLPA 31)\_D » de la base de données RTM).

L'objectif principal lors de la création du périmètre était la correction du torrent, ce qui est clairement précisé dans la DUP du périmètre de l'Arve de 1893. La prise de conscience du risque avalancheux dans le bassin versant ne semble être apparue que plus tardivement (importantes avalanches de 1920 et de 1973). Le dispositif paravalanche n'était pas prévu dans l'avant projet de travaux lors de la création du périmètre.

## Historique des travaux et ouvrages RTM



Les ouvrages reconnus dans la BDRTM sont répartis selon 3 dispositifs :

1. Un dispositif d'endiguement qui d'une façon générale est constitué d'ouvrages en bon état et qui ne sont dans la situation actuelle pas ou peu sollicités lors des crues. La principale évolution qui pourrait compromettre la stabilité de ces ouvrages est leur affouillement, en lien avec l'abaissement généralisé du lit.
2. Un dispositif de correction torrentielle en très bon état. A noter qu'il n'a cependant pas connu de crue significative depuis sa construction.
3. Un dispositif de protection contre les avalanches en bon état. A noter cependant que depuis sa construction l'enfoncement du lit contribue à réduire les sollicitations de l'ouvrage.

## Caractéristiques des aléas par phénomènes visés par l'action RTM

### Aléa torrentiel

Le transport solide dans la Nant Sec a principalement lieu sous forme de charriage. Les crues sous forme de laves torrentielles restent possibles, mais correspondent à des phénomènes beaucoup plus rares liées à une mobilisation massive des matériaux issus de la branche des Follys. 3 scénarii de référence sont retenus S1, S2 et S3.

Scénario de crue	probabilité	Mode de transport solide – gamme de volume
S1	rare – T=100 ans	Charriage – $10\ 000 < V < 15\ 000\ m^3$
S2	exceptionnel – $T \geq 100$ ans	lave torrentielle – $10\ 000 < V < 30\ 000\ m^3$
S3	Maximum probable – $T \gg 100$ ans	Lave torrentielle – $50\ 000 < V < 70\ 000\ m^3$

L'analyse des 3 scénarii en fonction du type de phénomène a permis de préciser les impacts sur le cône :

- **Phénomène de charriage** : l'encaissement actuel du lit limite fortement les débordements sur le cône. Pour le scénario S1, il faut toutefois s'attendre à des débordements au niveau du pont de la RD (contraction marquée et tendance naturelle au dépôt).
- **Phénomène de lave torrentielle** : Les débordements ont lieu au niveau des deux ouvrages de franchissement, avec toutefois un débordement beaucoup moins marqué au niveau du pont de Feulatière. Les ouvrages d'endigements qui sont aujourd'hui relativement haut perchés au-dessus du lit, ne sont pas dépassés (analyse seulement en terme de surverse). La tourne paravalanche permet de recentrer les écoulements qui ont toujours tendance à déborder à l'apex du cône de déjection.

### Aléa Avalanche

Les scénarii retenus sont :

- Avalanche rare d'un volume de  $100\ 000\ m^3$
- Avalanche rare d'un volume de  $100\ 000\ m^3$  suivi d'une avalanche courante d'un volume de  $70\ 000\ m^3$

L'analyse de ces scénarii confirme l'emprise de la CLPA. Elle met en évidence le rôle de la tourne RTM et son impact sur l'écoulement des avalanches.

## Etat des dispositifs / stratégie de gestion-programmation

- Les ouvrages du dispositif d'endiguement sont en bon état et ne sont dans la situation actuelle pas ou peu sollicités lors des crues. La principale évolution qui pourrait compromettre la stabilité de ces ouvrages est leur affouillement, en lien avec l'abaissement généralisé du lit.
- Le dispositif de correction torrentielle est en très bon état. A noter qu'il n'a cependant pas connu de crue significative depuis sa construction.
- Le dispositif de protection contre les avalanches est en bon état. Quelques gabions sont à reprendre en partie aval. A noter cependant que depuis sa construction l'enfoncement du lit contribue à réduire les sollicitations de l'ouvrage. **L'analyse réalisée montre l'importance de cette ouvrage pour la maîtrise des avalanches mais aussi des crues torrentielles**

La stratégie de gestion découlant de cette analyse est présentée dans le tableau ci-dessous :

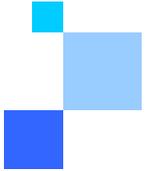


Les montants indiqués sont hors temps de personnel.

Stratégie de gestion	Objectifs	Opération / programmation	Montant
Surveillance des aléas	Suivi des phénomènes post événement, suivi de l'évolution des phénomènes, amélioration de la connaissance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visite de contrôle tous les ans et après, chaque crue, avalanche importante, période de forte pluie et hiver à fort enneigement</li> <li>- Analyse d'opportunité d'instrumentation (pluviomètre, station de jaugeage, mesure transport solide) dans les 5 ans</li> </ul>	5 000 €
Surveillance et entretien des ouvrages	Maintien du niveau de protection actuel par le suivi des ouvrages, entretien courant et réparation, mise à jour réglementaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visite de contrôle annuelle des ouvrages et suivi de la détérioration des 2 ouvrages abandonnés (EN003 et EN004)</li> <li>- Maintien des accès aux ouvrages. Une opération tous les 5 ans</li> <li>- Régularisation réglementaire des endiguements et de la tourne paravalanche</li> <li>- Opération de dégagement des ouvrages et des berges. Une opération tous les 5 ans</li> <li>- Petites maçonnerie de réparation. Une opération tous les 5 ans</li> </ul>	15 000 € pour une période de 5 ans
Amélioration de la tourne paravalanche	Augmentation du niveau de protection, prise en compte des aspects torrentiels.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Création d'une tourne de 170 ml de 4 à 6 mètres de haut</li> </ul>	340 000 €
Gestion de matériaux dans le lit	Contrôler l'engravement du lit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance annuelle avec éventuellement des levés topographiques</li> <li>- Dégagement d'un travée du pont de Feulatière</li> <li>- Régularisation réglementaire des 2 points de curage après crue (entre les ponts et à l'amont de la tourne paravalanche)</li> <li>- Gestion après crue de matériaux en 2 points (entre les ponts et à l'amont de la tourne paravalanche)</li> </ul>	25 000 € pour une période de 5 ans
Renouvellement des peuplements de protection	Maintenir ou améliorer le rôle de protection des forêts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abattage d'arbre instable et de plus de 50 cm de diamètre sur le liéaire de berges</li> </ul>	5 000 € sur une période de 5 ans



# 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS



## 1.1. Situation géographique

Le torrent du Nant Sec se situe sur la commune de Sixt Fer-à-Cheval, dans le massif du Chablais, au nord du département de la Haute Savoie. Le Nant Sec est un affluent du Giffre des Fonts, qui est lui-même un affluent du Giffre.

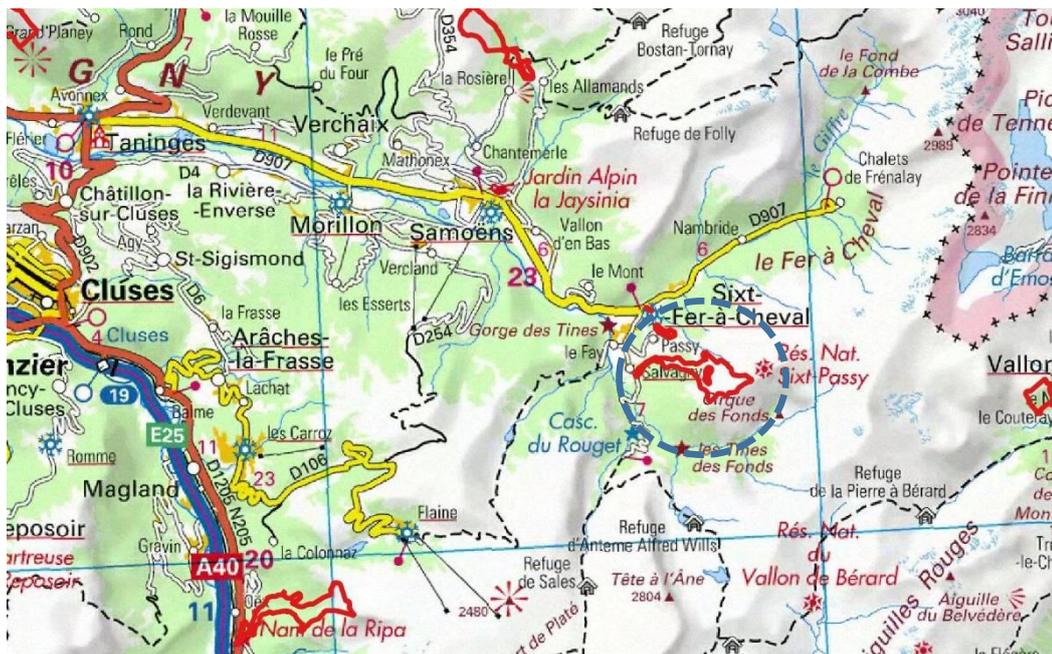


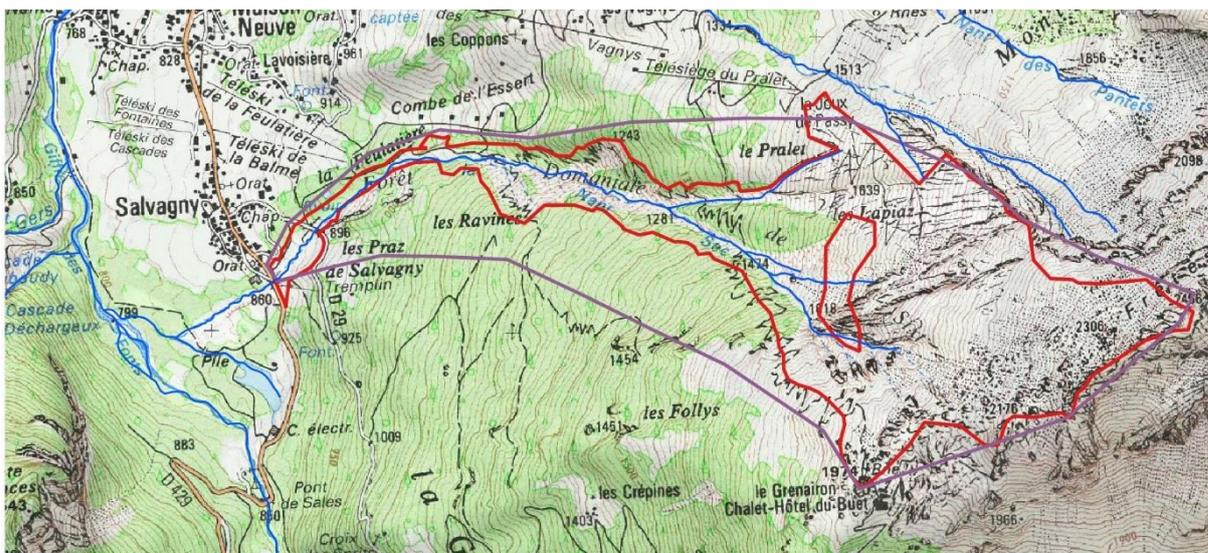
Figure 1: Situation générale des divisions domaniales du Nant Sec et du Nafond (échelle 1/200 000 – IGN)

## 1.2. Contexte et périmètre de l'étude

Cette étude est financée par le MAAPRAT (ministère de l'Agriculture) et réalisée par le service RTM de la Haute Savoie.

Le périmètre de l'étude englobe le bassin versant topographique du torrent, délimité sur la carte suivante, ce qui dépasse les limites strictes des terrains domaniaux.





Bassin versant topographique  
 limites division domaniale

**Figure 2: carte de délimitation du bassin versant étudié (échelle 1/25 000)**

### 1.3. Objectifs de l'étude

Des aménagements sont mis en place dans les séries domaniales depuis 150 ans. A ce jour, il n'existe pourtant pas d'analyses détaillées des bassins versants synthétisant les phénomènes qui peuvent s'y développer (en l'état des connaissances actuelles) et justifiant la présence et le dimensionnement des ouvrages. Les études de bassins versants domaniaux ont pour but d'évaluer le niveau de maîtrise de l'aléa atteint aujourd'hui et d'actualiser les actions RTM à venir.

Les objectifs de l'étude sont multiples. Au niveau local, l'objectif principal est de réaliser une programmation de travaux pertinente s'appuyant sur :

1. une description complète des aléas affectant le bassin versant ;
2. un bilan des actions de défense réalisées par le passé ;
3. une analyse de risques sur le cône de déjection ;
4. une analyse de l'efficacité du système de défense vis-à-vis des enjeux recensés sur le cône de déjection.

Dans un cadre plus global, les études de bassins versants ont également pour objectif de rationaliser l'action de l'Etat dans le domaine de la prévention des risques naturels. Il s'agit pour les services RTM d'aboutir à une clef de répartition des crédits domaniaux.

### 1.4. Données consultées

Les recherches ont eu lieu au niveau des archives du service RTM 74, ainsi qu'aux archives départementales. L'ensemble des données consultées pour l'élaboration de cette étude sont présentées en fin de rapport (paragraphe « références bibliographiques »).

## 2. HISTORIQUE DES CRUES



### 2.1. Tableau de synthèse des principales crues

Date	Information sur la crue	Source
<b>Juin 1890</b>	Crue qui menace sérieusement le village de Salvagny	(Mougin, 1914)
<b>20 juin 1893</b>	Suite à de fortes pluies, <u>le torrent déborde</u> , envahit les champs de Salvagny et le chemin d'intérêt commun de Chamonix à Sixt par le col d'Anterne	(Mougin, 1914)
<b>Août 1903</b>	Crue avec charriage et possible passage d'un front de lave torrentielle – <u>dépôts de matériaux sur le cône</u> dans les champs	(Douxami, 1903)
<b>1906</b>	Crue du Nant Sec avec <u>dégâts à Salvagny</u>	(RTM, Les torrents de Sixt - gestion des transports solides - curages, 1996)
<b>1907</b>	Crue du Nant Sec avec <u>dégâts à Salvagny</u>	(RTM, Les torrents de Sixt - gestion des transports solides - curages, 1996)
<b>1910</b>	Crue du Nant Sec avec <u>dégâts à Salvagny</u>	(RTM, Les torrents de Sixt - gestion des transports solides - curages, 1996)
<b>19 juin 1960</b>	Crue avec <u>apport solide important</u> (selon les photographies), coupure du chemin Sixt-Chamonix, <u>engravement</u> des bois et champs en bordure du torrent, destruction des entonnements du pont (entonnements bois).	PER 1987
<b>12-13 juillet 1961</b>	Crue suite à un orage – <u>obstruction du pont</u> du chemin vicinal n°4 par les matériaux (dégâts très modérés, principalement en rive gauche du pont avec fissuration du chemin).	ONF, fiche de renseignement de crue
<b>2 juillet 1981</b>	Crue orageuse sur le Nant Sec	(RTM, Les torrents de Sixt - gestion des transports solides - curages, 1996)
<b>Septembre 1985</b>	Crue du Nant Sec suite à de violentes précipitations orageuses qui ont <u>nécessité la réalisation de curage</u>	Avant-projet travaux « curage et reprofilage du Nant Sec » - 1986
<b>Octobre et décembre 1987</b>	Crues suite à des orages violents nécessitant un reprofilage du lit en amont du pont de la route départementale et la <u>construction d'un radier</u>	Avant-projet travaux 1988
<b>16 août 1989</b>	Crue violente suite à un orage entraînant <u>des affouillements importants</u> des piles du pont de la RD – travaux d'urgence pour le renforcement et la protection des piles du pont (aménagement radier)	DCE 1989
<b>13 août 1990</b>	Orage localisé durée 1 heure – massif Grenier de Commune – crue sur plusieurs affluents du Giffre. Nant Sec : <u>crue d'eaux claires</u> provoquant un <u>affouillement</u> sur les culées du pont de Salavagny à Fadelay	Rapport de crue RTM
<b>20 août 1990</b>	Crue généralisée sur le haut BV du Giffre – légers désordres sur le Nant Sec – crues peu chargées en matériaux (à la différence	Rapport RTM 1990



	du comportement habituel du torrent), ayant provoqué <u>d'importants affouillements</u> . Déstabilisation des radiers des 2 ponts (RC et RD).	Avant-projet travaux construction d'un seuil 1991
<b>21 juillet 1992</b>	Orage sur le Chablais (Chatel/Sameons/Sixt) – <u>Forts affouillements</u> sous le pont du Nant Sec, surtout en rive droite du pont de la RD (qui n'a plus de radier)	Rapport de crue RTM
<b>20 juillet 2007</b>	Orage sur le secteur « Grenier de Commune » et « Plan du Buet » entre 2200m et 2700m – crue importante du Giffre des Fonds – pas de crue particulière sur le Nant Sec mais important dépôt sur le Giffre des Fonds à la confluence avec le Nant Sec	Archives RTM

Nous retiendrons de cette chronique différentes périodes :

- Entre 1890 et 1910 une **série de crue rapprochées avec des débordements ayant causé des dégâts sur Salvagny**. On ne dispose malheureusement pas de description détaillée de ces crues. Il est possible que les dépôts torrentiels que l'on repère en rive droite du torrent sur le lever LIDAR soient liés à ces événements (cf. Figure 20).
- De 1910 à 1985 : les crues, peu fréquentes, ont causé des **problèmes en raison de dépôt de matériaux** sur le cône. La crue la plus importante durant cette période semble être celle de 1960 (obstruction du pont aval).
- **A partir de 1987**, la tendance est inversée, avec des **problèmes d'affouillements** mentionnés pour l'essentiel lors des crues. On note qu'une importante opération de curage a eu lieu dans la partie amont du chenal suite à la crue de 1985 (volume de prélèvement 10 000 m<sup>3</sup>).

En terme de saisonnalité, au moins 2/3 des crues ont lieu entre le mois de juin et le mois d'août. Il s'agit donc très majoritairement de **crues estivales**.

Dans une note de 1993, l'ingénieur travaux du service RTM décrit le Nant Sec comme un torrent à clape<sup>1</sup>, caractérisé par un régime de crues orageuses entraînant un important transport solide lorsque le bassin est encombré d'accumulations détritiques ou, dans le cas inverse, par des débits liquides très brutaux et très affouillants.

## 2.2. Présentation des événements les plus marquants

### 2.2.1. Août 1903

Cette crue ne constitue pas forcément un des événements les plus marquants, mais est une des rares crues à avoir été décrites (Douxami, 1903) :

*« Le Nant Sec est sujet à des crues fréquentes, soit au printemps, soit en été. C'est à une de ces crues d'été qu'il nous a été donné d'assister au mois d'août. La pluie fine de la matinée avait déjà grossi légèrement le torrent et rendu ses eaux boueuses et la traversée du cône de déjection par la pluie d'orage était déjà difficile (...). Au bout d'une demi-heure (...) nous nous sommes décidés à revenir sur nos pas pour voir passer le flot. L'eau ruisselait irrégulièrement à la surface des alluvions, fortement boueuse, et l'on entendait distinctement le « chant des cailloux » que le courant entraînait et faisait entrechoquer. Ce bruit fut couvert par une sorte de roulement sourd qui grossit rapidement, annonçant l'arrivée par la gorge du flot descendu des pentes supérieures de Grenairon. Une vague, haute d'un mètre au moins, d'eau à moitié fluide d'où émergeait quelques blocs et un tronc de sapin arraché un peu plus haut et qui semblait en quelque sorte rouler sur lui-même, accompagné de billes de sapin déjà*

<sup>1</sup> Un torrent à clape recrute son matériel dans des débris de parois rocheuses et creuse son lit en roches dures



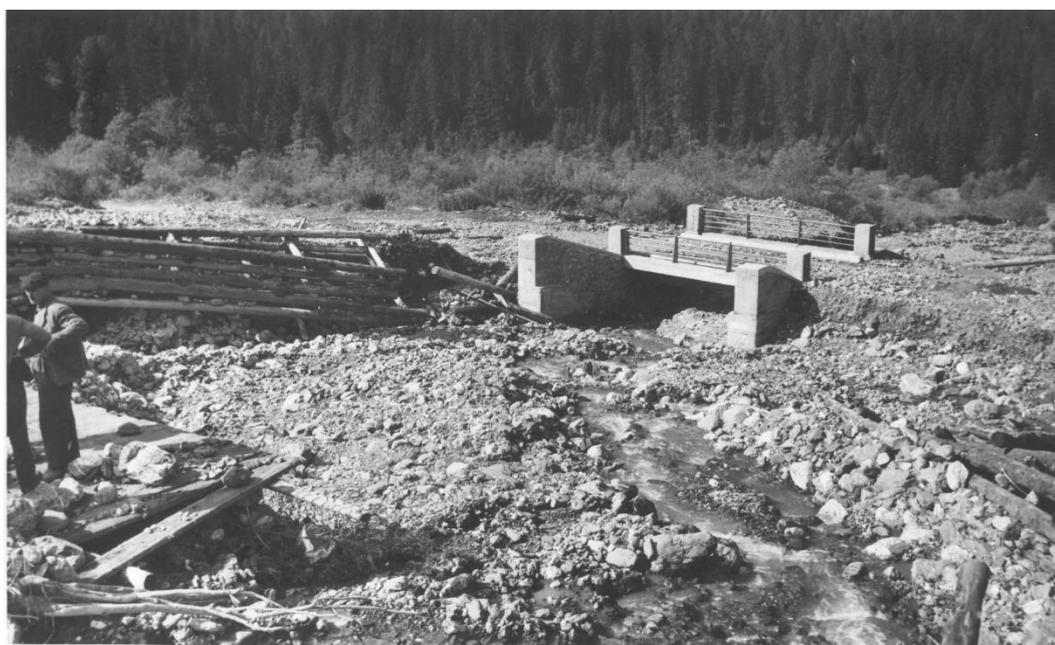
*décortiquées passa devant nous, emportant un morceau de la route, s'étalant sur les champs situés en contre-bas et les couvrant en quelques minutes d'un manteau de débris épais de près de un mètre. Le phénomène dura quelques minutes et, à cette vague due probablement à un barrage momentané du lit du torrent en amont succéda une accalmie : le Nant Sec, presque aussi volumineux que le Giffre, avait cependant encore assez de force pour transporter pendant plusieurs heures de la boue et des cailloux volumineux. (...) Plus les crues sont espacées, plus elles sont dangereuses »*

Les informations que l'on peut tirer de ce récit de crue sont les suivantes :

- L'écoulement observé se propage de façon transitoire avec la formation « d'une vague de 1m ». Ceci peut correspondre à un écoulement sous forme de charriage hyperconcentré ou de lave torrentielle ;
- dépôt de matériaux sur une épaisseur de l'ordre du mètre dans les champs ;
- durée de la crue de plusieurs heures.

### 2.2.2. Crue de 1960

La crue du 19 juin 1960 est mentionnée dans le PER de 1987, mais ne fait pas l'objet de description dans les archives RTM. Les seuls éléments disponibles sont les photographies ci-dessous.



PERIMETRE DE L'ARVE - SERIE DE SIXT - TORRENT DU NANT-SEC  
DEGAT DE LA CRUE DU 19-6-1960



**Figure 3: photos des dépôts de la crue du 19/06/1960**

Ces photographies illustrent la largeur du lit majeur naturel sur le cône de déjection et la réduction de section d'écoulement qu'impose le pont. Les entonnements de bois présents à l'époque n'ont pas résisté à la crue qui a déposé une quantité importante de matériaux à l'amont du pont, provoquant des débordements sur les deux rives.

On voit également sur la photo du bas un lit rempli qui affleure au niveau des berges (là où l'encaissement du lit atteint aujourd'hui 5 mètres environ (cf. 3.3.1).



## 3. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT

### 3.1. Caractéristiques générales du bassin versant

Le bassin versant du Nant Sec s'étend sur le flanc Ouest de la montagne des Frêtes du Grenier. Il occupe une partie centrale entre les cirques du Fer à Cheval et le cirque des Fonts. Celui-ci présente une forme globalement allongée, avec un bassin de réception situé au-dessus de 1300m, un chenal d'écoulement assez court incurvé, et un large cône de déjection qui se développe en dessous de 900m.

Superficie du BV	1.9 km <sup>2</sup>
Altitude max	2456 m
Altitude min (confluence)	799 m
Altitude mediane H50%	1640 m
Longueur du plus long chemin hydraulique	3.2 km
Dénivelé du torrent	860 m
Pente moyenne du torrent	50 %
Coefficient de Gravelius (Kg) <sup>2</sup>	1.18
Surface recouverte par de la végétation	0.7 km <sup>2</sup>

**Figure 4: principales caractéristiques physiques du bassin versant**

Environ 1/3 de la surface du bassin versant est recouverte par de la végétation sur la partie basse du bassin versant. On note toutefois que le bassin de réception est entièrement dépourvu de végétation.

Le réseau hydrographique est relativement simple, avec 2 branches principales (ruisseaux de la Joux et des Follys) qui se rejoignent vers 1300m d'altitude pour former le chenal principal du Nant Sec (cf. carte ci-dessous).

<sup>2</sup> Le coefficient de gravelius décrit la forme du bassin en fonction de son périmètre et de sa superficie: une valeur proche de 1 correspond à une forme circulaire, une valeur proche de 1.6 correspond à une forme allongée.



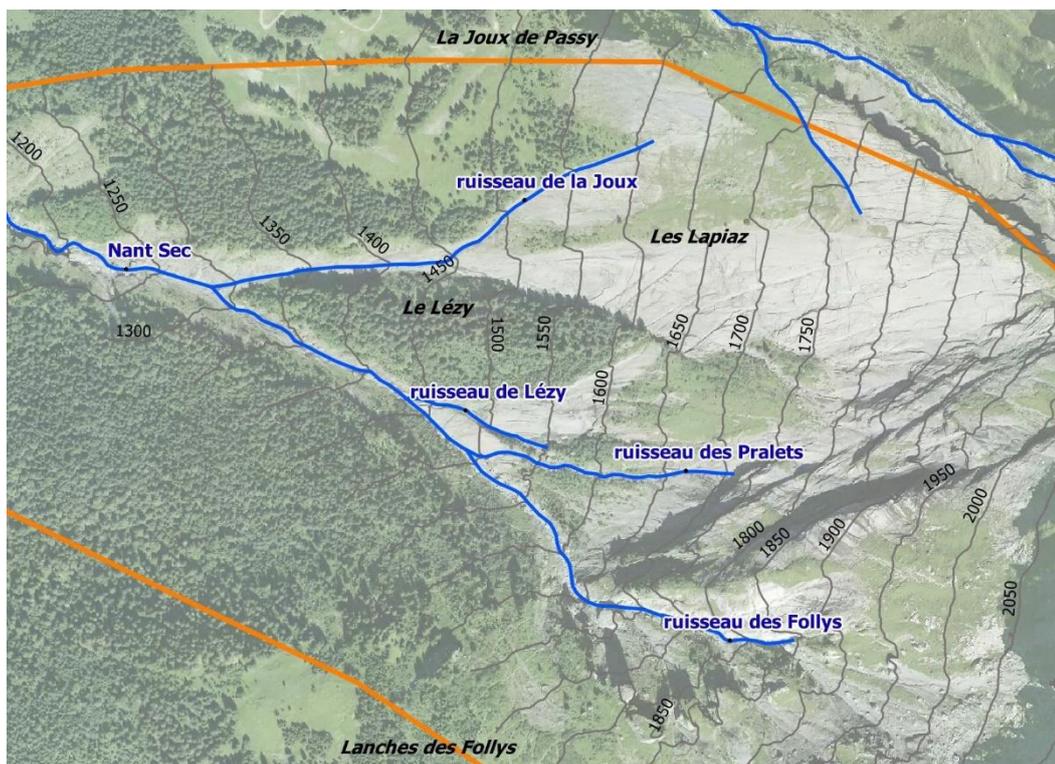


Figure 5: carte du réseau hydrographique (échelle 1/10 000)

## 3.2. Contexte géologique et description du lit

Le bassin versant du haut Giffre est composé de terrains sédimentaires (schistes et calcaires) qui bordent les terrains cristallins et métamorphiques des Aiguilles Rouges. Ce sont des formations majoritairement de calcaires marneux plus ou moins cohésifs et de marnes, surmontés par de puissantes corniches de calcaires. On trouve également sur les versants et dans le fond de vallée des colmatages par des dépôts quaternaires : alluvions, éboulis et restes de terrasses glaciaires.

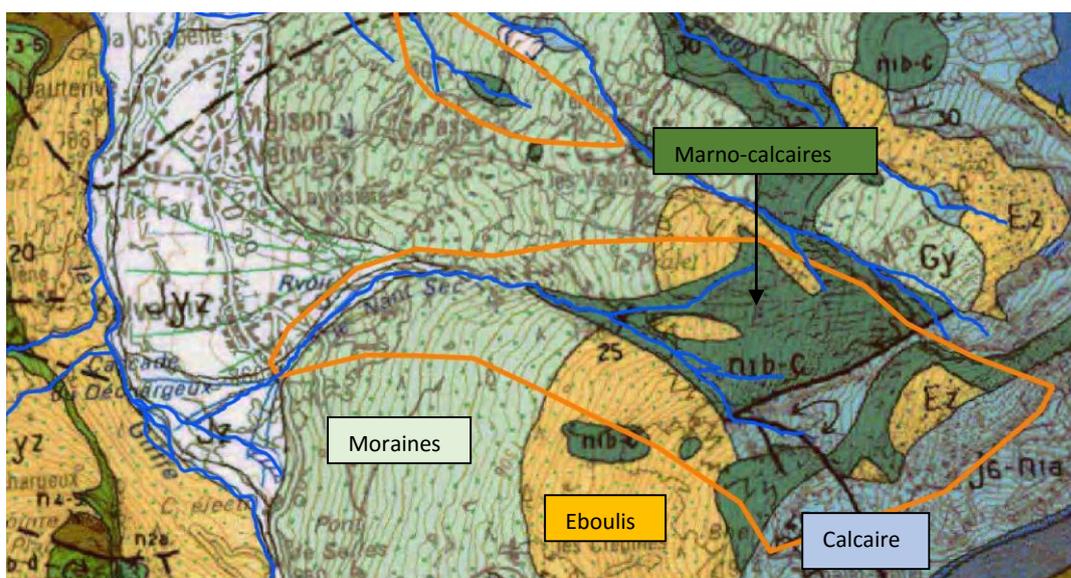


Figure 6: Carte géologique (BRGM) - échelle 1/30 000

Le bassin versant peut être décomposé en trois entités principales d'un point de vue géomorphologique :

- **Le bassin de réception (cf. figure 5)**

- (1) Les parties sommitales sont composées d'escarpements calcaires (extrémité ouest de la Frête du Grenier). Ce secteur parcouru par un ensemble de failles a subi des déformations liées à la tectonique. Il en résulte des dépôts meubles de granulométrie variable qui occupent la partie supérieure du bassin de réception et représentent des zones d'apports potentiels en matériaux pour le torrent.
- (2) Plus bas, l'érosion torrentielle a mis à nus les terrains en place, constitués de vastes dalles marno-calcaires (secteur des « Lapiaz »), au pendage conforme à la pente du versant, avec un redressement important des couches sur la partie sommitales.

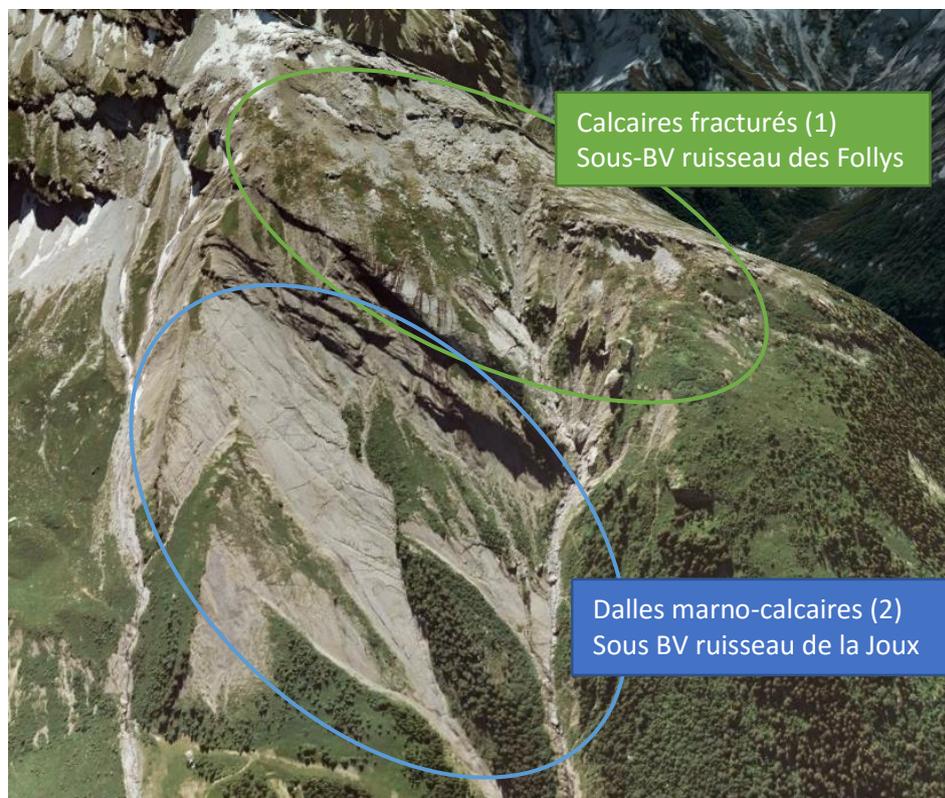


Figure 7: vue Google Earth du bassin de réception

Les deux branches principales du torrent au niveau de son bassin de réception se distinguent de par la nature des sous bassins versant qu'elles drainent :

- **La ruisseau de la Joux** s'écoule sur les grandes dalles marno calcaires. Cette branche a donc pour caractéristiques :
  - De faibles apports en matériaux
  - Un profil en long très stable
  - De faibles capacités d'infiltration et donc des ruissellements intenses sur les dalles
  - Un chenal à faible rugosité qui laisse transiter facilement les matériaux



On peut toutefois repérer sur la figure suivante une évolution morphologique du lit avec un enfoncement du profil qui traduit une érosion lente et régulière des terrains marno-calcaires.



**Figure 8: lit du ruisseau de la Joux (altitude 1400m) - à gauche, photo historique non datée**



**Figure 9: sous bassin versant su ruisseau de la Joux entre 1500 m et 1800 m  
(on remarque les lacets du chemin RTM taillé dans les dalles)**





- **Le ruisseau des Follys** draine la partie sommitale du bassin-versant (environ 2/3 de la surface du bassin de réception). Cette branche présente des potentiels d'apports en matériaux plus importants, par érosion des dépôts meubles qui reposent sur les dalles calcaires (éboulis issus des falaises sommitales et placages morainiques). D'importantes accumulations en matériaux sont présentes dans le lit entre 1500 et 1700m d'altitudes, directement mobilisables lors d'une crue.



**Figure 10: nappes d'éboulis reposant sur la dalle calcaire, zone d'apport en matériaux pour le ruisseau des Follys (altitude 1900m)**



**Figure 11: couloir en rive gauche du ruisseau des Follys (altitude 1600m)**





**Figure 12: lit du ruisseau des Pralets (affluent rive droite du ruisseau des Follys)**



**Figure 13: stock de matériaux dans le lit du ruisseau des Follys (altitude 1550m)**

A l'aval de la confluence avec le ruisseau de Lézy, le chenal du ruisseau des Follys s'écoule sur la roche mère et le lit qui possède une faible rugosité et une pente soutenue est favorable au transit des matériaux lors des crues.



- **Le chenal d'écoulement**



**Figure 14: vue Google Earth sur le chenal d'écoulement**

En dessous de 1200m d'altitude, les formations rencontrées sont des dépôts quaternaires, majoritairement sous forme de moraines surmontées par des éboulis. C'est dans ces formations de versant que l'on rencontre les phénomènes gravitaires (glissements/ravinements) qui contribuent de façon régulière à l'alimentation du chenal en matériaux.

Le lit du Nant Sec, encaissé entre les deux versant est pavé de gros blocs.



**Figure 15: Chenal d'écoulement - altitude 1100m**



**Figure 16: Chenal d'écoulement - altitude 950m**



- **Le cône de déjection**

Il s'agit d'un puissant cône de déjection qui barre la vallée dont la superficie est proche de celle du bassin de réception. La carte géologique fait une distinction entre le cône stabilisé et le cône vif (extrémité sud). La formation de ce grand cône témoigne d'une activité érosive historiquement importante, dont l'origine est très probablement liée à une activité mouvement de terrain (voir 3.6.2). L'évolution morphologique du cône (réduction de la partie active) peut être mise en lien avec une diminution de l'activité torrentielle qui a conduit à stabiliser le lit dans son chenal actuel. Le tracé du torrent, en limite sud du cône de déjection est relativement ancien puisqu'il figure de cette façon sur la carte d'Etat Major (1<sup>ere</sup> moitié du XIX<sup>eme</sup> siècle).



**Figure 17: vue d'ensemble du BV (Google earth)**





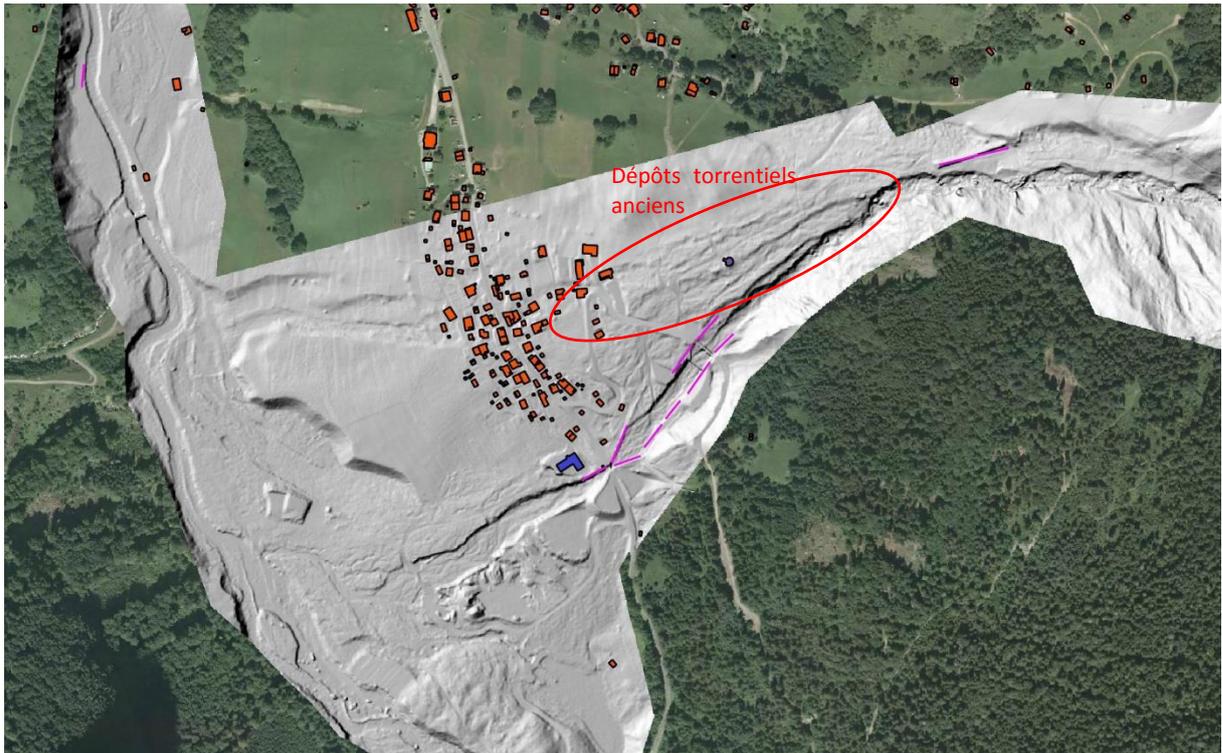
**Figure 18: lit au débouché sur le cône de déjection (altitude 900m)  
- présence de terrasses anciennes sur les berges**



Niveau des terrasses alluviales anciennes

**Figure 19: abaissement du lit à l'aval du pont de la RD (incision d'environ 5m) – cliché 2001**





**Figure 20: ombrage du MNT LIDAR sur le cône de déjection**

L'ombrage du MNT LIDAR permet de repérer des formes de dépôts torrentiels en rive droite du lit actuel, qui correspondent probablement à des divagations anciennes du torrent en amont de Salavagny. On peut supposer que cela puisse correspondre aux débordements qui ont concerné Salavagny à la fin du XIX<sup>ème</sup> et au début du XX<sup>ème</sup> siècle, à une époque où le lit niveau du lit était plus élevé.

### 3.3. Profil en long

#### 3.3.1. Profil général

Le profil en long général du Nant Sec présente une décroissance régulière de la pente, sans discontinuité majeure. On peut y distinguer les 3 grandes entités décrites au paragraphe précédent :

- Le bassin de réception avec des pentes passant progressivement de 73% à 52% en lien avec le redressement du pendage des couches géologiques. Au dessus de 1900m, la légère inflexion de la pente correspond aux nappes d'éboulis perchés au sommet du BV (pente d'équilibre classiquement observée sur des éboulis)
- Une diminution progressive de la pente le long du chenal d'écoulement (39% à 25%)
- Une rupture de pente assez marquée à l'entrée du cône de déjection (altitude 920m), avec un passage de 25% à 16%. Ce point marque également une transition au niveau de la morphologie du lit qui est pavé de gros bloc à l'amont, et devient plus alluvionnaire au débouché sur le cône de déjection.



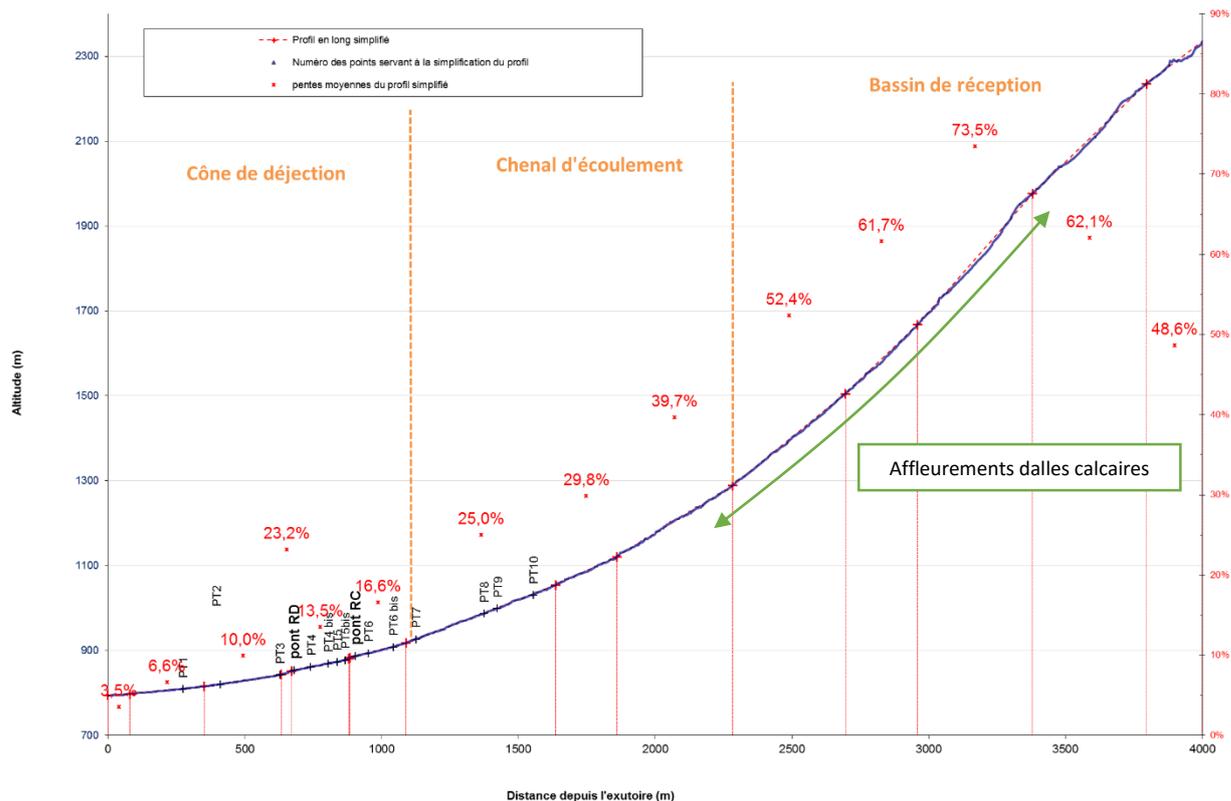


Figure 21: profil en long général du Nant Sec

### 3.3.2. Profil en long du cône de déjection – évolution du lit

Le profil en long du cône de déjection est marqué par la présence des deux seuils de correction dont l'objectif est de stabiliser le lit à l'aval des deux ponts :

- Le seuil de la RD, d'une hauteur d'environ 4m
- Le seuil de la route communale, d'une hauteur d'environ 3m

Sur le terrain, on voit clairement que le lit du Nant Sec s'est encaissé dans d'anciennes terrasses alluviales. Ceci est confirmé par les photographies anciennes sur lesquelles on peut voir un lit affleurant au niveau des berges, là où celui-ci est encaissé de plusieurs mètres aujourd'hui.

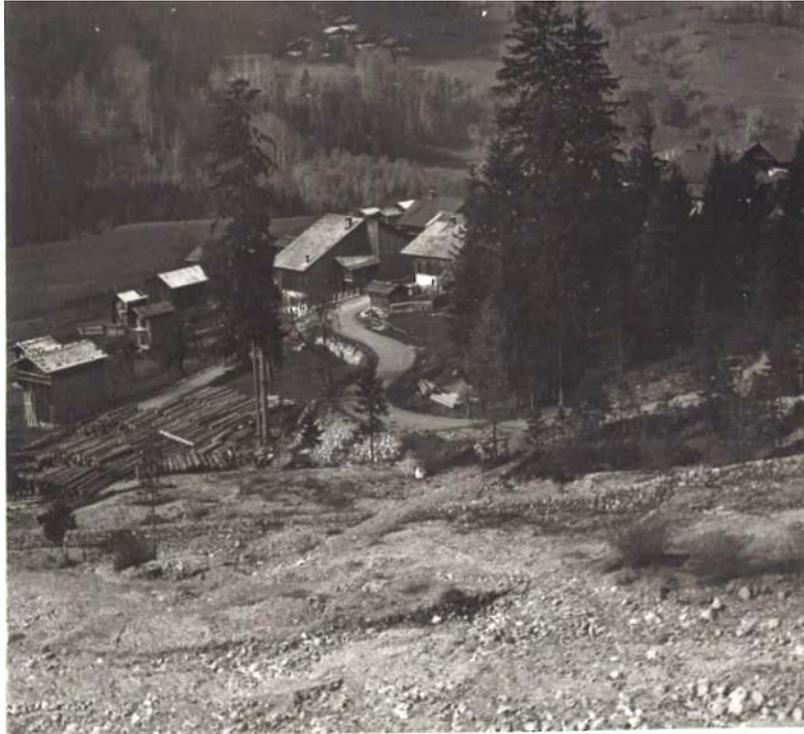


Figure 22 : lit du Nant Sec à hauteur de Salvagny en 1937

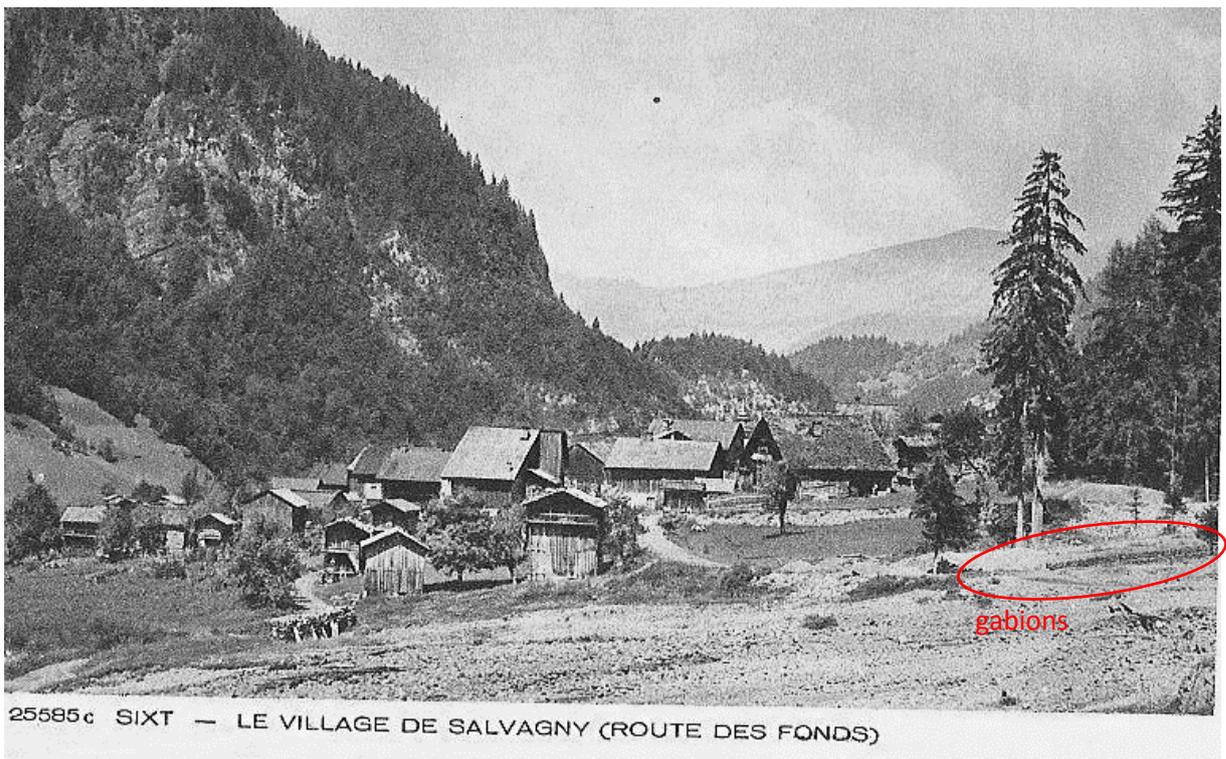
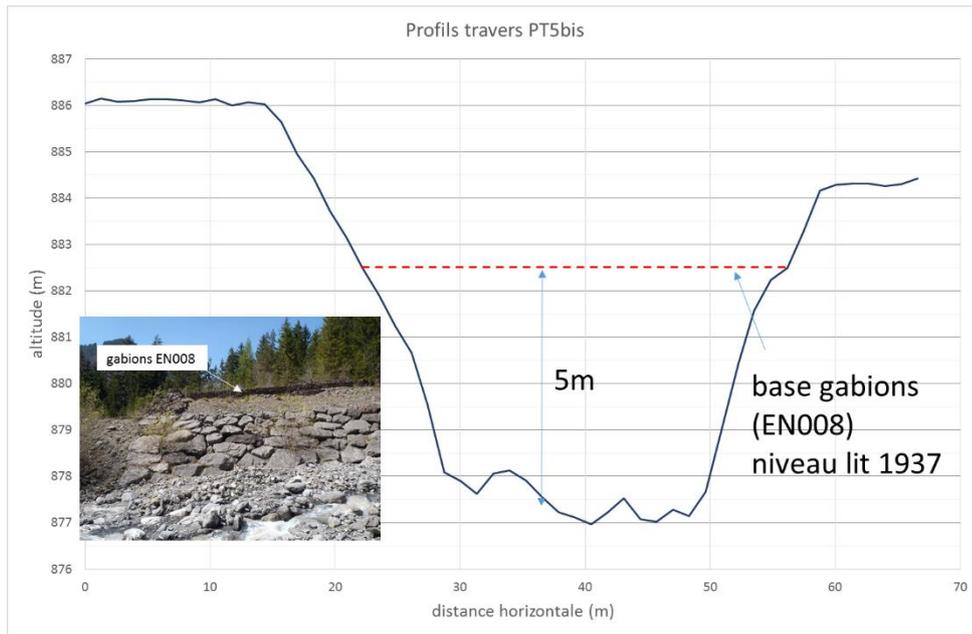


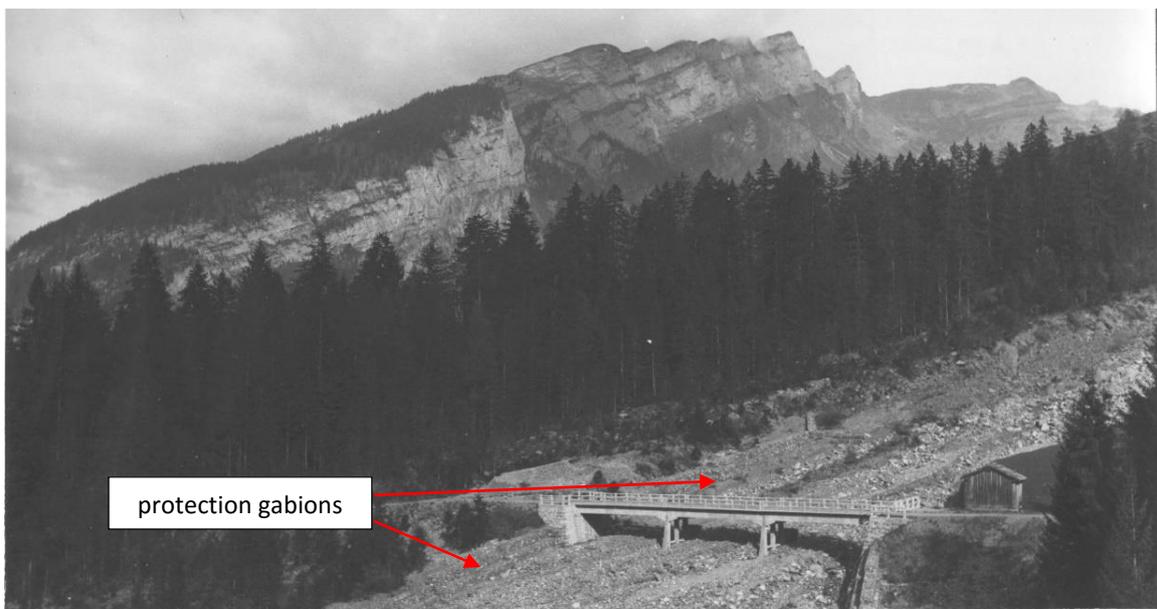
Figure 23: carte postale ancienne, non datée (source: [www.delcampe.fr](http://www.delcampe.fr))

Nous avons réalisé une reconstitution du niveau du lit historique du Nant Sec à partir d'une série de profils en travers extraits du lever LIDAR. Ce niveau est déduit d'indices morphologiques (terrasses anciennes), et des points de repères tels que les ouvrages d'endiguements.





**Figure 24: exploitation des profils en travers pour reconstituer le niveau du lit**



**Figure 25: photo de 1937 du pont de la Feulatière**

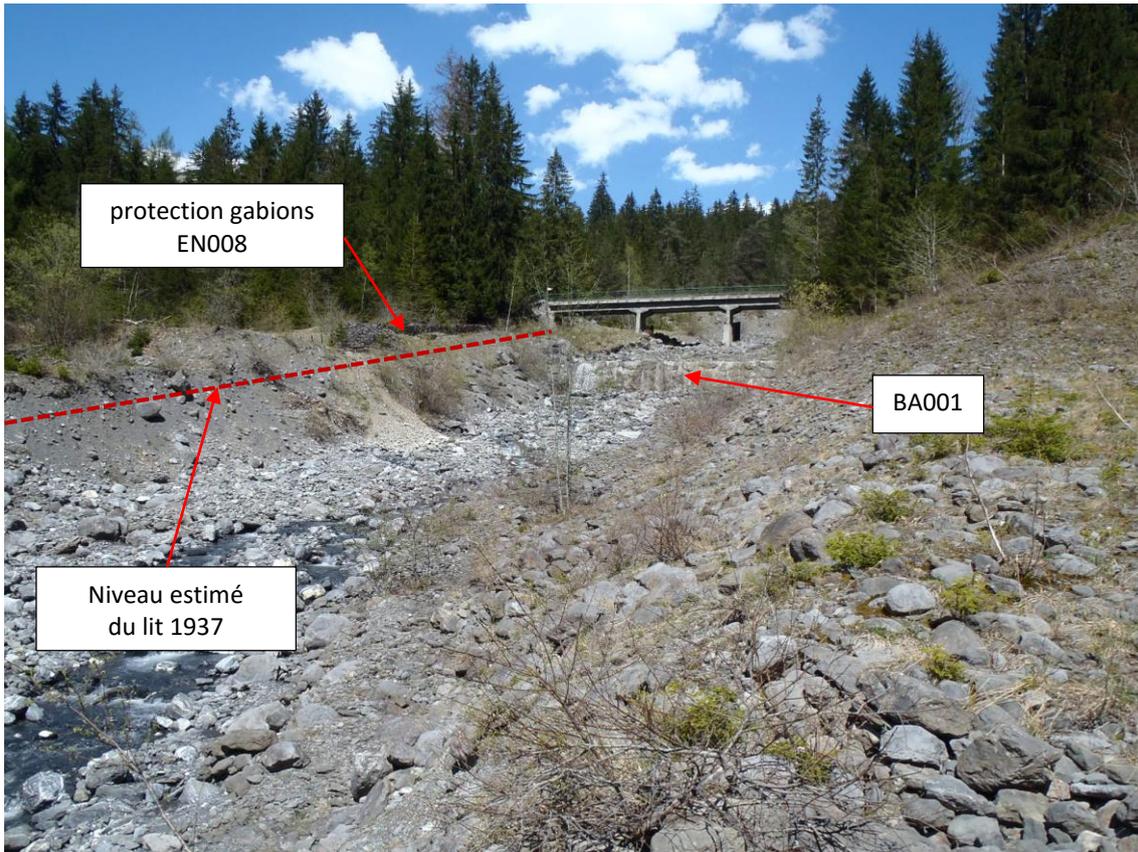


Figure 26: abaissement du lit en aval du pont de la Feulatière

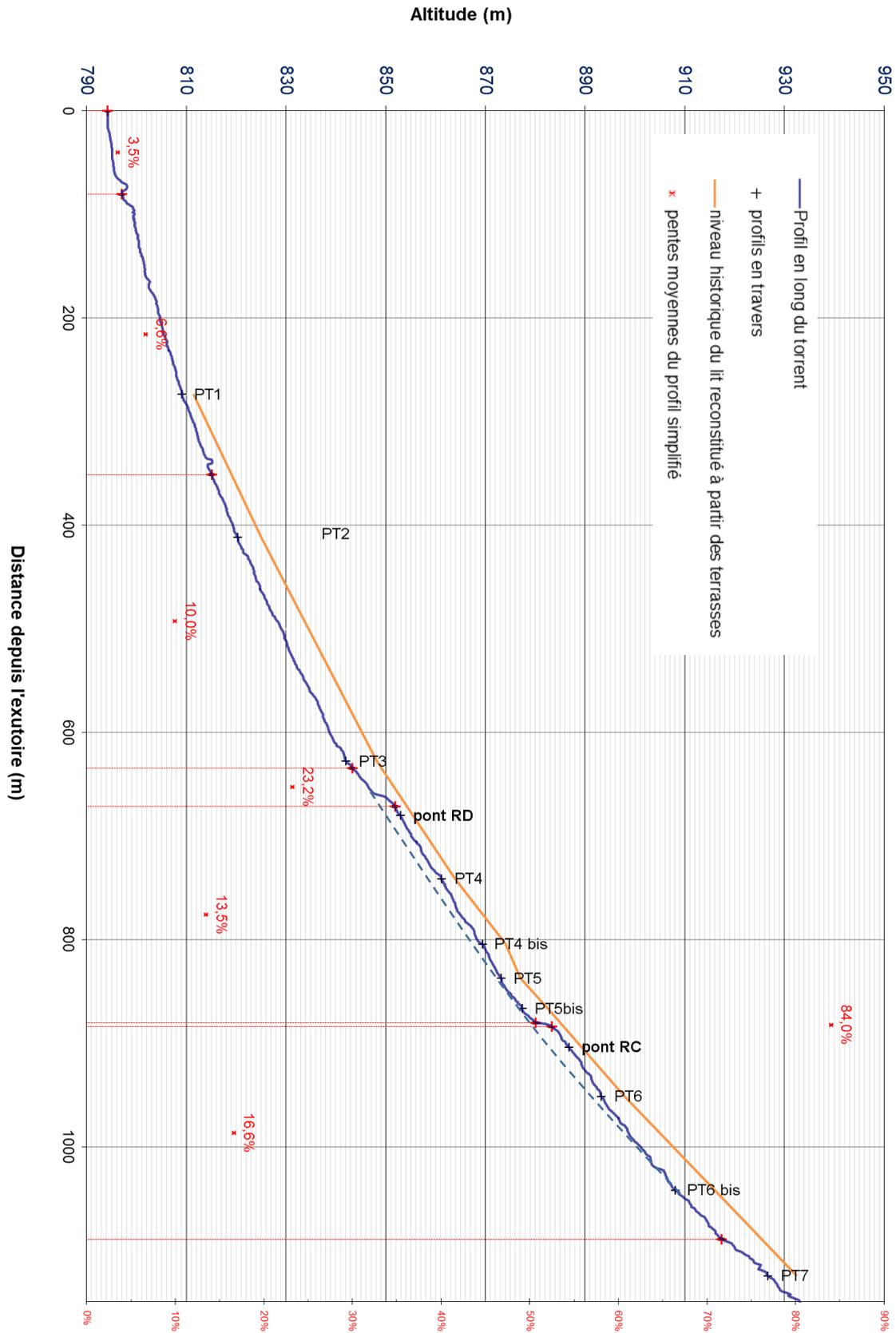


Figure 27: profil en long du cône de déjection - repérage du niveau du lit historique



La reconstitution du profil historique, représentatif du lit au début du XX<sup>ème</sup> siècle permet de mettre en évidence **un abaissement généralisé du lit de l'ordre de 4 à 5m sur le cône de déjection**. L'incision est localement moins importante au niveau des deux seuils qui ont permis de caler le profil sous les ponts. Cette évolution du lit a probablement eu lieu dans les années 80, comme l'indique l'historique des crues (2.1).

En 1991, l'incision du Nant Sec est mentionnée dans le cadre d'un rapport de stage du RTM (sederstam, 1991) : « depuis approximativement 5 ans, la partie moyenne du lit (1000 à 1150m d'altitude) fait l'objet d'une reprise d'activité de l'érosion. On assiste actuellement à un creusement du lit , même par faibles eaux, qui s'enfonce ainsi depuis peu dans les argiles jusque là sous jacentes au pavement rocheux du lit. Déstabilisées à leur pied les berges s'effondrent avec une intensité maximale du phénomène en deux points de la rive gauche ». Cette zone d'incision décrite à l'époque se situerait approximativement à hauteur de la digue paravalanche.

### 3.3.3. Points particuliers : ouvrages de franchissement

Deux ponts sont présents sur le torrent, espacés d'une distance d'environ 200 m.



Figure 28: pont de la Feulatière (gauche) - pont de la RD (droite)





▪ Le pont amont : pont de la Feulatière

Cette route était auparavant l'ancienne route départementale reliant Sixt à Chamonix. La route a depuis changé de statut (route communale ?). Cet ouvrage en béton armé qui aurait été construit dans les années 30 a une portée d'environ 30 mètres avec deux piles centrales (soit 3 ouvertures d'environ 10 mètres). Il a fait l'objet de reprises en sous œuvre par des massifs en béton armé, probablement à partir de 1985.

▪ Le pont de la route départementale

Ce pont qui marque la limite aval de la division domaniale a une section très réduite par rapport à la largeur naturel du lit en amont (section du pont large de 5m pour un lit large de 35m à l'amont). Il constitue un point de blocage pour le transit des matériaux lors des crues.

**Figure 29: vue du cône suite à la crue du Giffre des Fonds de juillet 2007 – resserrement du lit au pont de la RD**

### 3.4. Couverture végétale – Gestion sylvicole

Les informations suivantes sont extraites de l'aménagement forestier en cours (ONF, aménagement de la forêt domaniale RTM de Giffre-Sixt - période 2015-2034, 2015).

14ha de la surface de la domaniale sont boisés, soit environ 11% de la surface de la Forêt Domaniale, avec une composition de 2/3 de peuplements irréguliers d'épicéas – 1/3 feuillus ou épicéas éparses issus de recolonisation naturelle.

L'ensemble des peuplements a été classé à fonction de protection forte contre les risques naturels (crue torrentielle et ravinement). Il est considéré qu'en revanche la forêt ne joue aucun rôle de protection contre l'aléa avalanche et chutes de blocs (zones de départ en dehors des zones boisés).

Les peuplements sont classés « hors sylviculture ». On prévoit toutefois une petite coupe sur la durée de l'aménagement (prélèvement de 50m<sup>3</sup> en rive gauche du Nant Sec).

### 3.5. Délimitation des enjeux

Les enjeux à proximité directe de la division domaniale sont les suivants :

- Le hameau de Salavagny (une centaine d'habitations)
- Un réservoir d'eau potable (en rive droite)
- La route des fonds (pont de Feulatière) qui représente l'accès unique au cirque des fonds
- La route départementale D429, accès unique au site touristique de la cascade du Rouget



## 3.6. Autres aléas affectant le bassin versant

### 3.6.1. Les avalanches

Les grandes dalles lisses d'exposition NW inclinées en direction de la vallée, sous l'arête rocheuse des Frêtes du Grenier de Commune (alt. 1950 m), sont le point de départ d'avalanches pluriannuelles dans la partie supérieure. Parcourant le talweg, de profil concave, du torrent du Nant Sec, cette avalanche a emprunté à différentes reprises, la partie inférieure de la combe de l'Essert. C'est ainsi que le 30 décembre 1920, 3 chalets du hameau de Lavoisiere ont été renversés. Le boisement de la série domaniale de protection du canton de la Feulatiere est quant à lui endommagé les 23 décembre 1923, 15 janvier 1941, 21 février 1916 et en février 1973

Date Début	Intensité	Causes	Zone de départ	Zone d'arrivée	Temoignages
01/02/1973	A3 - Moyen	Naturelle		Série domaniale du Nant Sec	[RTM # 1987 # PER 1987, page 22]
15/01/1941	A3 - Moyen	Naturelle		Foret domaniale du Nant Sec	[RTM # 1987 # PER 1987, page 22]
21/02/1961	A3 - Moyen	Naturelle		Série domaniale du Nant Sec	[RTM # 1987 # PER 1987, page 22]
22/02/1999	A3 - Moyen	Naturelle (redoux)	Dalles du Nant Sec, vers 1700m d'altitude environ	Ouvrage, tourne paravalanche, submergé, arrivée sur la piste de ski. altitude 950m Piste de ski	[RTM # 9/04/1999 # Fiche avalanche RTM N° 676/1999, avec plan]
23/12/1923	A3 - Moyen	Naturelle		En série domaniale RTM du Nant Sec	[RTM # 1987 # PER 1987, page 22]
30/12/1920	A4 - Elevé	Naturelle		<b>hameau de Lavoisière</b> , 910m	[RTM # 1987 # PER 1987, page 22]

Tableau 1 : extrait des événements de la BDRTM

L'événement le plus récent et le plus important est celui de 1999. La CLPA décrit qu'un témoin a observé l'avalanche en 1999. Tout le panneau de la zone départ (zone des dalles d'exposition NW) s'était décroché. Elle avait fini sa course en amont du pont mais elle n'avait pas dépassé l'emprise déjà existante. Il se souvient d'une grosse avalanche en 1999 qui s'était décrochée depuis les dalles sous la falaise en prenant toute la combe, depuis les dalles jusqu'au torrent. Elle s'était ensuite encaissée dans le torrent et était arrivée à 50m en amont du pont. Ce témoin avait déjà entendu dire que l'avalanche était arrivée plus bas, notamment vers 1830. Il se souvient d'une avalanche de neige lourde qui avait fait un dépôt de boules. Une centaine de m3 de bois avait été arrachée en bordure du passage de l'avalanche. C'est la seule fois où il a vu une avalanche aussi importante. Elle est très courante mais en général elle reste plus haut.

Cet aléa est encore aujourd'hui important, des avalanches sont recensées quasiment chaque année, un site est reconnu dans la BDRTM « Nant Sec (CLPA 31) »

### 3.6.2. Les mouvements de terrain

Le paragraphe 2.4 a décrit la géologie du site telle qu'elle est transcrite sur la carte éditée par le BRGM : un bassin de réception composé au nord de dalles marno-calcaire au pendage conforme à la pente (30°) pour le torrent de la Joux (figure 8) et au sud d'horizons calcaires très tectonisés pour le torrent des Follys (figure 11) ; un chenal d'écoulement entaillé dans les matériaux détritiques du quaternaire

(moraine et éboulis) (figure 14) puis un vaste cône de déjection (figure 17) révélant un important transport de matériaux depuis le retrait des glaciers il y a 14 000 ans.

La mobilisation de ces matériaux minéraux a pu se faire suivant plusieurs modes :

- Des glissements dalles sur dalles encore bien visibles dans le bassin versant de la Joux.
- Des écroulements rocheux depuis l'horizon tithonique dans le bassin versant des Follys.
- Des glissements de la couverture détritique (éboulis et placage morainique) sur le toit des dalles<sup>3</sup>.
- Des glissements de terrain superficiels dans tout type de dépôts quaternaires (dont le déclenchement peut être lié à l'érosion des berges ou à des modifications de circulations souterraines).

L'ensemble des matériaux ainsi mobilisé peut être transporté par les avalanches de fond et plus sûrement encore par les crues torrentielles. Les matériaux ont formé en 14000 ans le cône de déjection sur une surface de 1,2 km<sup>2</sup> et une épaisseur variant de 1 à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

Il existe une différence notable quant aux volumes et à la probabilité d'occurrence des différents scénarii de phénomènes.

*Les glissement dalles sur dalles* se sont probablement produits peu après la fin de la fusion du glacier et/ou du pergélisol. Les surfaces concernées sont d'après les cicatrices laissées de l'ordre de 1 à 10 ha sur une épaisseur de l'ordre du mètre, soit un volume de 10 000 à 100 000 m<sup>3</sup>. La probabilité d'occurrence de ce type de phénomène est jugée aujourd'hui comme rare à exceptionnel.

*Les écroulements dans les barres calcaires du Tithonique* ont dû être plus courants au regard du volume amassé dans le lit des Follys (figure 13). Les volumes mobilisés ont été variables entre le bloc isolé de quelques mètres cube à l'écroulement de plusieurs milliers de mètres cube. Aujourd'hui l'activité persiste, les phénomènes courants sont les chutes de blocs isolés, des écroulements sont probables, il n'est pas reconnu de signes annonciateurs d'écroulement en masse. Aucun enjeu n'est menacé directement par des chutes de blocs ou des écroulements.

*Les glissements de la couverture détritique* (éboulis ou moraine) (figure 16) sont probablement et comme souvent dans ce type de contexte, le résultat d'un épisode à pluviométrie exceptionnelle ou d'une érosion de berges. Il n'est pas repéré de signe de glissement de grande ampleur. De place en place de petites surfaces sont visibles, à l'instar de celle repérée en rive gauche, vers la cote 950 qui présente une surface de 0,25 ha pour quelques mètres d'épaisseur (volume de plusieurs milliers de mètre cube). Il n'existe pas de glissement susceptible d'affecter directement un enjeu.

---

<sup>3</sup> Bien que d'une stratigraphie différente, le site du proche haut bassin versant du Nant des Pères (cirque du Fer-A-Cheval) présente une similitude lithographique (alternance de bancs calcaires décimétriques à métriques avec des interlits marno-schisteux) et structurale (pendage conforme à la pente). Ce site a été le siège d'importants glissements bancs sur bancs depuis 2002.





**Figure 30: Erosion du versant en rive gauche vers 900m d'altitude, probablement au début du XX<sup>ème</sup> siècle (cliché non daté)**



## 4. DESCRIPTION DES DISPOSITIFS DE PROTECTION EXISTANTS



### 4.1. Création du périmètre de l'Arve et de la série RTM de Sixt

En application de la loi de Restauration et de Conservation des Terrains de Montagne du 4 avril 1882, l'Etat engage au niveau local (échelle des communes en général) l'établissement des projets de périmètres à restaurer.

Le projet de périmètre sur la commune de Sixt fournit les informations principales sur l'état des terrains, les objectifs de la périmétration et les travaux envisagés au moment de l'Acquisition.

La loi déclarant d'utilité publique les travaux de restauration à effectuer dans le bassin de l'Arve a été adoptée en 1898. La commune de Sixt figure dans la liste des périmètres à restaurer (contenance des terrains de 56ha18).

### 4.2. Objectifs de protection visés lors de la création du périmètre

Selon le PV de reconnaissance du projet de périmètre de 1891 (cf. annexe 1), les torrents du Nafond et du Nant Sec (Nanset) sont les seuls qui causent des importants dégâts sur la commune de Sixt.

On retient de cette description :

- Une fourniture importante en matériaux issus de « régions terreuses assez affouillables » dans la partie moyenne du bassin versant.
- Un point de débordement supposé en amont du hameau de Salvagny (coude très prononcé, lit peu encaissé) avec un risque potentiel d'atteinte du hameau.

Les deux objectifs des travaux à mettre en œuvre dans le périmètre sont le suivants :

- « arrêter les affouillements et les éboulements en construisant des barrages ou seuils dans les ravins principaux, des clayonnages et des fascinages dans les ravins secondaires »
- « recouvrir de végétation forestière et herbacée les terrains dénudés ».

**L'objectif principal lors de la création du périmètre était donc bien la correction du torrent**, ce qui est clairement précisé dans la DUP du périmètre de l'Arve de 1893. La prise de conscience du risque avalancheux dans le bassin versant ne semble être apparue que plus tardivement (importantes avalanches de 1920 et de 1973). Le dispositif paravalanche n'était pas prévu dans l'avant projet de travaux lors de la création du périmètre.

#### Acquisitions principales

La surface inscrite au projet de périmètre de l'Arve est de 56ha18 (Nant Sec et Nafond).

Les premières acquisitions ont eu lieu en janvier 1913 (123ha46ca55ca) de terrains communaux, puis se sont poursuivies par achats de terrains privés entre 1975 et 1977 pour la construction de la tourne paravalanche (surface totale de 123ha72a21ca en 1977).



### Projet initial de travaux

Les travaux projetés en 1891 sont détaillés dans l'avant-projet des travaux (dossier général) et synthétisés dans le tableau suivant (comprenant à la fois le Nant Sec et le Nafond) :

<b>Travaux forestiers (17 920 F)</b>	56 ha de plantations de résineux 56 ha d'enherbement
<b>Travaux de correction (166 100F)</b>	20 barrages en maçonnerie de 150m <sup>3</sup> en moyenne 200 barrages rustiques de 60m <sup>3</sup> en moyenne 600 m de clayonnage 5900 m de drains
<b>Travaux auxiliaires (14 000F)</b>	8000 m de chemins 4000 m de clôtures

**Figure 31: tableau de synthèse de l'avant-projet de travaux en 1891  
(extrait du dossier projet de périmètre Sixt)**

Comme pour la plupart des séries domaniales du département, on note que ce projet initial est très ambitieux, avec une volonté d'effectuer des plantations sur l'ensemble de la surface acquise, et des travaux de correction conséquents.

#### 4.2.1. Synthèse des travaux réalisés

Les données consultées pour établir la chronique des travaux sont :

- Les états généraux des travaux et des dépenses sur la série de Sixt (période 1913-1991)
- Les comptes permanents du périmètre de l'Arve (période 1901-1942)
- Les archives de travaux (dossiers de marchés)
- La BD travo pour la période la plus récente (depuis 2000)

L'évolution des dépenses a été retracée depuis 1901 (actualisation des coûts en euros 2011).



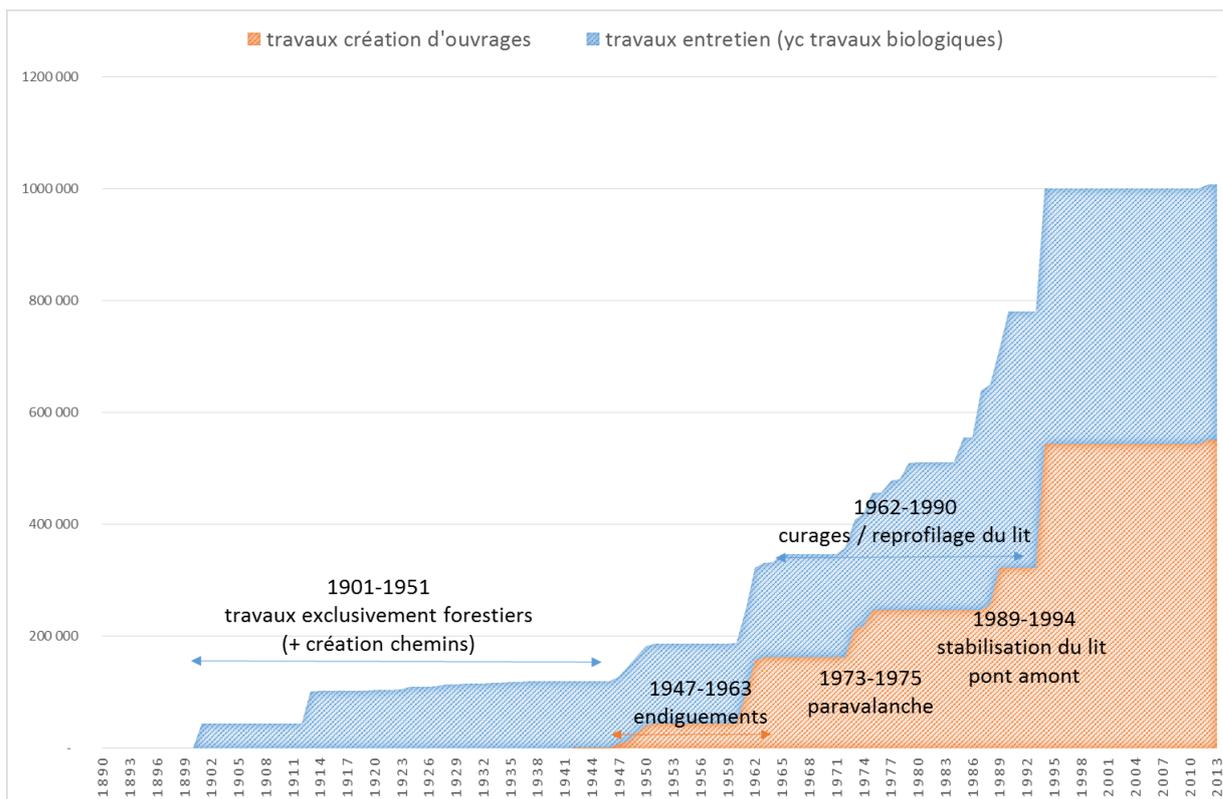
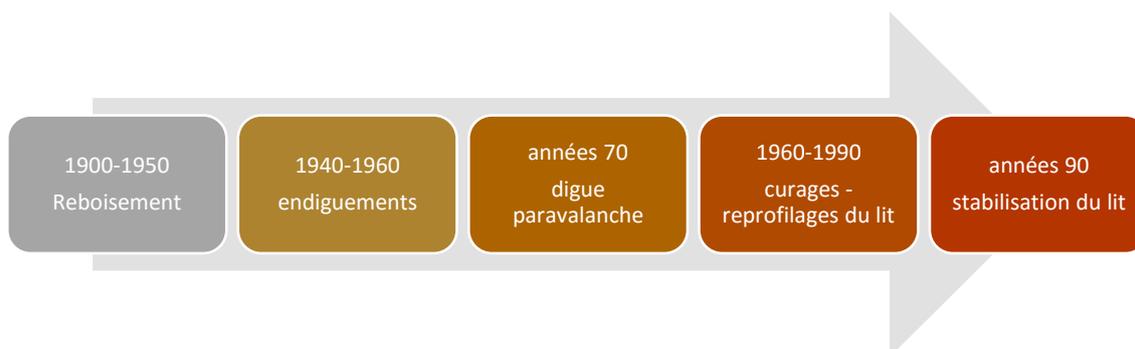


Figure 32: cumul des dépenses d'investissement et d'entretien depuis 1901



- Jusque dans les années 50, l'essentiel des dépenses a concerné des travaux forestiers avec en particulier la création de chemins jusqu'au sommet du BV, l'implantation d'une pépinière d'altitude et les premières plantations (environ 30 000 plants mis en place sur cette période).
- Selon une délibération du conseil municipal de 1948, il est exposé que depuis la constitution de la série de reboisement « le régime des crues et du charriage des matériaux s'est considérablement amélioré grâce à des reboisements des parties nues et à la protection des berges par des ouvrages divers ». Ces travaux ont permis la « récupération de 8ha de terrains sur le cône de déjection ». 4ha de terrains sont cédés gratuitement à l'Etat, en demandant en contrepartie de maintenir le torrent dans son lit actuel, et de permettre aux habitants de Salavagny de prendre des matériaux dans le lit du torrent. A partir de 1947, durant une vingtaine d'année, les travaux se sont alors concentrés sur l'endiguement du torrent. On note un investissement important pour aménager l'entonnement du pont aval suite à la crue de 1960.



- Les principaux investissements qui ont suivi correspondent à la construction de la digue paravalanche en 1973 pour la protection du hameau de maison neuve.
- Une nouvelle tendance apparaît dans les années 60 avec la multiplication des opérations de curage et de « reprofilage du lit ». La vente des matériaux extraits permet de financer une partie des interventions. Le volume de matériaux extrait durant la période 1960-1994 est évalué à environ 50 000 m<sup>3</sup>, soit une moyenne de prélèvement proche de 1 500 m<sup>3</sup>/an.
- A partir de 1987, les problèmes d'affouillement des deux ponts lors de plusieurs crues conduisent à la création d'ouvrage de stabilisation du lit (période 1988-1994).
- Depuis 1994, aucun investissement n'a eu lieu dans la division domaniale.

#### 4.2.2. Travaux forestiers

Selon un plan projet de travaux en régie de 1914, on apprend que la langue boisée présente entre 1300m et 1600m d'altitude s'est naturellement boisée. L'essentiel des terrains (grandes dalles calcaires et zones érodées) est classé en « non susceptible de reboisement ».

L'essentiel des travaux sylvicoles à vocation RTM ont eu lieu jusque dans les années 60. Au total, les plantations concernent sur cette période une surface de l'ordre de 10 ha, pour un peu plus de 80 000 plants (50% feuillus, 50% résineux). Ce bilan correspond aux division du Nafond et du Nant Sec.

L'aménagement forestier de 1955 (ONF) précise qu'une grande variété d'espèces a été testée pour les reboisements. On constate que le pin sylvestre introduit dans les parties basses n'est pas adapté à la neige. Le pin Mugho est présent vers 1600m d'altitude, sur des dalles calcaires et semble être adapté à l'hostilité du site. **Globalement, les tentatives de reboisement des ravines se sont soldées par des échecs.**



## 4.3. Description du dispositif domanial

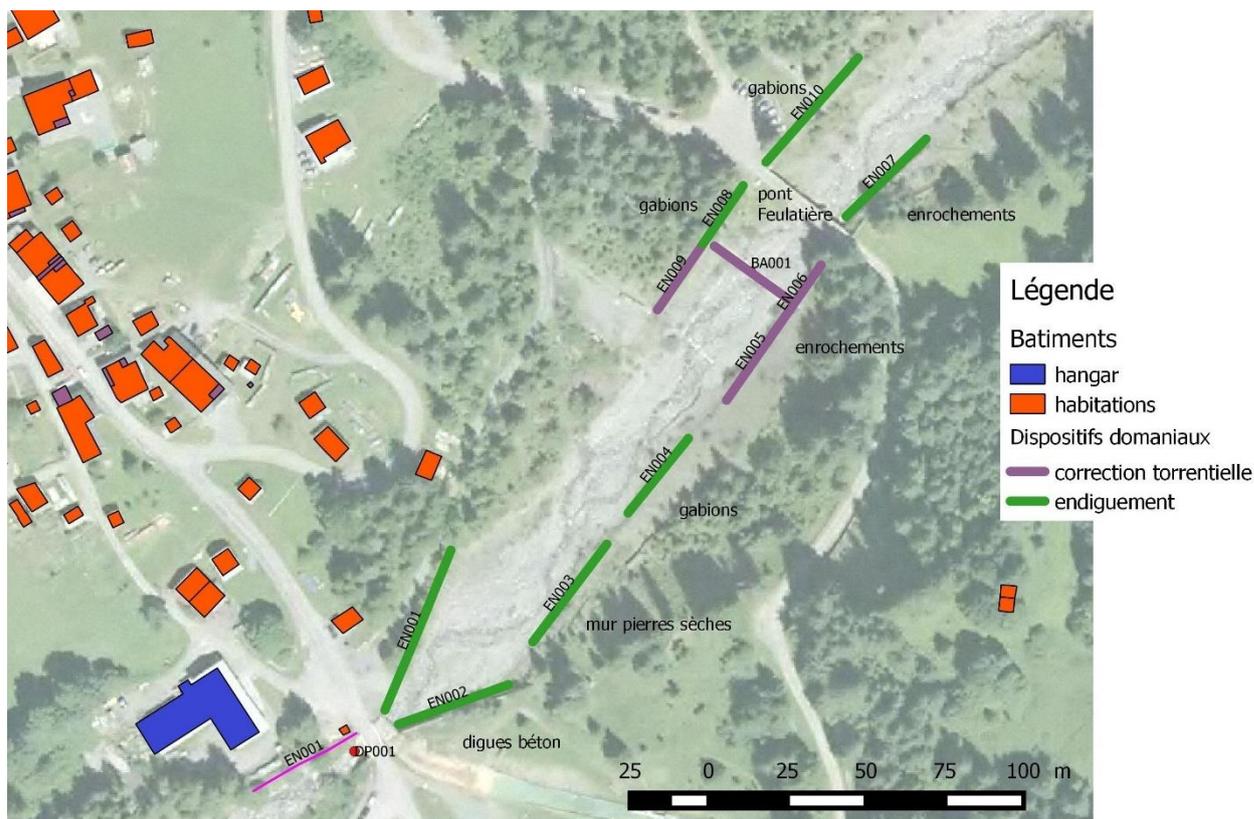


Figure 33: Carte de localisation des principaux ouvrages domaniaux

### 4.3.1. Dispositif « endiguement »

#### 4.3.1.1 Historique

Les ouvrages les plus anciens présents sur le site sont des digues en gabions (EN010-EN08-EN004) qui auraient été réalisées en 1950 selon les Etats généraux de la série. Il est cependant probable que ces ouvrages soient plus anciens puisqu'on en aperçoit sur une photo qui est datée de 1937 (cf. photo ci-dessous).



Figure 34: ouvrages gabions EN008 et EN010 sur un cliché daté de 1937 (archives RTM)





**Figure 35: ouvrage gabion EN008 (à gauche) et EN010 (à droite)**

Ces ouvrages dénommés « digues » gabion n'ont pour autant jamais joué réellement un rôle de lutte contre le débordement (ils créent une faible surélévation par rapport aux berges), mais plutôt un rôle de contention des matériaux dans le lit et de lutte contre les divagations du torrent : limiter les risques de contournement des ponts et éventuellement de stabilisation du talus en rive gauche.

Les ouvrages EN001 et EN002 ont un rôle d'entonnement du pont aval qui représente un point de contraction important des écoulements sur le cône. Ces ouvrages ont été réalisés en 1962, pour remplacer des ouvrages en bois qui avaient été détruits par les crues de 1960 et 1961. Le risque de débordement est marqué en amont du pont, du fait du sous-dimensionnement de cet ouvrage (dépôt de matériaux systématique en amont du pont lors des crues).



PERIMETRE DE L'ARVE - Série de SIXT - Endiguement du NANT-SEC -  
Cl. R. MARTIN du 10 Septembre 1962



PERIMETRE DE L'ARVE - Série de SIXT - Endiguement du NANT-SEC -  
Cl. R. MARTIN du 10 Septembre 1962

**Figure 36: travaux d'endiguements (EN001-EN002) – 1960**



### 4.3.1.2 Description des ouvrages

Caractéristiques principales des ouvrages :

Numéro BDRTM	Nature	Hauteur	Longueur	Description complémentaire
EN001	Entonnement du pont mur béton armé	4 m	55 m	Epis béton tous les 10 m environ
EN002	Entonnement du pont mur béton armé	4 m	50 m	Epis béton tous les 10 m environ
EN003	Muret en pierres sèches	2.5 m	36 m	Protection positionnée en sommet de berge créant une petite digue
EN004	Protection en gabions	3 m	45 m	
EN007	Protection en enrochements libres	3 m	50 m	Enrochements non anguleux (prélevés sur site)
EN008	Protection en gabions	3 m	45 m	
EN0010	Protection en gabions	3 m	50 m	

Figure 37: caractéristiques principales des ouvrages du dispositif 'endiguement'

### 4.3.1.3 Etat des ouvrages

numéro BD RTM	date dernière visite	Etat structurel	évolution	Etat fonctionnel	Proposition de travaux	Commentaire pathologie
EN001	21/10/2014	Désordres superficiels	Pas d'évolution	Optimal	traitement de végétation	Lit localement bas, découvre la base des épis
EN002	21/10/2014	Désordres superficiels	Pas d'évolution	Optimal	Traitement de végétation	lit localement bas découvrant la base des épis
EN003	21/10/2014	Pas de dégradations	Pas d'évolution	Optimal	Néant et n'est plus utile.	Vieux muret en très bon état.
EN004	21/10/2014	Désordres superficiels	Modérée	Correct	Néant pour l'instant, redressement du gabion malaisé.	Légère inclinaison des gabions sur 6,0m environ, déformation visible en alignement, Grillage de gabions rouillé.
EN007	21/10/2014	Pas de dégradations	Pas d'évolution	Correct	Traitement de la végétation	
EN008	21/10/2014	Désordres superficiels	Pas d'évolution	Correct	Traitement de la végétation	Désordres superficiels sur 10m en aval du pont, suite à des dépôts sauvages en contrebas du pont; grillage localement arraché.
EN010	21/10/2014	Désordres superficiels	Pas d'évolution	Correct	Traitement de la végétation	

Figure 38: export BDRTM état des ouvrages dispositif endiguement

Les ouvrages en gabions sont perchés entre 4 et 5m au-dessus du niveau du lit actuel. Ceux qui sont situés en aval du pont de la Feulatière (rive droite) ont été confortés à la base par un enrochement de pied de berge lors de la création du seuil en 1994 (cf. 4.3.2).





Figure 39: EN004 (gauche) - EN010 (droite)

Les ouvrages béton d'entonnement du pont sont en bon état, mais les épis béton sont localement affouillés.

**D'une façon générale, les ouvrages du dispositif d'endiguement sont en bon état et ne sont dans la situation actuelle pas ou peu sollicités lors des crues. La principale évolution qui pourrait compromettre la stabilité de ces ouvrages est leur affouillement, en lien avec l'abaissement généralisé du lit.**

#### 4.3.2. Dispositif « correction torrentielle »

Ce dispositif comporte le seuil réalisé sous le pont amont, ainsi que les protections de berge qui lui sont associées.

##### 4.3.2.1 Historique

Comme cela a été abordé au paragraphe 2, les deux crues qui ont eu lieu en 1987 ont commencé à occasionner des problèmes d'affouillements au niveau des ouvrages. Ceci a conduit à réaliser des ouvrages de stabilisation du profil au niveau des deux ponts, dont un ouvrage domanial.

Le traitement du pont amont a débuté par des travaux d'urgence en 1988 avec réalisation d'un radier (400m<sup>3</sup> d'enrochement). Le radier a subi des dégâts lors de la crue de 1990 (travaux de renforcement avec des enrochements). En 1994, le radier est remplacé par un seuil en enrochement (ouvrage poids) d'une hauteur de 5.5m, équipé d'un radier anti-affouillement.

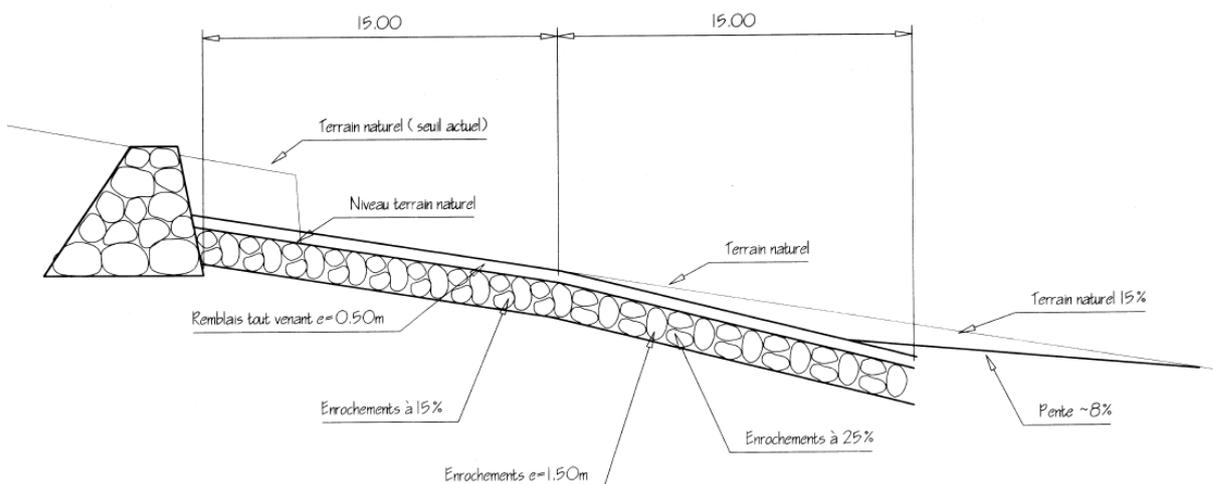
Le pont aval a subi également des dégâts, à la fin des années 80, nécessitant en 1990 la création d'un radier. Ces travaux sont réalisés sous maîtrise d'ouvrage Etat, en limite du périmètre de la série domaniale. Cet ouvrage sera par la suite reconstruit en 1992 sous MO communale (cf. **Erreur ! Source u renvoi introuvable.**).

### 4.3.2.2 Description des ouvrages

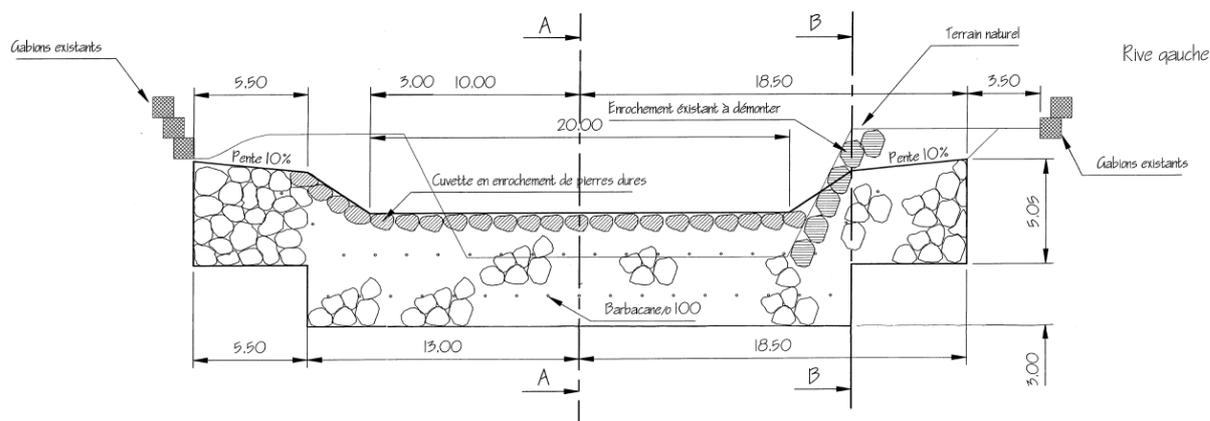
Numéro BDRTM	Nature	Hauteur	Longueur	Description complémentaire
BA001	Barrage de correction en enrochement bétonné	5.5m (hauteur totale sous cuvette)	37m	Ouvrage équipé d'un radier anti-affouillement en enrochement
EN005	Protection de berge en enrochement	4m	30m	
EN006	Protection de berge en enrochement	2m	10m	
EN009	Protection de berge en enrochement	3m	35m	

Le seuil BA001 est un ouvrage poids en enrochement bétonné dont la hauteur apparente sous cuvette est aujourd'hui de 3,5 mètres. Il dispose d'un radier anti-affouillement (ST001) de 30m de long constitué d'enrochements libres. Les berges ont été également protégées par des enrochements lors de la création du seuil (EN005-EN006 et EN009).

#### Profil en long seuil BA001 et radier ST001



#### Profil en travers seuil BA001



#### Profil en travers radier ST001 et protections de berge associées (EN005 et EN009)

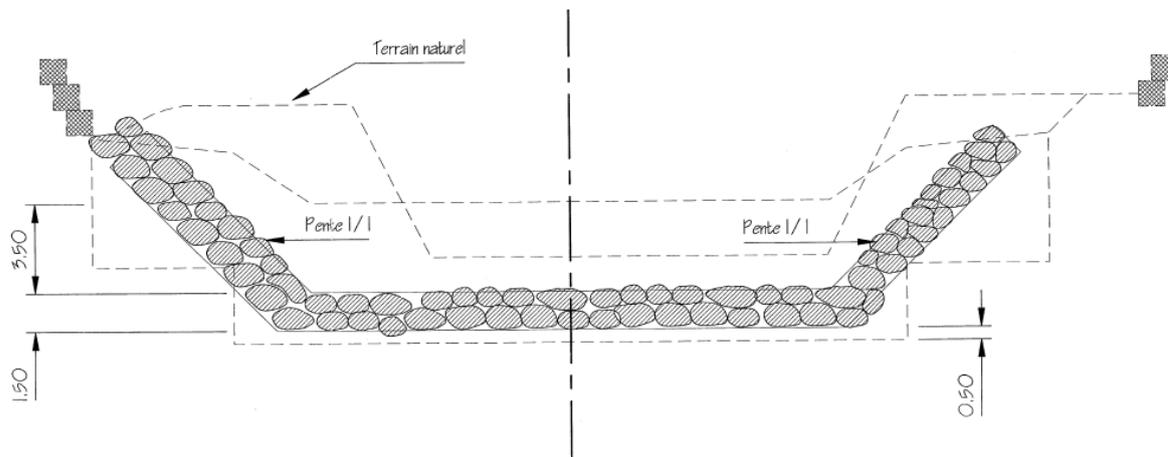


Figure 40 : Plan des ouvrages BA001 et ST001 (extrait du DCE 1993)

### 4.3.2.3 Etat des ouvrages

numéro BD RTM	date dernière visite	Etat structurel	Evolution	Etat fonctionnel	Proposition de travaux
BA001	21/10/2014	Pas de dégradations	Pas d'évolution	Optimal	Néant
EN005	21/10/2014	Pas de dégradations	Pas d'évolution	Optimal	Traitement de la végétation
EN006	21/10/2014	Pas de dégradations	Pas d'évolution	Optimal	Traitement de la végétation
EN009	21/10/2014	Pas de dégradations	Pas d'évolution	Optimal	Traitement de la végétation

Figure 41: export BDRTM état des ouvrage dispositif "correction torrentielle"



Figure 42 : seuil de stabilisation du pont de la feulatière - BA001

**Le dispositif de correction torrentielle est en très bon état. A noter qu'il n'a cependant pas connu de crue significative depuis sa construction.**

### 4.3.3. Dispositif « paravalanche »

#### 4.3.3.1 Localisation

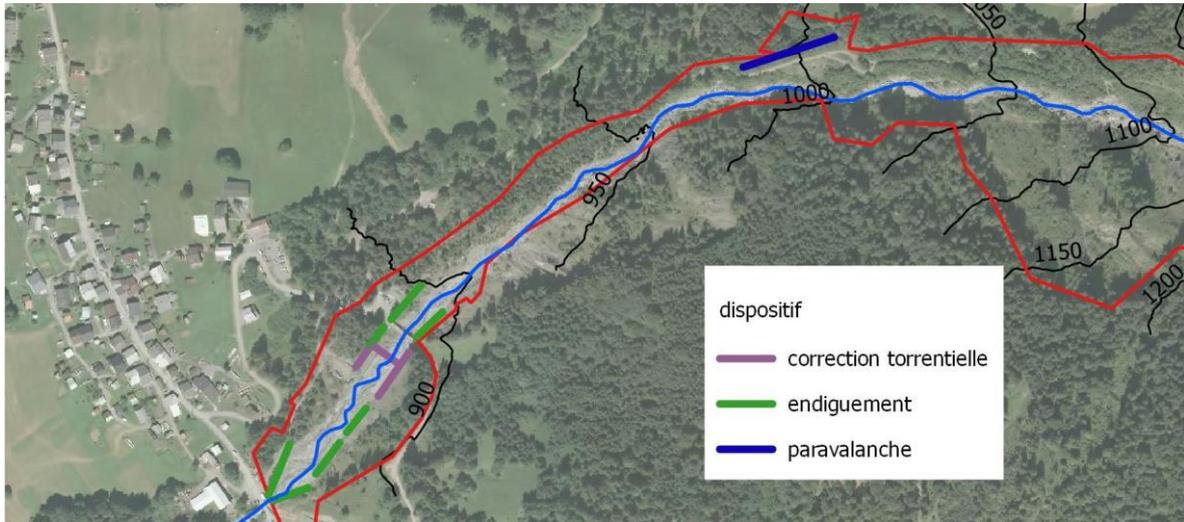


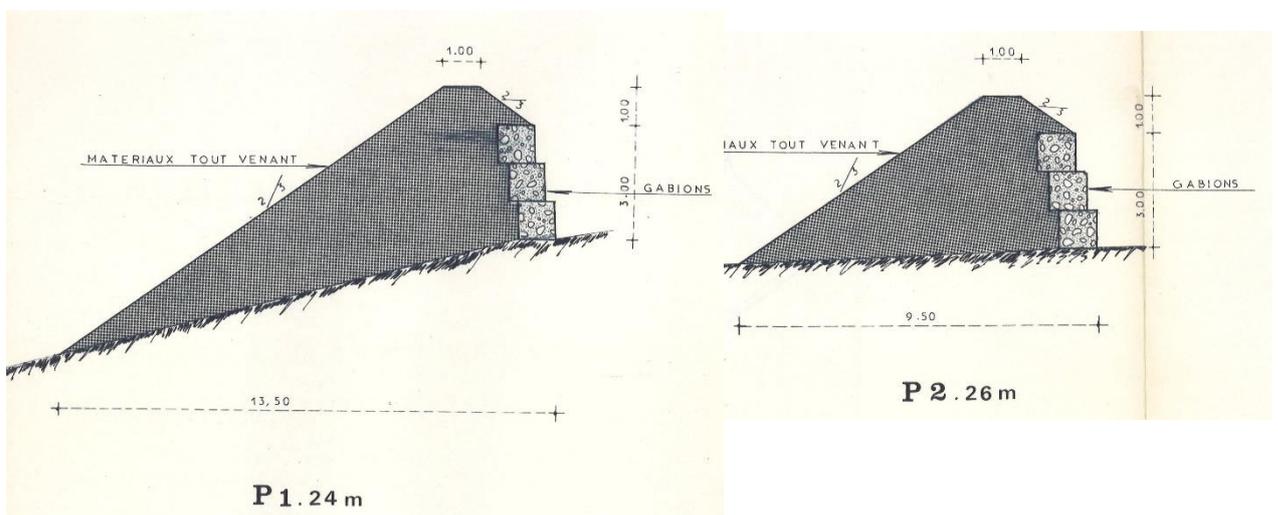
Figure 43 : carte de localisation des dispositifs (échelle 1/7500)

La digue paravalanche se situe à l'apex du cône de déjection, vers 1000m d'altitude, en extrado du coude que forme l'axe du Nant Sec.

#### 4.3.3.2 Historique

Le projet fait suite à une demande de la commune de Sixt de protection du hameau de Lavoisière. Dans un rapport de 1971, il est expliqué que les avalanches provenant des grandes dalles rocheuses viennent obstruer le lit du Nant Sec entre 1100 et 1200m, ce qui conduit à faire sortir les avalanches suivantes en rive droite, vers 1100m, en direction du hameau de Lavoisière.

L'ouvrage est une digue construite avec les matériaux du lit, dont le parement a été renforcé côté torrent par un mur de gabions. Nous disposons de très peu d'archives concernant la construction de cet ouvrage, qui a été construit en 1973 et 1974 (par une entreprise pour les travaux de terrassements et en régie d'ouvrier pour les gabions).



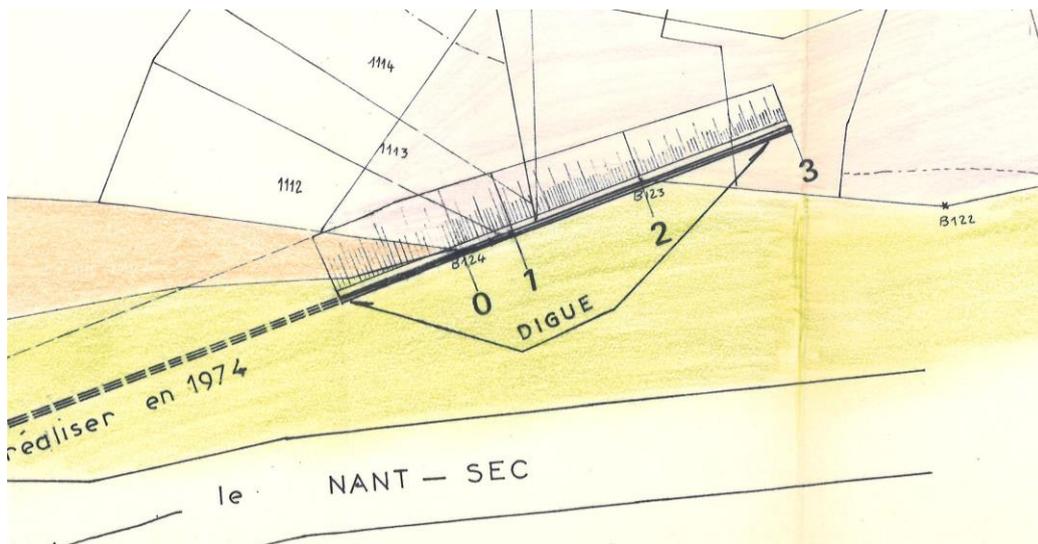


Figure 44: plans de l'ouvrage extrait de l'avant projet 1973



Figure 45: construction de la digue paravalanche en 1973

### 4.3.3.3 Description des ouvrages

Les principales dimensions de la digue paravalanche sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Longueur en crête	105 m
Largeur à la base	10 m
Largeur en crête de l'ouvrage	1.5 m
Hauteur par rapport au terrain amont	4 m

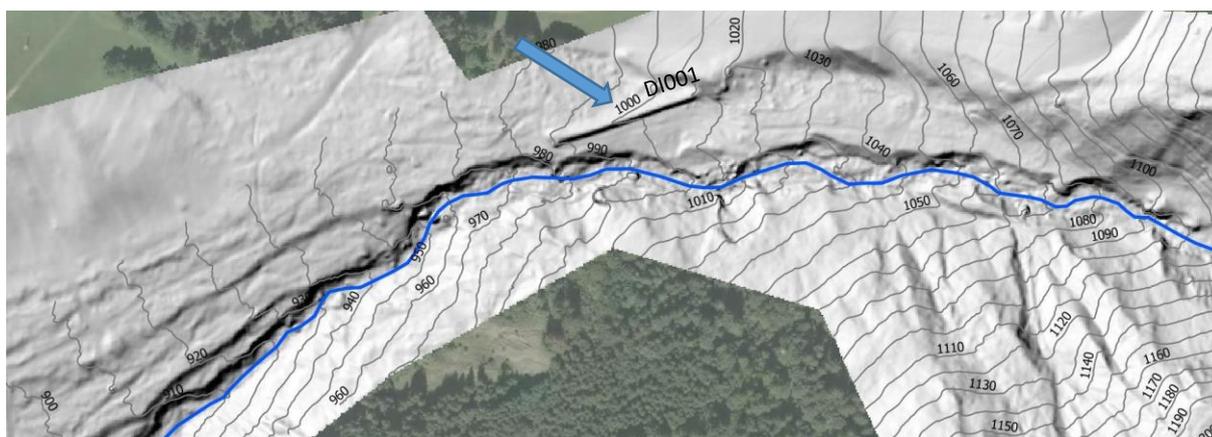


Figure 46: implantation de l'ouvrage paravalanche sur le lever topo Lidar (effet ombrage - échelle 1/5000)

La figure ci-dessus permet de voir l'implantation de l'ouvrage, qui a été implanté dans la continuité du versant. Le raccord avec le terrain naturel mériterait d'être amélioré.

On remarque aussi que l'ouvrage est très rectiligne et présente un angle de l'ordre 20° avec l'axe du torrent à l'amont et un axe de 15° avec l'axe à l'aval.

### 4.3.3.4 Etat des ouvrages

Date visite	Etat structurel	Vitesse d'évolution	Aptitude fonctionnelle	Nécessité d'intervention	commentaire sur les pathologies
16-11-2015	Désordres superficiels	Modérée	Optimal	Souhaitable pour la reprise de gabbion. Intervention de déboisement de la digue effectuée.	La partie terminale de l'ouvrage (aval) est dégradée et le grillage des gabions est déchiré. La végétation arborée retirée récemment n'a causé aucun dégat structurel et ne remet pas en cause la fonctionnalité de l'ouvrage.



Figure 47: la digue paravalanche vue côté parement amont (octobre 2015)

**Le dispositif de protection contre les avalanches est en bon état. Quelques gabions sont à reprendre en partie aval. A noter cependant que depuis sa construction l'enfoncement du lit contribue à réduire les sollicitations de l'ouvrage.**

#### **4.4. Travaux complémentaires sous maîtrise d'ouvrage communale**

Des travaux de stabilisation du lit ont été réalisés par la commune en 1992 pour limiter l'affouillement du radier du pont de la RD. Ces affouillements menaçaient en rive droite un bâtiment agricole et en rive gauche une décharge.

##### *Projet initial :*

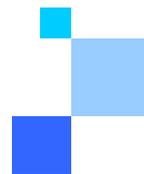
- Rectification et reprofilage du lit
- Protection des berges en enrochements
- Reconstruction du radier en enrochement bétonnés sous le pont
- Renforcement du radier par un sabot en gros enrochements.
- Aménagement d'une vaste plage de dépôt en amont de la confluence avec le Giffre des fonds

##### *Travaux réalisés :*

- Création d'un enrochement en RD (EN001)
- Création d'un radier de 2m d'épaisseur
- Renforcement du radier du pont par création d'une semelle en béton armé et bétonnage des enrochements
- Evacuation de 5000m<sup>3</sup> de matériaux excédentaires issus des travaux de reprofilage de le « plage de dépôt ».



# 5. ANALYSE HYDROLOGIQUE



## 5.1. Approche hydrologique

L'analyse hydrologique détaillée se trouve en annexe 3 du rapport.

Les méthodes de détermination des débits qui ont été utilisées sont :

- Pour le Q10, la comparaison de différentes formules statistiques et déterministes. Les résultats obtenus par ces méthodes ont été comparés aux données hydrométriques ainsi qu'aux résultats d'autres études menées localement.
- Pour les débits de période de retour > 10ans, le modèle du gradex esthétique avec une approche probabiliste permettant de prendre en compte l'incertitude sur les paramètres.

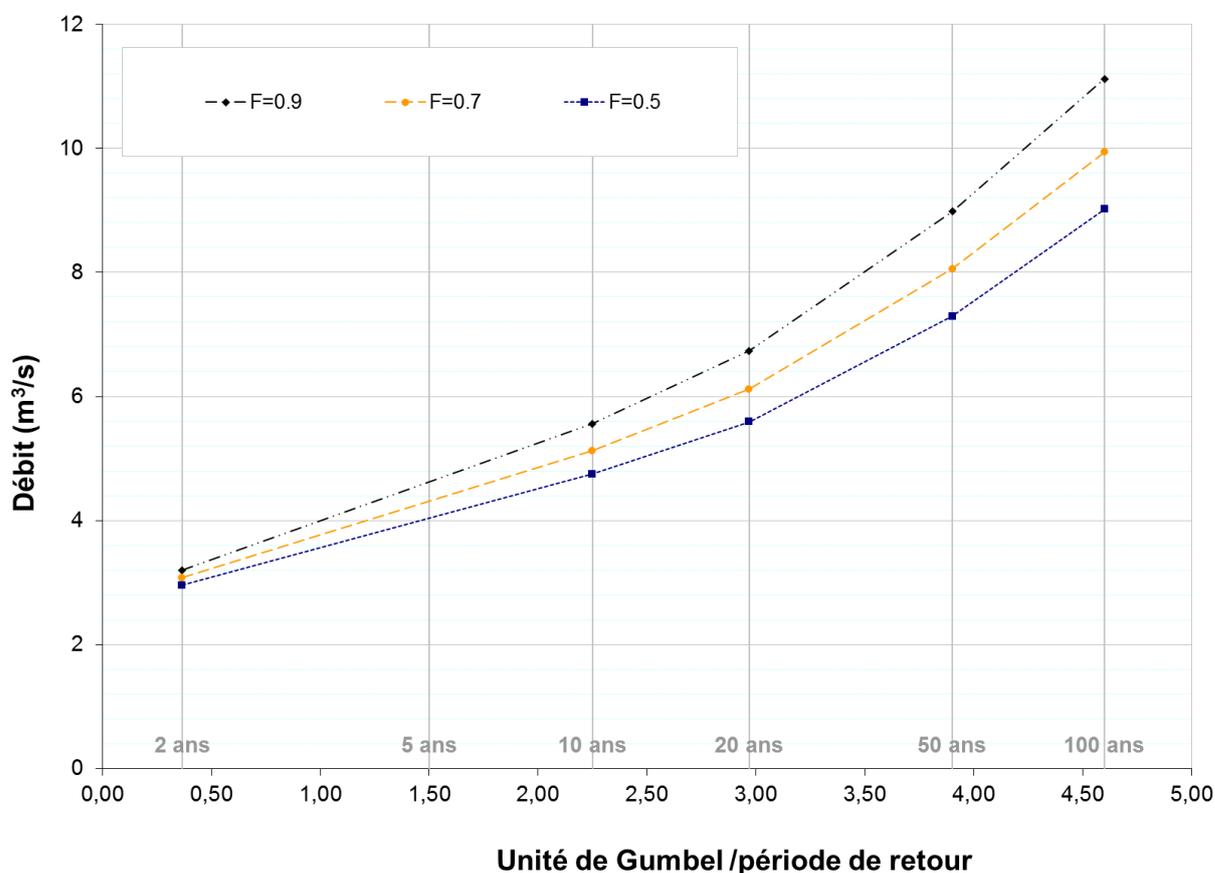


Figure 48: représentation graphique de l'estimation des débits de fréquence rare par la méthode du gradex esthétique (pour différentes fréquences de non dépassement)

Les résultats retenus sont répertoriés dans le tableau suivant :

Débits de crue (m <sup>3</sup> /s)				
T = 2 ans	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
3	5,5	6,5	8,5	11

Figure 49: choix des débits retenus pour différentes périodes de retour (S=1.9km<sup>2</sup>)

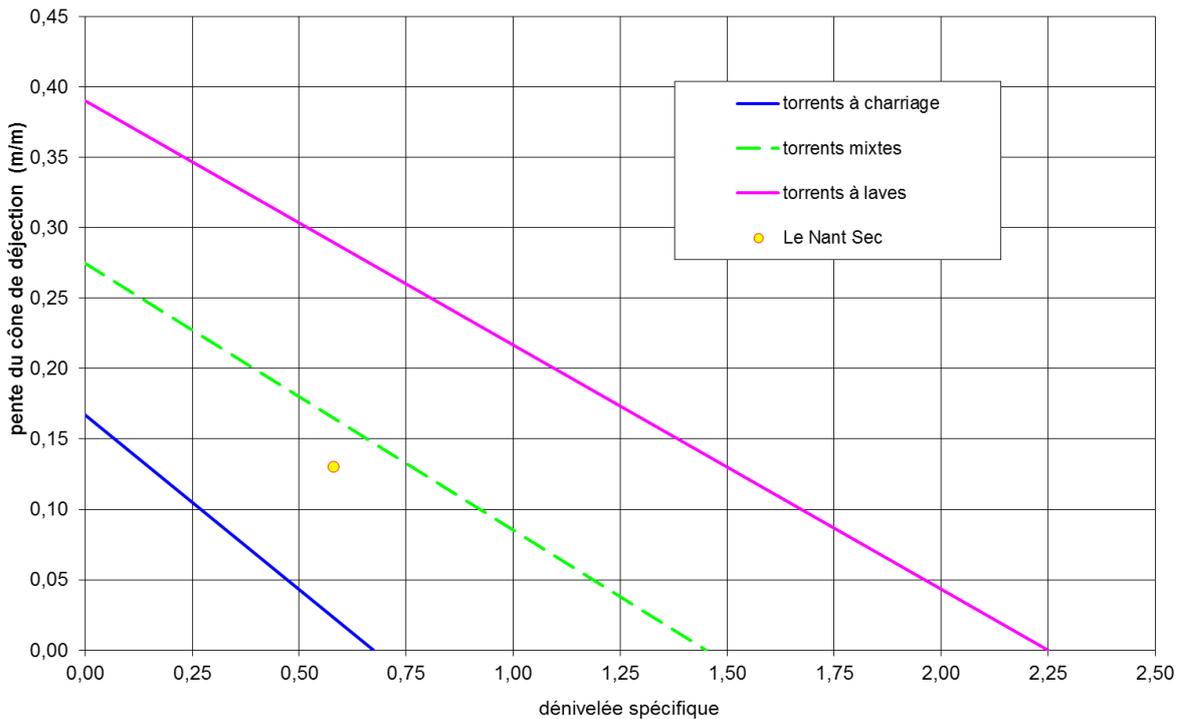
## 5.2. Analyse des phénomènes torrentiels

### 5.2.1. Type de transport solide

Le type de transport solide susceptible de se produire sur un torrent est une question centrale dans l'étude d'un bassin versant. Dans le cas présent, les éléments de connaissance des événements passés ne permettent pas à eux seuls de déterminer si des laves torrentielles sont susceptibles de se produire dans le Nant Sec (seul le témoignage de la crue de 1903 pourrait indiquer un phénomène de lave). Notre analyse, résumée dans le tableau suivant, se base sur l'observation de critères morphologiques du bassin versant et sur l'identification des facteurs favorables à l'occurrence de laves torrentielles (Rickenmann, 1995).

<b>Pentes des chenaux</b>	Pente > 40% dans tout le haut du bassin versant	Pentes propices au déclenchement de laves
<b>Apports potentiels aux voisinage du lit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stock en matériaux directement mobilisable dans le lit du ruisseau des Follys (et affluents) constitué de formations meubles cohérentes.</li> <li>- Aucun stock en matériaux sur la branche du ruisseau de La Joux (substratum affleurant)</li> </ul>	Présence d'un stock sédimentaire suffisant pour la formation de lave sur une des branches – activité avalancheuse assurant une recharge régulière des chenaux
<b>Géométrie du BV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bassin de réception de forme conique dans des pentes très raides</li> <li>- Réseau hydrographique constituées de plusieurs branches qui se rejoignent en un point de concentration pour former le chenal principal</li> <li>- BV du ruisseau de la Joux très peu perméable, favorable au ruissellement</li> </ul>	Géométrie favorable à la concentration rapide des écoulements
<b>Occupation des sols</b>	Absence de végétation dans le haut du bassin versant – pas d'installation de végétation possible	Absence de couvert végétal favorable au ruissellement et à l'érosion
<b>Traces de coulées antérieures</b>	Pas d'indice visible sur le terrain	Pas de traces de coulées antérieures (mais pas de crue récente..)
<b>Stabilité du lit</b>	Substratum rocheux affleurant à de nombreux endroits (ou présent à faible profondeur)	Lit stable
<b>Possibilité de régulation</b>	Profil en long régulier et largeur du chenal régulière	Aucun bief ne permet d'assurer une régulation des apports
<b>Critères morphométriques Marchie et Brochot (2000)</b>	Classification selon la pente caractéristique du transport solide et la dénivelée spécifique (cf. figure ci-dessous)	Torrent mixte selon classification Marchie et Brochot





**Figure 50: détermination des modes de transport solide à partir de la classification établie par Marchi et Brochot (2000)**

Selon ces différents critères, nous considérons que l'on ne peut pas exclure l'hypothèse de transport solide sous forme de lave torrentielle dans le bassin versant du Nant Sec même si la probabilité d'occurrence reste faible.

**Le transport solide dans la Nant Sec a principalement lieu sous forme de charriage. Les crues sous forme de laves torrentielles restent possibles, mais correspondent à des phénomènes beaucoup plus rares liées à une mobilisation massive des matériaux issus de la branche des Follys.**

### 5.2.2. Production sédimentaire du bassin versant

Cette estimation est réalisée en utilisant la méthode ECSTREM. Cette méthode repose sur l'analyse statistique de données de production sédimentaires mesurées au droit de plages de dépôts équipant des torrents des Alpes françaises. Les formules sont basées sur la détermination de paramètres morphométriques et topographiques, ainsi que sur la délimitation de zones en érosion active connectées au réseau hydrographique.

Les résultats détaillés de cette méthode se trouvent en annexe 4. Une synthèse est présentée dans le tableau suivant.

Volume décennal	Volume centennal	Volume maximum
3 000 m <sup>3</sup> – 7 000m <sup>3</sup>	8 000 m <sup>3</sup> – 20 000m <sup>3</sup>	45 000 m <sup>3</sup>

**Figure 51: synthèse des estimations de production sédimentaires par la méthode ECSTREM**



## 5.2.3. Estimation des apports par laves torrentielles

### 5.2.3.1 Formules globales sommaires

L'approche mise en œuvre consiste à comparer les résultats issues de méthodes globales sommaires (pas assez de données de crues pour une analyse statistique sur des événements historiques). Ces formules se basent sur des caractéristiques globales du bassin versant telles que sa surface, sa pente moyenne, et parfois des indices relatifs à sa lithologie. Ces formules associent rarement un période de retour aux estimations (concept qui est d'ailleurs discutable dans les cas de laves torrentielles).

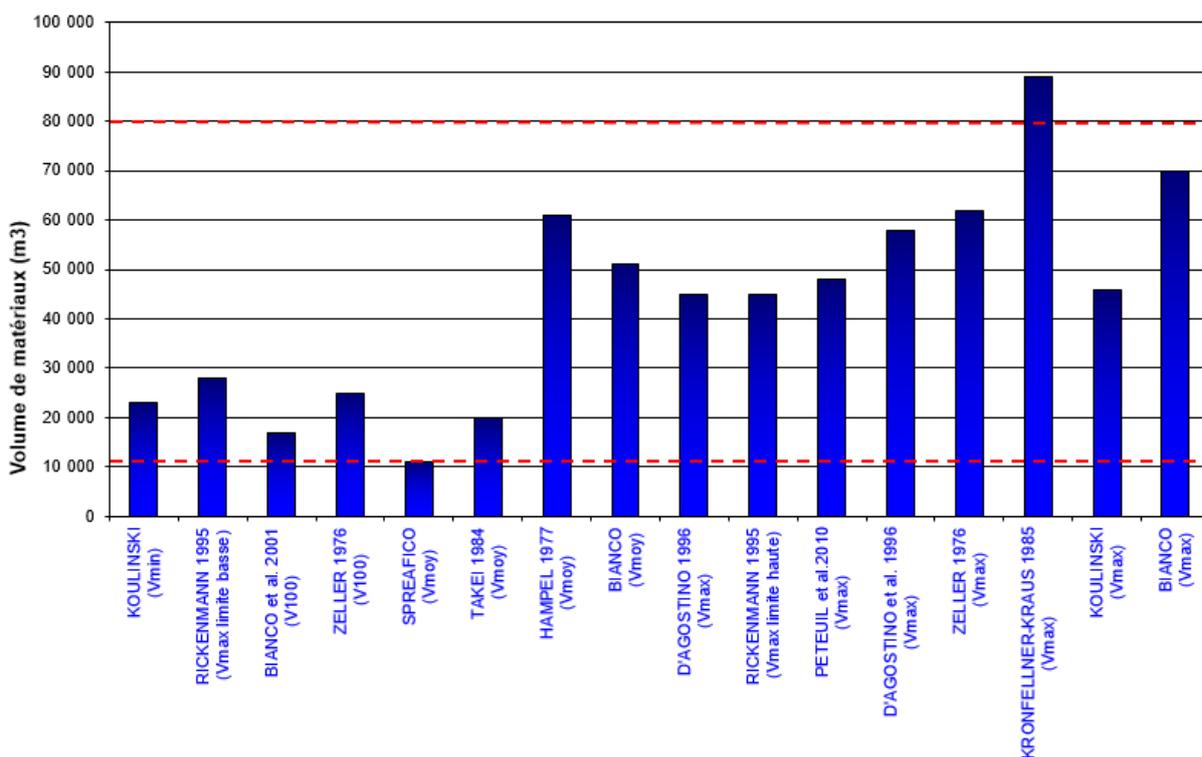


Figure 52: estimation des volumes de laves torrentielles par l'application de formules globales sommaires

Ces formules fournissent généralement une grande disparité de résultats, c'est pourquoi nous en retiendrons uniquement les ordres de grandeur suivants :

Volume de lave torrentielle rare (T proche de 100 ans)	$10\,000\text{ m}^3 < V < 30\,000\text{ m}^3$
Volume de lave exceptionnelle ( $T \gg 100$ ans)	$50\,000\text{ m}^3 < V < 70\,000\text{ m}^3$

Figure 53: gammes de volume retenus pour l'estimation des volumes de laves torrentielles à partir des formules globales sommaires

### 5.2.3.2 Approches sur les volumes mobilisables

En complément des formules globales, nous avons mis en œuvre une approche géomorphologique qui consiste à évaluer des taux d'érosion en fonction de l'examen géomorphologique du bassin versant. Les valeurs d'érosion utilisées sont issues de travaux de recherches (Hungar, 1984). Il convient de garder à l'esprit le caractère très subjectif de cette approche, et d'une difficulté réelle à estimer les taux d'érosion.

branche affectée	phénomène d'érosion	emprise du phénomène	taux unitaire d'érosion			volume potentiellement mobilisable		
			8 m3/ml	11 m3/ml	15 m3/ml			
ruisseau des Follys	érosion torrentielle	1 450 ml	8 m3/ml	11 m3/ml	15 m3/ml	11 600 m3	15 950 m3	21 750 m3
ruisseau des Pralets	érosion torrentielle	270 ml	8 m3/ml	11 m3/ml	15 m3/ml	2 160 m3	2 970 m3	4 050 m3
ruisseau de Levy	érosion torrentielle	200 ml	8 m3/ml	11 m3/ml	15 m3/ml	1 600 m3	2 200 m3	3 000 m3
ruisseau de la Joux	érosion torrentielle	630 ml	0 m3/ml	2 m3/ml	5 m3/ml	0 m3	1 260 m3	3 150 m3
nant Sec (RD 1100-1150m)	glissement/ravinement	15 000 m <sup>2</sup>	0,1 m	0,2 m	0,3 m	1 500 m3	3 000 m3	4 500 m3
nant sec (RG 1050m-1250m)	glissement/ravinement	51 000 m <sup>2</sup>	0,1 m	0,2 m	0,3 m	5 100 m3	10 200 m3	15 300 m3
<b>TOTAL</b>						<b>21 960 m3</b>	<b>35 580 m3</b>	<b>51 750 m3</b>

Cette seconde approche à l'intérêt de confirmer les ordres de grandeurs estimés au paragraphe précédent avec des volumes mobilisables de l'ordre de 20 000 m<sup>3</sup> (scénario rare) à 50 000 m<sup>3</sup> (scénario extrême).

### 5.2.3.3 Synthèse des estimation d'apports par laves torrentielles

Les deux approches nous conduisent à retenir les valeurs suivantes :

Lave torrentielle probable	Lave torrentielle rare	Lave torrentielle maximum
5 000 à 10 000 m <sup>3</sup>	10 000 à 20 000 m <sup>3</sup>	40 000 à 50 000 m <sup>3</sup>

### 5.2.4. Estimation des apports par charriage

Le but de ce paragraphe est d'estimer les volumes maximaux susceptibles de transiter par charriage à l'apex du cône de déjection. La méthode utilisée repose sur le concept que dans un lit alluvionnaire, la pente du lit est en équilibre avec les apports, et que la capacité de transport solide est principalement gouvernée par la pente.

Dans ce type d'approche, les deux paramètres principaux qui vont influencer les résultats sont la durée de crue considérée et la pente d'équilibre du lit, c'est pourquoi nous ferons varier ces deux paramètres dont l'estimation reste délicate.

#### ▪ Construction des hydrogrammes

A partir de l'analyse hydrologique, nous avons construit deux hydrogrammes de crue de période de retour centennale, en faisant varier la durée de crue entre 1 et 2h. La construction de l'hydrogramme a été réalisée à partir de la formule empirique proposée par Lavabre (1997)<sup>4</sup>.

<sup>4</sup>  $\alpha = 4$ ,  $t_m = (0.443 \cdot \alpha - 0.278) \cdot D$



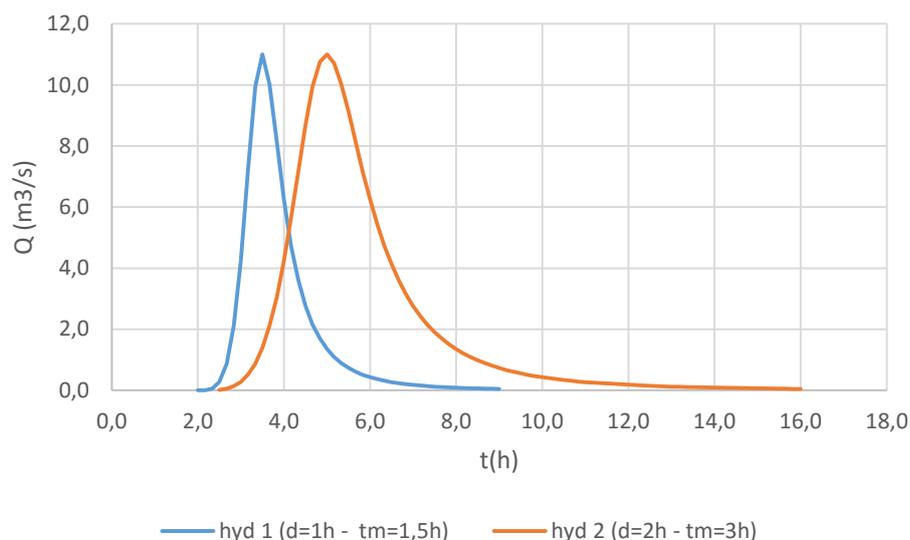


Figure 54: hydrogrammes de crues utilisés pour l'estimation des apports par charriage sur le cône

#### ▪ Calcul des capacités de charriage maximal

Les apports solides au droit du cône de déjection ont été estimés en appliquant la formule de Meunier. Cette formule issue d'expérimentations en laboratoires permet une estimation rapide des capacités maximales de transport solide en fonction de la pente du lit du torrent<sup>5</sup>.

L'estimation des volumes transportés sur le cône de déjection en utilisant une formule de capacité de transport nécessite de définir deux paramètres clés :

- L'hydrogramme de crue (et surtout sa durée), qui a une influence forte sur le volume de matériaux transporté durant la crue (volume solide directement lié au volume d'eau). Nous utiliserons les deux hydrogrammes définis ci-dessus. L'hydrogramme prolongé, qui correspond à une crue de longue durée conduit naturellement aux volumes les plus importants (scénario extrême).
- La pente représentative des apports solides à l'entrée du cône de déjection : nous avons retenu une pente variant entre 16% (pente lit amont pont feulatière) et 20% (pente des terrasses sur ce même tronçon).

Hydrogramme de crue (Q100)	Estimation des volumes charriés sur le cône
Hyd 1 (d=1h) – crue de durée calculée par la méthode SCS adaptée au BV rapides	$10\,400\text{ m}^3 < V < 16\,200\text{ m}^3$
Hyd 2 (d=2h) – crue prolongée (scénario extrême)	$20\,500\text{ m}^3 < V < 32\,000\text{ m}^3$

#### 5.2.5. Synthèse – crue de référence

Pour résumer ce chapitre, nous retiendrons que le Nant Sec possède un fonctionnement mixte (lave + charriage). Le charriage est le mode de transport solide prépondérant tandis que les laves torrentielles peuvent avoir lieu de façon plus exceptionnelle, en cas d'une mobilisation massive des matériaux stockés dans la branche du ruisseau des Follys.

<sup>5</sup>  $Q_s/Q_l = 8.2i^2$

Les scénarios de référence retenus sont synthétisés dans le tableau suivant:

Scénario de crue	probabilité	Mode de transport solide – gamme de volume
S1	rare – T=100 ans	Charriage – 10 000 < V < 15 000 m <sup>3</sup>
S2	exceptionnel – T≥100 ans	lave torrentielle - 10 000 < V < 30 000 m <sup>3</sup>
S3	Maximum probable – T>>100 ans	Lave torrentielle – 50 000 < V < 70 000 m <sup>3</sup>

Figure 55 : synthèse des scénarios de crue de référence

### 5.2.6. Gestion des matériaux

- Historique des interventions de curage sur le nant Sec

Le tableau suivant fait la synthèse des opérations de curage réalisées sur le Nant Sec selon les archives RTM (interventions commune et Etat). La liste des opérations n'est pas exhaustive mais permet de voir que des curages ont été réalisés de façon régulière dans le torrent, avec une intensité et une fréquence accrues à partir des années 80. Au total, **au moins 50 000 m<sup>3</sup> de matériaux ont été extraits sur le Nant Sec jusqu'en 1994**, aucune opération n'a eu lieu depuis. Pour mémoire, les estimations des apports par charriage d'une crue centennale sont de l'ordre de 10 000 à 15 000 m<sup>3</sup>. Ces extractions ont donc certainement puisé dans le stock sédimentaire du cône de déjection, contribuant très probablement au phénomène d'incision que l'on observe aujourd'hui.

On peut noter également une opération de minage de blocs qui a eu lieu en 1964 (volume de 40m<sup>3</sup>), à priori dans la partie supérieure du cône de déjection (repérage selon les photographies de l'époque). Bien que l'on ne dispose pas d'information justifiant cette opération, on peut supposer que l'objectif était de supprimer des gros blocs déposés par la crue de 1960.

Date	volume	Informations
1960		Curage du lit sur 220m
1963		Curage du lit 200m
1964		Minage de blocs dans le lit (40m <sup>3</sup> )
1977	1 400 m <sup>3</sup>	
1978	460 m <sup>3</sup>	
1979	4 100 m <sup>3</sup>	
1987	10 000 m <sup>3</sup>	Curage réalisé dans le chenal d'écoulement (1050m à 1200m) suite à la crue de 1985
1989	1 700 m <sup>3</sup>	Curage en amont du pont de la RD (MO Etat)



1992	5 000 m <sup>3</sup>	Extraction de matériaux excédentaires lors du reprofilage du lit en amont de la confluence (MO commune) – entreprise Chatel
1992	13 000 m <sup>3</sup>	Source : (RTM, Les torrents de Sixt - gestion des transports solides - curages, 1996)
1993	7 660 m <sup>3</sup>	Création d'une digue en rive gauche avec des matériaux prélevés sur site (entreprise Marjollet).
1994	5 000 m <sup>3</sup>	Source : (RTM, Les torrents de Sixt - gestion des transports solides - curages, 1996)
2008	24 400 m <sup>3</sup>	Extraction de matériaux sur le Giffre des fonds au « Plan du Pnot » (amont confluence Nant Sec)

**Figure 56: Synthèse des opérations de curages réalisées sur le Nant Sec entre 1960 et 2015**

En 1996, le RTM réalise un plan de gestion du transport solide des torrents de Sixt. Ce document précise sur le Nant Sec que le risque de débordement sur Salavagny est très faible à condition d'entretenir les ouvrages présents sur le cône. Le curage du lit fait partie de cet entretien pour éviter l'engorgement sous les ponts. Des côtes de curage sont définies en amont du pont de la RD (altitude 812-818m). Ces interventions n'ont selon nos sources jamais eu lieu.

La nécessité de curer la « plage de dépôt »<sup>6</sup> pour éviter les risques de débordements sur le cône est affirmée également sur la fiche de l'enquête Charry de 1998.

- **Gestion actuelle des matériaux**

La commune de Sixt a réalisé un plan de gestion des torrents à l'échelle du territoire communal qui a fait l'objet d'un arrêté d'autorisation préfectorale en 2012. Des objectifs de gestion ont été définis sur le Nant Sec (les actions à prévoir n'ont pas été inscrites dans la DIG, la maîtrise d'ouvrage relevant de l'Etat).

Le seul point de prélèvement qui reste aujourd'hui autorisé sur le Giffre est la gravière Bachetti en amont des gorges des Tines (autorisation 2008 : 16 000 m<sup>3</sup>/an).

<sup>6</sup> Dénomination du tronçon situé à l'amont immédiat du pont de la RD

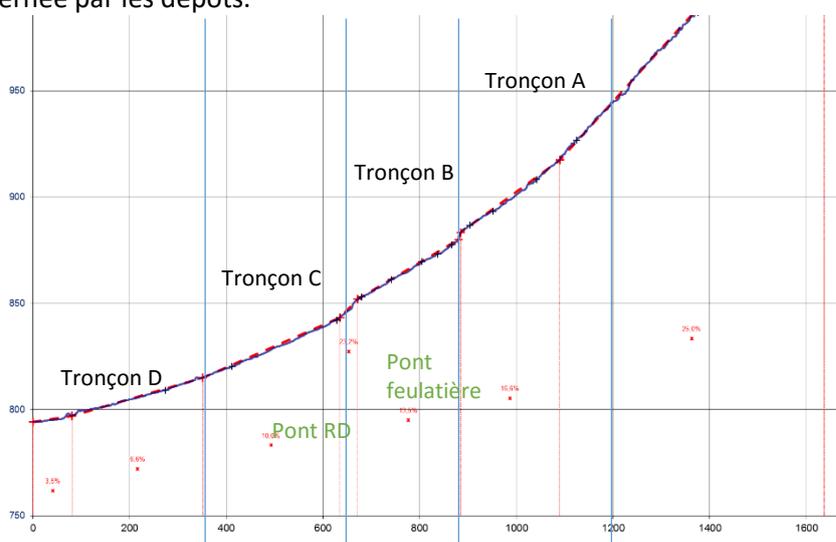


## 6. ANALYSE DES ALEAS TORRENTIELS



### 6.1. Aléas liés à des crues avec apport de type charriage

Le bilan des dépôts pour une crue avec charriage a été réalisé en évaluant les capacités de transport solide par tronçon de pente homogène. Le volume déposé sur le tronçon est déduit en faisant la différence entre le volume entrant et transitant dans le tronçon. Le tableau suivant synthétise les résultats pour deux scénarios de crue (en faisant varier leur durée). Une évaluation de l'engravement correspondant est calculée de façon assez grossière, en faisant un simple rapport entre le volume et la surface concernée par les dépôts.



- *Scénario de crue avec hydrogramme standard (hyd 1)*

	tronçon A	tronçon B	tronçon C	tronçon D
pente du lit	16%	13,50%	10%	6,60%
Vmax entrant	16 200 m <sup>3</sup>	11 200 m <sup>3</sup>	7 950 m <sup>3</sup>	4 400 m <sup>3</sup>
Vmax transitant	11 200 m <sup>3</sup>	7 950 m <sup>3</sup>	4 400 m <sup>3</sup>	1 600 m <sup>3</sup>
Bilan sur le tronçon	<b>5 000 m<sup>3</sup></b>	<b>3 250 m<sup>3</sup></b>	<b>3 550 m<sup>3</sup></b>	<b>2 800 m<sup>3</sup></b>
surface concernée	6 200 m <sup>2</sup>	4 650 m <sup>2</sup>	4 950 m <sup>2</sup>	7 000 m <sup>2</sup>
évolution du lit	0,8 m	0,7 m	0,7 m	0,4 m

- *Scénario de crue avec hydrogramme prolongé (hyd 2)*

	tronçon A	tronçon B	tronçon C	tronçon D
pente tronçon	16%	13,50%	10%	6,60%
Vmax entrant	32 000 m <sup>3</sup>	20 600 m <sup>3</sup>	14 700 m <sup>3</sup>	8 000 m <sup>3</sup>
Vmax transitant	20 600 m <sup>3</sup>	14 700 m <sup>3</sup>	8 000 m <sup>3</sup>	3 500 m <sup>3</sup>
Bilan sur le tronçon	<b>11 400 m<sup>3</sup></b>	<b>5 900 m<sup>3</sup></b>	<b>6 700 m<sup>3</sup></b>	<b>4 500 m<sup>3</sup></b>
surface concernée	6 200 m <sup>2</sup>	4 650 m <sup>2</sup>	4 950 m <sup>2</sup>	7 000 m <sup>2</sup>
évolution du lit	1,8 m	1,3 m	1,4 m	0,6 m

Figure 57: Bilan des dépôts sur le cône avec des apports par charriage d'une crue centennale

Cette approche montre que le tronçon en amont du pont de la Feulatière est susceptible de connaître des dépôts importants (rupture de pente marquée sur le profil, environ 500m en amont du pont). Les estimations des hauteurs d'engravement correspondant indiquent que dans le cas d'une crue « courte », les dépôts restent partout inférieurs à 1m, pour une crue plus longue, ceux-ci pourraient atteindre des valeurs plus élevées, toutefois, l'encassement actuel du lit sur tout le cône de déjection limite fortement les risques de débordements, même pour de telles respirations du lit.

Cette approche ne tient toutefois pas compte des effets des contractions du lit sur le transit des matériaux. Le pont de la RD génère des pertes de charges importantes qui conduiront très probablement à un dépôt généralisé en amont du pont et à des débordements pour un scénario de crue centennale.

## **6.2. Aléas liée à des crues sous forme de lave torrentielle**

### **6.2.1. Modèle Flo 2D**

Des modélisations de laves torrentielles ont été réalisées avec le logiciel flo 2D.

Les lois rhéologiques utilisées dans ce modèle permettent de s'adapter à une grande variété d'écoulements (des écoulements liquides newtoniens à des écoulements boueux de type fluide à seuil). La loi de comportement est proche du modèle de Bingham, avec une composante liée au cisaillement (contrainte seuil  $\tau_c$ ) une composante de viscosité (viscosité de Bingham  $\eta$ ) et une composante turbulente.

Les données d'entrée du modèle sont un hydrogramme de crue (hydrogramme liquide), la concentration en sédiment ainsi que les paramètres rhéologiques de l'écoulement (contrainte seuil  $\tau_c$ , la viscosité dynamique  $\eta$ ...).

Ce type de modèle dynamique a l'intérêt de pouvoir reproduire la propagation d'un écoulement complexe sur une topographie fine (donnée LIDAR dans le cas de cette étude).

### **6.2.2. Choix des paramètres de modélisation**

La modélisation nécessite d'estimer un certain nombre de paramètres rhéologiques que l'on trouve dans la loi de comportement de Bingham. Nous avons utilisés des valeurs issues de travaux de recherches cités dans la notice d'utilisation du logiciel.

Compte tenu de l'absence de données historique permettant d'apprécier la rhéologie des laves sur ce bassin versant, la démarche suivie a consisté à multiplier les modélisations en faisant varier d'une part les paramètres rhéologiques du modèle (écoulements fluides et écoulements visqueux), ainsi que les volumes et débits de pointes (hydrogrammes de crue).

Le tableau suivant synthétise les scénarii de crues modélisés. Selon les estimations réalisées dans les paragraphes précédents, il faut considérer que la crue de volume 35 000 m<sup>3</sup> correspond à une crue rare (occurrence plus que centennale), et que la crue de volume 65 000 m<sup>3</sup> correspond à un scénario extrême (maximum probable).



	volume de la lave	FORMULES UTILISEES POUR ESTIMER LES DEBITS				DEBITS MODELISES	
		Mizuyama (1992)	Meunier (1991) valeur basse	Meunier (1991) valeur haute	hydrogramme triangulaire durée 15 min	Q(-)	Q(+)
SCENARIO CRUE RARE	35 000 m3	73 m3/s	33 m3/s	110 m3/s	66 m3/s	55 m3/s	90 m3/s
SCENARIO CRUE EXTREME	65 000 m3	119 m3/s	33 m3/s	110 m3/s	144 m3/s	105 m3/s	135 m3/s

### 6.2.3. Modélisation de 2 scénarii de laves torrentielles sur la topographie actuelle

Nous avons fait le choix de ne représenter dans le rapport que les résultats obtenus avec les couples de paramètres qui sont apparus comme étant les plus défavorables vis-à-vis des conditions d'écoulement. Cela correspond à des écoulements à tendance plutôt visqueuse (rhéologie Glenwood 4 (O'Brien, 1988))

Nous retiendrons que :

- **Pour le scénario de crue rare (crue de référence)** : des débordements ont lieu principalement au niveau du pont de la RD, par-dessus les ouvrages EN001 et EN002 (entonnement mur béton à l'amont du pont). Les enjeux concernés en rive droite sont un bâtiment agricole ainsi que deux mazots, et la RD. On note que la digue paravalanche joue un rôle d'endiguement vis-à-vis du débordement qui a lieu à l'extérieur du coude, au niveau où la revanche de la berge en rive droite est faible.
- **Pour le scénario de crue extrême** : Dans ce cas de figure, quelque soit le débit de pointe, le débordement au niveau du pont aval est généralisé. L'enveloppe de l'écoulement modélisé sur la partie basse recouvre précisément des secteurs boisés dans lesquels on voit des traces de dépôts anciens sur l'image LIDAR. La digue paravalanche joue dans ce cas de figure un rôle important contre le débordement, avec des hauteurs d'écoulements atteignant 1m devant l'ouvrage.



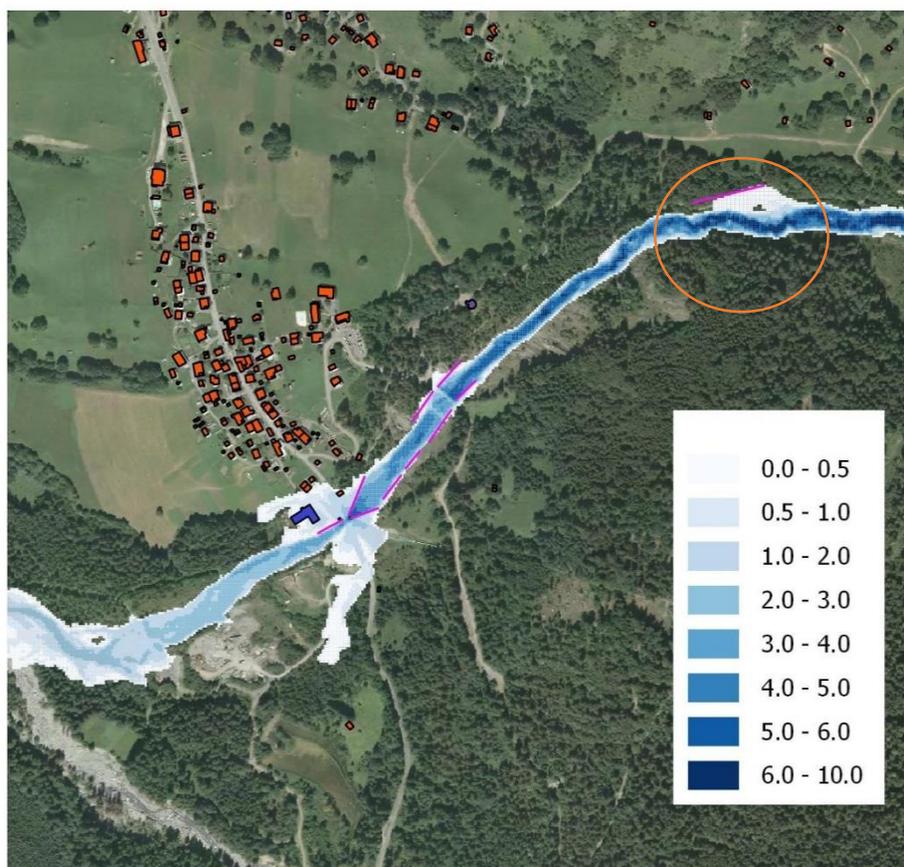


Figure 58: modélisation d'une lave (visqueuse) de volume 35 000 m<sup>3</sup> – hauteurs maximales d'écoulement

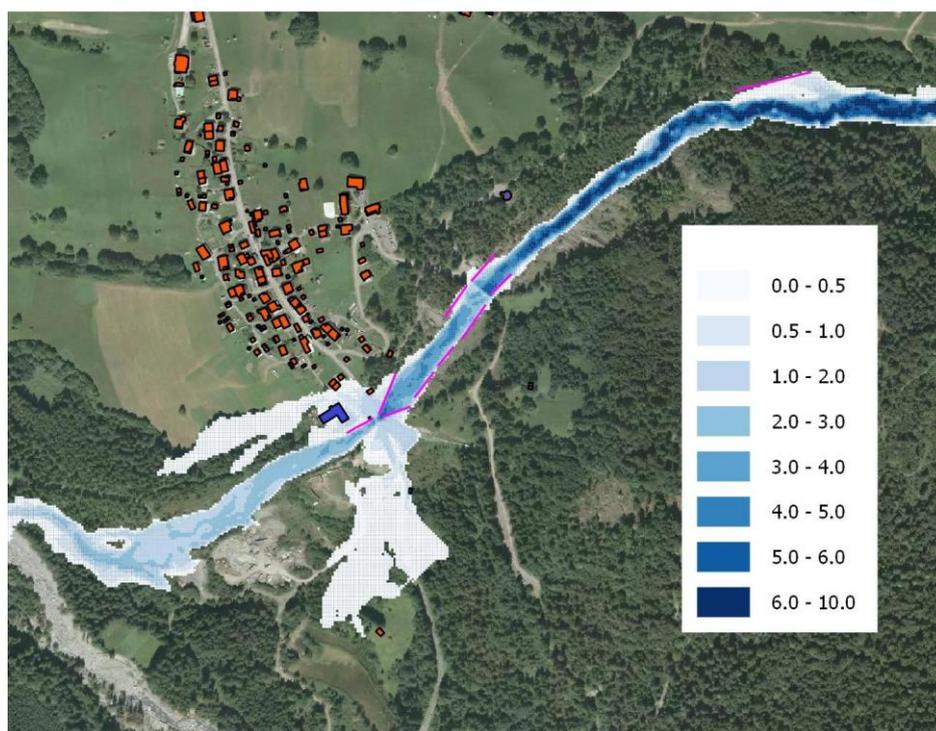
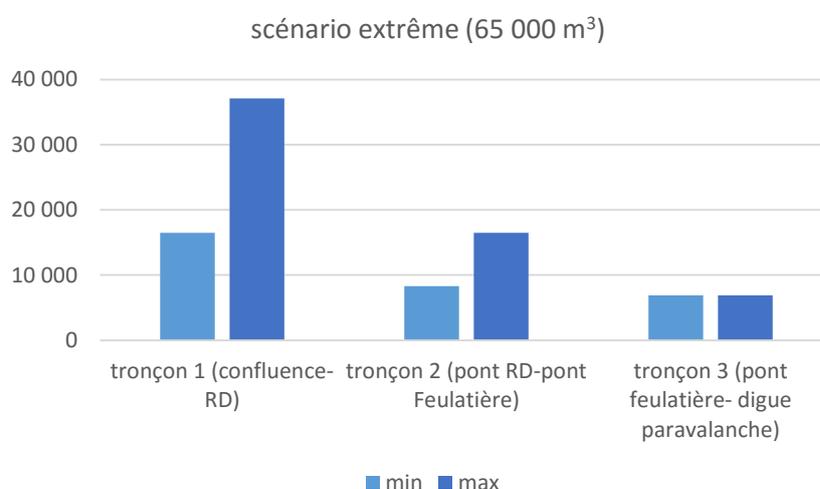
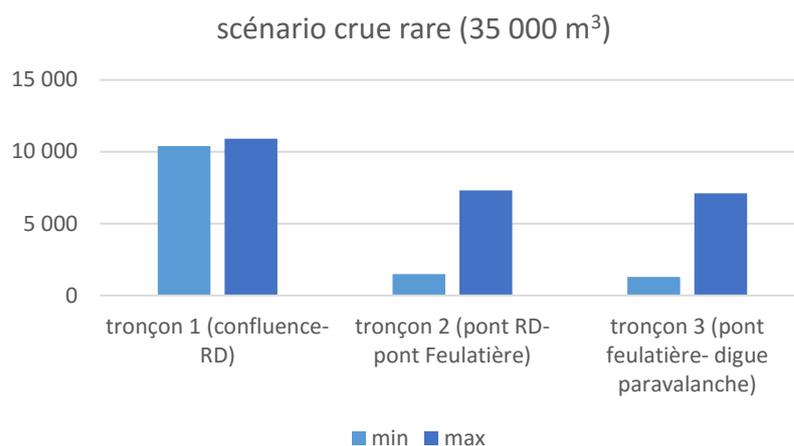


Figure 59: modélisation d'une lave (visqueuse) de volume 65 000m<sup>3</sup> - hauteurs maximales de l'écoulement

Les graphiques suivants représentent la répartition des dépôts en fin de crue pour ces deux scénarios.





Les dépôts ont lieu pour l'essentiel en aval du pont de la Feulatière. Le tronçon situé entre les deux ponts peut connaître des évolutions importantes du niveau du lit, avec des volumes de dépôts pouvant atteindre jusqu'à 15 000m<sup>3</sup>. La zone de confluence est sans surprise la zone où le dépôt est systématique et est le plus important.

### 6.3. Synthèse de l'aléa torrentiel sur le cône

- **Phénomène de charriage** : l'encaissement actuel du lit limite fortement les débordements sur le cône. Pour un scénario de crue centennale (scénario s1 défini sur la fig.55), il faut toutefois s'attendre à des débordements au niveau du pont de la RD (contraction marquée et tendance naturelle au dépôt).
- **Phénomène de lave torrentielle** : Les débordements ont lieu au niveau des deux ouvrages de franchissement, avec toutefois un débordement beaucoup moins marqué au niveau du pont de Feulatière. Les ouvrages d'endiguements qui sont aujourd'hui relativement haut perchés au-dessus du lit, ne sont pas dépassés (analyse seulement en terme de surverse). La digue paravalanche permet de recentrer les écoulements qui ont toujours tendance à déborder à l'apex du cône de déjection.



# 7. ANALYSE DE L’ALEA AVALANCHE



## 7.1. Scénario de référence

De 1908 à 2010, l’EPA recense 93 événements dont 57 ont une altitude d’arrêt inférieure à 900 mètres. Il semble donc que l’emprise de la CLPA soit très régulièrement atteinte. Cependant depuis la création de la tourne en 1973, l’avalanche reste cantonnée dans le torrent (les débordements en rive droite ne sont plus observés). L’enfoncement du lit constaté depuis les années 1980 favorise très clairement le maintien de l’avalanche dans celui ci .

La fréquence des avalanches notées à l’EPA est de 0,27 depuis 1973 (10 avalanches sur 37 ans) contre 1,27 sur la période précédente (83 avalanches sur 65 ans de 1908 à 1973). La fréquence d’occurrence de plus de une observation est de 0.196. Le scénario de l’avalanche pluri annuel apparaît justifier.

A noter que globalement les fréquences exprimées au travers de l’EPA sont plutôt des fourchettes basses, car il existe des lacunes d’observation (guerre 14-18, vacance de poste etc..).

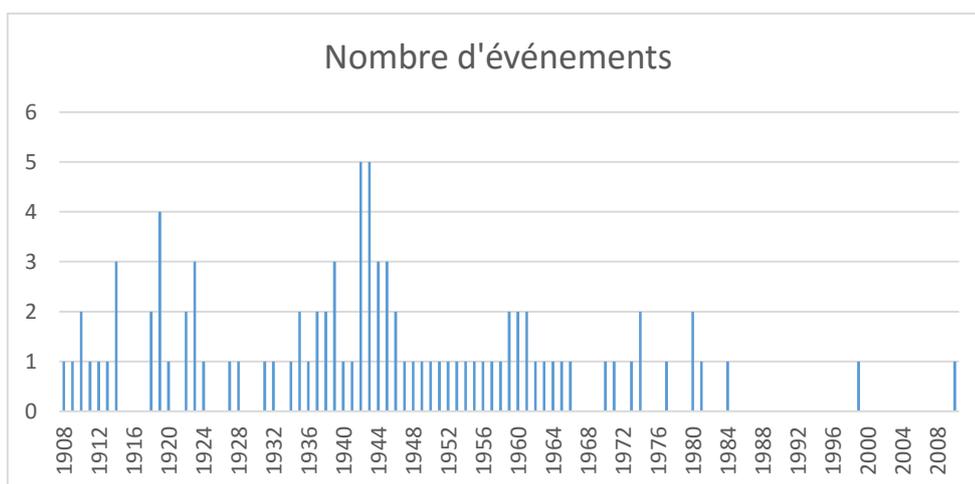
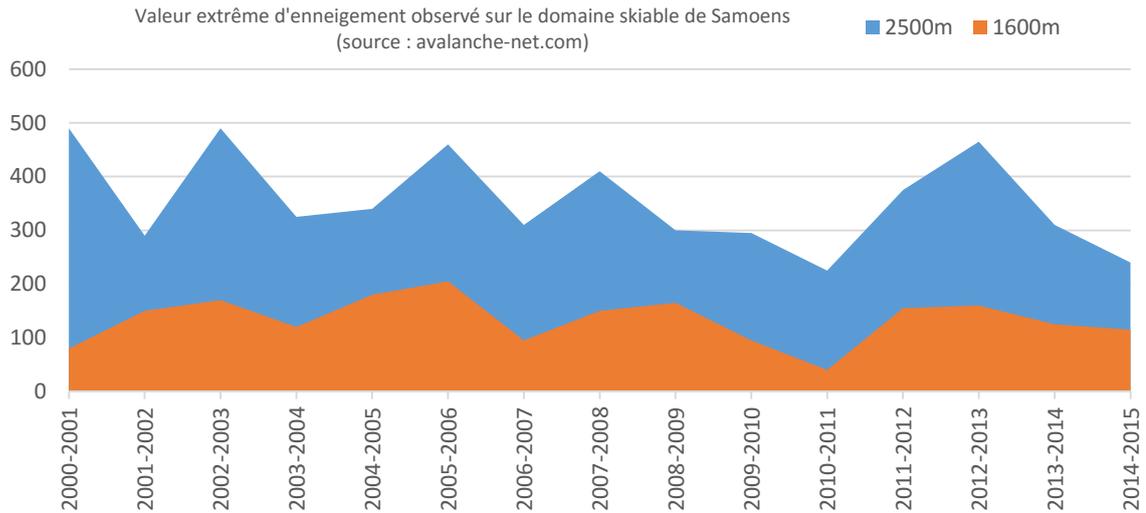


Figure 60 : nombre d’avalanche par année de 1908 à 2010

L’enneigement enregistré sur la station de SAMOENS depuis 2000 donne des informations sur les valeurs maximum à 2500 et 1600 m.

	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
2500 m	490	290	490	325	340	460	310	410	300	295	225	375	465	310	240
1600 m	80	150	170	120	180	205	95	150	165	95	40	155	160	125	115

Tableau 2 : valeurs extrêmes d’enneigement (mm) mesurées sur la station de Samoens à 2500 et 1600 m (source : avalanche-net.com)



**Figure 61 : valeur extrême d'enneigement observé sur le domaine skiable de Samoens**  
(source : avalanche-net.com)

Compte tenu de l'orientation des dalles d'où partent les avalanches et de l'inclinaison de celles-ci, il n'apparaît pas probable de voir apparaître des accumulations de neige de l'ordre de 4 mètres. Cependant le décrochement d'un panneau a une forte probabilité d'entraîner la purge de toute la surface des dalles d'où des avalanches d'un volume pouvant être conséquent.

Les scénarii retenus pour l'avalanche sont :

- Scénario rare (période de retour de l'ordre de 50-100 ans) : avalanche d'un volume de 100 000 m<sup>3</sup>
- Scénario exceptionnel : avalanche rare suivie d'une avalanche de 70 000 m<sup>3</sup>

## 7.2. Modélisation de propagation des Scénarii de référence

### 7.2.1. Modèles de calcul

Le logiciel RAMMS du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF a été utilisé.

Les paramètres  $\mu$  et  $\xi$  ont été calés en tenant compte des observations de l'EPA et d'une côte d'atteinte des avalanches courantes de 900 mètres, en conservant les couples de paramètres préconisés par le WSL, SLF. Ceux-ci dépendent de l'altitude et de la morphologie des terrains.

Les couples de paramètres retenus qui permettent de reproduire d'une manière satisfaisante l'emprise des avalanches sont ceux d'une avalanche de période de retour 300 ans et d'une catégorie de volume moyenne.

### 7.2.2. Propagation de l'avalanche de scénario rare

Cette avalanche entraîne un comblement du chenal d'écoulement et déborde en rive droite. Elle atteint la côte 910 m dans le chenal dépassant l'emprise de la CLPA. En l'absence de digue elle s'écoule en rive droite dans la combe de l'Essert mais n'atteint pas les premiers enjeux.

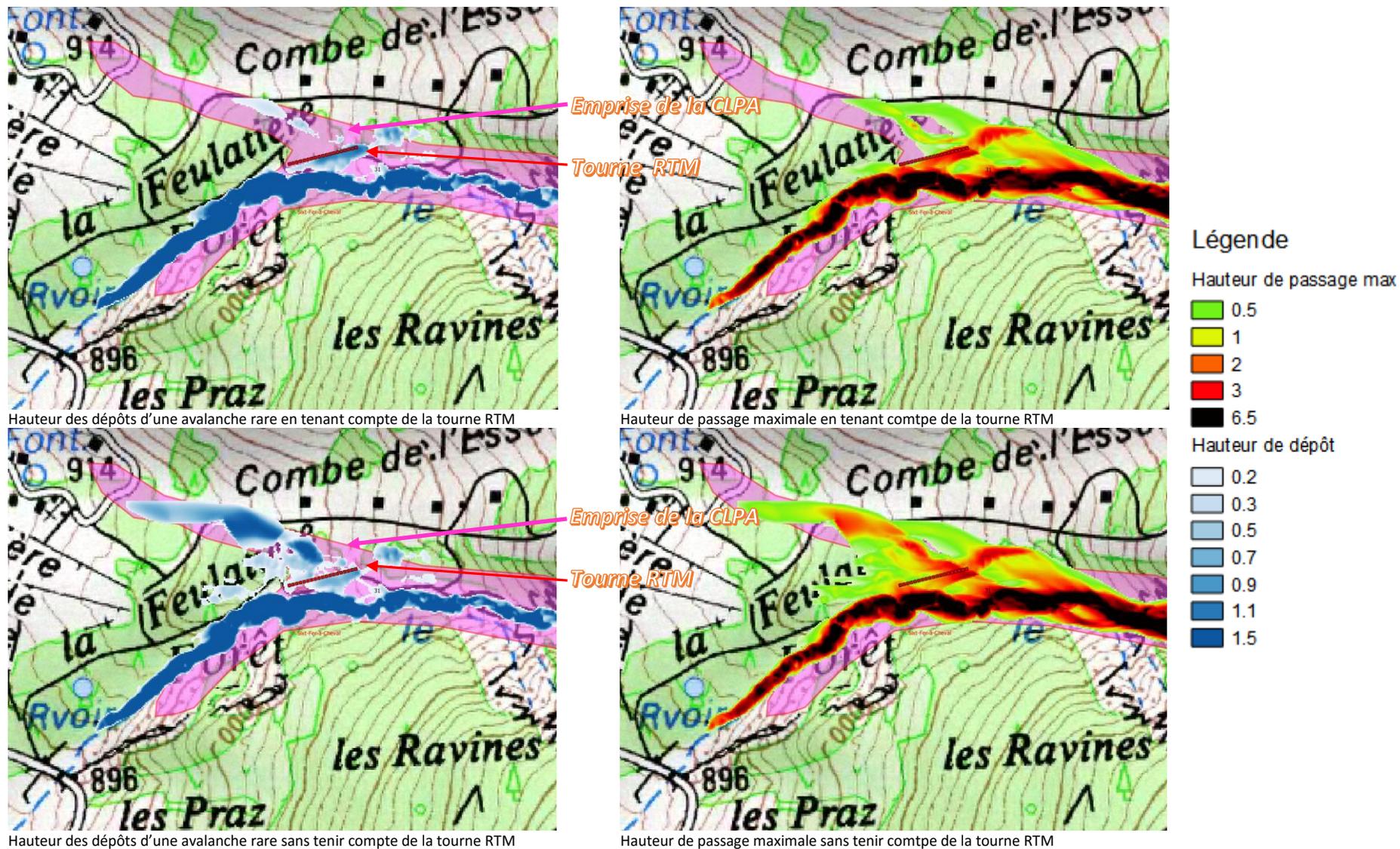


Figure 62 : emprise des dépôts de l'avalanche de scénario rare et hauteur de passage maximum sans tenir et en tenant compte de la tourne RTM

### **7.2.3. Propagation de l'avalanche de scénario exceptionnel**

Ce scénario correspond à un comblement du chenal par une avalanche rare suivi par une avalanche courante.

Ce scénario correspond aussi à ce que peut devenir l'emprise des avalanches courantes en cas de comblement du chenal d'écoulement par des matériaux et donc aux observations faites avant la construction de la tourne et le creusement du chenal. Les résultats sont alors assez proches de l'emprise de la CLPA confirmant la bonne qualité des choix de paramétrage.

Le comblement du chenal entraîne des débordements en rive droite au niveau de la tourne paravalanche mais aussi à l'aval de celle-ci. La tourne permet de limiter les débordements vers la combe de l'Essert, mais du coup les débordements à l'aval en rive sont un peu plus importants.

Ce scénario illustre bien le lien avec l'activité torrentielle, aujourd'hui l'encaissement important du lit est un facteur favorable au cantonnement de l'avalanche.

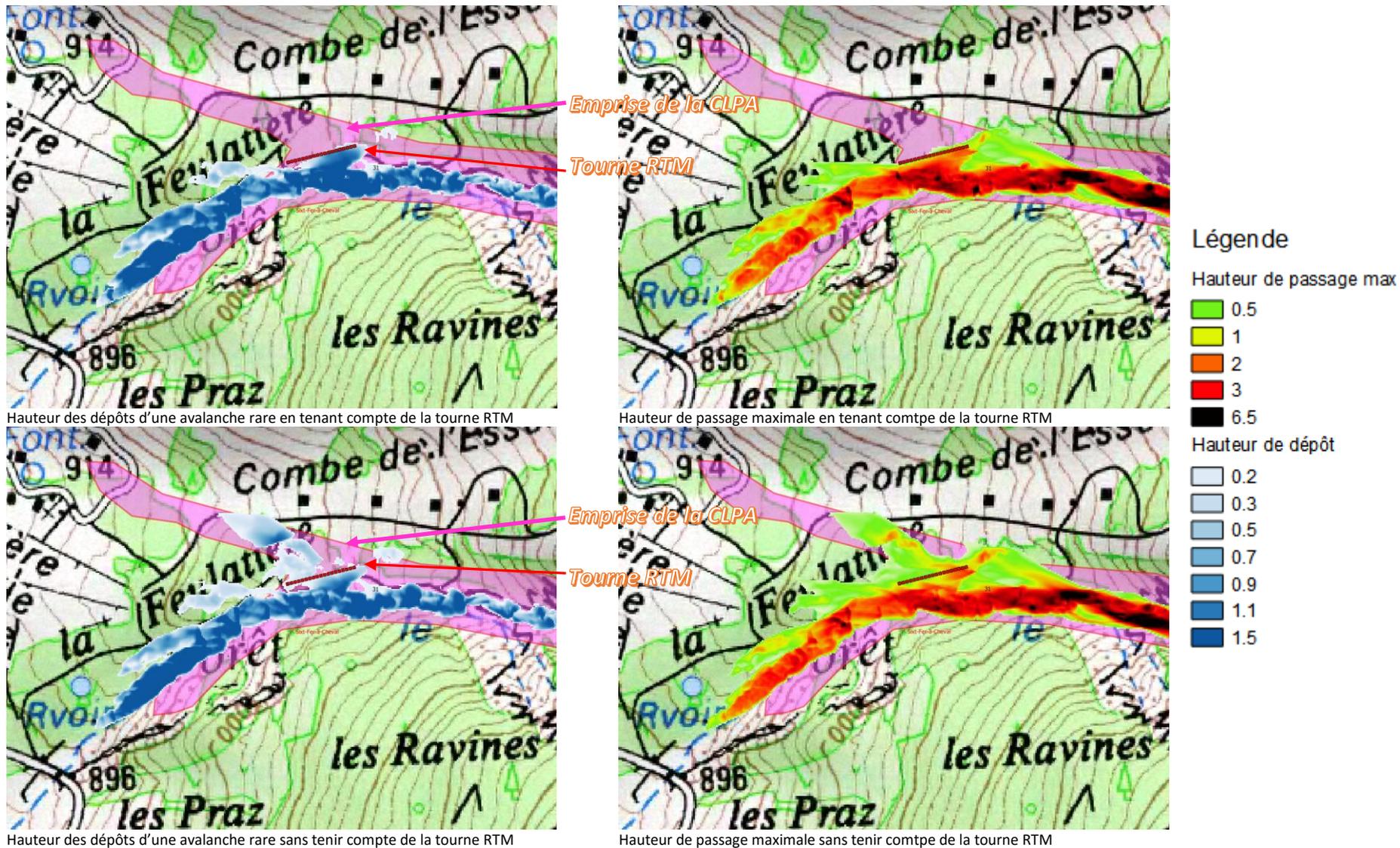
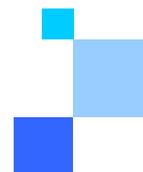


Figure 63 : emprise des dépôts de l'avalanche de scénario exceptionnel et hauteur de passage maximum sans tenir et en tenant compte de la tourne RTM

## 8. EXAMEN DES DISPOSITIFS EXISTANTS – IMPACT DES AMENAGEMENTS – PERSPECTIVES



### 8.1. Analyse de la performance des dispositifs de protection et analyse des risques sur le cône de déjection

#### 8.1.1. Méthodologie

L'analyse de la performance du dispositif est évaluée à dire d'expert en se basant à la fois sur les renseignements des visites d'ouvrages (vision terrain) et d'une analyse fonctionnelle décrite ci-dessous.

L'analyse fonctionnelle consiste à distinguer :

- la ou les fonction(s) principale(s) i.e. ce pour quoi l'ouvrage a été réalisé ;
- les fonctions techniques : elles traduisent la réaction de l'ouvrage étudié face aux contraintes générées par les milieux extérieurs.

Le risque de défaillance pour chaque fonction est évalué en utilisant une grille d'analyse jointe en annexe 7.

Le niveau d'atteinte d'objectif est évaluée entre 1 et 3 pour chaque fonction (3 étant le niveau maximal)

#### 8.1.2. Performance du dispositif d'endiguement

Selon la BDRTM, l'état fonctionnel est évalué comme « optimal » pour 3 ouvrages et « correct » pour 4 ouvrages.

L'analyse fonctionnelle, synthétisée dans le tableau suivant est réalisé en considérant la configuration actuelle du lit, avec un niveau de sollicitation des ouvrages qui reste donc limité.

fonction principale	atteinte objectif (note de 1 à 3)
contenir les matériaux dans le lit	3
protéger la berge	3
recentrer les écoulements	3

fonctions techniques	niveau de contrainte	niveau de résistance	risque de défaillance
résister aux impacts	faible	moyen	faible
résister aux déformations	fort	moyen	fort
résister à l'affouillement	fort	moyen	fort
résister à la surverse	faible	moyen	faible
résister au contournement	faible	moyen	faible



Cette analyse conduit à juger que le dispositif à un **niveau de performance satisfaisant**, en rappelant toutefois que **certaines fonctions techniques des ouvrages ne sont pas totalement assurées**, notamment vis-à-vis des risques d'affouillement et de déformation.

### 8.1.3. Performance du dispositif « correction torrentielle »

Le dispositif de correction, constitué du barrage BA001 remplit son rôle de stabilisation du lit à l'aval du pont de Feulatière. On constate un affouillement de la pile en rive droite du pont, qui ne remet toutefois pas en cause l'efficacité du seuil dans son rôle de stabilisation du profil. L'altitude de la cuvette du seuil permet de maintenir une pente suffisante sous l'ouvrage.

Comme évoqué plus haut, l'ouvrage est en très bon état. Da part sa conception, cet ouvrage est peu vulnérable à l'affouillement (présence du radier aval) et au contournement (raccordement des ailes de la cuvettes aux protections de berge amont).

Selon les fiches de visites, l'état fonctionnel des ouvrages est estimée comme optimal pour l'ensemble des ouvrages du dispositif.

L'analyse fonctionnelle est synthétisée dans les deux tableaux suivants :

fonction principale	atteinte objectif (note de 1 à 3)
stabiliser le profil en long	3
limiter érosion de berge	3
recentrer les écoulements	2

fonctions techniques	niveau de contrainte	niveau de résistance	risque de défaillance
résister aux impacts	moyen	fort	faible
résister aux déformations	moyen	moyen	moyen
résister à l'affouillement	fort	fort	faible
résister au contournement	fort	fort	faible

Cette analyse conduit à considérer que le **niveau de performance du dispositif est élevé**.

#### 8.1.3.1 Performance du dispositif paravalanche

Le dispositif est constitué d'une tourne paravalanche jouant un rôle de déviation. Il s'agit d'un ouvrage en remblai dont le parement amont est raidi à l'aide de gabions. Le grillage des gabions est aujourd'hui corrodé le rendant plus vulnérable aux contraintes éventuelles d'un élément présent dans les écoulements. La rupture de plusieurs mailles pouvant entraîner le déversement des pierres disposées dans le grillage. Il n'est pas à craindre de rupture brusque par contre la détérioration du gabion peut entraîner une perte de hauteur.

Les études d'aléa mettent en évidence un sous dimensionnement sans conséquence pour les enjeux à l'aval.



fonction principale	atteinte objectif (note de 1 à 3)
Contenir les coulées de neige lourde	2
Contenir les coulées de neige légère	1
recentrer les écoulements dans le lit	1

fonctions techniques	niveau de contrainte	niveau de résistance	risque de défaillance
résister aux impacts	fort	fort	moyen
résister aux déformations	faible	moyen	faible
résister à l'affouillement	faible	moyen	faible
résister au contournement	faible	moyen	moyen

Cette analyse conduit à juger que le dispositif à un **niveau de performance satisfaisant**, en rappelant toutefois que **certaines fonctions techniques des ouvrages ne sont pas totalement assurées** en cas d'évolution importante du lit (comblement du chenal).

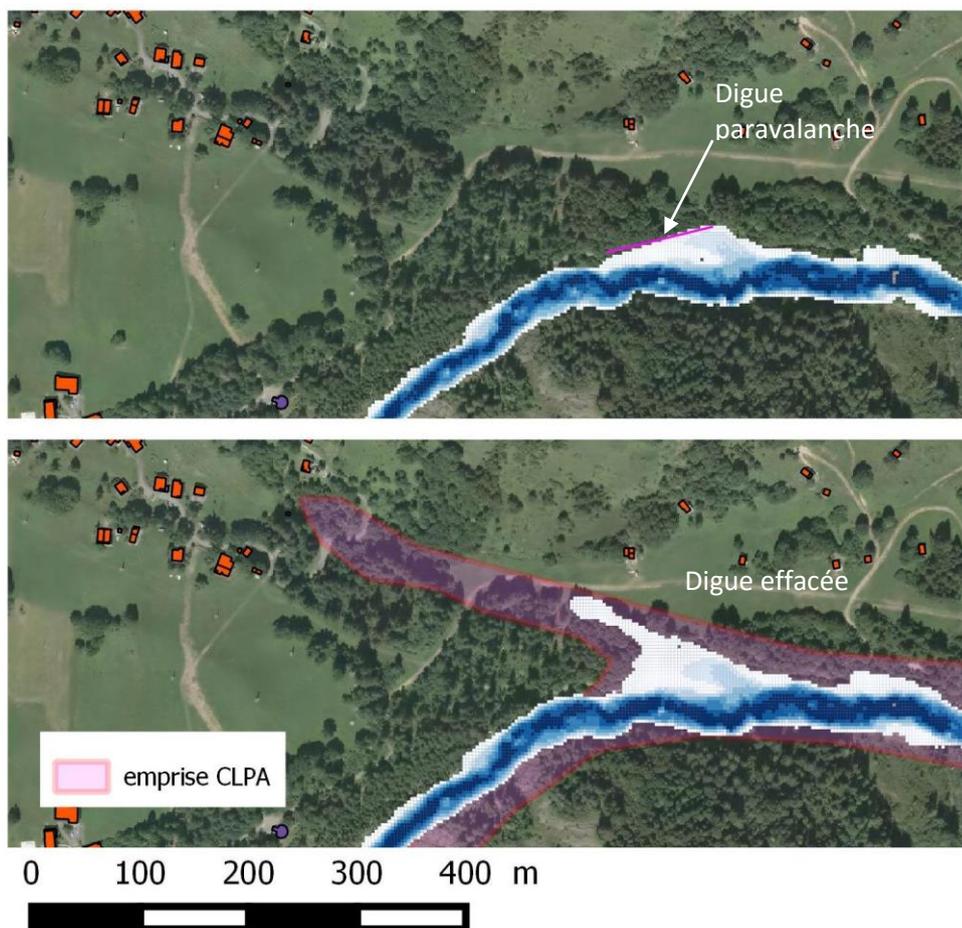
## 8.2. Dépassement de la crue de référence/ Défaillance du dispositif

### 8.2.1. Défaillance de la tourne paravalanche

Les modélisation menées plus haut (6.2.3 et 7.2) on mis en évidence que la tourne paravalanche était impactée en plus des avalanches par des laves torrentielles et qu'elle jouait un rôle de recentrage des écoulements, pas forcément optimum pour les avalanches avec des risques de débordement à l'aval en rive droite. La tourne se situant à un point sensible en terme de débordement, il convient d'évaluer les impacts en cas de défaillance de l'ouvrage.

Cette défaillance de l'ouvrage a été modélisée en considérant que l'ouvrage avait totalement disparu. Pour ce faire, le modèle numérique de terrain a été rectifié de façon à effacer l'ouvrage.





**Figure 64: modélisation d'un écoulement de lave de 60 000 m<sup>3</sup>  
- débordement observé à l'apex du cône avec et sans tourne paravalanche (échelle 1/7000)**

Pour un écoulement de lave, les débordements simulés en supprimant la tourne empruntent le même couloir que les avalanches (emprise CLPA), sans atteindre la piste en rive droite.

Pour un scénario de crue rare (volume 60 000m<sup>3</sup>), la défaillance de l'ouvrage conduit à un débordement modéré à l'apex du cône. Il faut rappeler par ailleurs que ce scénario de défaillance est relativement pessimiste, puisque l'on considère que l'ouvrage est entièrement détruit, ce qui apparaît peu probable à l'échelle d'une seule crue.

Pour un scénario d'avalanche rare ou exceptionnel (Figure 62 & Figure 63), les observations sont similaires, l'emprise de la CLPA est confirmée en grande partie. Les enjeux proches ne sont pas atteints.

## 8.2.2. Dépassement de la crue de référence

### 8.2.2.1 Lave torrentielle dépassant le volume de référence

Le scénario de lave de référence est une lave d'un volume de 35 000 m<sup>3</sup>. Le dépassement du volume de cette crue de référence a été modélisé au paragraphe 6.2.3. Pour une crue d'un volume de 65 000 m<sup>3</sup> (soit près du double de la crue de référence), les points de débordements restent les mêmes, avec toutefois un débordement plus généralisé au niveau du pont de la RD.

### 8.2.2.2 Scénario d'une accumulation de plusieurs laves torrentielles

Les différentes modélisations ont été réalisées sur le MNT actuel du cône de déjection. L'abaissement du chenal observé dans les dernières décennies explique fortement que l'écoulement reste confiné dans le lit et que les débordements ont essentiellement lieu au niveau des ouvrages de franchissement.

La propagation de l'écoulement pourrait être différente si l'on considérait le niveau du lit surélevé par des dépôts de crues successives. Afin d'illustrer ce cas de figure, des modélisations ont été menées en utilisant un lit engravé par une série de laves d'un volume de 35 000m<sup>3</sup> chacune (addition des dépôts de crues au modèle numérique de terrain initial). Les résultats de ces modélisations sont représentés dans la carte suivante.

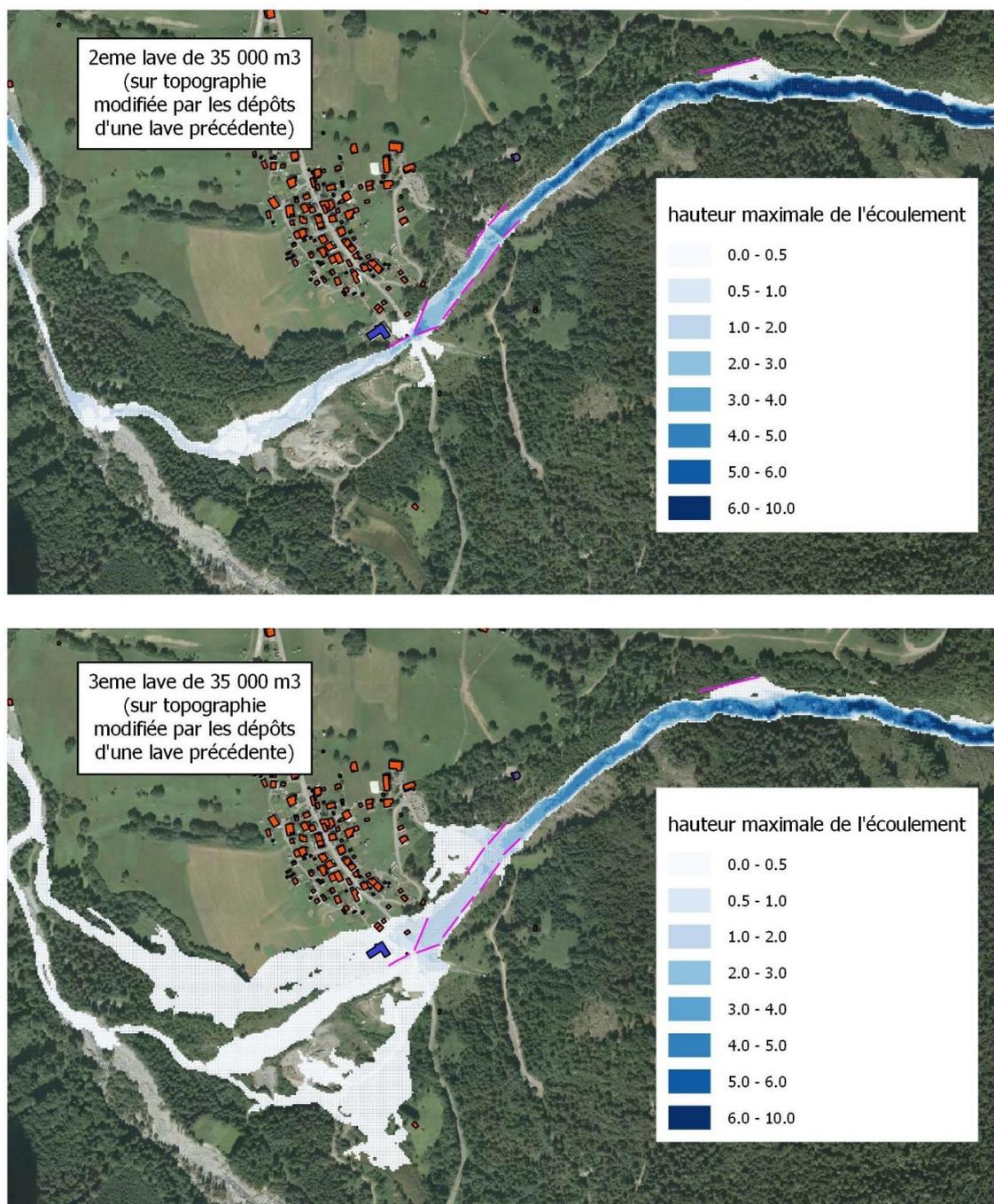


Figure 65: modélisation de laves de volume 35000 m<sup>3</sup> sur les dépôts de crues précédente (situation de lit engravé)



Il convient de préciser qu'un tel scénario correspondrait à la succession de 3 crues rares rapprochées dans le temps (sans possibilité de reprise des matériaux entre ces différentes crues, et sans dégagement des ouvrages de franchissement). Ce scénario a donc une probabilité d'occurrence très faible. Ces modélisations montrent que les points de débordements principaux restent les mêmes, à savoir la tourne paravalanche et les deux ponts, avec un dépassement des ouvrages d'endiguement.

L'importance des débordements au niveau des deux ouvrages de franchissement s'explique par le fait que les dépôts de crues antérieures ont eu lieu principalement en amont des ouvrages (cf. figure suivante).

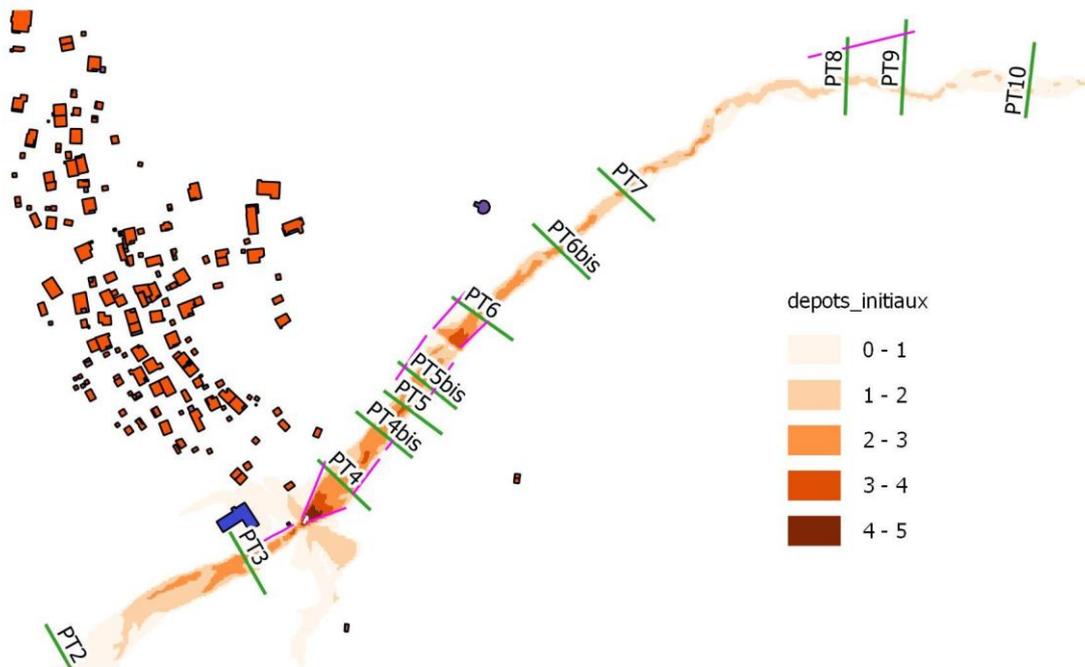


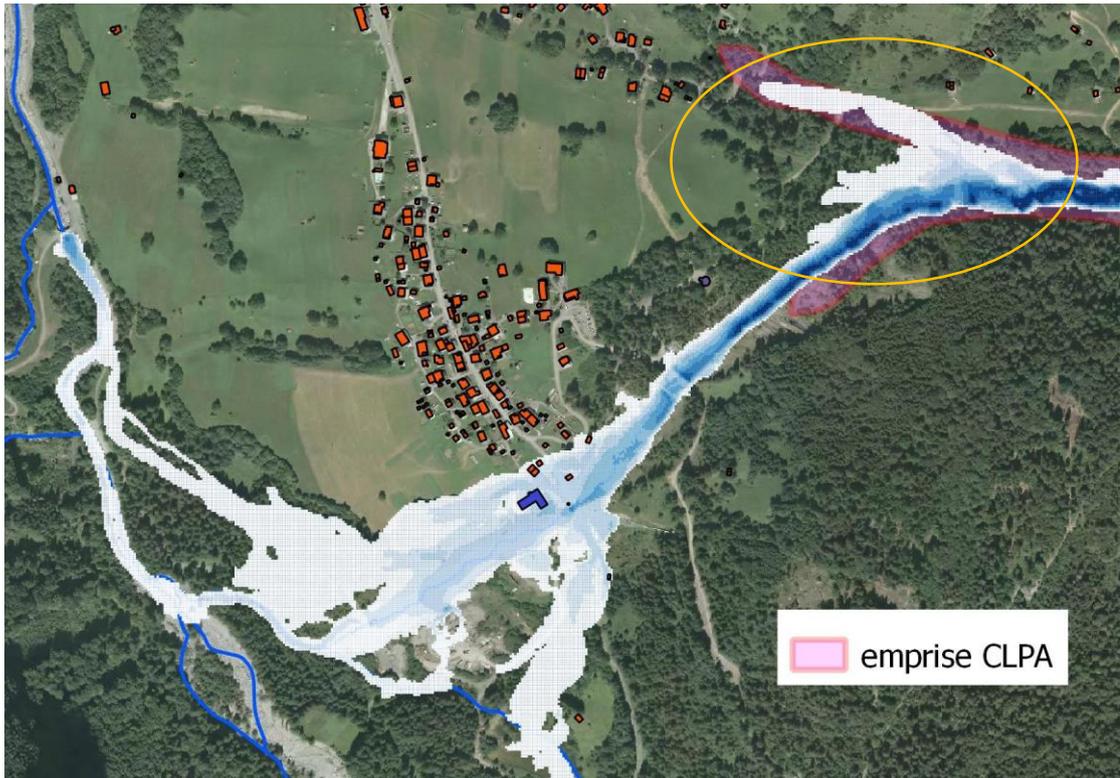
Figure 66: niveau d'engravement du lit suite à une lave de 35 000m3

### 8.2.2.3 Scénario d'une lave de 65 000 m<sup>3</sup> sur un lit entièrement comblé

En dernier lieu, une modélisation avec engravement excessif du chenal a été réalisée afin d'identifier les points de débordements privilégiés. La topographie du lit a été modifiée :

- en rehaussant le fond du lit au niveau des terrasses anciennes, ce qui correspond à un exhaussement compris entre 2 et 8m
- en supprimant du MNT la tourne paravalanche (ouvrage transparent)





**Figure 67: simulation d'une lave de 65 000 m<sup>3</sup> sur un lit totalement engravée (avec suppression de la tourne paravalanche)**

Cette modélisation, qui correspond à une situation d'engravement très excessif montre que les points de débordement privilégiés restent l'apex du cône dans la partie extérieure du coude formé par le lit (emplacement de l'ouvrage paravalanche) et légèrement vers l'aval. L'écoulement continue à transiter dans le lit jusqu'au pont de la Feulatière, avant de déborder massivement sur le cône, en suivant les contours de dépôts anciens, visibles en exploitant le lever LIDAR.

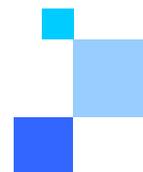
### 8.2.3. Dépassement du scénario avalanche

Le dépassement du scénario d'avalanche peut se produire de 2 manières :

- Un dépassement par avalanche de type coulante, qui se traduira par l'accentuation des débordements observés dans le 7, l'observation principale et non prise en compte au travers de la CLPA est l'apparition de débordement en rive droite à l'aval de la tourne. Les arrivées de téléski et le réservoir pourraient être menacés
- Un aérosol très important, qui se traduirait par un fort dépassement de l'emprise de la CLPA en rive droite, les bâtiments et les installations de ski de la Lavoisière seraient alors atteints. Concernant le dépassement par un aérosol, il n'a pas été reconnu historiquement d'aérosol sur ce site, le phénomène ne peut cependant pas être écarté, son extension est très certainement régulée par un phénomène de purge naturelle des pentes rocheuses limitant toujours le volume au départ.



## 9. DEFINITION DE LA STRATEGIE DE GESTION ET D'AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT



### 9.1. Stratégie de gestion

La stratégie de gestion retenue repose sur les points suivants :

- La surveillance des aléas
- La surveillance et l'entretien courant des ouvrages existants (abandon de 2 ouvrages)
- L'amélioration du dispositif paravalanche
- Une surveillance du lit et des interventions de gestion des matériaux ciblées

Compte tenu de la nature forestière des interventions réalisées, il est intégré une dimension sylvicole.

### 9.2. Surveillance des aléas

Cette mission passe essentiellement par la réalisation de visites annuelles de contrôle des points singuliers mis en évidence. Ces contrôles doivent avoir lieu chaque année et donner lieu à un suivi photographique et lors d'événement important, crue du torrent, hiver à fort enneigement. Les points de contrôle sont :

- Le lit du torrent en amont et aval de la tourne paravalanche, surveillance à la fois pour l'aléa torrentiel mais aussi avalanche en cas d'hiver très enneigé avec succession d'avalanche ;
- Les côtes de curage en amont de la RD et plus globalement l'état d'engravement du lit entre les 2 ponts.

Les éléments de connaissance qui pourraient être apportés sont :

- Un suivi nivologique de manière à préciser les volumes potentiels au départ. Compte tenu de la nature avalancheuse des zones de départ des moyens indirects doivent être trouvés.
- Un suivi hydrologique et hydraulique par instrumentation du bassin versant et mesure de débit sous les ponts.

Compte tenu du nombre d'enjeux menacés, de l'absence historique de phénomènes marquants, l'amélioration de la connaissance n'est pas une priorité sur cette division domaniale.

### 9.3. Entretien des ouvrages existants

#### 9.3.1. Abandon d'ouvrages

Deux ouvrages du dispositif d'endiguement présents en rive gauche (EN003 et EN004) présentent aujourd'hui peu d'utilité. Ils ont probablement été réalisés pour protéger le talus en rive gauche, toutefois, le lien entre l'érosion du pied de berge par le torrent et le ravinement du talus ne semble pas direct. Par ailleurs, ce talus semble être aujourd'hui stabilisé avec une pente régulière, probablement proche de sa pente d'équilibre.

Il n'apparaît aujourd'hui pas nécessaire de poursuivre l'entretien de ces ouvrages.



### 9.3.2. Suivi et entretien des ouvrages

En dehors des deux ouvrages cités ci-dessus, l'ensemble des ouvrages présente une utilité, ce qui justifie leur entretien. Les opérations d'entretien courant concernent principalement la gestion de la végétation sur les ouvrages d'endiguement et sur l'ouvrage paravalanche.

La fréquence des entretiens dépend de la sollicitation des ouvrages (en particulier pour la tourne paravalanche et pour le dispositif de correction torrentiel). Les visites des ouvrages permettant de programmer ces entretiens auront lieu avec une fréquence annuelle.

## 9.4. Amélioration des dispositifs

### 9.4.1. Adaptation de la tourne paravalanche

Il est constaté que la tourne ne régule pas totalement les phénomènes de référence pour 2 raisons :

- Une hauteur insuffisante,
- Une déviation insuffisante.

Un ouvrage plus tangentiel aux écoulements au début et se refermant un peu plus vers le torrent à l'aval serait plus adapté. Cela serait possible en rallongeant l'ouvrage et en obtenant l'autorisation de construire pour partie en dehors des terrains domaniaux

La déviation est assurée par la fermeture de l'ouvrage à l'aval. Or cette fermeture est difficile à gérer en raison du maintien d'une piste d'accès entre le lit et la tourne.

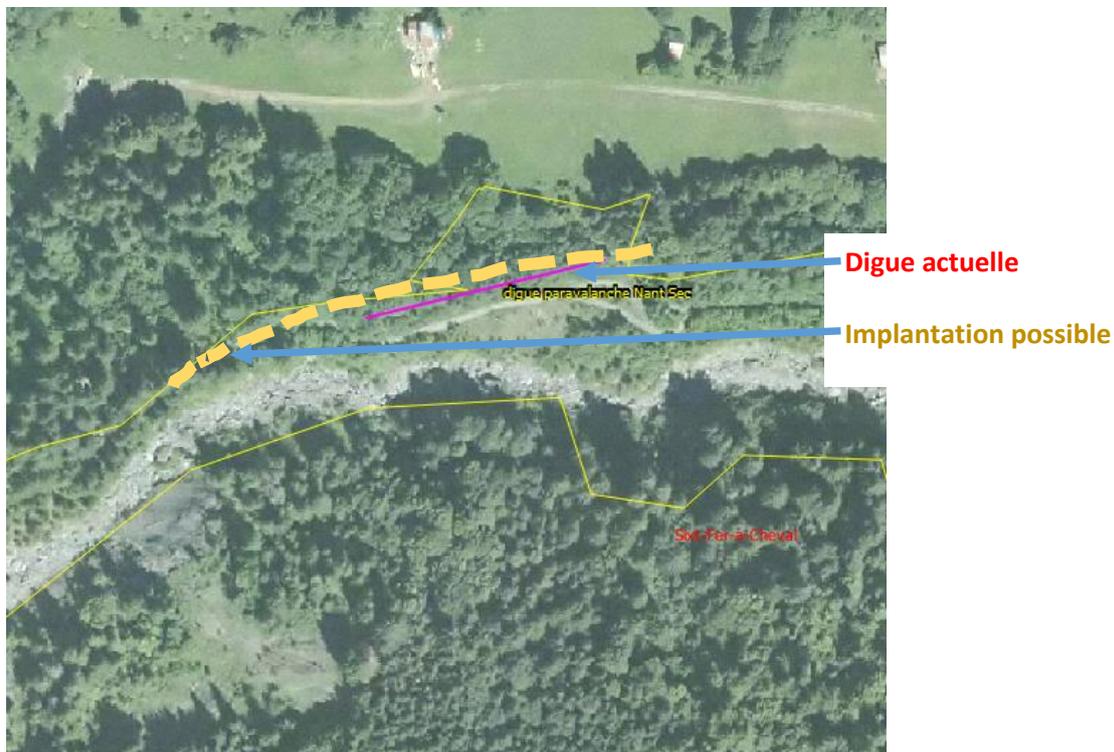


Figure 68 : implantation sommaire d'une nouvelle tourne

L'ouvrage proposé aurait une longueur de l'ordre de 170 ml pour une hauteur de l'ordre de 4 à 6 mètres.

## 9.5. Gestion de matériaux dans le lit

### 9.5.1. Opération de dégagement d'une travée du pont de Feulatière

Le pont de feulatière a une portée de près de 28 mètres, respectant la largeur du lit amont. L'atterrissement présent actuellement en rive droite du pont occupe entièrement une des 3 travées de l'ouvrage. L'écoulement concentré sur les deux travées de gauche a tendance à affouiller une des piles du pont.



Figure 69 : atterrissement rive droite sous le pont de Feulatière

L'opération proposée consiste à dégager la culée et à étaler les matériaux sur toute la largeur du lit. Le volume de matériaux à remanier est estimé sommairement à  $1000\text{m}^3$  (travaux de déblaiement sur une surface de  $1000\text{m}^2$  et sur une épaisseur moyenne de 1m).

### 9.5.2. Gestion des matériaux suite à des crues

Le lit du Nant Sec s'est significativement incisé dans les années 80, ce qui fait par ailleurs suite à différentes opérations de curage des matériaux, aussi bien à la confluence avec le Giffre des fonds, que dans le périmètre même de la Domaniale RTM.

**L'incision du lit permet aujourd'hui de diminuer les risques de débordements sur le cône, mais elle a généré en même temps des problèmes de stabilité pour les ouvrages présents (ouvrages de franchissement en particulier).**

Face à ce constat, et dans l'optique d'une gestion plus respectueuse du transit sédimentaire, qui reste un point important dans la gestion du bassin versant du Giffre, **le recours systématique au curage des matériaux suite aux crues ne doit plus avoir lieu à l'avenir.**

Toutefois, il semble opportun de **cibler les secteurs sur lesquels des interventions pourraient être justifiées** dans le cas où l'engravement tendrait à accroître les risques de débordement.

#### 9.5.2.1 Gestion des matériaux en amont du pont de la RD

La contraction du pont de la RD provoque inévitablement en cas de crue d'importants dépôts de matériaux sur le tronçon situé immédiatement à l'amont du pont. Des opérations de curage pourraient avoir lieu en cas d'engravement important au niveau de l'entonnement. Ceci rejoint les préconisations de plan de gestion des matériaux de Sixt sur le Nant Sec (RTM, 2010).



Sur le tronçon situé entre les deux ponts, le torrent a naturellement tendance à divaguer sur les dépôts alluvionnaires au sein d'un lit assez large (largeur moyenne de 30m). Il est donc important de maintenir cette possibilité de divagation sur ce tronçon pour jouer un rôle de régulation lors des crues, et éviter ou du moins retarder le comblement du pont de la RD.

- Déclenchement des interventions

Les seuils de déclenchements définis dans le plan de gestion de Sixt ont l'avantage de reposer sur des repères visuels, à savoir les épis béton présents le long des deux murs d'entonnement du pont.

En considérant que la charge hydraulique est estimée à 1m en crue centennale (60cm en Q10), et que la hauteur du tablier du pont est de 3m, nous considérons que l'on peut accepter un engrèvement de l'ordre de 1m en amont du pont avant de déclencher des opérations de curage.

Cela revient à garder comme repères de déclenchement les sommets des épis, comme proposé dans le plan de gestion de 2010. La surface d'intervention correspond à la zone comprise entre les deux murs d'entonnement sur un linéaire de 50m (soit environ 1000m<sup>2</sup>). Le profil de référence retenu correspond au profil en long actuel ayant une pente de 13.5% avec pour niveau de base le radier du pont (côte 854m).

Cette action a été inscrite au dossier technique du plan de gestion de matériaux de Sixt, mais ne faisait pas partie de la demande d'autorisation pluriannuelle (ce qui était justifié par une maîtrise d'ouvrage Etat, différente du reste du BV). Une telle intervention devrait être assujettie à un dossier de déclaration loi sur l'eau (volume de curage inférieur à 2000m<sup>3</sup>).



**Figure 70: entonnement du pont de la RD**

Les côtes de déclenchement et de fin de curages sont représentées sur 3 profils en travers en annexe 8.

- Principe de terrassement

Il est important de ne pas réaliser des terrassements qui pourraient mener à chenaliser le torrent (creusement d'un lit artificiel dans les dépôts), mais intervenir plutôt sur toute la largeur du lit afin de favoriser l'étalement des matériaux lors des crues suivantes.

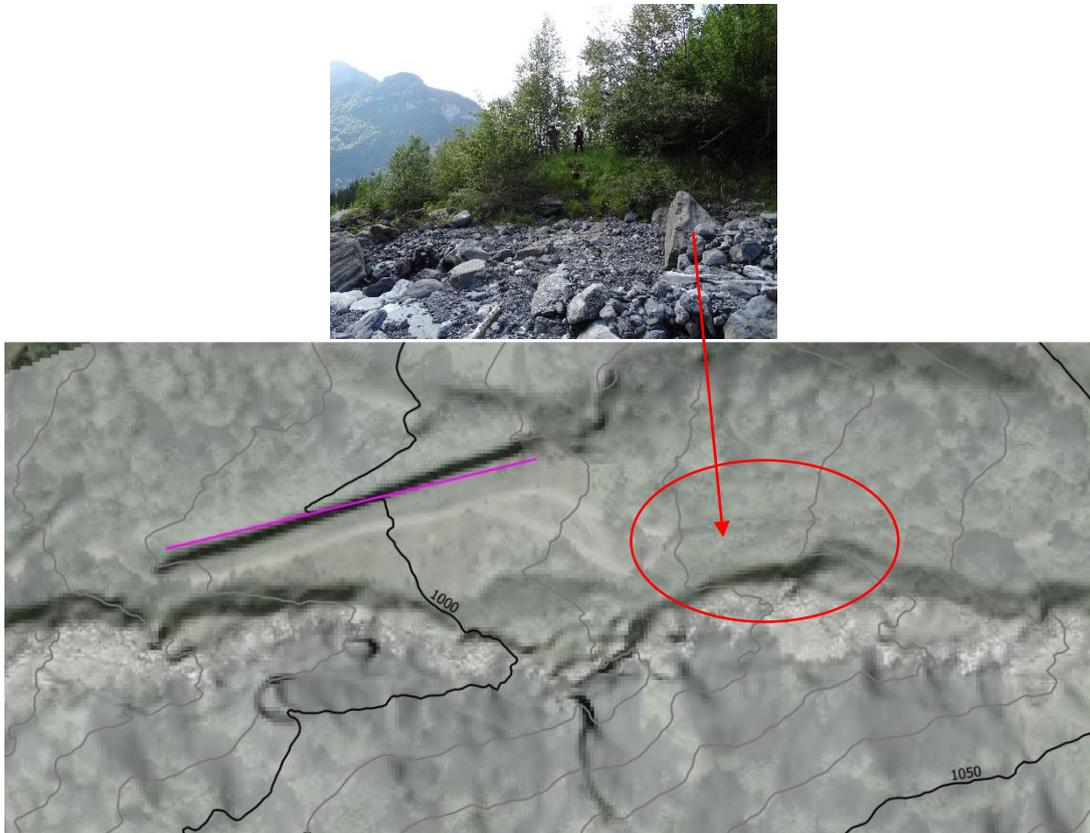


- Destination des matériaux

En ce qui concerne la destination des matériaux, il serait envisageable de les déplacer à l'aval, entre la confluence avec le Giffre des fonds et le pont de la RD, secteur sur lequel l'incision du Nant Sec atteint près de 5m. Les modalités techniques (accès, foncier, technique de réinjection...) restent à définir plus précisément.

### 9.5.2.2 Gestion des matériaux à hauteur de l'ouvrage paravalanche

Le deuxième point de débordement potentiel mis en évidence dans le cadre de cette étude est le secteur de la tourne paravalanche. Il convient donc de surveiller l'encombrement du lit une cinquantaine de mètres en amont de l'ouvrage paravalanche, sur un tronçon où la revanche en rive droite est réduite. On peut s'attendre à des dépôts importants sur ce tronçon, pouvant être liés soit à l'arrêt d'une lave, soit à des dépôts d'avalanche (zone d'arrêt pour les avalanches printanière).



**Figure 71: localisation du secteur amont ouvrage paravalanche - surveillance du lit nécessaire**

Une surveillance du lit doit être réalisée lors des visites annuelle. Dans le cas où les dépôts viendraient encombrer le lit (revanche devenant proche de 1m en rive droite), il convient de déplacer les matériaux à l'aval dans le lit et d'effectuer un éventuel fractionnement des plus gros blocs pour faciliter la remobilisation des matériaux. Cette opération concerne une surface maximale de 1000 m<sup>2</sup>.



## 9.6. Adaptation de la sylviculture

Comme nous l'avons vu en 3.4, le couvert forestier n'a qu'une fonction modeste au regard des phénomènes et de l'ensemble du dispositif. Toutefois, sur les secteurs boisés, il permet une régulation des phénomènes en limitant les apports par le ravinement dans les dépôts quaternaire et par interception des précipitations (eau et neige).

Il convient pour pérenniser cette fonction d'éviter la senescence des peuplements. Il est proposé de se concentrer particulièrement sur une distance équivalente à la hauteur de l'étage dominant (ici 25m) calculée depuis le rebord des ravinements actifs des terrains quaternaires.

Les berges concernées font chacune 1500 m ce qui représente une surface de 7,5 ha à parcourir par exemple tous les 5 ans en supprimant les arbres instables et ceux dont le diamètre est égal ou supérieure à 50cm. Ces bois pourront être billonnés et abandonnés sur place moyennant une gestion sanitaire adaptée.

## 9.7. Programmation

La programmation proposée est reprise en fonction des grands axes de gestion proposés.

Seuls les montants en travaux sont programmés. Les dépenses liées au temps de personnel sont financées par le ministère dans le cadre des conventions passées avec l'ONF (volet « missions d'intérêt général »).



Stratégie de gestion	Objectifs	Opération / programmation	Montant (hors temps de personnel)
Surveillance des aléas	Suivi des phénomènes post événement, suivi de l'évolution des phénomènes, amélioration de la connaissance	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Visite de contrôle tous les ans et après, chaque crue, avalanche importante, période de forte pluie et hiver à fort enneigement</li> <li>✓ Analyse d'opportunité d'instrumentation pour le suivi avalanche (sonde nivologique dans les zones de départ) dans les 5 ans</li> </ul>	10 000 € TTC
Surveillance et entretien des ouvrages	Maintien du niveau de protection actuel par le suivi des ouvrages, entretien courant et réparation, mise à jour réglementaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Visite de contrôle annuelle des ouvrages et suivi de la détérioration des 2 ouvrages abandonnés (EN003 et EN004)</li> <li>✓ Maintien des accès aux ouvrages. Une opération tous les 5 ans</li> <li>✓ Régularisation réglementaire des endiguements et de la tourne paravalanche</li> <li>✓ Opération de dégagement des ouvrages et des berges. Une opération tous les 5 ans</li> <li>✓ Petites maçonnerie de réparation. Une opération tous les 5 ans</li> </ul>	15 000 € TTC pour une période de 5 ans
Amélioration de la tourne paravalanche	Augmentation du niveau de protection, prise en compte des aspects torrentiels.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Création d'une tourne de 170 ml de 4 à 6 mètres de haut</li> </ul>	340 000 € TTC <i>Intérêt de l'opération à analyser finement. A la date de rédaction de l'EBR, les enjeux directement exposés ne justifient pas l'investissement.</i>
Gestion de matériaux dans le lit	Contrôler l'engravement du lit	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Surveillance annuelle avec éventuellement des levés topographiques</li> <li>✓ Dégagement d'un travée du pont de Feulatière</li> <li>✓ Régularisation réglementaire des 2 points de curage après crue (entre les ponts et à l'amont de la tourne paravalanche)</li> <li>✓ Gestion après crue de matériaux en 2 points (entre les ponts et à l'amont de la tourne paravalanche)</li> </ul>	25 000 € TTC pour une période de 5 ans
Renouvellement des peuplements de protection	Maintenir ou améliorer le rôle de protection des forêts	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Abattage d'arbre instable et de plus de 50cm de diamètre sur le liéaire de berges</li> </ul>	5 000 € TTC sur une période de 5 ans

# 10. BIBLIOGRAPHIE

- Douxami. (1903). *Annales de la société linnéenne de Lyon - observation sur quelques phénomènes torrentiels du bassin de l'Arve.*
- Hungr. (1984). quantitative analysis of debris torrent hazards for design remedial measures. *canadian geotechnical Journal*, 21, 663-677.
- Mougin. (1914). *Les Torrents de la Savoie.*
- O'Brien. (1988). laboratory analysis of mudflow properties. *J.of Hyd. Eng., ASCE*, 877-887.
- ONF. (1995). *aménagement forestier de la forêt domaniale de Sixt (1995-2014).*
- ONF. (2015). *aménagement de la forêt domaniale RTM de Giffre-Sixt - période 2015-2034.*
- Rickenmann. (1995). Evaluation du risque de laves torrentielles. *schweizer Ingenieur and architekt* 48, 1104 - 1108.
- RTM. (1996). *Les torrents de Sixt - gestion des transports solides - curages.*
- RTM. (2010). *Plan de gestion des matériaux des torrents de Sixt Fer à Cheval .*
- sederstam. (1991). *rapport de stage - réflexion en vue d'un aménagement pour la prévention des risques torrentiels à Sixt-Fer-à-Cheval.*
- SOGREAH. (1988). *etude de la révision du schéma d'aménagement du Haut Giffre.*



## ANNEXE 1 : INVENTAIRE DES ARCHIVES DE LA DOMANIALE

Catégorie	intitulé	année	contenu	localisation
b	projet de périmètre à restaurer - Commune de Sixt	1891	- PV reconnaissance - carte culturelle - Etat parcellaire - avant-projet spécial de travaux	bureau RTM 74 - dossier vert
c	délibération du conseil municipal	1948	cession de terrains à la commune sur le cône de déjection	
f	plan terrier- projet de travaux en régie	1914	cartographie des terrains "reboisés naturellement" et des terrains "non susceptibles d'être reboisés".	
f	profil en long et profils en travers	non daté		
k	Construction d'un barrage seuil et d'un radier sur le Nant Sec	1993	DCE	garage
k	construction d'un barrage-seuil en enrochement bétonné aval pont de la RD29	1993	DCE	
k	curage et reprofilage du nant sec	1986	avant projet	garage
k	curage et reprofilage du nant sec	1987	DCE	garage
k	reprofilage du nant sec et construction d'un seuil en enrochements (RD)	1988	avant projet	garage
k	reprofilage du nant sec et construction de seuils en enrochement en amont du pont de la RD29	1990	avant projet	garage
k	construction d'un barrage-seuil en enrochement bétonné aval pont de la RD29	1991	avant-projet	garage
k	construction d'un ouvrage paravalanche	1973-1974	avant projet - plans	garage RTM
r	Compte permanents du périmètre de l'Arve	1901 à 1942	Récapitulatif annuel : - des travaux (tableau A) - des dépenses par type de travaux (tableau B)	bureau RTM 74 - chemises A3
r	Etat général des travaux et dépenses	1913 à 1991	Bilan par année des dépenses réalisées par nature de travaux (régie et entreprise)	bureau RTM 74 - chemise bleue



## ANNEXE 2 : PV DE RECONNAISSANCE DU PERIMETRE (1<sup>ER</sup> JUIN 1892)

Configuration des lieux -

La Commune de Siat est située dans la Haute vallée du Giffre, rivière torrentielle qui prend sa source sur son territoire. Le torrent des Fonds gronde de nombreux écoulements qui coulent dans des gorges très resserrées et à pic en général escarpées vient se jeter dans le Giffre, sur la rive gauche, en aval du village chef lieu.

Elle a pour limites géographiques :

Au Nord, la crête qui forme la limite de la Suisse et qui comprend le Signal de Filly (2709<sup>m</sup>) les Dents Blanches (2684<sup>m</sup>) le Mont Hagron (2660<sup>m</sup>) et le Mont Roan (2858<sup>m</sup>).

A l'Est, la frontière Suisse formée d'une crête qui comprend la Pointe de Badmevege (2253<sup>m</sup>) et divers autres sommets variant de 2297 mètres à 2841 mètres d'altitude.

Au Sud, une crête rocheuse qui se détache de la frontière Suisse, passe par le Mont Puet (3109<sup>m</sup>) le Glacier des Baux (2664<sup>m</sup>) le Col de Lectraud (2283<sup>m</sup>) et aboutit au bas au Col d'Ortoine (2076<sup>m</sup>) ; une ligne conventionnelle qui passe par la Cascade d'Ortoine (1789<sup>m</sup>) et aboutit à la Côte (2092<sup>m</sup>). Enfin une crête rocheuse qui comprend la Côte à l'Orne (2793<sup>m</sup>) la Pointe d'Oyes (2280<sup>m</sup>) les Rochers de Fia qui vont se relier à la Pointe de Plate (2553<sup>m</sup>) en

passant par le Col du Divois (2238<sup>m</sup>) -

À l'Ouest, une crête qui part de la pointe de Stabé passe par la Côte Pelouse (2175<sup>m</sup>) et se continue jusqu'à l'altitude (1943<sup>m</sup>) : ensuite une ligne conventionnelle qui traverse le Giffre en aval du village de Balme et qui rejoint une crête très accidentée qui comprend les Bimbs de Ressachet (2203<sup>m</sup>) des Arandières (2552<sup>m</sup>) et qui se termine à la frontière Suisse au Signal de Tolly.

Altitudes.

Les altitudes extrêmes sont 3109 mètres au Mont Buet et environ 725 mètres au point où le Giffre sort de la Commune.

Le village chef lieu est à 757 mètres.

Conditions géologiques et climatiques.

Le climat de cette région est très rigoureux, en raison surtout du voisinage des Glaciers ; la neige persiste jusqu'en Mai dans les régions moyennes. On cultive quelques céréales dans le fond de la vallée, près des villages et le reste du territoire exploitable est à l'état de prés, de pâturages et de forêts.

Au point de vue géologique, le territoire de la commune repose presque uniquement sur le terrain jurassique qui occupe toute la rive gauche du Giffre et la majeure partie de la rive droite. Cependant le fond de la vallée dans la région comprise entre le hameau de Mont

Brède et La Goulle, renferme un îlot de terrain liasique avec un affleurement de trias. Enfin la région située à l'Ouest, depuis la rive droite du torrent de Salvadon jusqu'à la limite de la Commune repose sur le terrain crétacé (néocomien, albin et aptien).

**Situation Administrative.** La Commune de Niat est située dans le Canton de Samoëns, Arrondissement de Bonneville, Département de la Haute Savoie.

**Limites.**

Elle est entourée :

Au Nord, par la Commune de Samoëns et la frontière du Valais. (Suisse).

À l'Est, par le Valais. (Suisse)

Au Sud, par les Communes de Valleraives et de Passy.

À l'Ouest, par celle de Samoëns.

**Contenance totale du territoire.** La contenance totale de son territoire est de 40528 hectares. Le tableau annexé au présent rapport donne la répartition de cette contenance par catégories de propriétaires et par nature de cultures d'après le Cadastre.

**État de dégradation du sol.** Le torrent de Nancet et le ravin de Noafond sont les seuls qui causent des dégâts importants sur le territoire de la Commune. Tous les autres cours d'eau sont à peu près inoffensifs.

Le torrent de Nancet qui coule de l'Est à l'Ouest prend sa source dans des rochers très inclinés situés en dessous du Mont Buet et traverse ensuite une région terreuse assez affouillable. Ce versant des rochers en désagrégation fournit une grande quantité de pierresailles qui jointes aux matériaux terreux arrachés à la surface moyenne forment un cône d'une superficie d'environ quatre à cinq hectares.

En amont du Village de Salvagny, ce torrent forme un coude très prononcé, juste à l'endroit où son lit, creusé dans d'anciennes déjections, est à peine encaissé. Si un jour, par suite d'un engorgement, ce qui se produit fréquemment dans les torrents de ce genre, le Nancet franchit sa berge droite, le village de Salvagny qui est situé immédiatement en dessous de ce coude, et qui n'a pour toute protection contre les crues qu'une faible lisière de bois, sera infailliblement en grande partie détruit et la lave recouvrant les cultures pourra même atteindre les villages de Moaison-Neuve et des Faux.

Quant au ravin de Moafond qui prend sa source dans les prés environnant les Chalets de l'assy, il n'a causé jusqu'alors que des

dégâts de feu d'importance.

Les crues les plus importantes ont eu lieu en 1877 et 1886. Celle-ci, assez forte pourait-il, avait barré le cours du Giffle et les déjections avaient recouvert la route qui longe ce dernier sur la rive droite. La voiture de l'Hotel du Club-Alpin qui est situé à environ 25 ou 30 mètres en aval fut entraînée et le rez-de-chaussée du dit Hotel fut envahi par la lave.

Le village chef-lieu est pour suite menacé.

Le ravin de Mafond qui vient de commuer ses dégâts va s'agrandissant chaque année. Son bassin de réception très raviné est complètement nu.

But et nature des travaux  
justification de leur exécution.

En présence d'un pareil état de choses, nous estimons qu'il est indispensable de comprendre les terrains dégradés dans un périmètre de restauration obligatoire.

Un petit bouquet de bois, de quelques ares de superficie, enclavé dans les terrains dégradés du hameau du Nancet a été englobé dans notre projet car il est appelé à disparaître incessamment à la suite d'une forte débâcle.

Pour restaurer ces terrains il conviendra

d'arrêter les affouillements et les éboulements en construisant des barrages ou seuils dans les ravins principaux, des clayonnages et fascinages dans les ravins secondaires et enfin de recouvrir de végétation forestière et herbacée tous les terrains dénudés.

La Surface totale des terrains à périmétrer est, d'après l'état parcellaire ci-joint, de 56 Hectares, 18 ares, 59 centiares se décomposant de la façon suivante :

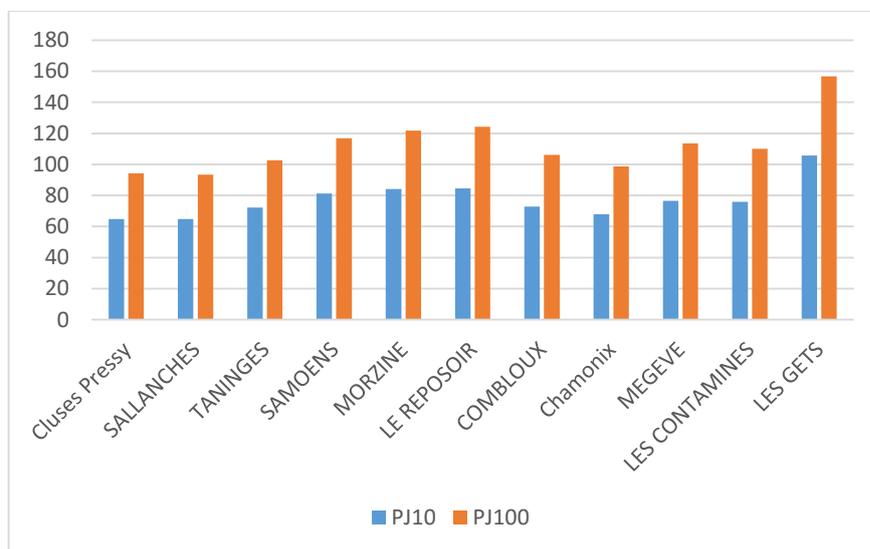
Terres communes	51 <sup>h</sup> 51 <sup>a</sup> 05 <sup>c</sup>
Terres particulières	4. 66. 94

Ensemble	<hr/> 56 <sup>h</sup> 18 <sup>a</sup> 59 <sup>c</sup>
----------	---

## ANNEXE 3: HYDROLOGIE

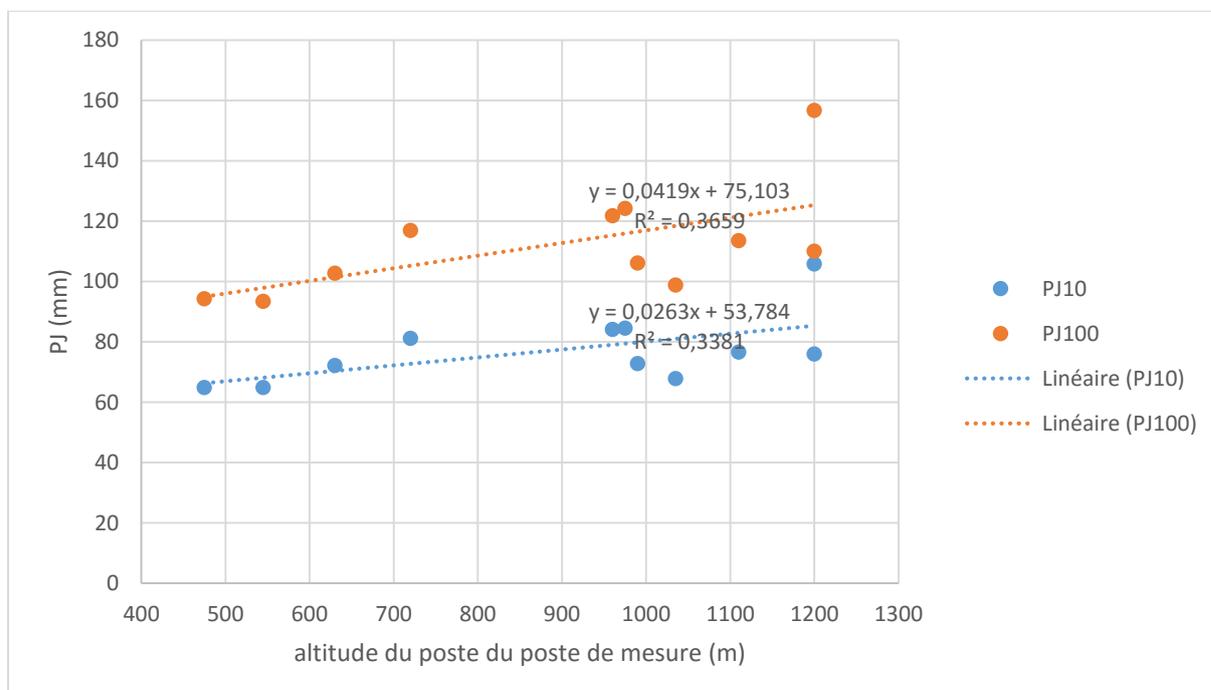
### Exploitation des données de pluie

Ne disposant pas de données pluviométriques au niveau du bassin versant, nous avons réalisé une analyse à partir du réseau de pluviomètres locaux.



Mesures de PJ au niveau des pluviomètres les plus proches du BV (source Djerboua 2001)

Les données issues de ces pluviomètres permettent de calculer un gradient hypsométrique (prise en compte de l'augmentation des précipitation en fonction de l'altitude). Comme on peut le voir, l'ensemble des postes de mesures se situent à une altitude inférieure à 1200m. Le gradient hypsométrique permet de corriger ces valeurs pour le bassin versant étudié (altitude Z50=1640m).



Calcul d'un gradient hypsométrique à partir des mesures de PJ sur les pluviomètres locaux

Gradient hypsométrique pour pluie de T=10 ans	2,0 mm/100m		
Gradient hypsométrique pour pluie de T=100 ans	4,0 mm/100m		
Altitude moyenne du BV ( $Z_{50}$ )	1640 m		
POSTE DE REFERENCE	<b>SAMOENS</b>		
ALTITUDE DU POSTE	720 m		
P10(24 H) =	82 mm	Gp(24 H) =	15,2
P100(24 H) =	117 mm	Coefficient de MONTANA (1-b) =	0,54
CORRECTION DES VALEURS PAR APPLICATION D'UN GRADIENT HYSOMETRIQUE			
P10(24 H) =	100 mm	Gp(24 H) =	22,7
P100(24 H) =	154 mm		
POSTE DE REFERENCE	<b>CHAMONIX</b>		
ALTITUDE DU POSTE	1035 m		
P10(24 H) =	68 mm	Gp(24 H) =	13,2
P100(24 H) =	99 mm	Coefficient de MONTANA (1-b) =	Non déterminé
CORRECTION DES VALEURS PAR APPLICATION D'UN GRADIENT HYSOMETRIQUE			
P10(24 H) =	80 mm	Gp(24 H) =	18,3
P100(24 H) =	123 mm		
POSTE DE REFERENCE	<b>SALLANCHES</b>		
ALTITUDE DU POSTE	545 m		
P10(24 H) =	64 mm	Gp(24 H) =	12,2
P100(24 H) =	93 mm	Coefficient de MONTANA (1-b) =	
CORRECTION DES VALEURS PAR APPLICATION D'UN GRADIENT HYSOMETRIQUE			
P10(24 H) =	86 mm	Gp(24 H) =	21,7
P100(24 H) =	137 mm		
RE SOURCE DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES			
POSTE DE REFERENCE	<b>COMBLOUX</b>		
ALTITUDE DU POSTE	990 m		
P10(24 H) =	72 mm	Gp(24 H) =	14,2
P100(24 H) =	106 mm	Coefficient de MONTANA (1-b) =	
CORRECTION DES VALEURS PAR APPLICATION D'UN GRADIENT HYSOMETRIQUE			
P10(24 H) =	85 mm	Gp(24 H) =	20,0
P100(24 H) =	132 mm		
RE SOURCE DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES			
POSTE DE REFERENCE	<b>LES GETS</b>		
ALTITUDE DU POSTE	1200 m		
P10(24 H) =	105 mm	Gp(24 H) =	21,6
P100(24 H) =	156 mm	Coefficient de MONTANA (1-b) =	
CORRECTION DES VALEURS PAR APPLICATION D'UN GRADIENT HYSOMETRIQUE			
P10(24 H) =	114 mm	Gp(24 H) =	25,4
P100(24 H) =	174 mm		



## Données retenues pour le BV du Nant Sec

Pj10 (mm)	Pj100 (mm)	G24h (mm/u)
95 mm	145 mm	21 mm/u

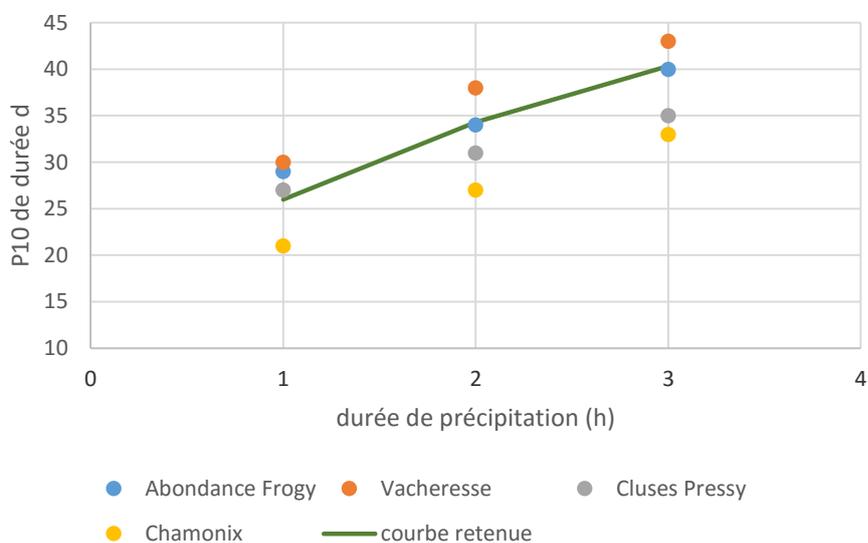
## Données à pas de temps horaire

Les données à pas de temps horaire ont été déterminées à partir des pluviographes du département qui sont malheureusement assez peu nombreux dans le secteur étudié. Le tableau suivant synthétise les données au niveau des 4 pluviographes les plus proches du bassin versant. Les deux pluviographes les plus proches sont ceux de Cluses et de Chamonix (à une quinzaine de kilomètres), qui présentent une situation topographique particulière de fond de vallée. Les postes d'Abondance et Vacheresse sont situés à une trentaine de kilomètres, mais sont plus représentatif du massif du Chablais.

	P10_1h	P10_2h	P10_3h	P10_6h	B_MONTANA
<b>Abondance Frogy</b>	29	34	40	45	0.69
<b>Vacheresse</b>	30	38	43	40	0.73
<b>Cluses Pressy</b>	27	31	35	39	0.68
<b>Chamonix</b>	21	27	33	40	0.57

*Données de pluies horaires au niveau des postes locaux (Source : Djerboua 2001)*

Les paramètres de Montana<sup>7</sup> ont été choisis de façon à obtenir une courbe la mieux ajustée vis-à-vis des postes de mesures, pour des durées comprises entre 1 et 3 heures.



### Ajustement des paramètres de montana à partir des pluviographes les plus proches

Ceci nous conduit à retenir, pour une période de retour de 10 ans et pour des durées comprises entre 1 et 6h les paramètres suivants :

- a = 26
- b = 0.6

<sup>7</sup> La loi de Montana permet d'estimer les hauteurs de précipitation pour différentes durées de précipitation, selon l'équation  $P=a.d^{1-b}$  avec la durée d en heures

## Estimation des durées caractéristiques de crue

Le tableau suivant synthétise les différentes formules statistiques qui ont été utilisées pour évaluer les durées caractéristiques de crue.

Le temps de concentration sert au calcul du débit de pointe décennal avec la méthode rationnelle. Il a été évalué à partir de plusieurs formules empiriques.

méthode	paramètre	durée (h)	variables utilisées	domaine de validité
KIRPICH	Tc	0,21	L, Ph, Pb	0,4 ha < S < 81 ha
SOGREAH 1	Tc	0,37	S, Im	?
GIANDOTTI	Tc	0,45	S, L, Z50, Pb	?
IZZARD-MEUNIER (bassin dégradé)	Tc	0,26	S, L, Ph, Pb	?
IZZARD-MEUNIER (bassin végétalisé)	Tc	0,60	S, L, Ph, Pb	?
SCS (BV rapides)	Dr	0,88	S	0,1 ha < S < 15 km <sup>2</sup>
SOCOSE (BV à forte pente)	D	7,31	S, L, Ph, Pb, Pj10, Pa	1 km <sup>2</sup> < S < 200 km <sup>2</sup>

VALEURS RETENUES :

Tc = 0,40 heures

D = 1,00 heures

Fourchette d'incertitudes

0,20 h	< Tc <	0,60 h
0,80 h	< D <	1,60 h

## Estimation du débit décennal

L'estimation du débit décennal est réalisée en confrontant différentes méthodes statistiques et déterministes couramment utilisées en ingénierie, dont les résultats sont synthétisés dans le tableau suivant.

méthode	Qi10 (m <sup>3</sup> /s)	variables utilisées	Domaine de validité
Formule sommaire locale	4,6	S, $\alpha$ , $\beta$	
SOGREAH (Speed)	4,7	S, Pj10, Po	
SOCOSE	3,1	S, Pj10, L, b, Pa, Ta	2 < S < 200 km <sup>2</sup>
CRUPEDIX	3,5	S, Pj10, R	2 < S < 2000 km <sup>2</sup>
SCS simplifiée	5,2	S, D, PD10, K	2 < S < 2000 km <sup>2</sup>
RATIONNELLE	4,9	S, Tc, PD10, Cr	S < 15 km <sup>2</sup>

## Transfert de bassin

Les mesures effectuées au niveau des stations hydrométriques du département ont été extrapolées selon une formule de transfert de bassin versant. Les données des stations présentes sur l'Arve n'ont pas été retenues en raison de la composante glaciaire de l'Arve, que l'on ne retrouve pas dans le bassin versant étudié.

<b>Station hydrométrique de référence</b> (données issues de la BD HYDRO)	<b>S<sub>B</sub></b> (km <sup>2</sup> )	<b>Q<sub>10/B</sub></b> (m <sup>3</sup> /s)	Coefficient de transfert appliqué	<b>Q<sub>10</sub></b> (m <sup>3</sup> /s)
LE RISSE A SAINT-JEOIRE [PONT DU RISSE]	57,5	40	0,60	5,2
LA DRANSE DE MORZINE A SEYTRoux [PONT DE COUVAL]	170	74	0,60	5,0

*Extrapolation de débits mesurés par la méthode de transfert de bassin versants*

Des extrapolations des données de débits issues d'études hydrauliques locales ont été réalisées en utilisant les mêmes formules de transfert de bassin versant. Cette démarche met en évidence que les estimations de débits menées dans le cadre de ces études conduisent à des valeurs de débit généralement plus élevées que celles obtenues par l'application des méthodes statistiques employées plus haut.

<b>Bassins de référence</b>		<b>S<sub>B</sub></b> (km <sup>2</sup> )	<b>Q<sub>10/B</sub></b> (m <sup>3</sup> /s)	Coefficient de transfert appliqué	<b>Q<sub>10</sub></b> (m <sup>3</sup> /s)	<b>Q<sub>10</sub> spécifique</b> (m <sup>3</sup> /s/(km <sup>2</sup> <sup>ab</sup> ))
auteur						
La Cuttaz		0,68	2,3	0,75	5,0	3,1
nant sec	hydretude	1,6	5	0,75	5,7	3,5
Combe à Sallet	RTM	1,98	5	0,75	4,8	3,0
Nant du Dard	hydretude	3,5	9	0,75	5,7	3,5
Clevieux	RTM 74	5,2	8	0,75	3,8	2,3
Valentine	hydretude	8,3	15	0,70	5,3	3,4
verney	hydretude	11	17	0,70	5,0	3,2
torrent de sales	hydretude	20,9	28	0,70	5,2	3,3
Clevieux	hydretude	30	35	0,70	5,1	3,2
giffre	sogreah	44	71	0,70	7,9	5,0
Giffre	safege 2000	44	68	0,70	7,5	4,8
giffre des fonds	hydretude	69,4	70	0,70	5,6	3,6

*Comparaison des estimations de débits dans les études locales (avec transfert de bassin versant)*

**Nous retenons la fourchette de valeur suivante :**

$$4 \text{ m}^3/\text{s} < \text{Q}_{10} < 5.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

## Estimation du débit centennal

Les débits de pointe de crue ont été déterminés à l'aide d'une approche probabiliste permettant de prendre en compte l'incertitude sur les paramètres. La méthodologie comporte quatre étapes clefs :

- (1) choix du modèle, ici le modèle du gradex esthétique ;
- (2) identification et représentation des imperfections des paramètres du modèle par des distributions de probabilité de type histogramme ;
- (3) propagation des imperfections dans le modèle avec des simulations de Monte Carlo ;
- (4) exploitation des résultats sous forme de classement fréquentiel.

L'incertitude sur les paramètres est prise en compte par la définition d'une distribution de probabilité. Cependant, dans le cadre de la mise en œuvre de modèles d'hydrologie fréquentielle, tous les paramètres ne permettent pas le calage d'une loi de probabilité sur des distributions de fréquences observées. Ainsi, il s'avère nécessaire de façon tout à fait subjective, à dire d'expert, de définir pour

chacun des paramètres une distribution de probabilité (par exemple distribution de type histogramme, béta,...).

Dans cette étude, il a été fait le choix d'une distribution de probabilité de type histogramme à trois plages. Le domaine central correspond aux valeurs les plus plausibles. Les deux plages extrêmes sont quant à elles représentatives de valeurs jugées possibles au vu des résultats calculés, mais qui sont peu plausibles compte tenu de l'analyse complémentaire réalisée.

L'incertitude est alors propagée dans le modèle au moyen de simulations de Monte-Carlo. Les estimations de débit font alors l'objet d'un classement fréquentiel afin d'obtenir les quantiles d'estimation de débit de crue (pour  $T > 10$  ans).

Le tableau suivant présente les valeurs des paramètres prises en compte dans le modèle.

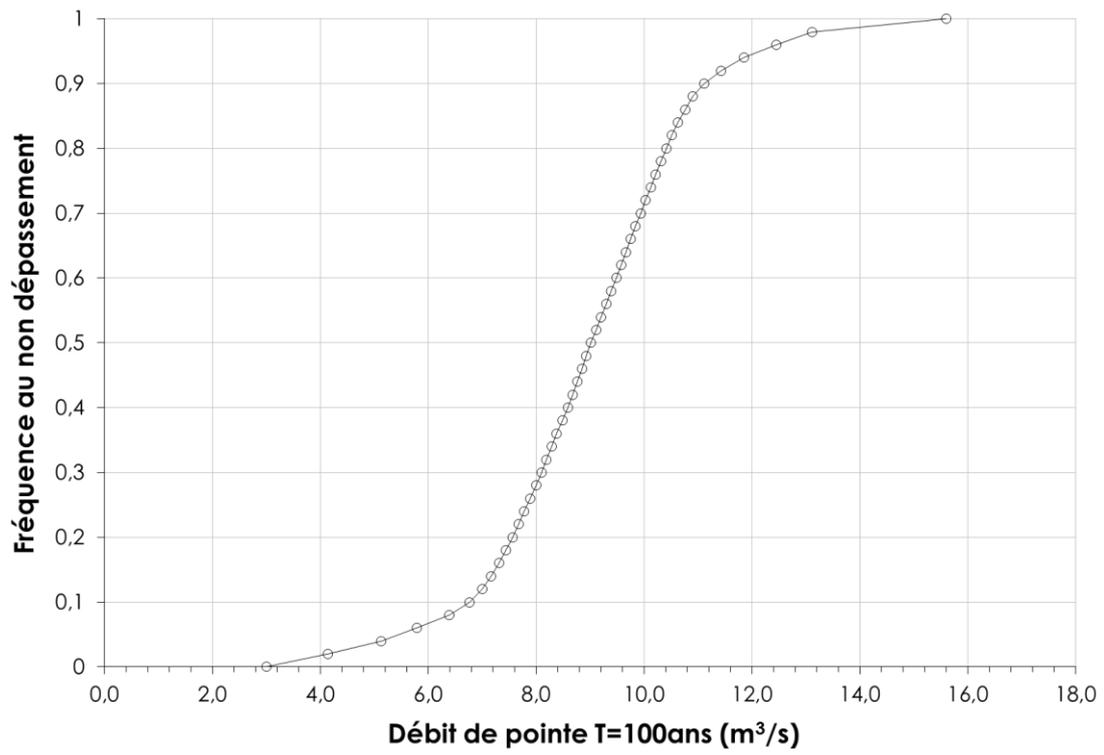
Paramètre	Méthodes	Expertise	
		Valeurs possibles	Intervalle le plus plausible*
$D$ (h)	Socose , Socose BV à forte pente, BV rapides	[0,5 ; 2]	[0,8 ; 1,2]
$g_p(24h)$ (mm)	Valeurs mesurées aux postes voisins	[15; 21]	[17; 19]
$g_p(1h)$ (mm)	Valeurs mesurées aux postes voisins	[2,5 ; 5,5]	[4 ; 5]
$Q_i(T=2 \text{ ans})$ (m <sup>3</sup> /s)	Régression, Méthode rationnelle	[2,5 ; 3,5]	[2,7 ; 3,2]
$Q_i(T=10 \text{ ans})$ (m <sup>3</sup> /s)	Comparaison de méthodes de prédétermination de débits de crue	[3 ; 7]	[4 ; 5,5]

(\*) Intervalle le plus plausible correspond à l'intervalle de confiance à 80 %, déterminé à dire d'expert

Les estimations de débit pour différentes valeurs de fréquence au non dépassement sont présentées sur la figure suivante. Ainsi, compte tenu des hypothèses réalisées sur les paramètres du modèle, la probabilité que le débit centennal soit inférieur ou égal à 11,1 m<sup>3</sup>/s est de 90 %.

Les valeurs de débit pour une fréquence de 0,9 fournissent une estimation sécuritaire du débit liquide et seront donc retenues dans la suite de l'étude. Il s'agit d'un choix tout à fait arbitraire qui est pris en fonction de l'incertitude sur les données des modèles et d'une volonté d'être relativement sécuritaire dans les estimations.





# ANNEXE 4 : ESTIMATION DE LA PRODUCTION SEDIMENTAIRE PAR LA METHODE ECSTREM

## Application de la méthode ECSTREM\*

Estimation de la Charge Sédimentaire des Torrents à l'aide de Régression Multivariées

**Commune :** skit  
**Torrent :** nant sec

**Surface totale du bassin versant (S):** 1,90 km<sup>2</sup>  
**Surface au droit du site étudié (D<sub>2</sub>):** 0,31 km<sup>2</sup>  
**Surface au droit du site étudié (D<sub>1</sub>):** 1650 m<sup>2</sup>  
**Intensité des processus érosifs :** 13%

**Processus de transport solide dominant :** Laves torrentielles et charriage

**Intensité des processus érosifs :** Faible à modérée

**Dénivelée entre le point culminant du bassin versant et le site étudié (D<sub>2</sub>):** 1650 m

**Dénivelée entre le point culminant du bassin versant et le site étudié (D<sub>1</sub>):** 1650 m

**Processus de transport solide dominant :** Laves torrentielles et charriage

Volume moyen	D'après abaque RTM: ▼	244 m <sup>3</sup> à 752 m <sup>3</sup>	42% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [2207 ; 4966]
	D'après abaque RTM: ▼	1620 m <sup>3</sup> à 3375 m <sup>3</sup>	76% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [1655 ; 6621]
<b>Volume décennal</b>	D'après la relation $V_{10} = 23988 \cdot S_a^{0,32} \cdot I^{0,50} \cdot Dz^{1,4}$	3310 m <sup>3</sup>	100% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [1103 ; 8276]
	D'après la relation $V_{10} = 0,46 \cdot S_a^{0,32} \cdot Dz^{1,4}$	6865 m <sup>3</sup>	75% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [4576 ; 10297] 89% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [3432 ; 13729] 100% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [2746 ; 17162]
	D'après abaque RTM: ▼	3048 m <sup>3</sup> à 7836 m <sup>3</sup>	55% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [5473 ; 12315] 82% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [4105 ; 16420] 100% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [1642 ; 20525]
<b>Volume centennal</b>	D'après la relation $V_{100} = 0,40 \cdot S_a^{0,32} \cdot Dz^{1,4}$	19230 m <sup>3</sup>	68% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [12820 ; 28845] 89% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [9615 ; 38460] 100% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [6410 ; 38460]
<b>Volume maximum</b>	D'après la relation $V_{max} = 0,013 \cdot S_a^{0,47} \cdot Dz^{2,11}$	46108 m <sup>3</sup>	31% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [30739 ; 69162] 75% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [23054 ; 92216] 100% des valeurs observées comprises dans l'intervalle [18443 ; 138323]

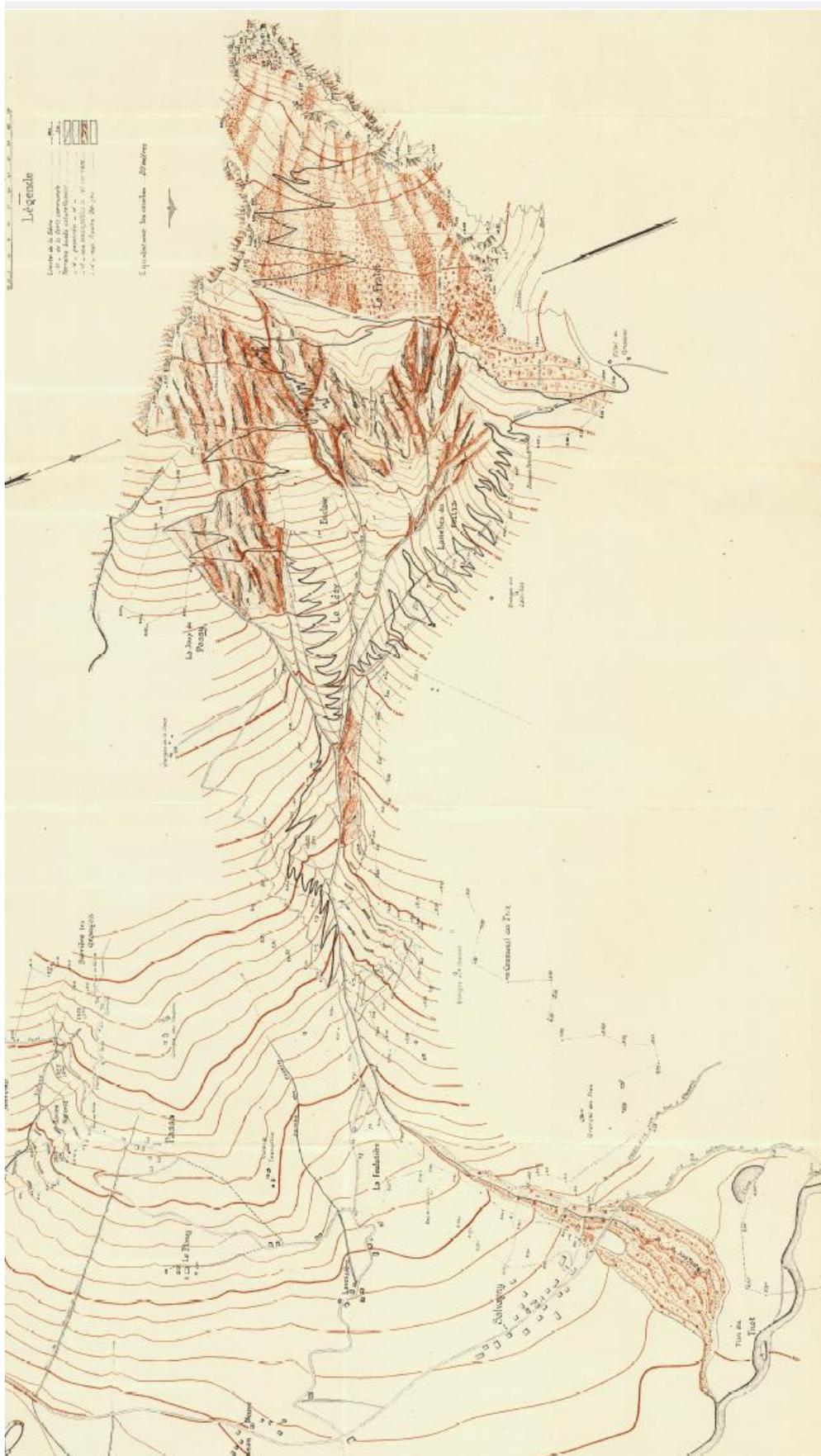



\* La méthode ECSTREM a été élaborée à partir de travaux de synthèse portant sur la production sédimentaire des torrents des Alpes françaises. Ces travaux ont été réalisés au service RTM par Véronique BRIGUET (2010), Cyrille JOUSSE (2009) et Christophe PETEUIL (2010). Le principe et les fondements de la méthode ont fait l'objet d'une description détaillée dans "Peteuil et Liébaux, 2007" et "Briguet et al., 2010". ECSTREM : une approche pratique pour prédire la production sédimentaire annuelle et événementielle des torrents fondée à partir d'observations originales spécifiques aux Alpes françaises"

## ANNEXE 5: PLAN TERRIER DE LA DOMANIALE (1914)



## ANNEXE 6: PLAN ANCIEN DE LA DOMANIALE (NON DATE)



## ANNEXE 7: GRILLE D'ANALYSE DES FONCTIONS TECHNIQUES DES DISPOSITIFS

Les niveaux de contraintes et du niveau de résistance sont indépendants. Le risque de défaillance est déterminé par croisement du niveau de contraintes et du niveau de résistance.

Note risque de défaillance = Note niveau de contraintes x Note niveau de résistance

Note	Niveau de contrainte	Niveau de résistance
1	Faible	Fort
2	Moyen	Moyen
3	Fort	Faible

Notes de niveaux de contrainte et de résistance

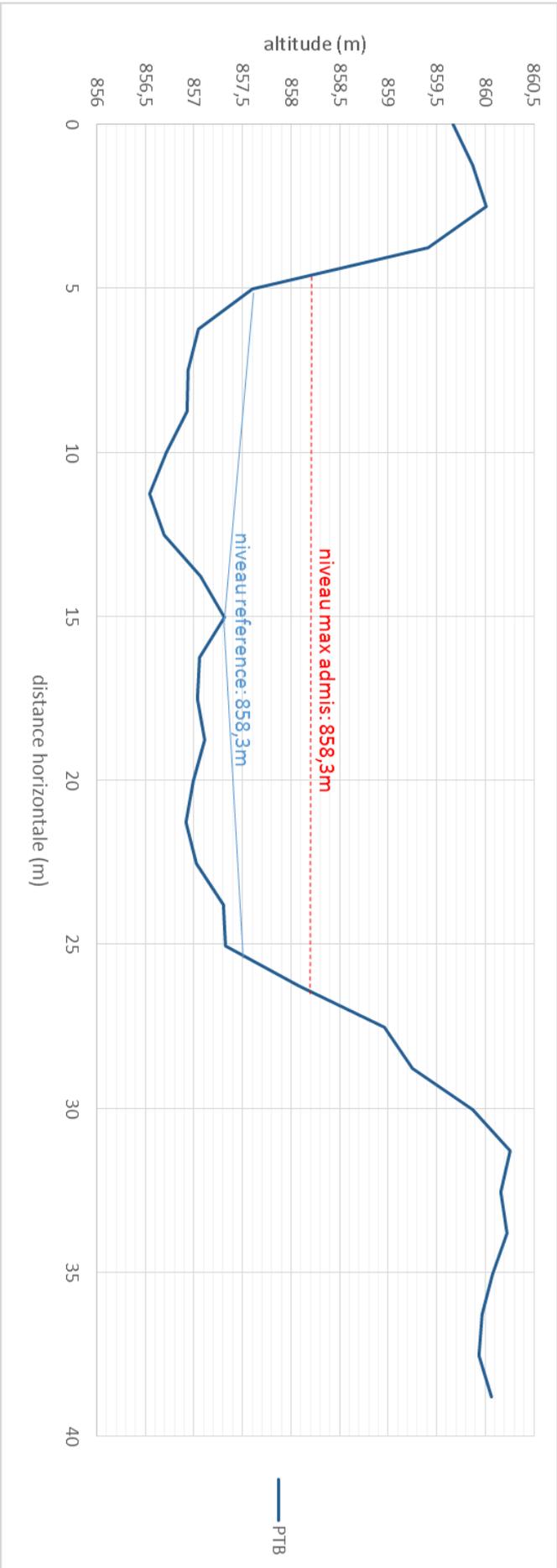
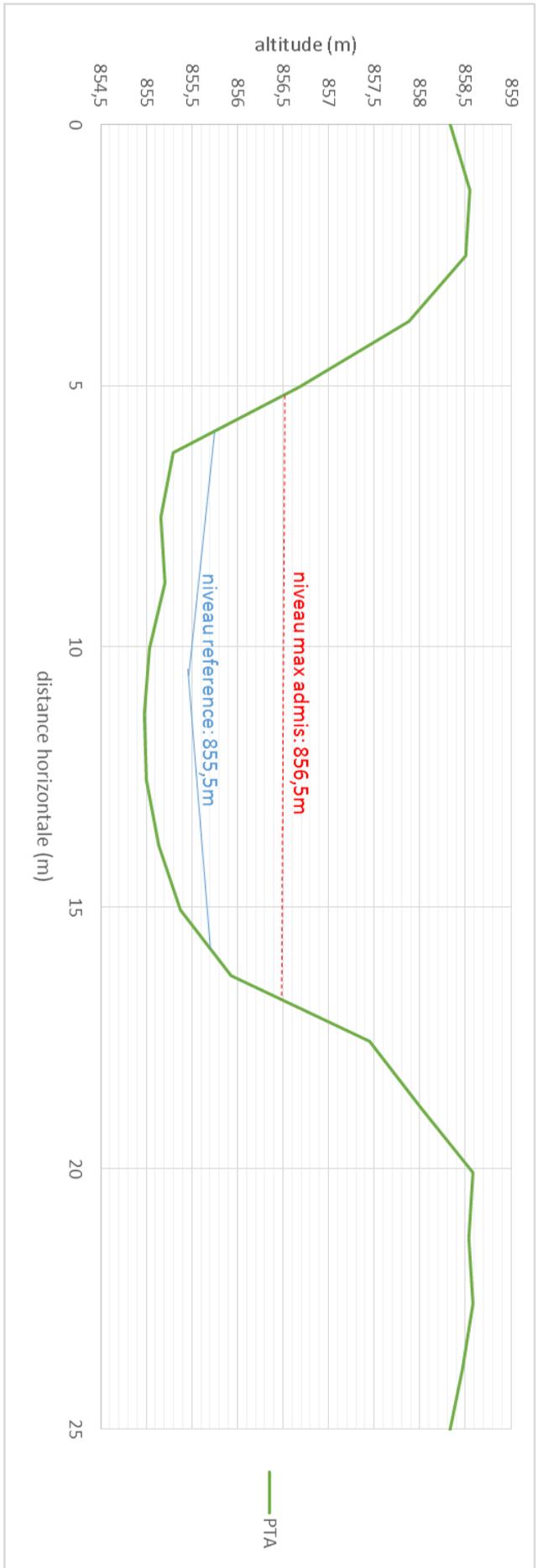
Note	Risque de défaillance
$N \leq 2$	Faible
$3 \leq N \leq 4$	Moyen
$N > 4$	Fort

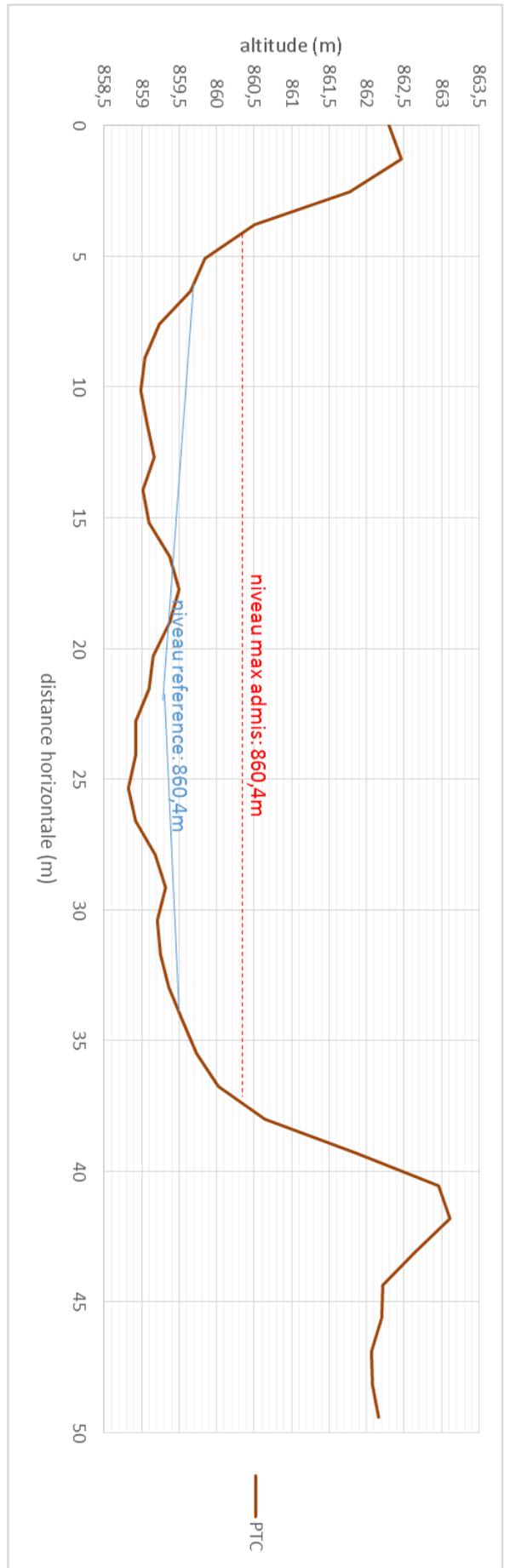
Classification des risques de défaillance



## ANNEXE 8: DEFINITION DES COTES DE CURAGE EN AMONT DU PONT DE LA RD







## ANNEXE 9 : PHOTOGRAPHIES HISTORIQUES NON DATEES



Ruisseau des Follys



Rochers de Grenairon





Vue générale du bassin versant du Nant Sec



Baraque forestière

