

Fiche d'examen au cas par cas pour les PPR Naturels

à adresser à autoriteenvironnementale.cgedd@developpement-durable.gouv.fr

Nota : en application du II-b de l'article R122-18 du code de l'environnement, ces informations seront mises en ligne sur le site Internet de l'autorité environnementale

La saisine doit s'accompagner des informations suivantes, afin de permettre à l'Autorité environnementale d'apprécier si une évaluation environnementale est nécessaire ou non (article R122-18 du code de l'environnement) :

- une description des caractéristiques principales du plan, schéma, programme ou document de planification, en particulier la mesure dans laquelle il définit un cadre pour d'autres projets ou activités ;
- une description des caractéristiques principales, de la valeur et de la vulnérabilité de la zone susceptible d'être touchée par la mise en œuvre du plan, schéma, programme ou document de planification ;
- une description des principales incidences sur l'environnement et la santé humaine de la mise en œuvre du plan, schéma, programme ou document de planification.

Coordonnées du porteur du plan

Direction départementale des territoires de la Savoie
Service sécurité et risques / Unité Risques
L'Adret - 1, rue des Cévennes - 73011 CHAMBERY Cédex

0. Désignation du PPRN (joindre un plan de situation et une carte du périmètre)

Département : Savoie - **Commune : Sainte Foy Tarentaise**

1. Caractéristiques du PPRN

Procédure concernée

Révision du plan de prévention des risques naturels (PPRN)

1.1. Quels sont les objectifs de la prescription de ce PPRN (notamment dans le cas où il s'agit d'une révision)

La commune dispose d'un Plan de prévention des Risques Naturels Prévisibles couvrant une partie du territoire communal et annexé au POS. La maîtrise de l'urbanisation est assurée par ce document.

Ce PPRN a été élaboré par le service RTM, approuvé le 9 décembre 2003 et révisé le 14 janvier 2008.

Ce document ne donne plus satisfaction aujourd'hui dans la mesure où il ne prend pas en compte des travaux de sécurisation du hameau de Viclaire vis-à-vis des crues de l'Isère, réalisés par la commune en 2015 et financés en partie par l'État dans le cadre du Programme d'Action de Prévention des Inondations sur la Tarentaise.

Il ne prend pas non plus en compte les nouveaux éléments d'analyse du risque avalanche élaborés par le RTM en mars 2015 sur les secteurs de la Thuile, Bon Conseil, Raffort et le Villard.

Suite à la demande de la commune, il est donc prévu de prescrire une seconde révision du PPRN, fondée sur la prise en compte des travaux de protection du hameau de Viclaire et sur la prise en compte de la nouvelle expertise du RTM sur le risque avalanche.

1.2. Quels sont les risques pris en compte (phénomènes physiques à l'origine des aléas ; population, infrastructures ou activités exposées) ? (joindre le cas échéant l'historique des événements constatés)

Les risques naturels pris en compte sont les avalanches, les mouvements de terrains et les inondations.

1.3. La prescription du PPRN sera-t-elle appelée à s'inscrire dans un programme d'élaboration plus large impliquant d'autres PPR ?

NON

1.4. Le territoire est-il inclus dans un territoire à risques importants d'inondation (TRI) au sens de l'arrêté du 12/12/2012 ?

NON

2. Description des caractéristiques principales de la zone susceptible d'être touchée

2.1 Décrivez les enjeux environnementaux du territoire (mention des principaux zonages environnementaux) sensibilité, vulnérabilité, tendances d'évolution :

Plusieurs zonages environnementaux impactent le territoire communal.

- ▶ **Type de zone : Forêt de protection**
Forêt de protection (article L411 du code forestier)
Interlocuteur : DDT - service environnement eau forêts

Nom de la zone	Date d'actualisation	Surface indicative
Forêt de protection de Ste-Foy-Tarentaise	1/1/2011	567.56 ha

- ▶ **Type de zone : Parc national de la Vanoise**
Zone centrale du Parc de la Vanoise
Interlocuteur : Parc national de la Vanoise

Nom de la zone	Date d'actualisation	Surface indicative
Parc national de la Vanoise (Coeur)	1/1/2011	176.63 ha

- ▶ **Type de zone : Site Natura 2000 - PSIC**
Directive habitats (réseau Natura 2000) : propositions de sites d'intérêt communautaire (2005).
Interlocuteur : DDT - service environnement eau forêts / DREAL

Nom de la zone	Date d'actualisation	Surface indicative
S23 - Adrets de Tarentaise	18/2/2016	27.49 ha
S39 - Réseau de Vallons d'Altitude à Caricion	1/1/2011	1336.52 ha
S43 - Massif de la Vanoise	1/1/2011	172.00 ha

- ▶ **Type de zone : ZNIEFF de type 1**
ZNIEFF renouvelées de type 1
Interlocuteur : DDT - service environnement eau forêts / DREAL

Nom de la zone	Date d'actualisation	Surface indicative
Bois de la Balme	1/1/2012	4.01 ha
Forêt du Grand Follié	1/1/2012	403.84 ha
Forêts du Miroir et du Mousselard	1/1/2012	264.72 ha
La Sassièrre de Sainte-Foy	1/1/2012	2161.33 ha
Le Monal et Grand Bois	1/1/2012	838.12 ha
Les Hauts de Villaroger	1/1/2012	56.06 ha
Rive gauche de l'Isère entre les Brévières et la Gurraz	1/1/2012	158.61 ha
Vallon de la Grande Sassièrre	1/1/2012	
Vallon du Clou	1/1/2012	1961.48 ha

- ▶ **Type de zone : ZNIEFF de type 2**
ZNIEFF renouvelées de type 2
Interlocuteur : DDT - service environnement eau forêts / DREAL

Nom de la zone	Date d'actualisation	Surface indicative
Massif de la Vanoise	1/1/2011	10998.39 ha

Existence d'un SAGE : Non

Existence d'éléments constitutifs du SRCE ? Oui

Sont-ils sensibles aux risques naturels concernés ? Non

Les trames vertes et bleues peuvent coïncider avec les zones impactées par les phénomènes étudiés dans le PPRN. Toutefois, la révision du PPRN n'a aucune influence sur l'intensité et l'extension des aléas naturels étudiés.

Natura 2000 (Site concerné ou situé à proximité ?)	Oui
Zone de montagne :	Oui
Zone littorale :	Non

2-2. Le territoire concerné fait-il l'objet d'une procédure d'urbanisme en cours ou de documents de planification approuvés ?

La commune dispose d'un POS modifié en août 2013. Un Plan Local d'Urbanisme est en cours d'élaboration. Il est donc important de procéder à la démarche de révision du PPRN en même temps.

2.3 Décrivez les pressions pesant sur le territoire concerné (par exemple étalement urbain...) :

Le PPRN permettra d'orienter et de concentrer l'urbanisation sur des secteurs situés hors zone d'aléas ou dans les zones d'aléas les plus faibles.

3. Description des principales incidences (positives, négatives, directes, indirectes, cumulatives) sur l'environnement et la santé humaine de la mise en œuvre du PPRN :

3.1 S'agissant des champs environnementaux, autres que les risques, décrivez les effets potentiels du projet de PPRN :

Effets potentiels sur l'étalement urbain : pas de manière directe. Le PLU intégrera toutes les contraintes d'urbanisme prescrites par l'application du PPRN, ce qui peut induire une densification dans les zones sans risques.

Effets potentiels sur les zones naturelles et agricoles : le PPRN n'a pas pour objet de définir le zonage d'occupation des sols. Le PPRN réaffirme le caractère d'inconstructibilité des zones non urbanisées affectées par des aléas de fortes et moyennes intensités.

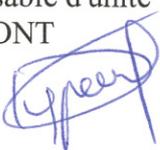
Effets potentiels sur les pollutions des eaux (accidentelles notamment) : effet positif.
Le règlement du PPRN prévoira en zone d'aléa d'inondation, la réglementation des dépôts de matériaux polluants, putrescibles ou flottants ainsi que l'ancrage ou le lestage des stockages de combustibles.

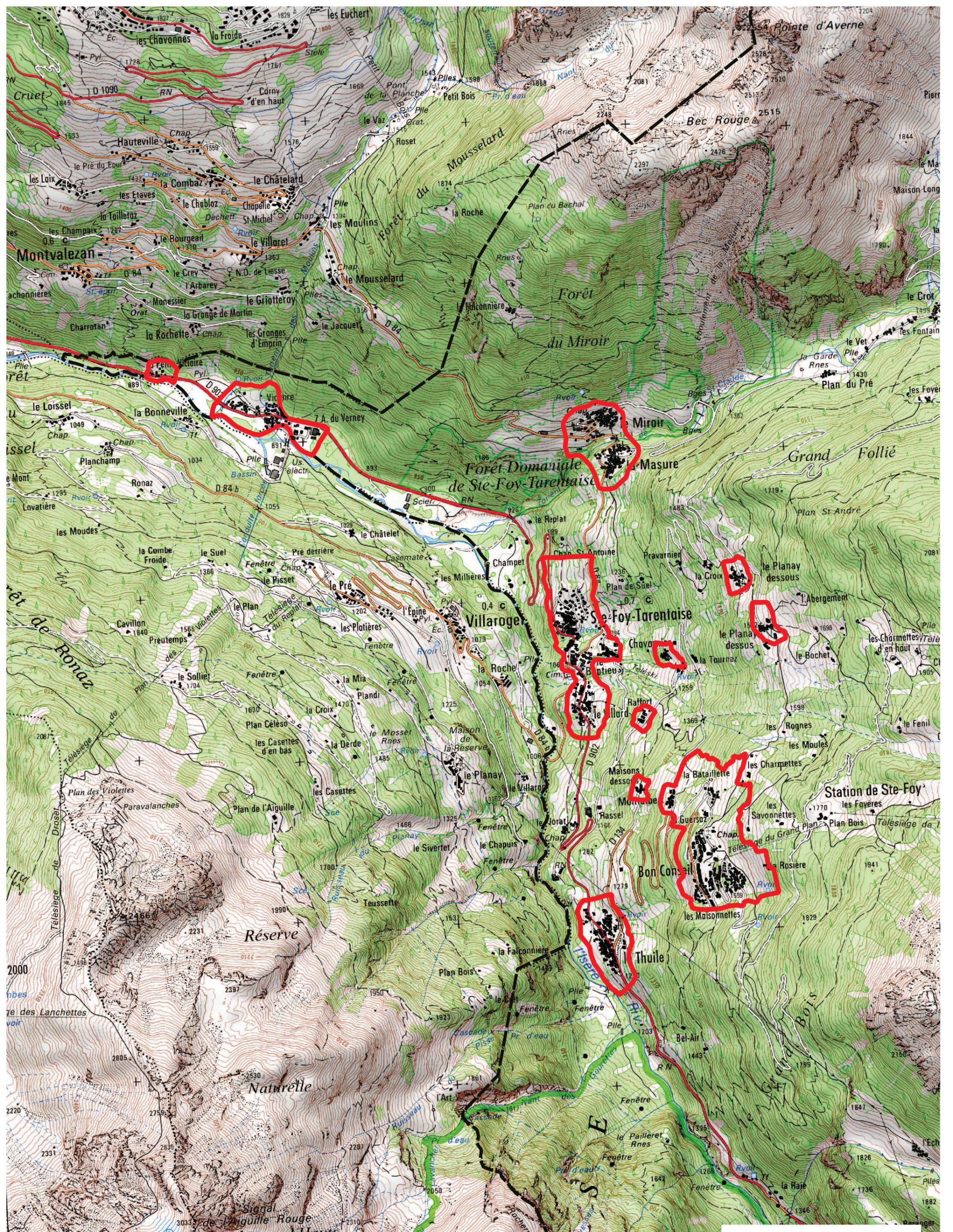
Effets potentiels sur le patrimoine bâti, les sites et paysages : Sans objet.

Effets potentiels sur le cadre de vie, l'exposition des populations aux pollutions et nuisances : le PPR n'a pas d'impact direct. Il est du ressort du PLU de fixer l'occupation du sol.

Pièces jointes :

- **esquisse du périmètre de prescription de la révision du PPRN**

Fiche rédigée le 8 juil. 16 par la chargée d'études Claire CORMIER	Vérifiée le... 08/07/2016... par la responsable d'unité Magali DUPONT 	Validée le... 18 juillet 2016... par le chef de service Philippe QUEMART 
--	--	---



PPRN Sainte-Foy-Tarentaise

Echelle: 1/20000

Mai 2016

Légende

-  **Périmètre de prescription**
-  **Limite communale**



PRÉFET DE LA SAVOIE

Direction Départementale
des Territoires

Service Sécurité Risques

Unité Risques

Affaire suivie par :
Claire CORMIER

Courriel :
claire.cormier@savoie.gouv.fr

Référence :
16/R242

Chambéry, le 8 août 2016

Le chef du Service Sécurité et Risques

à

Monsieur le Président de l'Autorité environnementale

Objet : Examen au « cas par cas » sur la nécessité de soumission à l'évaluation environnementale de la révision du PPRN de Sainte Foy Tarentaise

Référence : Votre demande de compléments en date du 26 juillet 2016

P.J. : Étude RTM avalanches
2 rapports d'études PAPI Tarentaise sur la Plaine de Viclaire

Veillez trouver ci-joint, les éléments de connaissance complétant notre demande d'examen « au cas par cas » relative à l'affaire citée en objet.

1. Description des caractéristiques principales du PPR.

■ Bases légales et précisions sur les travaux susceptibles d'être prescrits.

La nature des mesures réglementaires applicables est définie par les articles R562-3 à 5 du Code de l'Environnement :

Article R562-3 : Le projet de PPR comprend : [...]

2° un ou plusieurs documents graphiques délimitant les zones exposées aux risques ...;

3° un règlement précisant, en tant que de besoin :

- les mesures d'interdiction et les prescriptions applicables dans chacune de ces zones en vertu du 1° et du 2° de l'article L. 562-1 ;
- les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde mentionnées au 3° du II de l'article L. 562-1 et les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existant à la date de l'approbation du plan, mentionnées au 4° de ce même II. Le règlement mentionne, le cas échéant, celles de ces mesures dont la mise en œuvre est obligatoire et le délai fixé pour leur mise en œuvre.

Article R562-4 :

- I. En application du 3° de l'article L. 562-1, le PPR peut notamment :
 - définir des règles relatives aux réseaux et infrastructures publics desservant son secteur d'application et visant à faciliter les éventuelles mesures d'évacuation ou l'intervention des secours ;

- prescrire aux particuliers ou à leurs groupements la réalisation de travaux contribuant à la prévention des risques et leur confier la gestion de dispositifs de prévention des risques ou d'intervention en cas de survenance des phénomènes considérés ;
 - subordonner la réalisation de constructions ou d'aménagements nouveaux à la constitution d'associations syndicales chargées de certains travaux nécessaires à la prévention des risques, notamment l'entretien des espaces et, le cas échéant, la réalisation ou l'acquisition, la gestion et le maintien en condition d'ouvrages ou de matériels.
- II. Le PPR indique si la réalisation de ces mesures est rendue obligatoire et, si oui, dans quel délai.

Article R562-5 :

- I. En application du 4° du II de l'article L. 562-1, pour les constructions, ouvrages, espaces mis en culture ou plantés, existant à la date d'approbation, le PPR peut définir des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.
- Toutefois, le PPR ne peut pas interdire les travaux d'entretien et de gestion courants des bâtiments implantés antérieurement à l'approbation du PPR ou, le cas échéant, à la publication de l'arrêté mentionné à l'article 6 ci-dessous, notamment les aménagements internes, les traitements de façade et la réfection des toitures, sauf s'ils augmentent les risques ou en créent de nouveaux, ou conduisent à une augmentation de la population exposée.
- II. Les mesures prévues au I peuvent être rendues obligatoires dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence.
- III. En outre, les travaux de prévention imposés à des biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du code de l'urbanisme avant l'approbation du PPR et mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs ne peuvent porter que sur des aménagements limités dont le coût est inférieur à 10 % de la valeur vénale ou estimée du bien à la date d'approbation du plan.

Aussi, il est rappelé l'obligation d'entretien faite aux riverains de cours d'eau, définie à l'article L 215-14 du Code de l'Environnement :

« (...) **le propriétaire riverain est tenu à un entretien régulier du cours d'eau.** L'entretien régulier a pour objet de maintenir le cours d'eau dans son profil d'équilibre, de permettre l'écoulement naturel des eaux et de contribuer à son bon état écologique (...) notamment **par enlèvement des embâcles, débris et atterrissements, flottants ou non, par élagage ou recépage de la végétation des rives.** »

Enfin, il est nécessaire de préserver libres d'obstacles des espaces **de part et d'autre des berges** des cours d'eau, notamment pour permettre aux engins d'accéder au lit du cours d'eau pour l'entretien, mais aussi pour garantir **un espace de respiration** du cours d'eau.

De plus, l'article 640 du Code Civil précise que :

- « les fonds inférieurs sont assujettis envers ceux qui sont plus élevés, à recevoir les eaux qui en découlent naturellement sans que la main de l'homme y ait contribué,
- le propriétaire inférieur ne peut point élever de digue qui empêche cet écoulement,
- le propriétaire supérieur ne peut rien faire qui aggrave la servitude du fond inférieur».

D'une manière générale, les prescriptions du règlement portent sur des mesures simples de protection vis-à-vis du bâti existant ou futur et sur une meilleure gestion du milieu naturel.

■ Vous trouverez également en annexes :

- l'étude pour l'actualisation de la connaissance des risques d'avalanches sur la Thuile, bon Conseil, Raffort et Le Villard réalisée en mars 2015 par le service RTM.
- 2 rapports d'étude relatifs aux travaux de gestion de la plaine alluviale de Viclaire, financés par l'État dans le cadre du Programme d'Action de Prévention des Risques Inondation (PAPI2). Ces travaux réalisés aujourd'hui ont 2 objectifs : protéger le hameau de Viclaire contre les crues et valoriser l'environnement en permettant une reconexion et une renaturation d'annexes hydraulique entre autre.

2. Description des caractéristiques principales, de la valeur et de la vulnérabilité de la zone susceptible d'être touchée par la mise en œuvre du PPR .

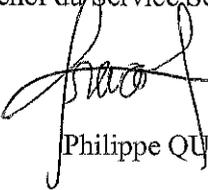
Les travaux réalisés sur la Plaine de Viclaire permettent de protéger le hameau de Viclaire du risque inondation par l'Isère. Ce hameau comprend notamment la zone artisanale du Verney avec plusieurs activités importantes pour la commune. Ces travaux ont permis de traiter l'ensemble des problèmes diagnostiqués sur cette plaine alluviale, à savoir :

- la protection des personnes et des biens de la zone de Viclaire vis-à-vis des inondations sans rechercher une extension du secteur,
- la gestion sédimentaire sur le Nant St Claude/Isère,
- l'amélioration des potentialités des milieux aquatiques de cette plaine,
- et la valorisation paysagère du site.

Conclusion :

La révision du Plan de Prévention des Risques sur la commune de Sainte Foy Tarentaise et l'ensemble de ses dispositions n'auront pas d'impact notable sur l'environnement.

p/ Le chef du Service Sécurité et Risques,


Christian TRACOL
Philippe QUEMART



RAPPORT D'ETUDE

Sainte Foy en Tarentaise

Rédacteurs :

Vincent KOULINSKI

Mireille BOYER

Anne DOS SANTOS

Relecture : Philippe VALLET



Gestion de la plaine alluviale de Viclaire

Avant-projet

www.gen-tere0.fr

218 voie A. Bergès - 73800 Sainte Hélène du Lac
Tél. 04 79 84 30 44

S.A.R.L. au capital de 20 000 € - RCS CHAMBERY B 402 731 996 / N° de TVA Intracommunautaire FR8440273199600011
SIRET 402 731 996 00011 - APE 7112B

Dossier n°: 2009098
Version : 1-20100807
Date : 07/08/2010

SOMMAIRE

1 - Rappel du contexte	4
2 - Principes mis en œuvre	5
2.1 - Principe de protection du village de Viclaire contre les crues	5
2.1.1 - <i>Situation actuelle</i>	5
2.1.2 - <i>Risque d'embâcle au droit du pont</i>	6
2.1.3 - <i>Débordement le long du versant rive droite</i>	6
2.2 - Principes de valorisation environnementale.....	7
3 - Descriptif détaillé	9
3.1 - Protection du village.....	9
3.1.1 - <i>Pont de Viclaire</i>	9
3.1.2 - <i>Débordement le long du versant rive droite</i>	10
3.1.3 - <i>Rehausse de la route départementale</i>	12
3.1.4 - <i>Impact de l'aménagement</i>	13
3.1.5 - <i>Conservation des volumes d'eau dans le lit majeur</i>	14
3.2 - Curage des apports du Nant Saint Claude	15
3.3 - Reprise du seuil et traitement du foyer de Renouée en berge	16
3.4 - Restauration des sources du Champet	18
3.5 - Remise en service du bras secondaire de l'Isère.....	19
3.6 - Création de nouveaux habitats dans le bassin de compensation.....	19
3.7 - Limitation de la dispersion de la Renouée	20
4 - Estimatif financier	22

Table des illustrations

Figure 1 : Coupe schématique de la protection par perré.	11
Figure 2 : Coupe transversale d'un épi de 100 m ³ (échelle 1/100).	11
Figure 3 : Coupe longitudinale d'un épi de 100 m ³ (échelle 1/100).	12
Figure 4 : Profil en long Objectif du Nant Saint Claude.....	16
Figure 5 : Chantier expérimental d'éradication mécanique par concassage bâchage sur une berge (2010)	21
Tableau 1 : Bilan des volumes en zone inondable (m ³)	14
Photo 1 & Photo 2 : Massifs connus en 2009 dans l'emprise du futur chenal, de la zone d'activité du carrier et du seuil de Villaroger	20

1 - RAPPEL DU CONTEXTE

L'Assemblée du Pays de Tarentaise Vanoise est engagée dans deux démarches :

- Contrat de bassin Isère en Tarentaise
- Plan d'Action et de Prévention des Inondations

Des propositions d'actions ont été définies suite à la mise en œuvre d'études diagnostic menées en 2007-2008.

La commune de Sainte Foy en Tarentaise pleinement concernée par les actions définies s'est engagée dans leur réalisation.

La gestion de la plaine alluviale de Viclaire doit répondre à deux enjeux majeurs :

- Protection des personnes et des biens contre les risques d'inondation
- Restauration et conservation des milieux aquatiques

Les programmes d'actions pour ces deux enjeux ont été menés indépendamment. Il s'agit, pour :

- La gestion du risque inondation, de :
 - o Maîtriser les apports du Nant Saint Claude par une gestion appropriée
 - o Restaurer une section d'écoulement suffisante en cas de crue par essartement de la végétation du lit majeur
- La restauration des milieux aquatiques
 - o Recréer des zones refuge pour la faune aquatique, de reproduction pour la truite et les amphibiens, de grossissement pour la truite par rétablissement d'annexes hydrauliques

Par ailleurs, d'autres problématiques ont été soulevées par les acteurs et gestionnaires locaux, il s'agit :

- Du devenir de la gravière située dans le lit majeur, en amont de la confluence Isère - Nant Saint Claude et des risques associés à sa présence en cas de crue.
- Du seuil présent sur l'Isère en amont de la confluence avec le Nant Saint Claude qui apparaît difficilement franchissable pour la faune piscicole.
- De l'intégration du bassin de compensation EDF à la réflexion, dans l'optique d'une compensation hydraulique potentielle.
- De l'impossibilité financière de modifier le pont de Viclaire.

La présente mission doit donc aboutir à un projet intégré permettant de répondre aux enjeux présentés. L'étude se décompose en deux phases :

- o Une 1^{ère} phase comprenant un diagnostic du site et l'analyse des solutions proposées débouchant sur des propositions d'esquisses d'aménagement
- o La réalisation de l'Avant-projet de la solution retenue

Ce rapport constitue la restitution de l'avant-projet des aménagements validés répondant aux objectifs fixés, rappelé ci-dessous.

Les objectifs redéfinis suite à ce diagnostic sont les suivants :

- **Protection des personnes et des biens des risques d'inondation associés aux crues de l'Isère**
 - o Gestion et entretien du lit du Nant Saint Claude afin de maîtriser les facteurs aggravants de la crue associés à une rehausse du cône de déjection
 - o Protection du village de Viclaire contre les crues de l'Isère
 - o Maîtrise du risque de la formation d'embâcles au niveau du pont de Viclaire

- **Préservation de l'intégrité de la forêt alluviale**
- **Limitation de la dispersion des renouées du Japon**
- **Diversification des habitats aquatiques et humides afin de favoriser la reproduction et le développement de la faune piscicole, des batraciens**

2 - PRINCIPES MIS EN ŒUVRE

2.1 - Principe de protection du village de Viclaire contre les crues

2.1.1 - Situation actuelle

Dans l'état actuel, deux phénomènes menacent le village de Viclaire :

- ✓ Le risque d'embâcle au droit du pont,
- ✓ Le débordement le long du versant rive droite avec un passage de l'écoulement sur la RD 902. Ce débordement - sur une faible hauteur - menace une grande partie de la zone urbanisée pour le débit centennal.

La vue suivante reprend l'atlas des zones inondables et illustre la situation actuelle.

Cette vue en plan indique aussi la zone qui pourrait être protégée.

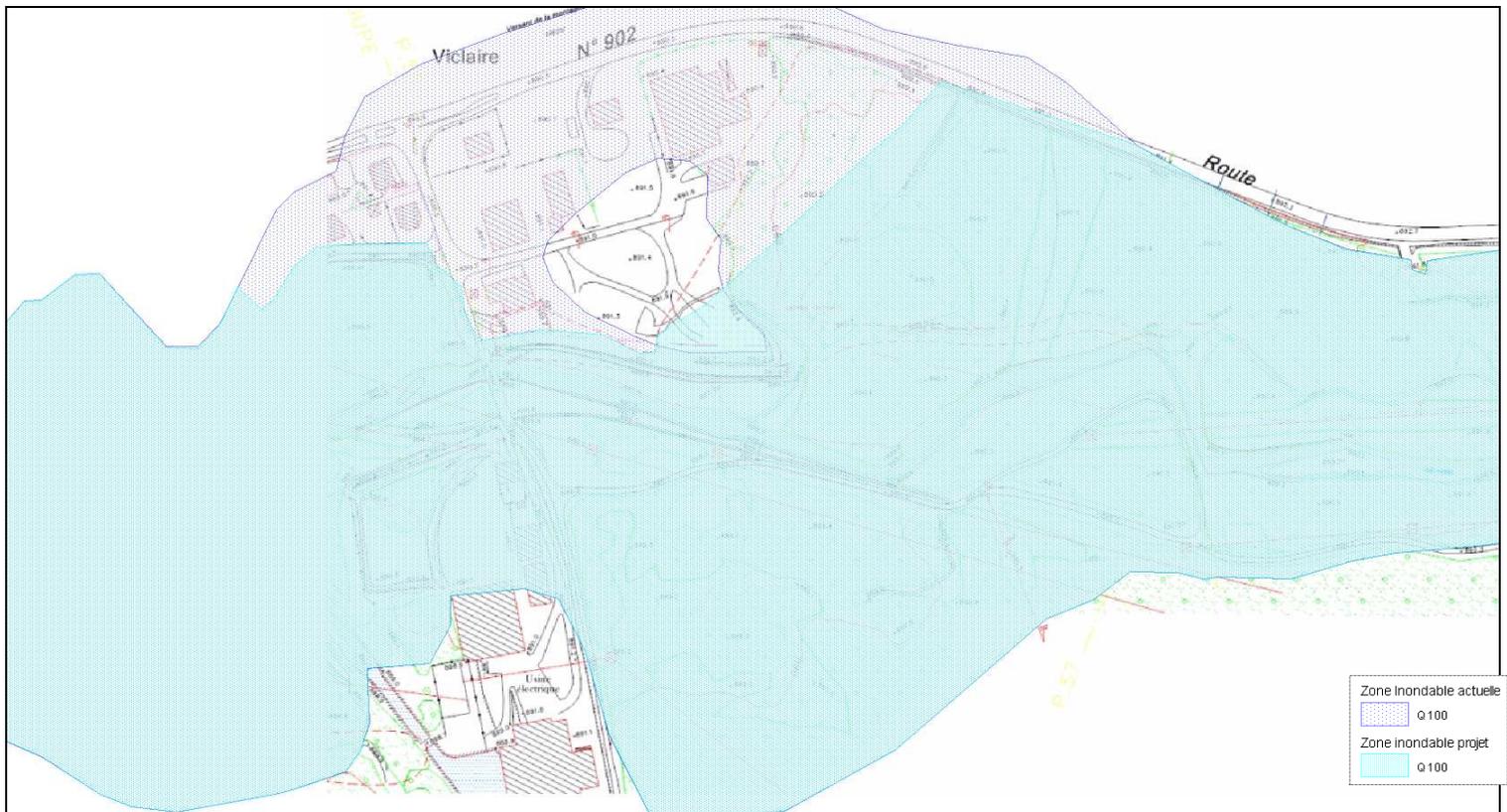


Figure 1 : Carte des zones inondables

Ces deux aspects sont largement indépendants mais une protection de Viclaire passe par une suppression de ces deux points noirs. Ils sont donc développés indépendamment ci-dessous.

2.1.2 - Risque d'embâcle au droit du pont

Le pont présente une capacité tout juste suffisante pour permettre le passage de la crue centennale. Par contre des embâcles, très probables en aval d'un lit aussi densément boisé, risquent de conduire à un débordement.

Plusieurs solutions sont envisageables :

1. La **suppression du pont** est évidemment radicale. Il paraît envisageable de desservir la rive gauche à partir du pont de la Bonneville en aval. Les contraintes topographiques, notamment à proximité de la centrale EDF conduisent à abandonner cette solution.
2. La réalisation d'un **bras de décharge** est en grande partie illusoire car - à cause des flottants et du transport solide - il devra permettre l'écoulement de la totalité du débit de projet. Cette solution revient à déplacer le problème alors que les deux rives sont densément occupées.
3. La reconstruction d'un **nouveau pont** nettement plus haut et - de préférence sans pile centrale - paraît délicate à mettre en œuvre notamment pour le raccordement aux voiries existantes (la chaussée serait remontée d'au moins 2 mètres). Elle est d'autre part prohibitive ce qui conduit à son abandon.
4. Le remplacement du pont existant par un **ponceau submersible** calé assez bas pour éviter un débordement paraît séduisant étant donné le régime de l'Isère dans ce secteur (débit réservé à l'exception de quelques crues exceptionnelles). Sa gestion paraît cependant délicate et le raccordement à la voirie est très difficile. Surtout, le calage du ponceau, nécessairement très bas pour laisser passer les crues, est difficilement gérable et risque de conduire à une dégradation des milieux par rapport à l'état actuel. Cette solution a donc été repoussée.
5. La **gestion des embâcles** durant la crue paraît la solution la mieux adaptée au site :
 - Cette solution consiste à disposer d'une pelle mécanique sur le pont afin d'enlever ou de pousser les arbres susceptibles de se bloquer sous l'ouvrage. Le retour d'expérience montre que cette gestion est efficace si un engin est sur le site durant la crue.
 - le bassin versant est assez grand pour disposer d'un délai suffisant entre le début de la crue et les risques de débordement.
 - Plusieurs entreprises de travaux publics sont implantées sur le site. Ainsi, il leur est facile de mettre un engin à disposition en cas de crue. Un délai d'au moins une heure permet aussi d'acheminer du matériel si aucun engin n'était disponible sur le site.

Ainsi, il apparaît que l'établissement d'une convention entre la commune et une entreprise permettrait d'apporter une solution au problème des embâcles au droit du pont. Cette solution est retenue par la suite. Elle devra être accompagnée d'une gestion de la végétation sous l'ouvrage comme développé au niveau de l'avant projet.

2.1.3 - Débordement le long du versant rive droite

Le débordement en rive droite est causé par un niveau particulièrement bas de la RD 902 par rapport aux terrains environnants. Plusieurs solutions ont été analysées :

1. Le **déplacement d'une large partie du village** de Viclaire peut être évoqué. Il est clair que la suppression de toute présence humaine en haute Tarentaise serait bénéfique pour l'Isère et son environnement et qu'elle apporterait une solution radicale au risque de débordement. Cette solution, élégante pour une habitation isolée, ne peut être sérieusement envisagée pour la zone artisanale et les habitations en retrait.
2. L'**essartement des boisements** avait été initialement envisagé. Cette solution est en effet la plus proche d'un retour à l'état naturel, la réduction drastique des débits ayant conduit à un développement de la forêt et à une perte de la capacité hydraulique. Cependant, l'analyse combinant les logiques de sécurité publique et environnementales a montré que cette intervention - couteuse à long terme - avait un impact environnemental fort et qu'elle était peu efficace dans la zone urbanisée. On notera aussi qu'elle conduisait à une réduction de près de 100 000 m³ du volume d'eau dans la plaine amont pour la crue centennale suite à l'abaissement de la ligne d'eau.
3. Des **protections rapprochées** autour de chaque bâtiment ont été évoquées. Cette solution s'avère difficile à mettre en œuvre. Elle est surtout très dangereuse ici car elle ne permet pas de quitter la zone inondable après la submersion prenant les habitants au piège. Elle est donc abandonnée.
4. Le **remblaiement de la dépression le long du versant**, suivant le tracé de la RD 902 paraît la seule solution réaliste. L'ouvrage doit être particulièrement robuste et fiable. De plus, en permettant la remontée de la RD 902, elle favorise l'évacuation de la zone, élément prépondérant pour la sécurité des personnes. Cela impose un large remblai allant jusqu'au versant. Cette solution permet de minimiser l'impact des aménagements. Cette solution est donc retenue par la suite. Localement, au droit des habitations longeant la RD 902, le terrain restera calé environ 1 mètre sous le niveau du remblai. Ce dernier présentant une largeur d'une cinquantaine de mètres, il n'y a aucun risque de rupture brutale comme dans le cas d'une digue.

D'autre part, l'analyse du site a montré que la forme du remblai actuel de la zone artisanale était très défavorable pour le retour dans le lit mineur des eaux du lit majeur boisé. Cette situation est une source d'incertitude importante et peut majorer localement les niveaux d'eau.

Ainsi, le projet doit s'opposer à l'écoulement dans la dépression le long du versant rive droite et faciliter le retour des eaux dans le lit mineur. Cette nouvelle géométrie réduit les incertitudes sur les niveaux d'eau à proximité du versant.

Cet aménagement, très en retrait du lit mineur, n'a pas d'impact sensible sur les niveaux d'eau en crues. D'autre part, la pente est ici trop forte pour que le remblai ait une influence sur la pointe de crue, le lit mineur ne conduisant pas à une réduction du débit de pointe.

Par contre, ce remblai pourrait avoir une influence sur la vitesse de propagation de la crue. Cependant, d'une part, le volume correspondant est faible, d'autre part, pour satisfaire le dogme de la compensation des volumes, un volume équivalent sera libéré dans le lit majeur, notamment par la suppression de la pointe du remblai actuel près du lit mineur, et par l'aménagement du bassin de compensation.

2.2 - Principes de valorisation environnementale

Plusieurs constats ont été établis dans les phases préalables d'études.

La qualité des peuplements piscicoles est avérée mais l'analyse de la qualité des habitats a montré un manque de diversification permettant notamment la présence de zones de frayères fonctionnelles, la présence de zones de refuge et de zones de grossissement des alevins.

L'amélioration de la qualité physique est générée par l'amélioration de la connectivité latérale et longitudinale.

La reconnexion et renaturation d'annexes hydrauliques permet de répondre à l'amélioration de la connectivité latérale.

- Reconnexion du bras secondaire de l'Isère en rive droite ; cet ancien bras de l'Isère a été obturé par des enrochements et a été comblé par les alluvions lors des crues de l'Isère.
- Renaturation des sources du Champet par la remise à ciel ouvert du linéaire busé. La réflexion a intégré l'occupation des sols à proximité. Les différents tracés possibles ont été étudiés de manière à concilier l'intérêt écologique et le maintien de l'activité en place.

La continuité longitudinale est assurée par un aménagement du seuil de Villaroger. Une première analyse avait conduit à proposer une rampe en enrochement rugueux en rive gauche du seuil présentant une pente à 7,5 %, nécessitant une reprise partielle du seuil. Une solution alternative à l'aide de pré-barrages a été étudiée. Cette solution, si elle présente l'avantage de ne pas toucher à la structure du seuil, se trouvait délicate à mettre en œuvre du fait de la présence d'un bras secondaire en rive droite, une dizaine de mètres à peine, en aval du seuil. L'avis de l'ONEMA et les préconisations émises en termes de pente (6% maximum) notamment, ont été intégrées à l'AVP.

La valeur écologique de la plaine de Viclaire s'exprime non seulement au travers de son réseau hydrographique et des milieux aquatiques associés, mais aussi par :

- Le boisement alluvial qui se caractérise par une forêt humide à dominance de saules et d'aulnes blancs. Le boisement est constitué d'une mosaïque de milieux en fonction de plusieurs critères déterminants : l'arrêt des extractions, l'altitude et la nature des terrains. Le boisement, encore au stade pionnier, commence à montrer des signes d'évolution vers les stades supérieurs. Seule la zone de confluence du Nant Saint Claude grâce à la forte activité de celui-ci est caractérisée par le maintien des formations pionnières.

Les principales menaces de ce milieu aujourd'hui est l'invasion par les renouées du japon.

Le principe retenu est donc le maintien de l'intégrité du boisement alluvial et de l'intérêt qu'il présente. L'analyse du risque de dispersion de la renouée du japon a conduit à circonscrire les zones les plus problématiques.

- La roselière sèche qui a colonisé l'ancien bassin de compensation de l'équipement hydroélectrique de Viclaire présente un intérêt écologique modéré. Ce site participe dans le projet à la compensation volume/volume des aménagements de protection des zones urbanisées en remblais proposés. La synergie de cet aménagement avec une valorisation environnementale au travers d'une diversification de milieu a été recherchée. Les groupes faunistiques que l'on a cherché à favoriser sont les batraciens.

3 - DESCRIPTIF DETAILLE

Pièces graphiques en annexe

3.1 - Protection du village

3.1.1 - Pont de Viclaire

Les actions à mettre en œuvre sont de trois types :

- Interventions sur site. Il s'agit essentiellement de favoriser le transit des arbres sous le pont en évitant les coincements. L'entretien sélectif du boisement de berge en amont du pont permettra aussi d'éliminer régulièrement les arbres jugés les plus problématiques. Pour faciliter les opérations pendant la crue, il est conseillé de prévoir l'éclairage du site. L'intervention peut être assez longue pour nécessiter le renouvellement du personnel.
- Gestion de la végétation sous le pont. Il s'agit, sur une longueur de 50 mètres de part et d'autre du pont, d'essarter la végétation et de curer les terrasses jusqu'à une dizaine de centimètres sous du niveau du fil d'eau d'étiage. Cette solution permet de retarder fortement le retour de la végétation par la formation d'une "mare" en intrados. Évidemment des dépôts s'y reformeront lors des prochaines crues et un entretien à long terme est à prévoir même s'il est fortement retardé.
- Mise en place d'un système d'alerte et d'une intervention sur le site. Il est conseillé de prévoir les seuils d'alerte et les procédures suivants :
 - Mise en vigilance en cas d'alerte météo. La probabilité d'une très forte crue en l'absence d'alerte paraît très faible. Évidemment, il convient de tenir compte de la réalité de terrain et les riverains devront avertir la mairie - ou les pompiers - en cas de montée des eaux exceptionnelle. Ce niveau d'alerte doit entraîner l'intervention sur site en l'absence de système automatique ou la vérification du système dans le cas contraire.
 - Premier seuil pour un niveau d'eau 70 centimètres au dessus du niveau d'étiage, soit 888 NGF. Cela correspond à un débit de l'ordre de 13 m³/s, ce qui est rare sur Viclaire dans l'état actuel. Ce seuil peut être simplement matérialisé par une marque de peinture sur la pile centrale ou être mesuré automatiquement. Dans ce cas, l'entreprise doit être prévenue et doit pouvoir faire intervenir une machine rapidement, ce qui signifie un transfert de pelle mécanique si aucun engin n'est disponible sur le site.
 - Pour un niveau supplémentaire de 75 cm par rapport au seuil précédent (soit 888.75 NGF) ou en cas de transport d'arbres par l'écoulement, une pelle mécanique doit intervenir dès que possible. Cette cote correspond à un débit de l'ordre de 90 m³/s environ (dépendant de la géométrie du site lors de cette crue). Même pour une crue courte (temps de montée de seulement 5 heures au lieu de 19 h 30 comme pour l'étude des apports solides), la pointe de crue ne devrait être atteinte que 2.5 h après.

Ces recommandations correspondent à un bassin versant naturel et montrent la faisabilité du dispositif. Pour l'Isère à Viclaire, le rôle d'EDF est prépondérant et il est probable que ce débit correspondant à la transparence totale du barrage de Tignes corresponde plutôt à une crue longue et qu'EDF dispose d'information bien avant la pointe de crue.

Une collaboration étroite entre la mairie et EDF permettrait d'allonger nettement les délais d'intervention et de réduire les fausses alertes. Elle est donc souhaitable même si elle n'est pas indispensable.

3.1.2 - Débordement le long du versant rive droite

Il s'agit ici d'éviter le débordement le long du versant. Pour cela, la géométrie du remblai sera modifiée de la façon suivante :

- La pointe du remblai du côté du lit mineur sera résorbée et un arc de cercle favorisera l'entonnement de l'écoulement.
- Un large remblai formera un entonnement progressif et permettra un raccordement avec le tracé de la route. La largeur du remblai constitue un élément essentiel de la sûreté.
- Deux types de protections sont prévus :
 - ✓ Le long du lit mineur, une protection par un perré en enrochements, résistante et d'encombrement limitée, sera mise en place dans le prolongement de l'actuelle.
 - ✓ Sur la face amont du remblai (à plus de 30 mètres du lit mineur), moins sollicitée, une protection par épis, moins chère et plus facilement intégrable sera préférée. L'entraxe entre les épis sera d'une vingtaine de mètres.
- Le remblai sera calé avec une revanche de 1 m minimum par rapport à la ligne d'eau centennale. Il sera plus haut du côté du versant afin de permettre, en cas de large dépassement de la crue de projet, une submersion progressive et de faciliter l'évacuation. Cela conduit aux cotes suivantes :
 - ✓ Du côté de la RD 902, le remblai sera calé à 891.5 NGF.
 - ✓ Au droit du pont, la cote de la rive droite sera de 890.5 NGF minimum (891 NGF de préférence). Cette cote est peu significative, les terrains en retrait étant encore plus haut.
 - ✓ Dans le coude, le sommet de berge sera calé à 891 NGF minimum, soit nettement sous le terrain en retrait.

Le talus du remblai sera engazonné par un mélange d'espèces adapté au site.

Le perré en enrochements présentera les caractéristiques suivantes :

- Enrochements libres d'un poids de 250 à 3500 kg (poids moyen 1 000 kg). Les blocs les plus grossiers seront préférentiellement disposés du côté de la rivière. La plus grande dimension du bloc sera perpendiculaire au perré. On cherchera à obtenir une surface aussi rugueuse que possible.
- Les blocs les plus grossiers seront préférentiellement disposés sur le fond alors que les blocs les plus petits seront implantés dans la partie supérieure de la protection. Ainsi, l'épaisseur du perré passera de 2 mètres dans la partie basse à 1 mètre seulement au sommet du perré.
- Une couche de transition sera composée d'un géotextile ou d'une couche de 20 centimètres de déchets de carrière (diamètre moyen de 40 mm minimum et d_{80} supérieur à 100 mm).
- Fruit de 3H/2V.
- Sabot de pied de 4 mètres de largeur et de 2.3 mètres d'épaisseur avec des blocs de 250 à 3500 kg. Il sera constitué de trois couches de blocs.
- Le sommet du sabot sera calé au niveau du fil d'eau d'étiage actuel.

- Le sommet du perré sera calé au niveau du sommet du remblai défini précédemment.

La figure suivante schématise la protection à mettre en place :

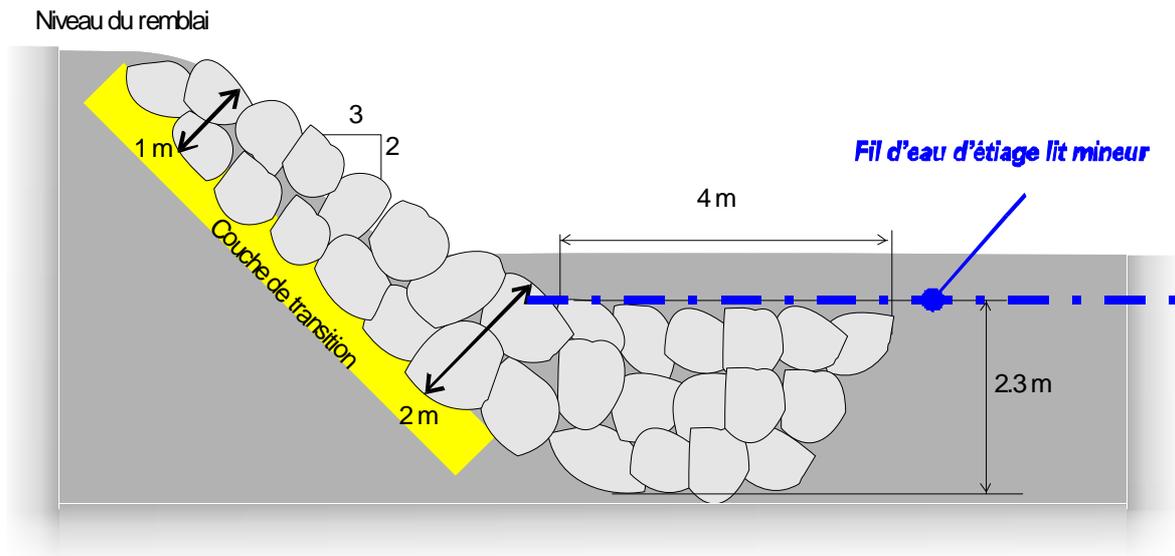


Figure 2 : Coupe schématique de la protection par perré

La protection par épis peut être mise en place à plus de 30 mètres du lit mineur si l'on accepte un recul de la berge de 10 mètres en sommet de berge en cas de forte crue.

Les épis seront disposés perpendiculairement au remblai. Ils dépasseront du remblai sur la moitié de leur longueur environ, soit 5 mètres. Les niveaux de calage sont indiqués ci-dessous.

On utilisera des gros blocs avec un poids unitaire de 2,5 à 5 tonnes. Ces blocs seront disposés en vrac sans être soigneusement rangés, des enfoncements importants étant probables lors des crues.

Les figures suivantes représentent les différents types d'épis :

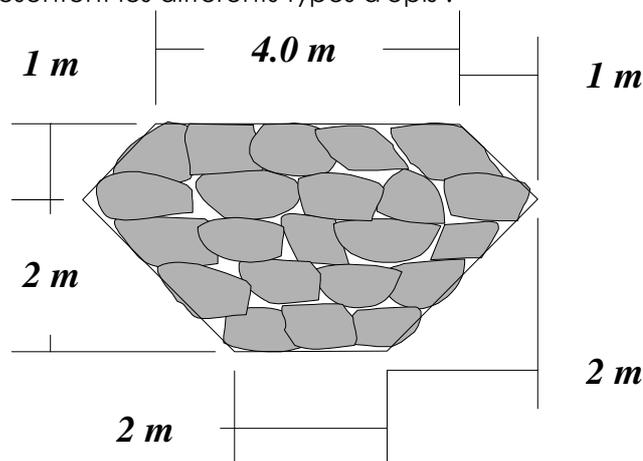


Figure 3 : Coupe transversale d'un épi de 100 m³ (échelle 1/100).

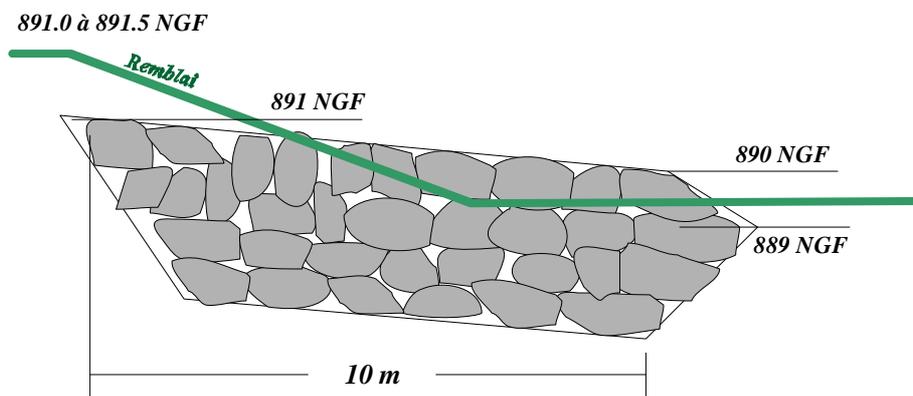


Figure 4 : Coupe longitudinale d'un épi de 100 m³ (échelle 1/100)

Cette disposition permet une excellente protection de l'ensemble des terrains remblayés mais aussi des terrains en retrait, pour une crue au moins centennale. Aucun élément technique ne justifie, après travaux, des restrictions sur les possibilités d'urbanisations à plus de 15 mètres de la berge le remblai étant assez massif pour permettre un changement radical des risques en cas de crue.

Notons que cette disposition permet, en cas de dépassement de la crue de projet, une évacuation, vers le versant mais aussi par la RD 902.

Une information des riverains sur les risques présentés en cas de dépassement de la crue de projet doit être prévue. D'autre part, une évacuation du site est conseillée en cas de revanche inférieure à 50 centimètres, sur les berges comme sous le pont.

L'aménagement est estimé à **592 000,00 € HT**.

3.1.3 - Rehausse de la route départementale

Les écoulements submergent la route départementale et vont inonder les habitations de Viclaire. La mise en sécurité des personnes et des biens nécessite le traitement de ce point bas. Il est donc proposé un reprofilage de la route de manière à supprimer le point bas.

Il s'agit de relever le point bas de la route situé en amont de la zone d'activité. Au niveau du point bas, la route est relevée de 1 m à la cote 991,85mNGF entre les profils n°15 et n°16. A partir de ce point le raccord se fait à l'existant au carrefour de Viclaire en aval et au niveau du premier virage en amont, soit environ 575 ml. La pente globale de la route sera de 0,3%. La largeur de la voie de circulation est de 7,50 m.

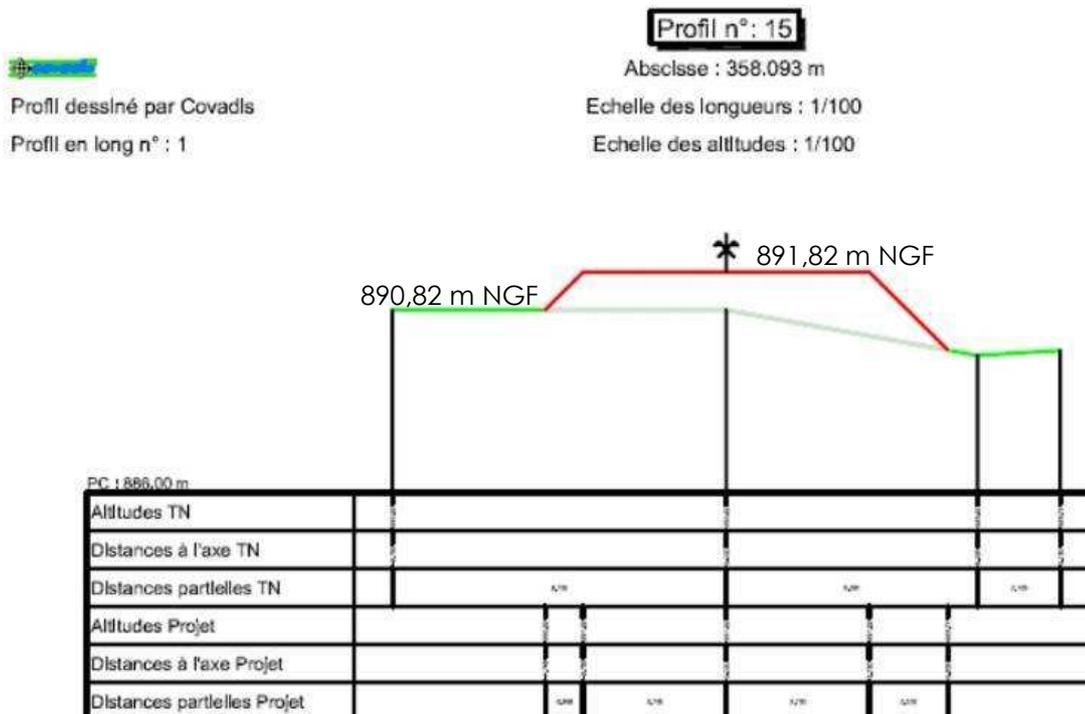


Figure 5 : Rehausse de la RD - Profil en travers

La chaussée existante sera démolie sur le linéaire concerné et reconstituée avec une couche de base et une couche de roulement :

- | | |
|--|---------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> - une couche de grave 0-80 sur 50 cm - une couche de grave 0-31,5 sur 15 cm - une couche de grave bitume sur 15 cm | Couche de base |
| <ul style="list-style-type: none"> - une couche de béton bitumineux sur 6 cm | Couche de roulement |

L'aménagement est estimé à **300 000,00 € HT**. Cette estimation devra être consolidée par un levé topographique de la voirie permettant un métré plus précis.

3.1.4 - Impact de l'aménagement

Les modifications apportées conduisent pour les niveaux calculés pour la crue centennale à un écart inférieur au centimètre. En effet, le projet concerne une zone d'eau morte de faible épaisseur. De plus, le recul de la pointe près du lit mineur compense largement l'effet du remblai en bordure du lit majeur.

Dans les faits, la forme du remblai va faciliter le retour de l'écoulement vers le lit mineur et réduire l'aléa sur les niveaux près de la RD 902, augmentant encore la sécurité de l'aménagement.

Concernant la propagation de la crue, l'aménagement pourrait conduire à une accélération. Celle-ci reste négligeable car la diminution du volume d'eau sous la cote centennale liée à la modification de la géométrie du remblai - hors compensation - est de l'ordre de 23 000 m³. Ce volume est insignifiant à la fois par rapport au volume de la crue de projet (20 millions de m³) et à l'effet de la végétalisation¹ du lit (majoration des volumes d'eau de plus de 100 000 m³ suite à la surélévation des niveaux).

¹ Boisement spontané du lit découlant de la réduction drastique des débits dans cette zone.

Quant à une réduction du débit de pointe en aval, l'effet de l'aménagement est insignifiant au regard des volumes en jeu mais aussi parce que la pente est déjà trop forte pour permettre un laminage des crues par un simple étalement dans le lit majeur. La conservation des digues fusibles du bassin de compensation et du rétrécissement du pont de la Bonneville permettent de préserver l'amélioration de la situation actuelle par rapport à l'état naturel.

3.1.5 - Conservation des volumes d'eau dans le lit majeur

Le SDAGE⁽²⁾ impose la conservation rigoureuse des volumes inondés en cas d'aménagement. En règle générale, cet objectif est légitime dans son principe, surtout dans les rivières à faible pente où l'écoulement est nettement fluvial. La formulation et l'application ne laissent aucune marge à l'interprétation ni à l'analyse hydraulique. Le concept devient alors contre productif :

- Lorsque la pente est forte, l'étalement dans le lit majeur n'apporte aucune atténuation du débit de pointe.
- Une bonne gestion des crues consiste à minimiser le stockage pour les crues ordinaires afin de maximiser les possibilités d'atténuation des crues dommageables.
- Dans le cadre d'une dynamique amoindrie, comme sur l'Isère, l'objectif poursuivi consiste à maximiser les crues ordinaires - ou ce qu'il en reste - afin de préserver la dynamique de la rivière et éviter notamment une colonisation du lit par les boisements.

Il apparaît donc que l'application de ce concept, particulièrement dans le cas de Viclaire, est inadapté. En l'absence de toute adaptation possible, le tableau suivant montre le bilan des volumes correspondant à l'application de cette démarche dogmatique.

Pour simplifier les calculs de volume, on a retenu sur toute la zone concernée par l'aménagement le niveau maximum calculé pour la crue centennale soit 890.54 NGF. Cette démarche majore les volumes calculés. Mais ils restent faibles.

	Suppression volume inondable	Ajout volume inondable
Village de Viclaire	19 050 m ³	
Aménagements en remblais à la cote Q100	6 318 m ³	
Aménagements en déblais		25 368 m ³
TOTAL	25 368 m³	25 368 m³

Tableau 1 : Bilan des volumes en zone inondable (m³)

(2) Orientation fondamentale N°8 - [Disposition 8-02] – Contrôler les remblais en zone inondable

"En application du décret du 17 juillet 2006 et de l'arrêté du 27 juillet 2006, tout projet de remblais e zone inondable nécessitant une étude d'impact au titre de l'article R122-3 doit étudier différentes alternatives limitant les impacts sur l'écoulement des crues, en terme de ligne d'eau et en terme de débit.

Tout projet de remblai en lit majeur doit être examiné au regard de ses impacts propres mais également du risque de cumul des impacts de projets successifs, même indépendants.

Ainsi tout projet de cette nature présente une analyse des impacts jusqu'à la crue de référence :

- vis-à-vis de la ligne d'eau ;
 - en considérant le volume soustrait aux capacités d'expansion des crues.
- **Lorsque le remblai se situe en zone d'expansion de crues**, la compensation doit être totale sur les deux points ci-dessus. La compensation en volume correspond à 100 % du volume prélevé sur la ZEC pour la crue de référence et

doit être conçue de façon à être progressive et également répartie pour les événements d'occurrence croissante : compensation "cote pour cote". Dans certains cas, et sur la base de la démonstration de l'impossibilité d'effectuer cette compensation de façon stricte, il peut être accepté une surcompensation des événements d'occurrences plus faible (vingtennale ou moins) mais en tout état de cause le volume total compensé correspond à 100 % du volume soustrait à la ZEC.

- **Lorsque le remblai se situe en zone inondable hors zone d'expansion de crues** (zones urbanisées par exemple), l'objectif à rechercher est la transparence et l'absence d'impact de la ligne d'eau, et une non aggravation de l'aléa. La compensation des volumes est à considérer comme un des moyens permettant d'atteindre cet objectif."

3.2 - Curage des apports du Nant Saint Claude

Le principe de l'aménagement est simple : prélever tous les apports afin d'éviter un engravement à long terme de l'Isère. Afin de réduire l'impact de ces prélèvements, ils seront exclusivement réalisés dans le lit du Nant Saint Claude et non dans l'Isère.

D'autre part, l'objectif de ces curages est le prélèvement de la quasi-totalité des apports solides : en aval des curages la pente d'équilibre est très faible. Il est donc impératif d'effectuer les prélèvements à proximité du confluent avec l'Isère dont le lit devrait être beaucoup plus stable.

Le parti pris de la gestion proposée est de simplifier au maximum la gestion du site. Ainsi, trois profils transversaux ont été levés dans le cadre de cette étude. Ces profils transversaux devront être matérialisés sur le site.

Avant toute intervention, un levé topographique devra être réalisé. Il s'agit uniquement du levé du fil d'eau d'étiage au droit de chacun des profils. Ce levé correspond donc à seulement trois points. Cette démarche est adaptée dans la mesure où le fil d'eau d'étiage est directement lié au niveau moyen du lit pour une morphologie donnée.

La gestion sera alors la suivante :

- Si le niveau objectif est dépassé de plus d'un mètre sur au moins un profil (il devrait s'agir généralement du profil 2), un curage doit être mis en œuvre.
- Ce curage sera réalisé jusqu'à retrouver la cote objectif sur tout le linéaire où ce niveau est dépassé. Ce profil objectif est défini par interpolation linéaire entre les niveaux des trois profils transversaux. Aucun curage ne sera réalisé en amont du profil P2 si le niveau objectif au P1 n'est pas atteint afin de prévenir une érosion régressive.
- Les curages ne concerneront que les terrasses hautes, les zones en eau n'étant pas curées, ainsi que les pieds de berges sur 5 mètres de largeur minimum. A la fin de l'opération de curage, le lit sera donc perché au dessus des terrains environnants. Il retrouvera un modelé plus naturel dès la première crue. Cette méthode impose un impact paysager relativement fort mais éphémère. Par contre, elle minimise l'impact écologique.
- Aucun curage ne sera réalisé en amont du P1 ni en aval du P3 ce qui limite l'extension et l'impact des prélèvements. La superficie des prélèvements devrait être de l'ordre de 2 ha, ce qui permet de faire face à des apports importants.
- Une seule campagne sera réalisée chaque année, sauf en cas de forte crue ou une seconde campagne pourra être réalisée.

En préambule à ces interventions, un essartement des terrains dans la partie aval est nécessaire.

Les cotes objectif pour les prélèvements sont les suivantes :

	Distance au pont de la RD 902 (m)	Niveau objectif (NGF)	Niveau 2010 (NGF)
P1	300	900.0	898.5
P2	400	896.0	897.5
P3	550	893.4	893.5

Le profil en long suivant montre les niveaux objectifs du lit :

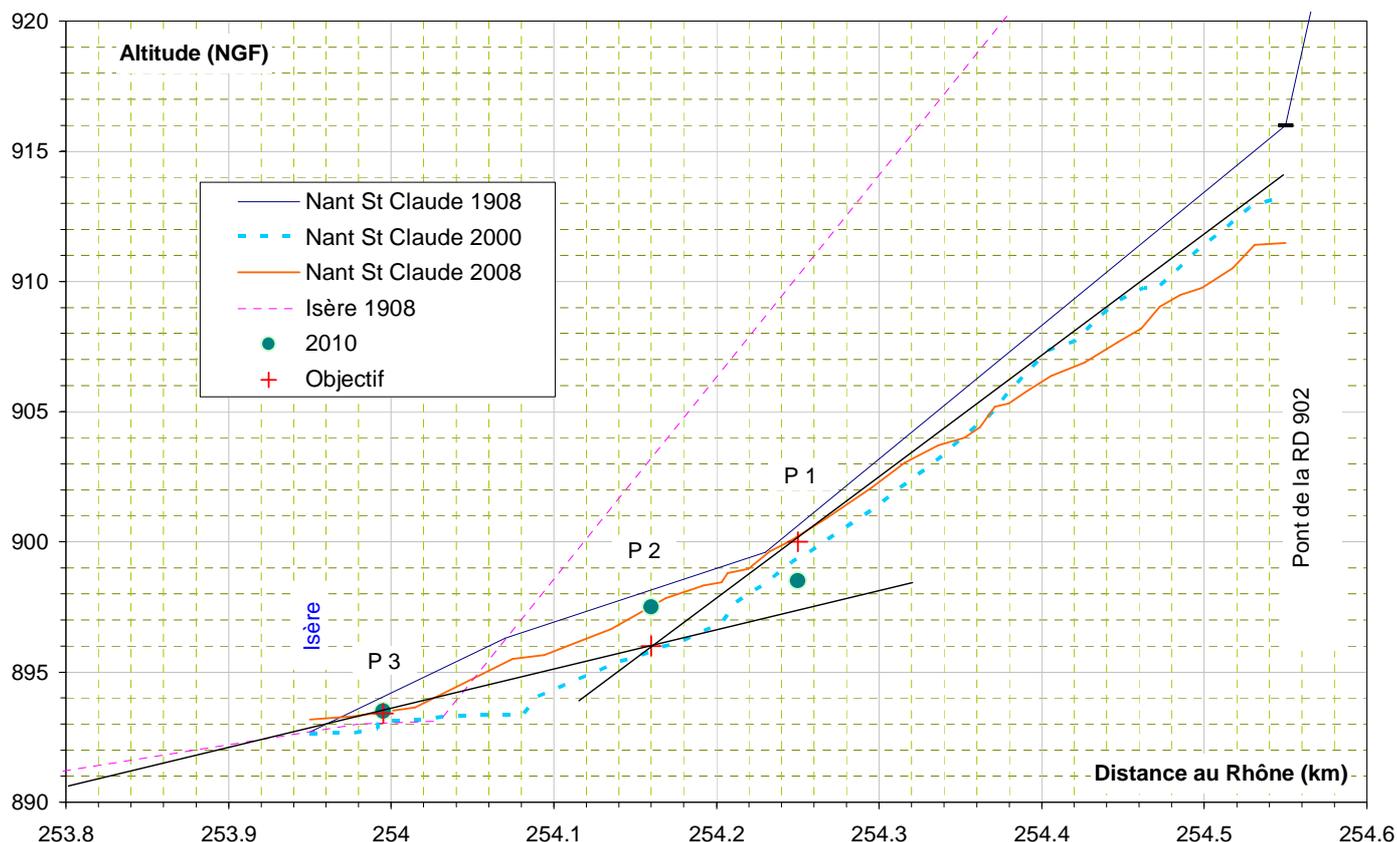


Figure 6 : Profil en long Objectif du Nant Saint Claude.

3.3 - Reprise du seuil et traitement du foyer de Renouée en berge

La position du seuil, en amont immédiat de la confluence Isère/Nant Saint Claude, contraint le développement vers l'aval d'un aménagement. L'Isère se sépare en deux bras d'une dizaine de mètres en aval du seuil.

Objectif piscicole : truite hauteur de chute préconisée 0,3 m, pente du lit 6%.

Hauteur de chute à équiper : 1,10m

Longueur du seuil actuel : 1,8 m

Pente du seuil actuel : 60%

Nous disposons d'une topographie précise du seuil (coupe en travers) et du lit en aval ainsi que d'un profil en long de l'amont à l'aval du seuil. (Levé ARGEO 7 juillet 2010).

Rappelons que la pérennité du seuil n'étant pas garantie pour la crue centennale et qu'il n'est pas envisagé de reprendre entièrement l'ouvrage.

Au vue des nouvelles contraintes techniques et des nouvelles hypothèses, les deux variantes précédemment étudiées ne sont plus adaptées au contexte ou induiraient une augmentation financière importante.

Nous développons donc une nouvelle variante combinant les principes et avantages des pré-barrages et de la rampe rugueuse en enrochements libres.

Une rampe de 12 m de long à 6% sera mise en place en rive gauche au niveau du point bas du seuil. Un dénivelé de 0,7 m serait ainsi traité. Au pied de la rampe, qui sera calée au niveau du seuil actuel, deux pré-barrages de 0,3 m de haut chacun récupéreront le reste du dénivelé. Ces pré-barrages seront distants de 4 m pour permettre la dissipation de l'énergie de la chute. Une fosse de dissipation sera mise en place en aval de la rampe et du dernier pré-barrage. Le premier pré-barrage est calé sur le profil en long actuel et servira à maintenir l'aménagement en cas d'érosion régressive. Les pré-barrages seront en blocs bétonnés pour augmenter la retenue de l'eau à l'amont et mieux tenir le niveau du fil d'eau amont.

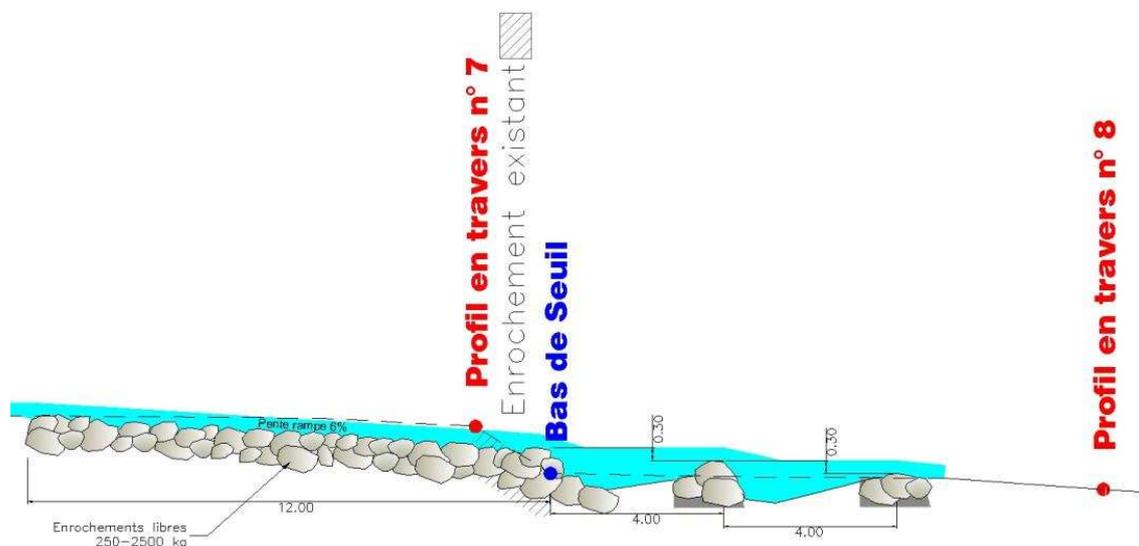


Figure 7 : Vue rapprochée du profil en long des aménagements de la rampe à 6% et des pré-barrages.

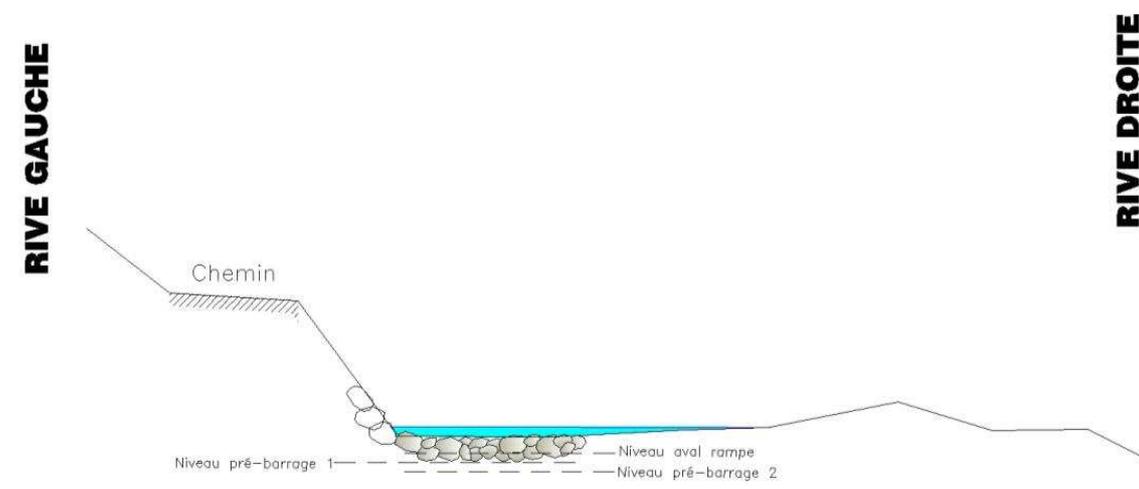


Figure 8 : Profil en travers 7 au niveau des aménagements

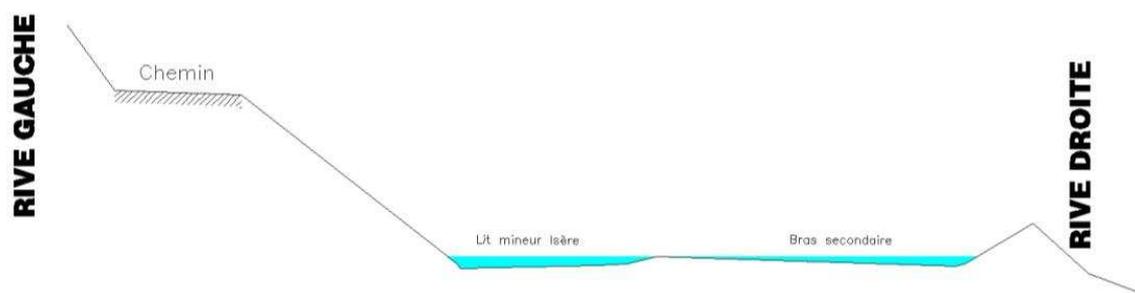


Figure 9 : Profil en travers 8 au niveau du bras secondaire de l'Isère préservé.

Dans cette variante, le bras secondaire est préservé et le volume de blocs est minimisé. La berge rive gauche où sera disposée la passe sera reprise avec les blocs en place pour intégrer au mieux la rampe à l'enrochement de berge.

L'estimatif financier intègre en plus de l'aménagement du seuil, les travaux préparatoires dont la mise en place d'un batardeau pour améliorer le travail dans le lit notamment le bétonnage des pré-barrages, mais aussi le traitement de la renouée du japon sur le site. L'aménagement est estimé à **43 000,00 € HT**, hors mission de maîtrise d'œuvre.

3.4 - Restauration des sources du Champet

Le tracé du ruisseau du Champet est fortement contraint dans la plaine alluviale. Il est alimenté par deux sources de versant ; la source amont assurant l'essentiel du débit du cours d'eau.

Les échanges techniques et discussions avec les différents acteurs sont en cours. Cet aménagement fera l'objet d'une note dissociée.



Figure 10 : Esquisse de tracé

L'enveloppe pour le projet défini par le contrat de rivière est estimée à 70 000,00.

3.5 - Remise en service du bras secondaire de l'Isère

L'ancien bras de l'Isère situé en rive droite, comblé et obstrué sera remis en eau par enlèvement des blocs en amont du bras.

Le linéaire, soit environ 215 m, sera recreusé sur environ 50 cm avec une pente de 1% pour se raccorder à l'Isère en aval.

La largeur du lit en fond est de 1m et la pente du talus est de 2H/1V.

L'aménagement de la protection de la zone urbanisée de Viclaire permet de maintenir le point de confluence tel qu'existant.

L'accès au chantier pourra se faire une fois le remblai de protection de la zone artisanal réalisé avant engazonnement.

L'aménagement est estimé à **28000,00 €HT**.

3.6 - Création de nouveaux habitats dans le bassin de compensation

Le bassin de compensation de l'aménagement hydroélectrique de Viclaire est utilisé pour compenser en volume les aménagements de protection du village de Viclaire contre les inondations de l'Isère.

Pour ce faire, le bassin sera décaissé sur une profondeur moyenne de 60 cm tout en maintenant les boisements de saules et en gardant un périmètre de sécurité par rapport à la digue existante. Une bande de 2 mètres sera maintenue au TN le long de la digue. De la même manière le décaissement ne concernera pas l'emprise des trois pylônes électriques présents dans le bassin.

Après l'achèvement des terrassements en grandes masses, il est prévu un travail de finition des surfaces des cinq mares et de leurs berges.

Pour favoriser l'implantation de différents cortèges végétaux, les surfaces travaillées obtenues par terrassements en déblais seront pour partie recouvertes de matériaux terreux ou laissés crus. Les matériaux terreux proviendront du stock de terre végétale issu du décapage du site. Ces matériaux seront étalés sur le fond de forme sur une épaisseur de 0,3 m. Cela représente un volume total de 9 000 m³.

Le bassin sera replanté avec des phragmites pris sur site et conserver jusqu'à la phase de plantation afin de soutenir la colonisation du site par la végétation.

Les mini-mottes seront immergées quelques minutes avant pour une meilleure humidification des racines,

Après la mise en place du plant, un plombage des matériaux sur le pourtour des plants par arrosage jusqu'à refus sera fait. Sur les végétaux à rhizomes, des précautions particulières devront être prises pour éviter leur écrasement. Un essai d'arrachage manuel devra être fait afin de vérifier le bon maintien du végétal.

Les essences utilisées pour la plantation d'hélophytes en berge de cours d'eau pourront être les suivantes :

- *Jonc épars (Juncus effusus)*
- *Laïche pendante (Carex pendula)*
- *Scirpe des bois (Scirpus sylvaticus)*
- *Laïche des rives (Carex riparia)*
- *Lythrum salicaire (Lythrum salicaria)*
- *Iris des marais (Iris pseudoacorus)*
- *Menthe aquatique (Mentha aquatica)*
- *Véronique beccabonga (Veronica beccabunga)*

L'aménagement est estimé à **465 000,00 €HT**.

3.7 - Limitation de la dispersion de la Renouée

Quatre zones sont concernées :

- la zone d'activité du carrier, où plusieurs massifs sont en train de s'étendre et peuvent être dispersés via les engins sur tout le territoire ;
- le seuil, où les berges juste en aval de l'ouvrage sont infestées en rive droite et rive gauche. Les travaux d'aménagement du seuil ne devant pas favoriser la dispersion des renouées, les matériaux contaminés devront être traités.
- le bras secondaire : il est contaminé par des massifs de renouées du Japon et son aménagement devra être précédé du traitement des berges contaminées.
- le futur remblai de la zone d'activité : aucun massif n'a été vu à proximité immédiate de la ZA mais la situation peut changer ; il conviendra donc de vérifier juste avant les travaux que la plante n'est pas dans l'emprise du chantier et dans le cas contraire, de prévoir le traitement des terres contaminées.

Au cours de la phase projet, un inventaire cartographique très précis des zones contaminées dans l'emprise des travaux devra être réalisé avec mesure exacte des surfaces et localisation précise.



Photos 1 & 2 : Massifs connus en 2009 dans l'emprise du futur chenal, de la zone d'activité du carrier et du seuil de Villaroger

Le traitement par herbicide étant proscrit, on utilisera le procédé par concassage-bâchage développé depuis quelques années et décrit dans la revue Ingénieries-Eau-Agriculture-Territoires². Elle consiste à décaisser les terres infestées, à les passer au travers d'un concasseur puis à recouvrir ces terres d'une bâche opaque pendant toute la saison végétative. A la saison suivante, les essais déjà réalisés montrent que tous les rhizomes concassés de renouées sont morts. On utilise des godets-cribleurs-concasseurs montés sur des pelleteuses ou des chargeuses, ce qui permet d'accéder à de nombreux sites et de traiter les matériaux sur place ou à proximité du site infesté. On peut aussi utiliser des outils plus performants comme les broyeurs à cailloux derrière des tracteurs. La terre infestée peut soit être immédiatement remise en place sur la berge après le concassage et bâchée (cas de l'illustration ci-dessous, où une technique végétale en pied a été mise en place en même temps que le concassage pour éviter des affouillements), soit déplacée à proximité pour être bâchée. Chaque site nécessite une étude particulière de projet.

La manipulation de terres infestées demande la mise en œuvre rigoureuse de précautions spécifiques pour ne pas disperser la plante : délimitation précise des terres contaminées (celles-ci peuvent s'étendre sur

² BOYER M., 2009 – Une nouvelle technique d'éradication mécanique des renouées du Japon testée avec succès au bord de l'Ain et de l'Isère – revue Ingénieries-Eau-Agriculture-Territoires, n°57-58, p17-31

plusieurs mètres au-delà des tiges aériennes), lavage des outils et des engins, etc. Ces précautions sont à rédiger au moment du projet et doivent être insérées dans les dossiers de consultation des entreprises.



Figure 11 : Chantier expérimental d'éradication mécanique par concassage bâchage sur une berge (2010)

4 - ESTIMATIF FINANCIER

Le coût total du programme de travaux est estimé à 1 243 745,00 € HT, hors

- aménagement du Champet, dont l'enveloppe est fixée à 70 000,00 € HT
- frais de mission de maîtrise d'œuvre (phase PRO, et suivi de chantier) : 87 100,00 € HT

Le tableau ci-après détaille les coûts par aménagement.

L'estimatif n'intègre pas :

- Le levé topographique précis des emprises des aménagements (échelle 1/200^{ème})
- L'étude géotechnique nécessaire à la validation de la réutilisation des matériaux issus des déblais pour le remblai de protection de la zone urbanisée de Viclaire
- Les acquisitions foncières nécessaires

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Total H.T.
TRAVAUX PREPARATOIRES				
Installation de chantier	Forfait	1	2 000,00	2 000,00
Total H.T. Travaux préparatoires :				2 000,00 €
SEUIL DE VILLAROGER				
Batardeau de chantier	Forfait	1	5 000,00	5 000,00
Création de la rampe à 6% en blocs libres	m3	60	100,00	6 000,00
Création des pré-barrages en blocs bétonnés	m3	30	450,00	13 500,00
Dépose et repose des enrochement de berges rive gauche le long de la rd	m3	30	70,00	2 100,00
Total H.T. Seuil :				21 600,00 €
ELIMINATION RENOUVEE SEUIL				
Extraction, mise au stock et remise en place des matériaux contaminés	Forfait	400	15,00	6 000,00
Concassage des matériaux au stock	Forfait	400	6,00	2 400,00
Protection de berge au droit de l'extraction des matériaux contaminés	Forfait	60	100,00	6 000,00
Total H.T. Elimination renouvelée :				14 400,00 €
REMBLAI DE PROTECTION				
Abattage et dessouchage	Unité	200	60,00	12 000,00
Perré et épis en blocs	m ³	2110	100,00	211 000,00
Déblai / Remblai	m ³	16730	15,00	250 950,00
Engazonnement	m ²	10000	1,00	10 000,00
Total H.T. Remblai de protection :				471 950,00 €
REPRISE PROFIL EN LONG CHAUSSEE				
Démolition chaussée	m ²	4320	1,70	7 344,00
Remblai	m ³	700	15,00	10 500,00
Grave 0-80	m ³	1500	32,00	48 000,00
Grave 0-31,5	m ³	650	42,00	27 300,00
Grave bitume	T	1520	95,00	144 400,00
Béton bitumineux	T	625	115,00	71 875,00
Total H.T. Reprise Route :				243 575,00 €
BRAS SECONDAIRE DE L'ISERE				
Abattage et dessouchage	Unité	200	60,00	12 000,00
Déblais	m ³	1035	15,00	15 525,00
Total H.T. Bras secondaire :				27 525,00 €
AMENAGEMENT DU BASSIN DE COMPENSATION				
Débroussaillage	m ²	40000	0,90	36 000,00
Décapage terre végétale et stock sur place	m ³	9000	4,00	36 000,00
Décassement	m ³	23000	15,00	345 000,00
Modelage fin en déblai-remblai	m ²	2130	1,50	3 195,00
Mise en œuvre terre végétale	m ³	9000	4,00	36 000,00
Hélophytes en minimotte fournis plantés 4 U/m ²	m ²	1300	5,00	6 500,00
Total H.T. Bassin de compensation :				462 695,00 €

TOTAL H.T. Travaux :	1 243 745,00 €
Maitrise d'oeuvre (7%):	87 062,15 €
TOTAL H.T. :	1 330 807,15 €
T.V.A. 19,6 % :	260 838,20 €
TOTAL T.T.C. :	1 591 645,35 €



RAPPORT D'ETUDE

Sainte Foy en Tarentaise

Rédacteurs :

Vincent KOULINSKI

Mireille BOYER

Anne DOS SANTOS

Relecture : Philippe VALLET



Gestion de la plaine alluviale de Viclaire

Diagnostic & Enjeux Esquisses d'aménagement

www.gen-tereo.fr

218 voie A. Bergès - 73800 Sainte Hélène du Lac
Tél. 04 79 84 30 44

S.A.R.L. au capital de 20 000 € - RCS CHAMBERY B 402 731 996 / N° de TVA Intracommunautaire FR8440273199600011
SIRET 402 731 996 00011 - APE 7112B

Dossier n°: **2009098**

Version : 20100507

Date : 07/05/2010

SOMMAIRE

1 - CONTEXTE DE L'ETUDE	1
2 - ETAT DES LIEUX - DIAGNOSTIC.....	2
2.1 - Présentation de la zone d'étude	2
2.2 - Ecoulement des crues	2
2.2.1 - Fonctionnement général de l'Isère	2
2.2.2 - Transport solide.....	8
2.2.3 - Analyse diachronique des photographies aériennes.....	13
2.2.4 - Description du lit actuel	15
2.2.5 - Étude des écoulements dans l'état actuel.....	21
2.2.6 - Synthèse sur l'état actuel	34
2.3 - Apports du Nant Saint Claude.....	35
2.3.2 - Historique.....	37
2.3.3 - L'éboulement de la Molluire	38
2.3.4 - Dépôt sur le cône de déjection.....	40
2.3.5 - Curages.....	40
2.3.6 - Aménagements de l'Isère et évolution du cône de déjection	45
2.4 - Ripisylves	45
2.4.1 - Description du site.....	45
2.4.2 - Diagnostic	48
2.5 - Milieux aquatiques	52
2.5.1 - Habitats aquatiques	52
2.5.2 - Qualité des eaux.....	56
2.5.3 - Populations piscicoles et obstacles à la circulation	57
2.5.4 - Diagnostic	59
2.6 - Le bassin de compensation	59
3 - SYNTHESE DU DIAGNOSTIC ET ENJEUX.....	61
4 - OBJECTIFS.....	63
5 - ESQUISSES D'AMENAGEMENT.....	64

Table des illustrations

Figure 1 : Profil en long général de l'Isère et ses affluents.....	3
Figure 2 : Profil en long de la Haute Isère	4
Figure 3 : Profil en long général de la Moyenne Isère.....	6
Figure 4 : Courbe des débits classés avant et après aménagement.	10
Figure 5 : Pluies caractéristiques en Vanoise.	11
Figure 6 : Hydrogrammes d'une crue centennale (volumes liquides et solides).....	12
Figure 7 : Ligne d'eau pour le débit centennial dans la situation la plus probable.	24
Figure 8 : Relation hauteur/débit sous le pont de Viclaire.....	25
Figure 9 : Conditions d'écoulement pour 220 m ³ /s pour la situation la plus probable.....	26
Figure 10 : Niveau dans la situation la plus probable.	27
Figure 11 : Calcul avec un K = 25 dans le lit majeur.....	28
Figure 12 : Effet de la rugosité sur les niveaux pour 220 m ³ /s.....	29
Figure 13 : Lignes d'eau théoriques sans les boisements alluviaux sur les berges et dans le lit majeur.....	30
Figure 14 : Mise en évidence de l'effet des boisements.....	31
Figure 15 : Évolution des niveaux à l'amont du bassin de compensation.	32
Figure 16 : Volumes et débits maximales dérivés vers le bassin de compensation en fonction du niveau de calage du seuil.	33

Figure 17 : Profil en long général du Nant Saint Claude.	35
Figure 18 : Comparaison des profils en long du cône de déjection du Nant Saint Claude.....	41
Figure 19 : Évolution des profils en long du Nant Saint Claude sur son cône.....	42
Figure 20 : Évolution générale du profil en long suite à la création d'une fosse.	44
Figure 21 : Occupation de la plaine alluviale de Viclaire en amont du pont.....	46
Figure 22 : Le lit de l'Isère en 1948 et l'emprise des zones remaniées postérieurement entre 1950 et 1982 (en rouge).....	47
Figure 23 : Les massifs de renouées du Japon recensés en rive droite (points rouge) et leur surface et l'enveloppe de la zone remaniée (en rouge) par les anciennes exploitations de graviers (d'après les photographies aériennes entre 1950 et 1982).....	48
Figure 24 : Les deux milieux alluviaux boisés très différents dans la plaine de Viclaire.	49
Figure 25 : Connectivité biologique (Etude piscicole 2006-TEREO/APTV)	57
Figure 26 : Etat des peuplements (Etude piscicole 2006-TEREO/APTV)	58
Figure 27 : Schéma organisationnel de la gestion de la plaine alluviale de Viclaire.....	65
Figure 28 : Niveaux d'objectifs de l'entretien du lit du Nant Saint Claude	66
Figure 29 : Coupe de principe de la protection du talus du remblai de la ZA.....	68
Figure 30 : Schéma de principe de l'aménagement du bassin de compensation	69
Tableau 1 : Volumes des crues.....	12
Tableau 2 : Qualité de l'eau par altération – SEQ2.....	57
Photo 1 : Vallée de l'Isère entre le barrage et le Champet (source : IGN).....	5
Photo 2 : vallée de l'Isère entre Viclaire et Bourg S ^t Maurice (source : IGN).....	7
Photo 3 : Evolution de la plaine de Viclaire au cours des 60 dernières années.....	14
Photo 4 : Aval de la plaine du Champet (lit déjà encaissé).....	15
Photo 5 : Seuil en amont de la confluence avec le Nant Saint Claude.....	16
Photo 6 : Extrémité aval de la zone de divagation au droit de la scierie.....	17
Photo 7 : Entretien par coupes rases régulières sous les lignes électriques (taillis dense peu favorable à l'écoulement des crues).	17
Photo 8 : Lit étroit, boisé et constitué de matériaux fins.	18
Photo 9 : Lit en amont du pont, rectiligne et longeant la digue en rive gauche.....	19
Photo 10 : Lit en aval du pont de Viclaire et coupes à blancs sous la ligne électrique.....	19
Photo 11 : Protections en rive gauche du pont de Viclaire.	20
Photo 12 : Bassin EDF et sa digue.....	20
Photo 13 : Ouvrage à l'aval du bassin EDF.....	21
Photo 14 : Evolution du lit de la Durance après la crue de mai 2008 montrant les fortes évolutions morphologiques et les incertitudes des modélisations hydrauliques.....	23
Photo 15 : Vue du haut bassin versant en amont de la Sassièrè (Géoportail).	36
Photo 16 : Vue de la partie basse du bassin versant (Géoportail).....	37
Photo 17 : Vue d'ensemble de l'éboulement de la Molluire.	38
Photos 18 : Site des barrages au XIX ^{ème} siècle et actuellement.	39
Photo 19 : Dépôt massif sur le cône de déjection à la fin du XIX ^{ème} siècle.	40
Photo 20 : Ancien cône de déjection nettement perché au dessus du torrent.....	41
Photos 21, 22 & 23 : Prélèvements actuels de matériaux sur le cône de déjection.....	43
Photos 24 & 25 : Érosion régressive en amont de la fosse.	44
Photo 26 et 27 : L'Isère à Viclaire - Hétérogénéité	52
Photos 28, 29, 30 et 31 : L'Isère à Viclaire - Attractivité.....	53
Photos 32, 33, 34 et 35 : L'Isère à Viclaire - Connectivité	54
Photos 36 et 37 : L'Isère à Viclaire – Seuil de Villaroger	55

Photo 38, 39 et 40 : Le Nant Saint Claude	55
Photo 41, 42, 43 et 44 : Le Torrent du Moulin en aval de la RD 902.....	56
Photos 45 et 46 : Bassin de compensation	59
Photos 47, 48 et 49 : Alimentation latérale du bassin et ouvrage de régulation.....	60

I - C O N T E X T E D E L ' E T U D E

L'Assemblée du Pays de Tarentaise Vanoise est engagée dans deux démarches :

- Contrat de bassin Isère en Tarentaise
- Plan d'Action et de Prévention des Inondations

Des propositions d'actions ont été définies suite à la mise en œuvre d'études diagnostic menées en 2007-2008.

La commune de Sainte Foy en Tarentaise pleinement concernée par les actions définies s'est engagée dans leur réalisation.

La gestion de la plaine alluviale de Viclaire doit répondre à deux enjeux majeurs :

- Protection des personnes et des biens contre les risques d'inondation
- Restauration et conservation des milieux aquatiques

Les programmes d'actions pour ces deux enjeux ont été menés indépendamment. Il s'agit, pour :

- La gestion du risque inondation, de :
 - o Maîtriser les apports du Nant Saint Claude par une gestion appropriée
 - o Restaurer une section d'écoulement suffisante en cas de crue par essartement de la végétation du lit majeur
- La restauration des milieux aquatiques
 - o Recréer des zones refuge pour la faune aquatique, de reproduction pour la truite et les amphibiens, de grossissement pour la truite par rétablissement d'annexes hydrauliques

Par ailleurs, d'autres problématiques ont été soulevées par les acteurs et gestionnaires locaux, il s'agit :

- Du devenir de la gravière située dans le lit majeur, en amont de la confluence Isère - Nant Saint Claude et des risques associés à sa présence en cas de crue.
- Du seuil présent sur l'Isère en amont de la confluence avec le Nant Saint Claude qui apparaît difficilement franchissable pour la faune piscicole.
- De l'intégration du bassin de compensation EDF à la réflexion, dans l'optique d'une compensation hydraulique potentielle.
- De l'impossibilité financière de modifier le pont de Viclaire.

La présente mission doit donc aboutir à un projet intégré permettant de répondre aux enjeux présentés. L'étude se décompose en deux phases :

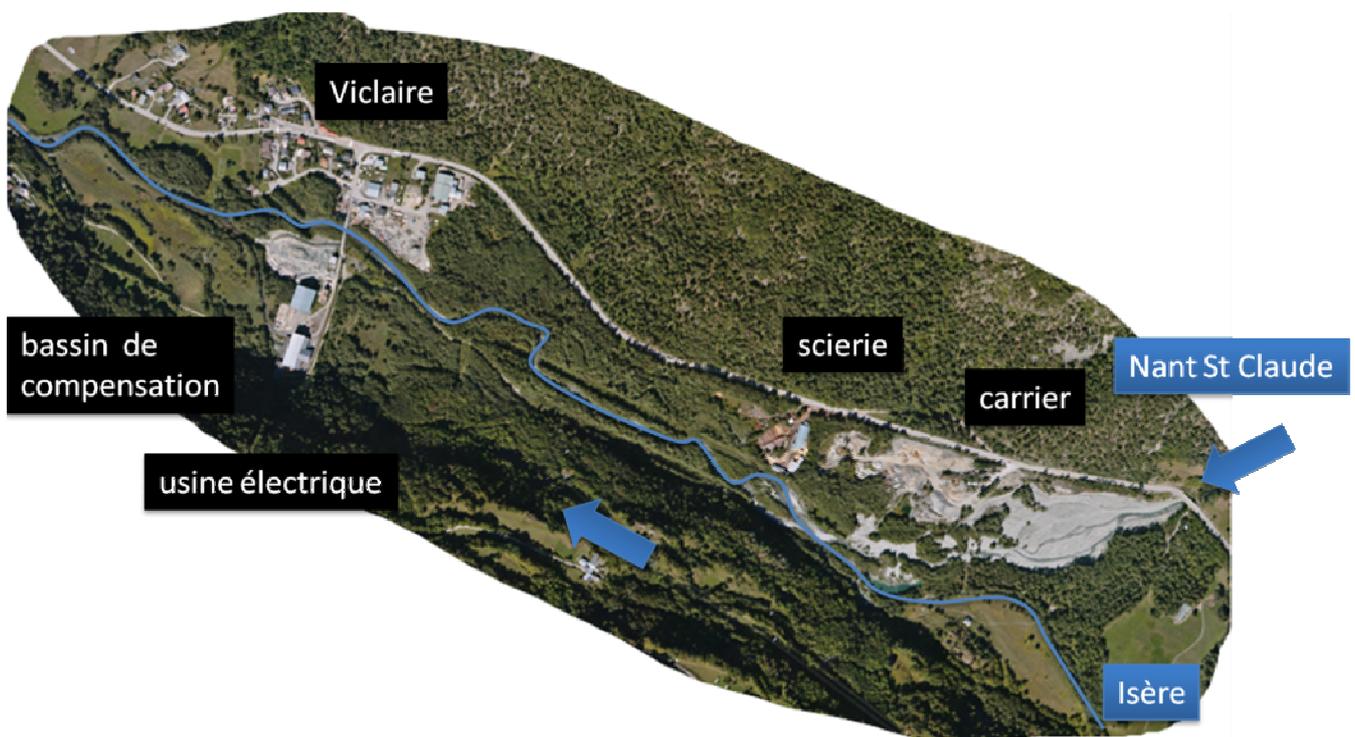
- o Une 1^{ère} phase comprenant un diagnostic du site et l'analyse des solutions proposées débouchant sur des propositions d'esquisses d'aménagement
- o La réalisation de l'Avant-projet de la solution retenue

Ce rapport constitue la restitution de la phase 1 de la mission.

2 - ETAT DES LIEUX - DIAGNOSTIC

2.1 - Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans la vallée de l'Isère 15 km à l'amont de Bourg-Saint-Maurice sur la commune de Ste-Foy-Tarentaise. Elle couvre de l'amont vers l'aval la confluence Isère-torrent de Saint Claude, une vaste zone alluviale boisée occupée partiellement par les activités d'un carrier et d'une scierie, le hameau de Viclaire et les aménagements de l'usine hydro-électrique.



2.2 - Ecoulement des crues

2.2.1 - Fonctionnement général de l'Isère

2.2.1.1 - Caractéristiques générales

La plaine alluvionnaire de Viclaire correspond à une transition importante du comportement de l'Isère. Elle est située entre l'Isère amont, raide et pavée avec des gorges rocheuses prépondérantes, et l'Isère centrale, plus alluvionnaire, qui s'étend jusqu'à Moutiers. Le profil en long suivant, de l'ensemble de l'Isère jusqu'à Albertville (y compris le Doron de Bozel) montre la localisation de ce tronçon particulier.

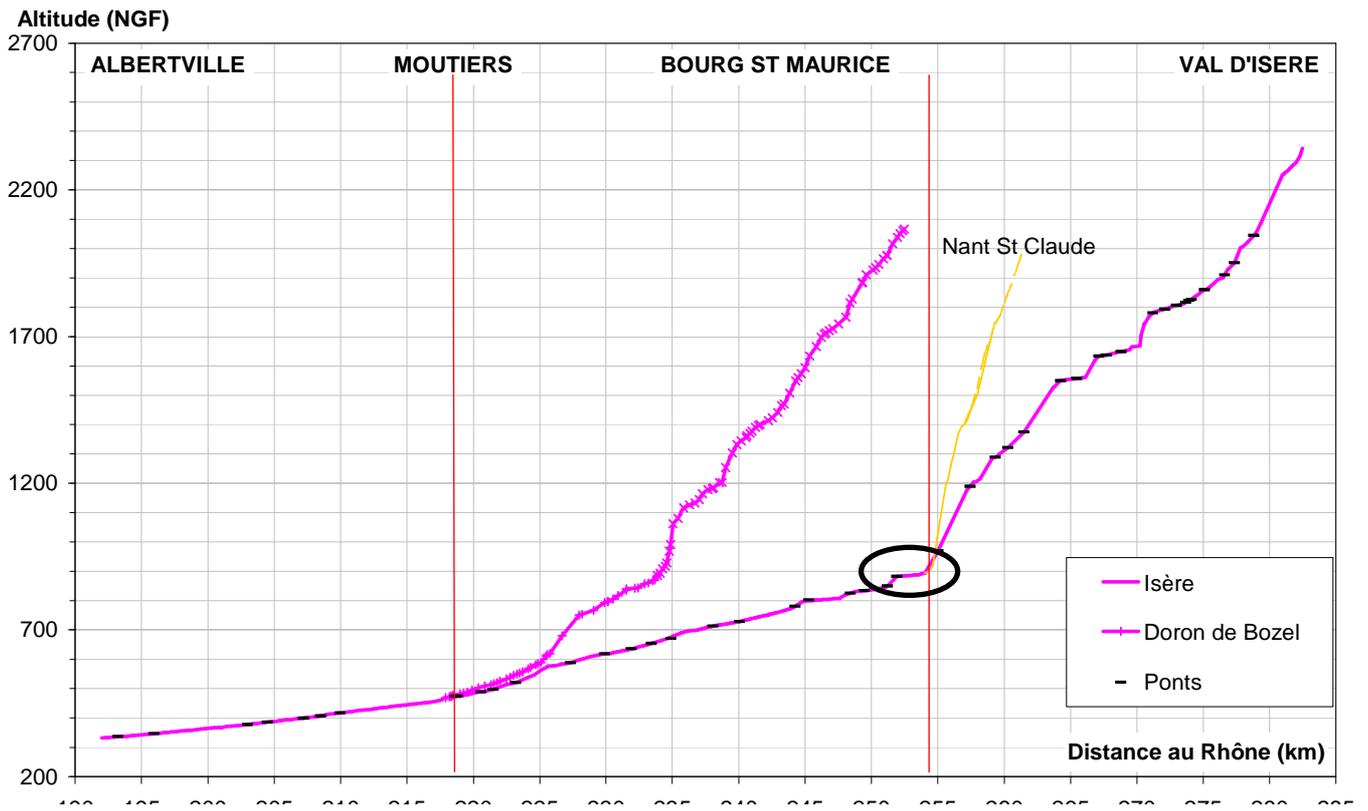


Figure 1 : Profil en long général de l'Isère et ses affluents

2.2.1.2 - L'Isère amont

L'Isère sort du Glacier de la Galise en Tarentaise, à la frontière franco-italienne. De sa source à Val d'Isère, elle se dirige d'Est en Ouest, puis de Val d'Isère à Bourg Saint Maurice, elle va du Sud-Est au Nord-Ouest, très fortement resserrée entre le massif du Mont Pourri et la chaîne frontalière. A l'amont de Val d'Isère, la nature des terrains en place fournit un matériau de résistance souvent médiocre à l'érosion ; les nombreuses zones morainiques ou d'éboulis permettent mieux encore d'alimenter une érosion dont les produits constituent pour la majeure partie le charriage solide des torrents. Les zones d'alimentation en matériaux solides charriés par les torrents résultent de la reprise des apports des affluents ou de l'alimentation directe en pied de versants d'éboulis des matériaux d'érosion.

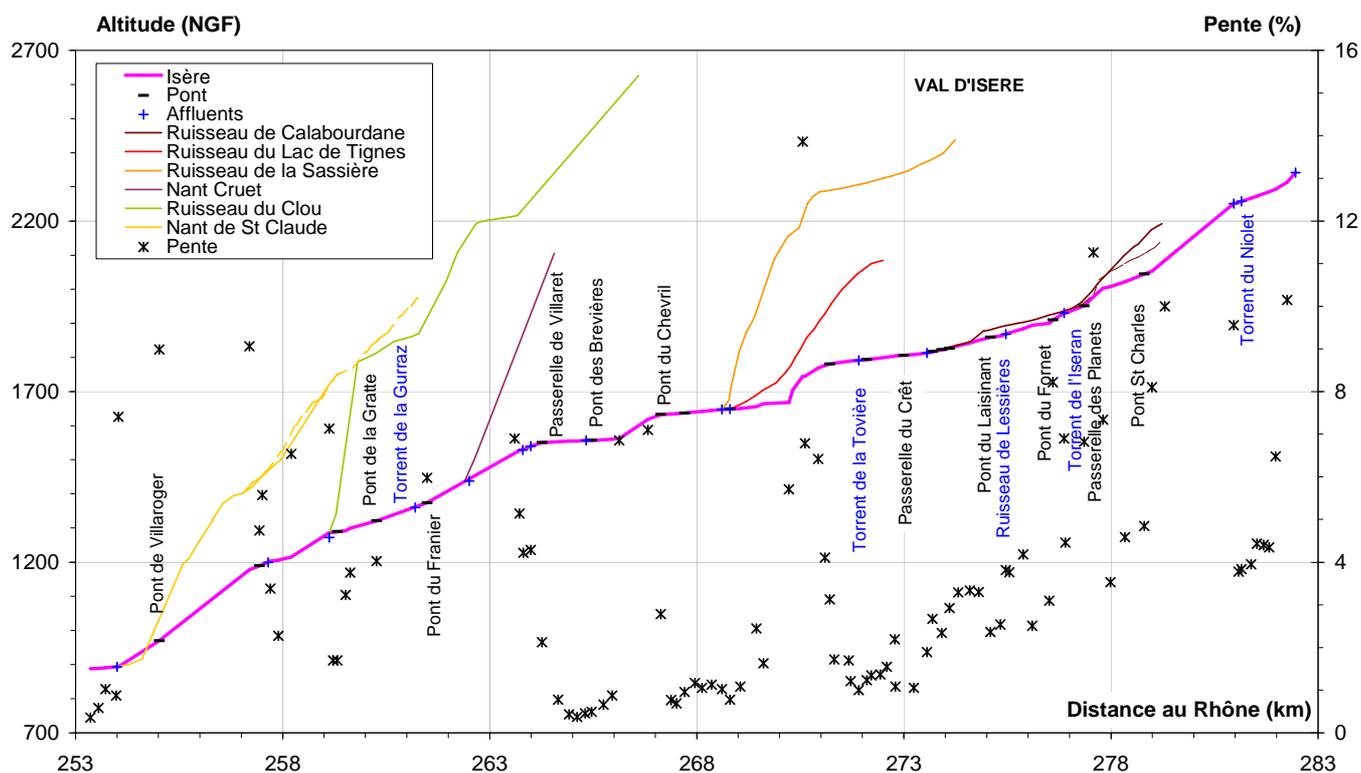


Figure 2 : Profil en long de la Haute Isère

Le profil en long de l'Isère de sa source jusqu'au Nant Saint Claude à Viçlaire (cf la figure ci-dessus) met en évidence les tronçons suivants en aval du barrage de Tignes (l'amont est aujourd'hui presque intégralement déconnecté de la partie aval) :

1. En aval du barrage actuel, l'Isère traverse des gorges profondes et étroites, dans lequel le lit est rocheux, et n'influe donc pas sur le transport solide. Les débits n'y dépassent qu'exceptionnellement le débit réservé depuis la mise en eau du barrage.
2. En sortie de gorges, l'Isère arrive sur la petite plaine alluviale des Brévières. En 1907, cette plaine présentait une pente particulièrement faible de 6.3 % qui est difficilement explicable même si les affluents dans la cuvette de Tignes (Ruisseaux de la Sassièrè et du lac de Tignes) sont particulièrement peu chargés en matériaux. Aujourd'hui, cette zone est totalement artificialisée et le transport solide y est négligeable (même les apports du Torrent de la Davie sont stockés dans une plage de dépôt et ne sont pas repris par l'Isère). Les eaux du barrage de Tignes turbinées par la centrale EDF transitent dans cette zone jusqu'à la prise d'eau alimentant la centrale de Malgovert.
3. Des Brévières jusqu'au pont de Villaroger (cf. la photo ci-dessous), l'Isère est très encaissée, dans des gorges rocheuses. Quelques affluents, comme le Nant Cruet, déposent leurs matériaux, qui sont repris lors des crues. A l'aval de ce secteur, un tunnel a été creusé à la fin du siècle dernier afin de limiter les éventuels glissements du versant rive droite au niveau de S^{te} Foy. D'une longueur de 550m, avec une pente moyenne de 3%, les dimensions du tunnel permettraient de faire passer la crue centennale. Seul le lit en amont de la Thuile s'approche de la pente d'équilibre alors que, sur l'ensemble du linéaire, les pentes sont globalement nettement supérieures à 5 %. A l'état naturel, le phénomène prépondérant est la reprise des apports latéraux et le transit. Cette forte pente explique l'installation très ancienne de la centrale de Viçlaire alimentée à partir de la prise d'eau de la Raie. Aujourd'hui, les débits liquides sont très réduits sur ce linéaire et - en dehors des fortes crues - la reprise des apports latéraux est plus difficile.



Photo 1 : Vallée de l'Isère entre le barrage et le Champet (source : IGN).

2.2.1.3 - L'Isère aval

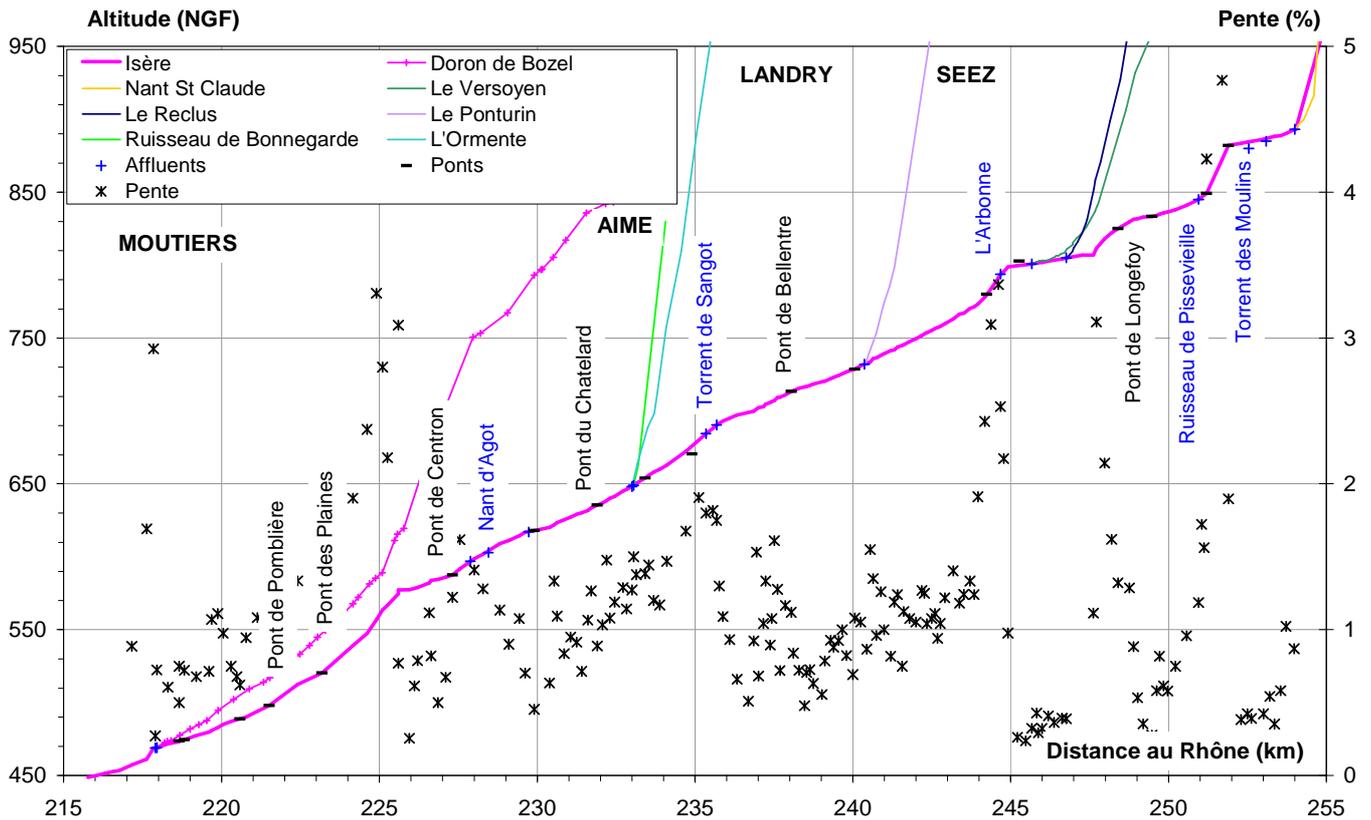


Figure 3 : Profil en long général de la Moyenne Isère

Le profil en long de l'Isère de la confluence avec le Nant Saint Claude jusqu'à Moutiers (cf. figure ci-dessus) permet de dégager les tronçons suivants :

1. A la sortie des gorges l'Isère arrive dans la plaine alluvionnaire de Viclaire. La pente est alors seulement de 5 ‰, encore inférieure à la pente de 6.3 ‰ dans la plaine des Brévières.
2. La confluence avec le Nant Saint Claude se trouve peu après la sortie des gorges. Le Nant Saint Claude apportait des volumes modérés de matériaux jusqu'à l'activation en juin 1877 de l'éboulement de la Molluire qui a apporté de grands volumes de matériaux. Les évolutions du lit sont alors très importantes. Ces apports, en 1907 n'avaient eu qu'une faible influence générale sur le cours de l'Isère, d'autant plus qu'il est probable que la plaine alluvionnaire de Viclaire est géologiquement récente et que le cône de déjection du Nant Saint Claude était encore peu développé. Le Nant Saint Claude a pu s'étendre sur un vaste cône de déjection dans la large vallée glaciaire de l'Isère à ce niveau.
3. La plaine de Viclaire est commandée par un verrou situé un peu en aval de la Bonneville (il s'agit d'un ancien glissement de terrain du versant rive gauche au niveau du hameau de Planchamp). Ce glissement de terrain est récent et explique que la formation de la plaine de Viclaire ne soit pas achevée avec, en particulier, une pente naturellement inférieure à la pente d'équilibre, le remplissage de la vallée n'étant pas achevé. L'Isère est alors largement divagante (surtout à l'état naturel) et a développé une vaste plaine alluvionnaire avec une tendance naturelle au dépôt. Le petit cône de déjection du torrent des Moulins illustre les dépôts récents par rapport à cette plaine alluvionnaire. Le lit, assez large, a une pente de 5 ‰ seulement dans cette partie qui suggère que l'équilibre n'est pas encore atteint. Les aménagements de la centrale de Viclaire - au début du XX^{ème} siècle - et de la zone artisanale - beaucoup plus récents - ont fortement limité l'ampleur de ces divagations. Les débits - et

donc la dynamique fluviale - sont par ailleurs considérablement réduits sous l'effet de l'aménagement hydroélectrique de Viclaire, de celui de Roselend et - surtout - celui de Malgovert.

4. De la passerelle de Bonneville au torrent de Pissevieille, l'Isère traverse une petite gorge formée par le glissement de terrain de Planchamp. Le lit y est encaissé et étroit, et la pente atteint 4.8 %. Ce passage permet le transit des matériaux mais n'en ajoute pas significativement. Le glissement est en effet arrêté de longue date - à l'échelle humaine - comme l'implantation de trois villages sur l'ancienne zone en mouvement l'atteste.
5. En aval du torrent de Pissevieille et jusqu'au Pont de Longefoy, l'Isère évolue sur une plaine alluviale, dans laquelle elle divaguait. Elle est cependant encaissée localement pavée par les apports de blocs depuis le versant rive gauche de Malgovert, notamment au niveau du pont des Chèvres. La pente atteint 2 à 3% dans cette zone.
6. L'Isère rejoint ensuite une zone alluviale, correspondant aux cônes de déjection des affluents rive droite du coude de Bourg S^t Maurice (le Reclus, le Versoyen et surtout l'Arbonne). Elle se retrouve ainsi poussée contre le versant rive gauche. La pente est très faible (0.4 %), mais n'est pas représentative des apports des affluents cités ci-dessus. En effet, c'est l'Arbonne qui - en apportant de puissantes laves torrentielles - a conduit à une remontée de plusieurs dizaines de mètres de l'Isère au confluent.

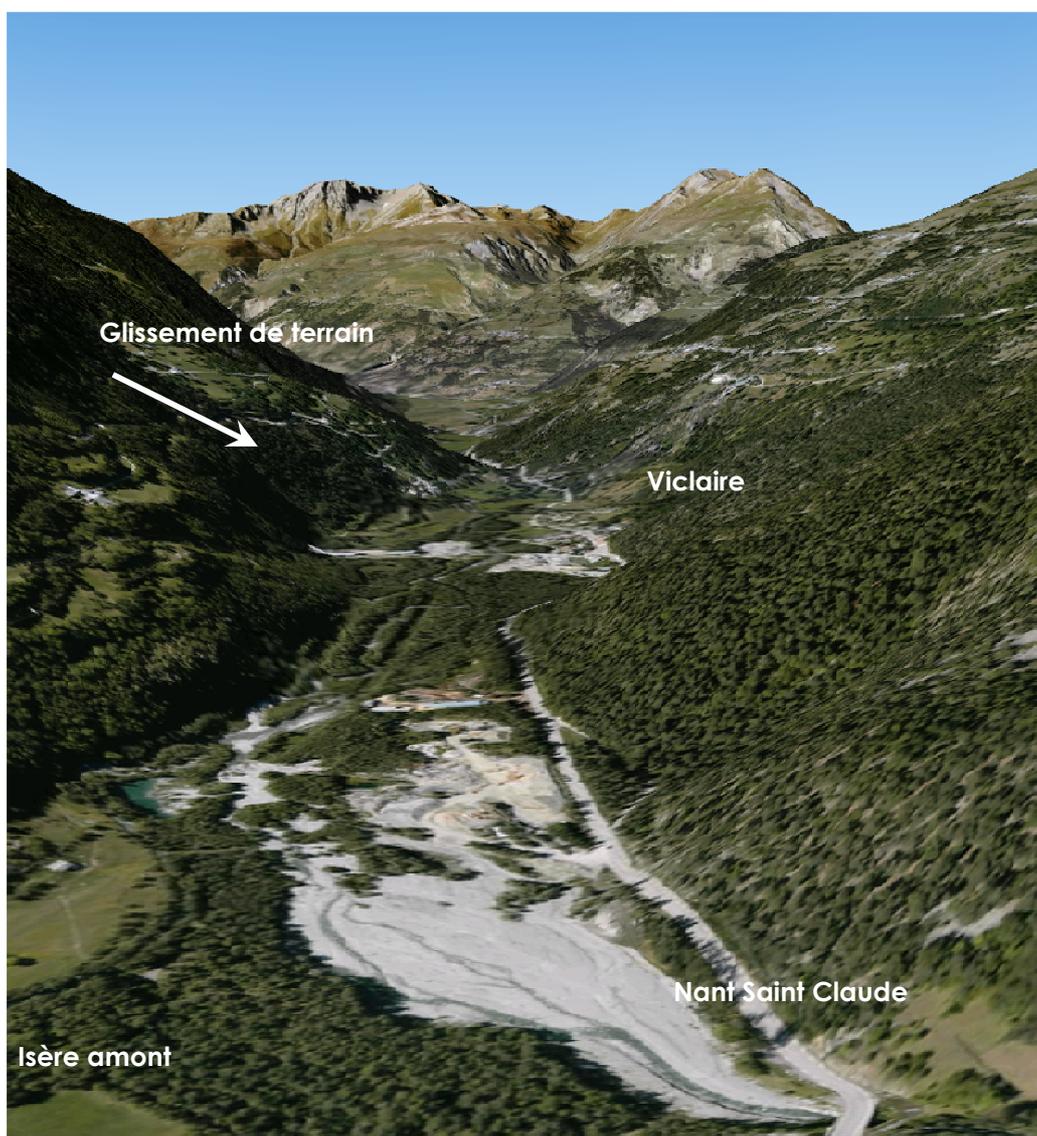


Photo 2 : vallée de l'Isère entre Viclaire et Bourg S^t Maurice (source : IGN).

2.2.2 - Transport solide

2.2.2.1 - Données hydrologiques

La station de référence est celle de Malgovert sur l'Isère, où les données sont disponibles de 1976 à 2007. Elle est située dans le tronçon court-circuité, entre la prise d'eau et la centrale.

Le débit est complètement influencé par :

- Le barrage de Tignes qui contrôle les débits en fonction des besoins en électricité;
- Les prises d'eau rive gauche le long du tunnel amenant l'eau de Tignes à Malgovert;
- Les prises d'eau en rive droite amenant l'eau :
 - à l'amont vers Tignes (Ruisseau du Clou et Nant Cruet)
 - à l'aval vers Roselend (Nant Saint Claude et Torrent des Moulins)

La superficie du bassin versant se décompose de la façon suivante :

- Superficie totale : **387 km²**
- Bassin versant au barrage de Tignes : 171 km²
- Bassin versant des prises d'eau du bassin versant : 135.3 km²
- Bassin versant résiduel : **80.7 km²**

2.2.2.2 - Volume annuel transporté

Le calcul est fait avant et après les éventuels aménagements hydroélectriques du bassin versant. Deux cas sont à distinguer :

1. Pour l'Isère à Viclaire avant aménagement, la station de Val d'Isère est la plus appropriée puisque le bassin versant est naturel et les débits à Viclaire étaient directement liés aux débits amont. La courbe est ensuite obtenue par un rapport de surface à la puissance 0.9.
2. Pour l'Isère à Viclaire (en amont de la centrale) après 1952, la station de Malgovert a été utilisée étant elle-même sous l'influence de la retenue du Chevril. Cependant, les débits sont différents entre Viclaire et Malgovert, à cause d'une part des apports du bassin versant (limité par les prises d'eau sur les affluents), et d'autre part du rejet de l'eau turbinée à Viclaire. On a donc retiré le débit d'équipement de la centrale de Viclaire (3 m³/s) aux débits classés de Malgovert. Cette réduction est sévère mais est en partie compensée par les apports du bassin versant intermédiaire entre Viclaire et Malgovert.

Le calcul est réalisé en utilisant la formule de Lefort de 2005. Cette formule est issue d'un travail toujours en cours et devrait connaître encore des évolutions. Elle fournit cependant des résultats remarquables pour une très large gamme de situation (pente, granulométrie, morphologie...). Surtout, elle paraît particulièrement pertinente près du seuil de début de transport, ce qui la rend particulièrement adaptée à notre analyse. Elle présente également l'avantage d'être utilisable sans connaître les conditions d'écoulement, dont la détermination est très délicate dans un lit divaguant à fort transport solide.

Formule Lefort (2005)

1. Notations et limitations

B	largeur du lit ou de la bande active (m)
Q	débit liquide de la bande active (hors zones boisées) en m³/s
Q₀	débit de début de mouvement (m³/s)
J	pente de la rivière suivant axe médian < 200/1000
d_m	diamètre moyen = Σ (d ΔP) / P > 0.1 mm
d₉₀/d₃₀	étendue granulométrique < 20
d_m*	diamètre adimensionnel = d_m [g(s-1)/v²]^{1/3}
s	densité du matériau > 1.1
kr	coefficient de Strickler du matériau = 21.1 / d_m^{1/6}
ks	coefficient de Strickler du lit

2. Début d'entraînement

$$\frac{Q_0}{\sqrt{g((s-1)d_m)^5}} = 0.02795 C_{(d^*)} \left(\frac{B}{(s-1)d_m} \right)^{2/3} J^{-n}$$

Si $d_{m^*} < 200$ $C_{(d^*)} = 1 + \frac{18.89}{1 + d_{m^*}} - 2.202 e^{-0.0172 d_{m^*}}$ sinon $C_{(d^*)} = 1$

$n = 1.722 + 0.09 \log J$ variation de l'exposant pente dans Q₀

3. Concentration C_{pm} (ppm =mg/litre)

$$C_{pm} = 3.593 \cdot 10^6 \text{ cor} \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.22} \frac{S}{(S-1)^{1.375}} J^m \left[\log \left(\frac{Q}{Q_0} \right) \right]^Z$$

$m = 1.887 + 0.09 \log (J)$ variation de l'exposant pente dans C_{pm}

$$Z = 0.775 + \frac{4.22}{J^{1/9} d_{m^*}^{0.8}}$$

4. Correction de dune

Si $d_m < 0.5$ mm et $ks/kr < 0.625$ $\text{cor} = 1 - 0.875 e^{(-0.0355 \left(\frac{ks}{kr} \right)^{2.4} \frac{Q}{Q_0})}$ sinon $\text{cor} = 1$

Le calcul est conduit en considérant, conformément aux observations de terrains, un diamètre moyen de 4.8 centimètres et une pente, correspondant au profil en long au droit de Viclaire, de 4 ‰.

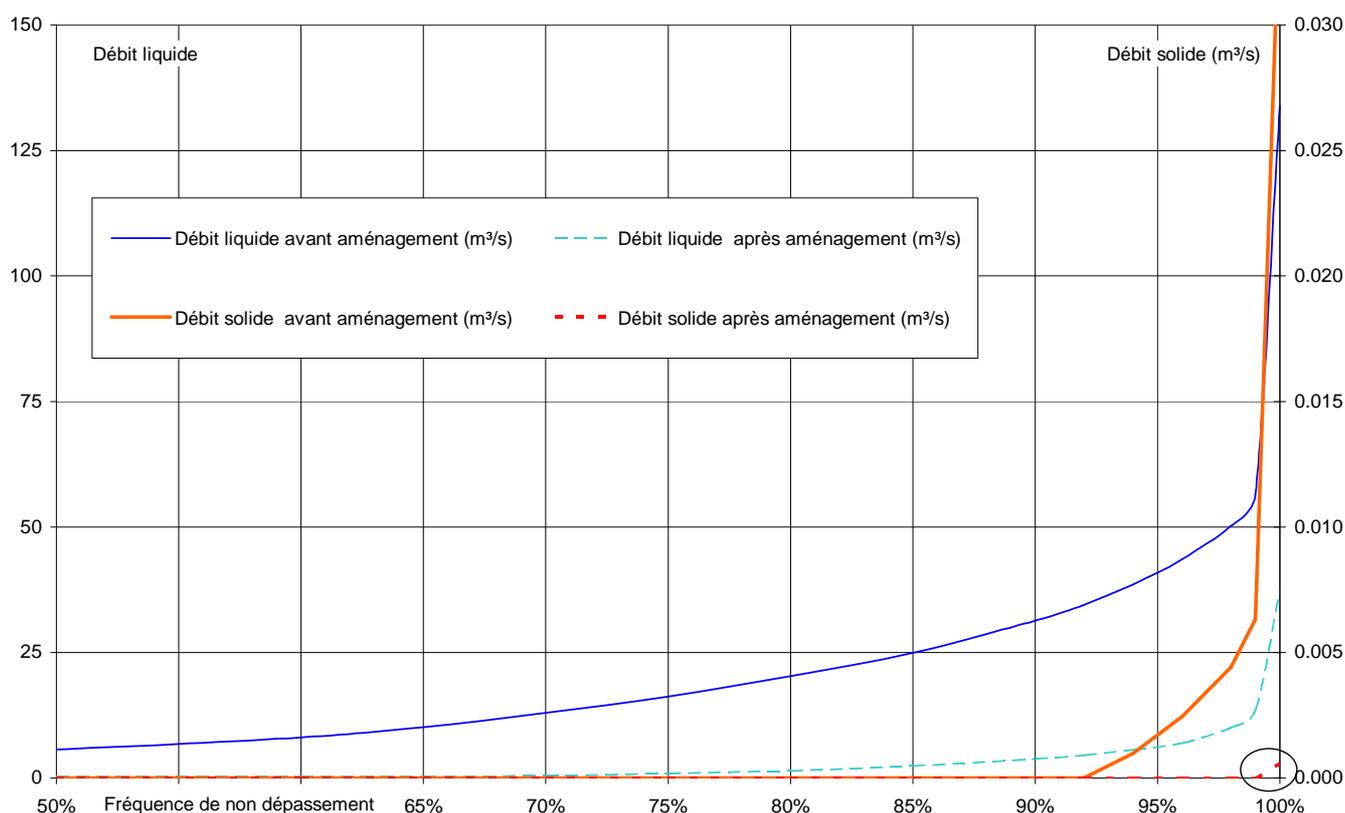


Figure 4 : Courbe des débits classés avant et après aménagement.

La courbe des débits classés (seulement la moitié du temps correspondant aux débits les plus élevés) illustre l'évolution considérable de l'hydrologie (cf la figure ci-dessus). Ainsi, à l'état naturel, le débit de 25 m³/s est atteint 15 % du temps. Il est atteint aujourd'hui 0.5 % du temps seulement. Plus des trois quart du temps, le débit n'excède donc guère la valeur du débit réservé.

Le transport solide, qui correspond toujours à des débits élevés, subit par conséquent une diminution considérable :

- Dans l'état naturel, il serait de l'ordre de 18 000 m³/an.
- Il n'est aujourd'hui que de 180 m³/an seulement, soit 1 % de l'état naturel (voir le cercle représentant le transport solide résiduel sur le graphique).

Dans les faits, l'écart est peut être un peu plus réduit grâce à une réduction de la granulométrie transportée, car le lit est essentiellement recouvert de sables et de graviers. Par contre, des débits modérés, même s'ils transportent des matériaux, n'entraînent pas d'évolution de la morphologie du lit. Celle-ci est en effet totalement figée.

2.2.2.3 - Analyse des crues

L'atlas des zones inondables retient un débit centennal en aval du Nant Saint Claude de 220 m³/s. Cette valeur correspond aux ordres de grandeurs crédibles¹ et peut être conservée par souci de cohérence. Elle est établie sans tenir compte du barrage de Tignes. Le volume de la crue doit cependant être analysé plus en détail, en particulier par rapport au volume de matériaux transportés. L'atlas des zones inondables évoque un volume de 20 Mm³ en amont de la confluence avec le Nant Saint Claude.

¹ L'application d'une formule sommaire établie en haute Tarentaise conduit à un débit de pointe de 218 m³/s.

Nous nous sommes intéressés dans un premier temps à l'analyse des précipitations en Vanoise afin de mettre en évidence un éventuel gradient Est-Ouest.

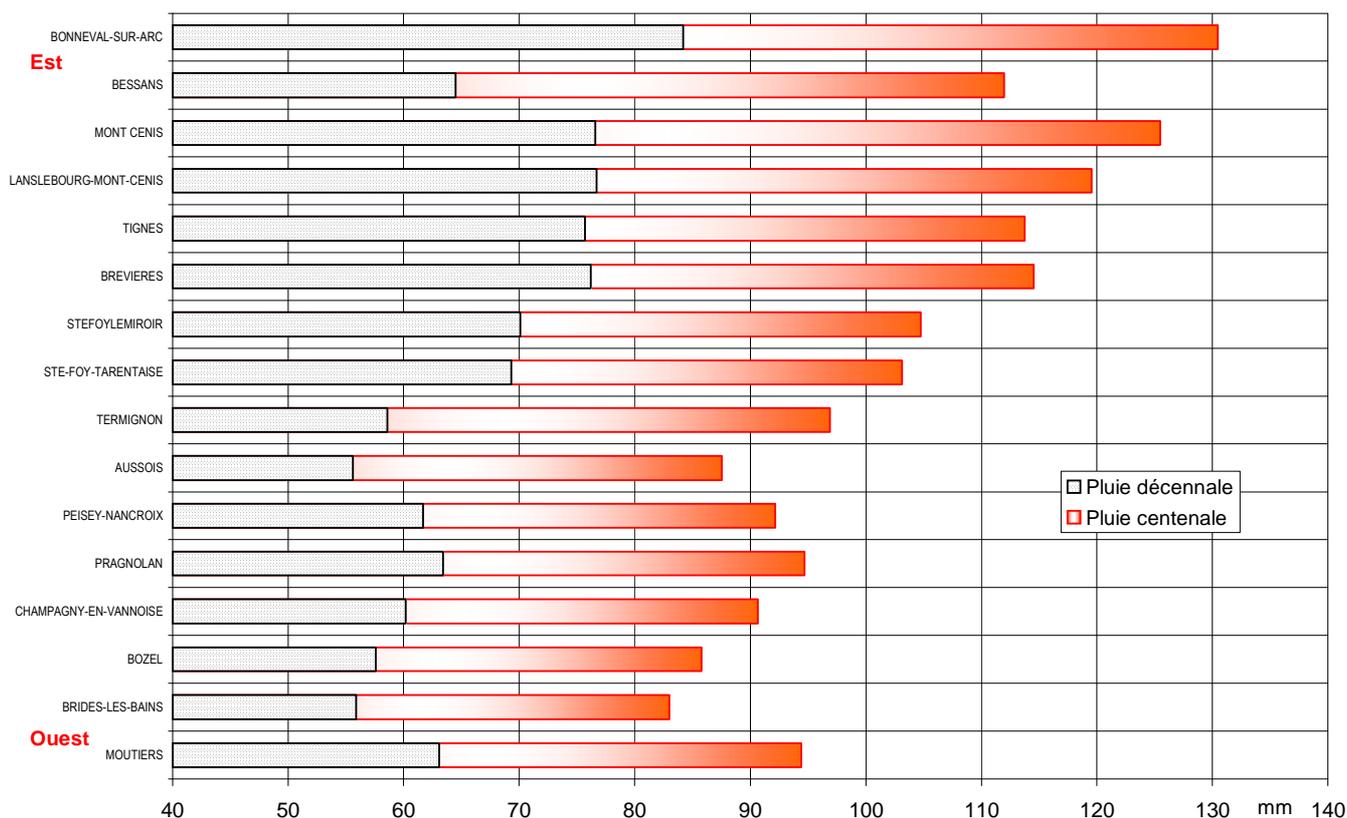


Figure 5 : Pluies caractéristiques en Vanoise.

Le graphique montre que les pluies extrêmes augmentent nettement en allant vers l'Est. Cet accroissement est le résultat de deux phénomènes :

- L'augmentation de l'altitude générale en allant vers le centre du massif.
- Le phénomène de Lombarde, lié à des retours d'Est, génère de très fortes précipitations sur la crête frontalière. Notons que les valeurs ci-dessus correspondent à un ajustement "simple" de Gumbel, et qu'il sous estime largement ce type de phénomène. Cet aspect est largement développé ci-dessous.

Il paraît réaliste - même si cela est grossier - de séparer le bassin versant en deux parties :

- La partie amont, correspondant au bassin versant du barrage de Tignes, fortement soumise au phénomène retour d'Est. La pluie centennale journalière peut y être estimée à 140 mm. Ces précipitations très intenses conduisent à un coefficient de ruissellement de l'ordre de 50 %.
- La partie aval, correspond à des pluies moins intenses pour laquelle il est possible de retenir un ruissellement de seulement 40%.

Il est ainsi possible de calculer les volumes de crue correspondant à chacun des sous bassins versants (cf. le tableau ci-dessous).

	Bassin versant amont	Bassin versant aval
pluie centennale (mm)	140	105
Superficie (km ²)	170	160
Volume précipité (Mm ³)	24	17
Coefficient de ruissellement	0.5	0.4
Volume écoulé (Mm ³)	12	7
Volume total	19 millions de m ³	

Tableau 1 : Volumes des crues.

Le résultat obtenu étant très proche de celui de L'atlas des zones inondables, le volume affiché dans l'étude précédente est conservé, soit 20 millions de m³ au droit de Viclaire. Ces résultats permettent de construire un hydrogramme respectant à la fois le volume et le débit de pointe définis précédemment et de calculer les débits solides associés ainsi que le transit annuel (cf. figure ci-après).

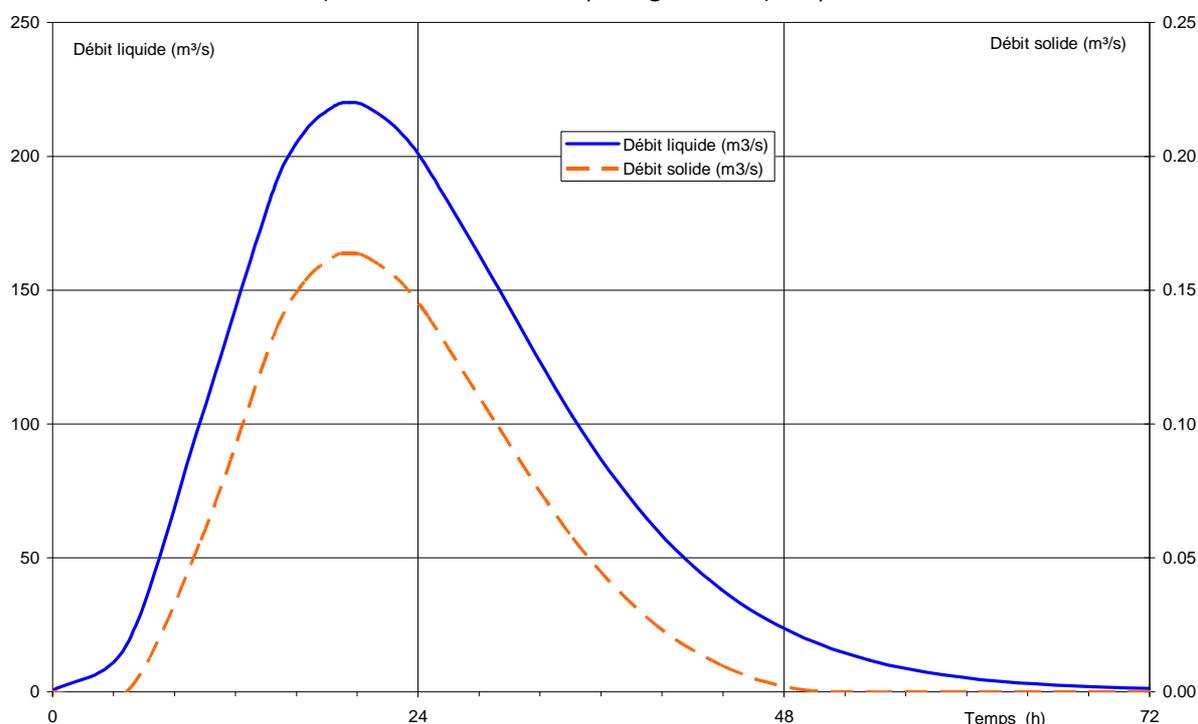


Figure 6 : Hydrogrammes d'une crue centennale (volumes liquides et solides).

Le volume centennale solide correspondant est de l'ordre de 12 000 m³. Ce volume est relativement faible. Il ne permet pas une modification générale de la morphologie ou même une reprise d'anciens dépôts en particulier dans la zone de confluence.

Par contre, localement, les érosions de berges peuvent être relativement importantes. C'est particulièrement le cas en amont de la confluence avec le Nant Saint Claude où l'érosion régressive peut prendre une grande ampleur avec de profondes modifications de la géométrie du lit.

Ce volume est évidemment très supérieur au transit moyen annuel (180 m³/an) et cette disproportion n'est pas surprenante :

- Les apports moyens tiennent compte de la quasi suppression des débits dans ce tronçon de l'Isère ;
- Les débits de crue font abstraction de tous les aménagements EDF.

Ce volume correspond au volume de matériaux qui transiterait dans la partie centrale - et aval - de la plaine de Viclaire. En amont, les apports seraient très supérieurs notamment du fait des apports du Nant Saint Claude, qui connaîtrait très vraisemblablement une crue (pas forcément centennale). Un dépôt en amont est très probable dans un tel cas, à l'image du lent remplissage de la plaine en amont du verrou formé par l'ancien glissement de terrain de Planchamp.

2.2.3 - Analyse diachronique des photographies aériennes

L'analyse de l'évolution des profils en long permet de mettre en évidence les changements dans l'équilibre des pentes. Cet aspect est important mais doit être complété par une analyse des évolutions en plan à partir des photographies aériennes. En effet un bras secondaire peut se fermer, ou le lit se rétrécir par engravement latéral, sans pour autant qu'il y ait un changement visible sur le profil en long. Cette analyse est particulièrement importante dans le bassin versant de l'Isère, où la régulation des débits par les grands ouvrages hydroélectriques a provoqué un amoindrissement des divagations et une rétractation du lit mineur.

Dans la plaine de Viclaire, Les photographies ci-après font apparaître les effets de cette réduction de débit dans l'Isère. En 1948, les aménagements de Tignes et Roselend n'étaient pas encore en service au contraire de l'aménagement entre la Raie et Viclaire, qui fonctionnait déjà depuis plusieurs décennies. Le lit de la rivière est bien plus large et divagant qu'aujourd'hui. A partir des années "50", ce lit se rétrécit, se stabilise et se boise, réduisant les divagations. De plus, la confluence avec le Nant Saint Claude se déplace très nettement vers aval et l'Isère se retrouve poussée contre le versant rive gauche par le torrent. Au niveau même du cône de déjection du Nant Saint Claude, les divagations diminuent et se boisent.

Parallèlement à cette évolution générale, les interventions locales ont aussi fortement participé à l'évolution morphologique de la plaine. La digue en gabions et enrochements construite à l'amont de l'usine hydroélectrique de Viclaire a canalisé le lit de l'Isère sous le pont en aval et réduit les divagations en rive gauche ; cette évolution a été renforcée par l'aménagement de la zone d'activité en rive droite à partir des années "80". Enfin, dès les années "50" des extractions de grande ampleur sont réalisées dans la plaine abaissant fortement le niveau très haut du lit depuis les apports exceptionnels du Nant Saint Claude. Ces extractions se sont arrêtées et ne sont pas étendues plus vers l'aval probablement du fait de la présence très proche de la nappe (???)

La réduction des débits liquides a joué un rôle prépondérant sur la dynamique des bancs et le transport solide en suspension. L'évolution de cette dynamique est particulièrement nette lorsque le lit est large par rapport aux débits qui s'écoulent et lorsque la pente est faible. La réduction considérable de la fréquence de transport solide qui s'en est suivie, a eu un fort impact sur la physionomie du lit, car les divagations entretiennent habituellement des formations boisées pionnières en tâches plus ou moins étendues et la création d'annexes hydrauliques.

Les évolutions actuelles sont les suivantes :

- Suite à la réduction des débits, les bancs sont plus rarement érodés et se boisent spontanément. Les formations herbacées et ligneuses pionnières évoluent alors vers des stades boisés plus évolués, qui augmentent la charge en corps flottants lors des crues et le risque d'embâcle sous les ouvrages.
- Lors des petites crues, les sédiments fins sont ralentis par la rugosité des zones végétalisées et se déposent. Ils colmatent ainsi les annexes hydrauliques et favorisent la formation de sols alluviaux et l'apparition de nouvelles espèces végétales. Cette situation est déjà ancienne dans la plaine de Viclaire.

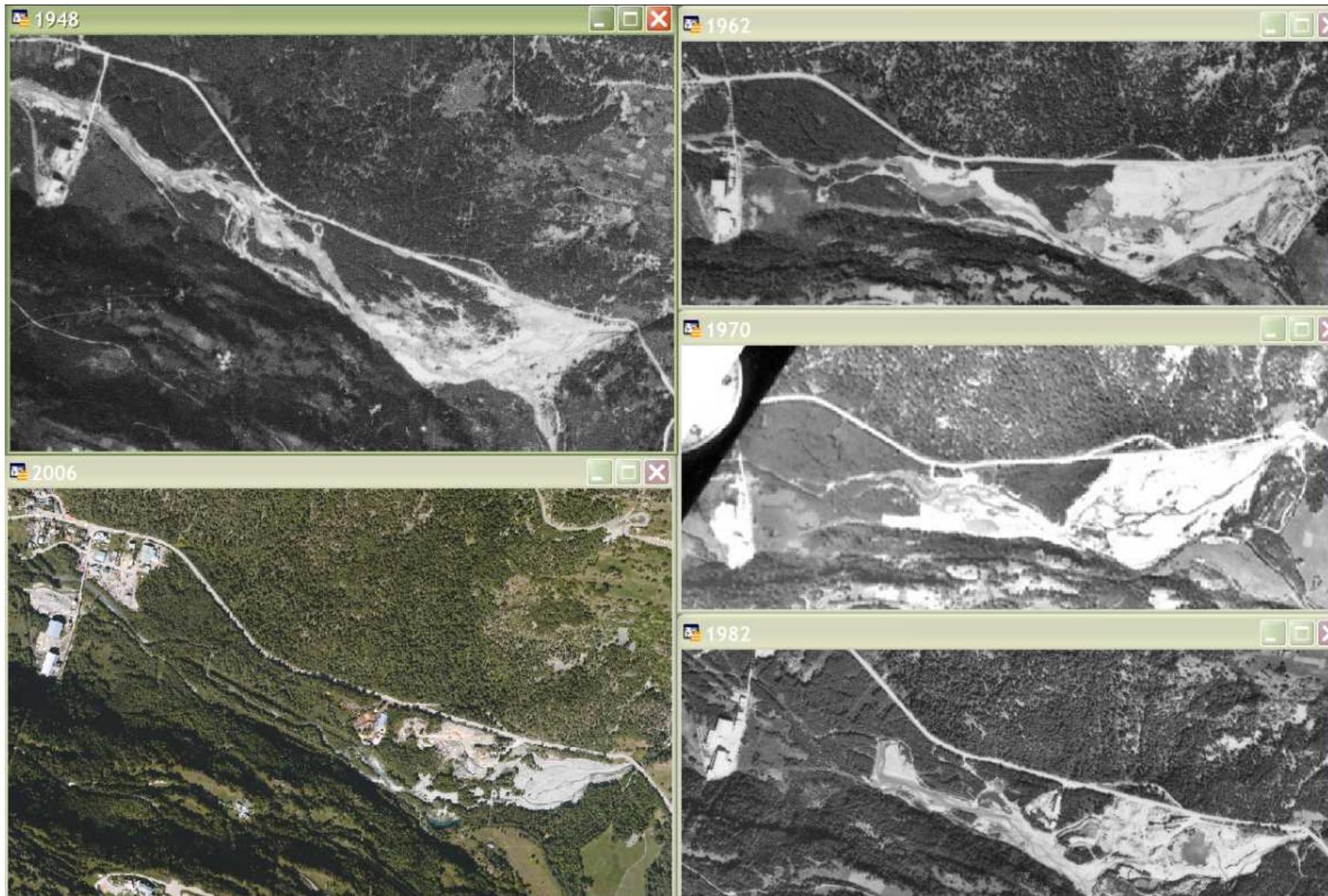


Photo 3 : Evolution de la plaine de Viclaire au cours des 60 dernières années.

- Le lit vif avec plusieurs bras évolue vers un lit unique plus étroit et perd de sa capacité érosifs et d'écoulement des crues. Les érosions de berge sont aujourd'hui marginales et toujours très ponctuelles, généralement liés à des obstacles végétaux.

Ces évolutions sont souvent négatives pour les milieux alluviaux du fait de la déconnexion des terrasses alluviales qui s'ensuit par l'approfondissement du lit. Dans le cas de la plaine de Viclaire, ce n'est pas ce phénomène qui est observé, car les extractions réalisées à partir des années "50" ont fortement abaissé le niveau de la plaine en même temps que le lit se figeait. Les ripisylves qui se sont développées spontanément à l'arrêt de ces prélèvements sont aujourd'hui parfaitement connectées au cours d'eau et soumises aux inondations, comme en témoignent les récents dépôts de limons et de corps flottants dans les anciens bras aujourd'hui colmatés. Elles ont également les "pieds dans l'eau" ² et présentent des caractéristiques typiquement alluviales. L'évolution de ces ripisylves dans le secteur aval, où le lit est figé, est aujourd'hui surtout conditionnée par les dépôts de sédiments fins. Cette évolution très lente se déroule sur plusieurs décennies et se traduit par un enrichissement en espèce végétales et animales des milieux, pouvant éventuellement être remis en cause par un événement exceptionnel centennal sur l'Isère (fort élargissement du lit avec érosion de la forêt).

2.2.4 - Description du lit actuel

Dans la plaine du Champet, le lit de l'Isère s'est légèrement encaissé puis figé (cf. photo ci-dessous). En effet, ce tronçon ne reçoit pas les débits liquides - et surtout solides - du Nant Saint Claude. Il n'a donc subi que très peu de sollicitation.

Il y a une cinquantaine d'années, le lit étant nettement plus au nord et confluaient avec le Nant Saint Claude beaucoup plus en amont.



Photo 4 : Aval de la plaine du Champet (lit déjà encaissé).

² Des travaux récents sur le site font état de la présence de la nappe à 60 cm de profondeur

Les enjeux dans cette zone sont très modestes et un débordement en cas de crue est très probable avec un risque d'inondation du bâtiment implanté dans la plaine. Celui-ci n'est cependant plus habité. La station de relevage, en rive gauche à l'aval de la plaine pourrait aussi être atteinte, sans dégâts forcément importants. Le risque principal correspond à une capture de l'Isère par l'ancienne gravière située à la confluence entre l'Isère et le Nant Saint Claude. La dénivelée entre le lit et la gravière étant de l'ordre de 5 mètres, cela conduirait à une érosion très intense. Le risque est d'autant plus important que seul un merlon étroit et non protégé sépare la gravière de l'Isère.

La plaine du Champet est aujourd'hui isolée de la plaine de Viclaire par un seuil (cf. photo ci-après). Ce seuil a été nécessaire suite aux extractions excessives réalisées dans cette zone. Il offre une dénivelée de l'ordre de 5 mètres, ce qui est considérable.

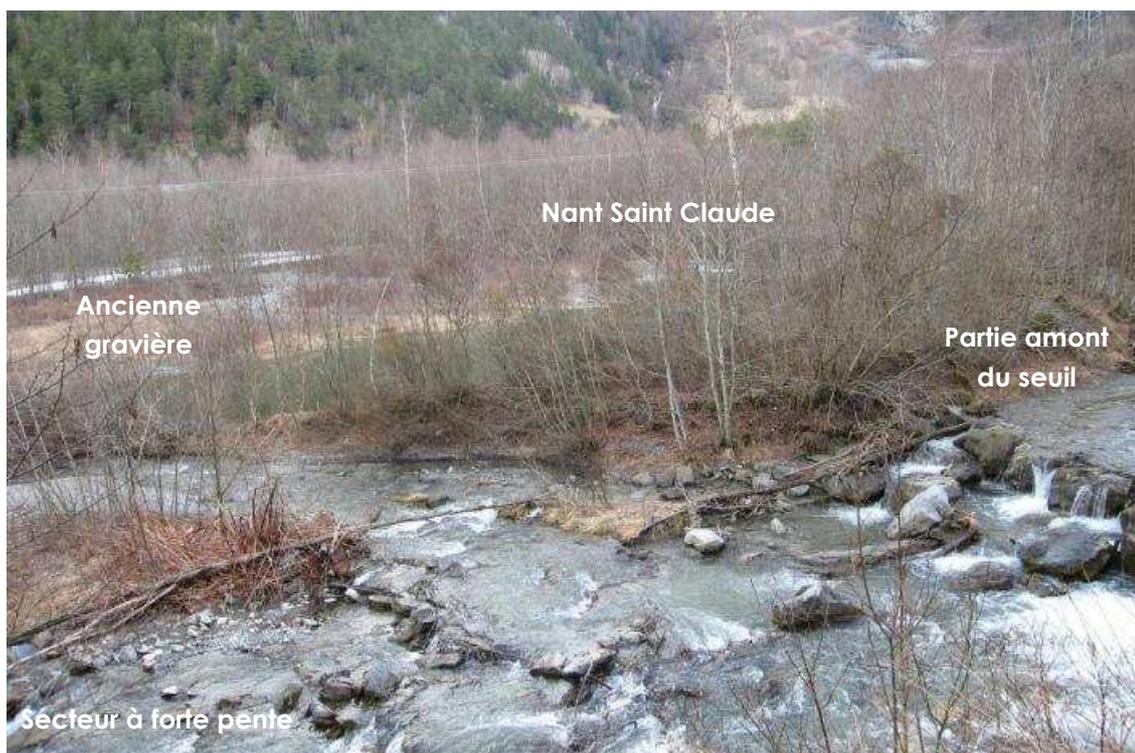


Photo 5 : Seuil en amont de la confluence avec le Nant Saint Claude.

Cet ouvrage paraît fragile. En effet, un lit globalement naturel, vraisemblablement formé par érosion régressive (avec des débits liquides modérés) représente la moitié de la dénivelée. Un débit important causera un encaissement du lit très significatif. Il y a, là encore, un risque de capture par l'ancienne gravière que l'on observe à l'arrière plan sur la photo. Dans la partie amont, des enrochements constituent un seuil qui rachète une dénivelée de l'ordre de 2 mètres. D'une part, cet ouvrage serait menacé par l'érosion de la partie aval du seuil. D'autre part, il paraît fragile et pénalise la circulation du poisson. Ainsi, en cas de forte crue, cette zone connaîtrait des évolutions considérables du lit, avec notamment une forte érosion régressive dans la plaine du Champet. Les enjeux sont cependant peu importants.

Dans la zone de confluence avec le Nant Saint Claude (cf. photo ci-après), le lit est large, un peu divaguant avec une tendance à l'engravement par rapport à un état très encaissé qui résultent des extractions anciennes. Il s'agit de la zone la plus active de l'Isère sur l'ensemble de la plaine de Viclaire. On observe les traces d'anciennes extractions avec notamment une ancienne gravière en rive droite du Nant Saint Claude en aval de la confluence. Cette dépression se comble lentement.



Photo 6 : Extrémité aval de la zone de divagation au droit de la scierie.

En aval de ce tronçon, les matériaux présentent une granulométrie plus uniforme mais le lit perd quasiment toute mobilité. On observe localement la formation d'une petite île ou une érosion ponctuelle. Les évolutions du lit sont souvent liées à des arbres qui forment un obstacle à l'écoulement imposant une réaction morphologique aussi limitée que localisée.

Le remblai de la scierie, rétréci le lit mineur et forme un "verrou" aval à la zone de divagation. Il n'est pas protégé, ce qui conduirait, en cas de forte crue, à des érosions importantes pouvant menacer des bâtiments secondaires et le pylône construit en sommet de berge.

En aval de ce remblai, un bras secondaire quitte le lit mineur et serpente dans le large lit majeur rive droite sur environ 300 mètres. Sa mise en eau paraît exceptionnelle, en rapport avec l'hydrologie très apaisée du secteur. A long terme, la fermeture de ce bras paraît probable.

Sur l'ensemble de ce linéaire, une ligne électrique est audacieusement implantée dans le lit majeur et cette implantation pourrait entraîner l'affouillement des pylônes lors d'une crue exceptionnelle (les caractéristiques des fondations ne nous sont pas connues) ((cf photo ci-après). Elle impose un entretien régulier par coupe rase, qui favorise le développement d'un taillis dense, où les vitesses d'écoulement en crue sont très faibles.



Photo 7 : Entretien par coupes rases régulières sous les lignes électriques (taillis dense peu favorable à l'écoulement des crues).



Photo 8 : Lit étroit, boisé et constitué de matériaux fins.

La capacité du lit mineur, bien en rapport avec les débits ordinaires et notamment le débit réservé, est nettement trop faible pour les crues, mais présente bien évidemment un intérêt pour la vie aquatique. Aucune régulation naturelle permettant un retour à un lit large et dégagé n'est à attendre étant donnée la dérivation de la quasi-totalité des débits par les aménagements EDF.

Dans la partie centrale de la plaine, le lit de l'Isère forme une chicane brutale, relique d'un ancien tracé très divaguant. Ce tracé avec deux coudes très marqué serait vraisemblablement profondément modifié en cas de forte crue. C'est dans le second coude que le bras secondaire de la rive droite rejoint le lit mineur. Le départ d'un second bras secondaire est visible, toujours en rive droite, une centaine de mètres en aval. Il a été sommairement condamné par des enrochements, ce bras conduisant les écoulements en direction du remblai de la zone artisanale.

Le coude suivant matérialise l'arrivée dans le secteur de Viclaire (cf. photo ci-après) :

- En rive gauche, une longue digue en enrochements est destinée à permettre l'entonnement du pont et à protéger la centrale électrique. Cette digue est longée par la route et des pylônes haute tension sont implantés en retrait. Elle n'a pas de fonction de protection contre l'inondation, mais elle limite les déplacements du lit. Son utilité était flagrante en 1948 (voir photo aérienne) mais est nettement plus faible aujourd'hui les débits ordinaires ne permettant aucune divagation (le risque persiste pour une forte crue).
- En rive droite, le remblai de la zone artisanale conduit à une réduction brutale de la largeur du lit majeur. Ce remblai est protégé dans sa partie aval, mais la partie amont correspond plutôt à un remblai progressif sans géométrie précise. Le bras secondaire rive droite forme un large détour avant de rejoindre le lit mineur en longeant le remblai actuel.



Photo 9 : Lit en amont du pont, rectiligne et longeant la digue en rive gauche.

Dans le secteur du pont, un atterrissement s'est formé sur la rive gauche occultant une grande partie du débouché du pont. Cet atterrissement est entretenu par coupes à blanc dans le cadre de la gestion des lignes électriques, l'une d'elle traversant l'Isère en aval de l'ouvrage, et un taillis dense de saules s'est développé. Seule la portée rive droite du pont est donc utilisée par l'écoulement.

Le secteur du pont est le plus contraint :

- En rive gauche, le lit majeur a été barré de longue date en aval du pont par la plate-forme et les bâtiments de la centrale électrique. Le secteur a connu un changement d'affectation mais la plate-forme reste utilisée (usine à béton, stockage d'engins,...). Elle est protégée, sur une centaine de mètres, par des protections en enrochements. Cette obstruction neutralise les écoulements en amont du pont. Juste après ces enrochements des anciens épis et des levés de terre empêchent également les écoulements.
- En rive droite, le remblai de la zone artisanale entre la RD 902 et l'Isère est prépondérant puisqu'il barre tout le lit. Cette obstruction se prolonge en aval par la route d'accès au pont. Au delà, une terrasse basse est occupée par une ripisylve séparant l'Isère des premières constructions. Cette zone est en grande partie entretenue régulièrement par des coupes à blanc, puisqu'elle est située sous la ligne électrique et donc formée par un taillis dense de saules et de quelques frênes (cf. photo ci-après).



Photo 10 : Lit en aval du pont de Viclaire et coupes à blancs sous la ligne électrique.



Photo 11 : Protections en rive gauche du pont de Viclaire.

L'une des branches du torrent des Moulins conflue avec l'Isère dans cette zone. Les débits liquides et solides de cet affluent sont très modérés, des prises d'eau EDF étant situées en amont. Puis l'Isère reçoit les eaux turbinées par la centrale de Viclaire. Le débit d'équipement n'est plus que de 3 m³/s et n'a pas d'influence morphologique en aval, même si le débit moyen connaît une évolution sensible.

La vallée est nettement dissymétrique à ce niveau :

- En rive droite, la terrasse alluviale est basse et tantôt boisée, tantôt couverte par des prés.
- En rive gauche, un bassin de compensation a été construit en aval de la centrale de Viclaire (cf. photo ci-après) et occulte les débordements dans le lit majeur. Il n'est plus utilisé depuis au moins 50 ans. Ce bassin est séparé du lit mineur par une digue ancienne dont la tenue paraît douteuse. Les vestiges d'un ancien lit boisé longe sur une grande partie le pied de la digue coté bassin. La digue est fermée par un ouvrage en aval constitué d'un seuil déversant de deux dalots permettant l'évacuation des eaux arrivant dans le bassin (arrivée de petits affluents en rive gauche).



Photo 12 : Bassin EDF et sa digue.



Photo 13 : Ouvrage à l'aval du bassin EDF

En aval du bassin EDF, le lit est plus symétrique et parcourt essentiellement des prés, avec une ripisylve étroite sur les berges et constitué majoritairement d'aulnes. Les érosions de berge sont marginales dans ce tronçon, plus grâce à la faiblesse des débits qu'aux protections de berges très hétérogènes. Les enjeux économiques sont très faibles dans cette zone.

L'Isère arrive ensuite au pont de la Bonneville, où la pente augmente brutalement sous l'effet du glissement de terrain de Planchamp.

2.2.5 - Étude des écoulements dans l'état actuel

2.2.5.1 - Principe et hypothèses

Il s'agit ici de réaliser une modélisation des écoulements avec le modèle HEC RAS depuis la zone de la scierie jusqu'au pont de la Bonneville. En amont une telle modélisation ne présente guère d'intérêt étant donnée la faiblesse des enjeux. Et surtout, les évolutions du lit risquent d'être importantes, rendant une telle modélisation illusoire.

Les levés topographiques sont ceux de l'atlas des zones inondables, l'évolution du lit étant marginale depuis la réalisation du levé. Trois nouveaux profils transversaux ont été réalisés dans le cadre de cette étude pour augmenter la précision des calculs localisés ainsi :

- environ 150 mètres en aval de la scierie.
- amont du remblai de la zone artisanale
- extrémité aval du remblai rive gauche en aval du pont.

On retient ici le débit de pointe indiqué dans l'atlas des zones inondables, soit 220 m³/s. Aucune évolution n'est prévue sur le linéaire de modélisation et particulièrement au confluent avec le torrent des Moulins.

On a aussi réalisé un test de sensibilité sur les résultats par la modélisation de deux autres débits liquides :

- 130 m³/s, débit correspondant à une crue pour le seul bassin versant en aval du barrage de Tignes. Le calcul est réalisé en considérant que le débit de pointe est proportionnel à la superficie du bassin versant à la puissance 0.75.
- 300 m³/s, débit correspondant à une crue très exceptionnelle, bien au delà d'une période de retour

centennale. Ce scénario est destiné à réaliser une étude de sensibilité sur les résultats obtenus. Le calcul est réalisé en considérant un écoulement fluvial, ce qui est conforme aux pentes du site. Au niveau du profil aval (pont de la Bonneville) on considère un écoulement critique, caractéristique d'une telle section de contrôle.

2.2.5.2 - Limites de validité de la modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique est réalisée avec la géométrie et la topographie actuelle. En aval de la scierie, la géométrie devrait connaître de faibles évolutions et surtout, le bilan global des érosions et des dépôts devrait conduire à une faible évolution de la capacité d'écoulement et donc des niveaux en crue. Par contre, la rugosité est avant tout liée - dans un tel contexte - aux zones boisées. Or, en cas de crue les évolutions sont très importantes :

- Dans les zones de forte vitesse - ou de divagation latérale - les arbres sont arrachés, augmentant fortement la capacité d'écoulement. L'évolution est d'autant plus importante que les terrasses déboisées sont aussi celles qui sont érodés.
- Inversement, les arbres transportés se bloquent sur ceux en place, formant des embâcles qui réduisent fortement la capacité d'écoulement.

Ces deux évolutions vont par conséquent dans des sens opposés, mais dans un lit étroit et encombré, la crue va surtout dans le sens d'une augmentation de la capacité d'écoulement. Le lit est beaucoup plus large après la crue qu'avant et les niveaux d'eau - pour un même débit liquide - sont inférieurs. La difficulté est de connaître l'évolution des formations boisées non pas à la fin de la crue, mais pour le débit de pointe, qui est très dépendante de la chronologie de la crue. Or cette chronologie est inconnue. La modélisation hydraulique - avec l'état actuel - est donc plutôt défavorable car - classiquement - elle ne prend pas en compte l'ouverture du lit lié à la crue.

A titre d'illustration, on trouvera ci-dessous des photos de la haute Durance avant et après la crue de mai 2008. La pente du lit est de 7 ‰, très comparable à la pente de 5 ‰ de l'Isère à Viclaire. Du point de vue du seul débit de pointe, la période de retour de cette crue serait de quelques décennies au plus dans la zone d'étude, mais au niveau des volumes écoulés l'occurrence d'un tel événement est beaucoup plus faible et a permis des changements morphologiques importants :

- L'île a été préservée mais a subi un recul marqué suite à l'élargissement du bras de la rive droite (qui était déjà prépondérant avant la crue).
- Le bras rive droite s'est nettement élargi. Surtout, il ne forme plus un coude mais suit un tracé plus direct, imposant un recul de la rive droite qui a pu atteindre plusieurs dizaines de mètres.
- L'éperon aval - mis en évidence sur les photos - a connu un recul considérable de près de 100 mètres.

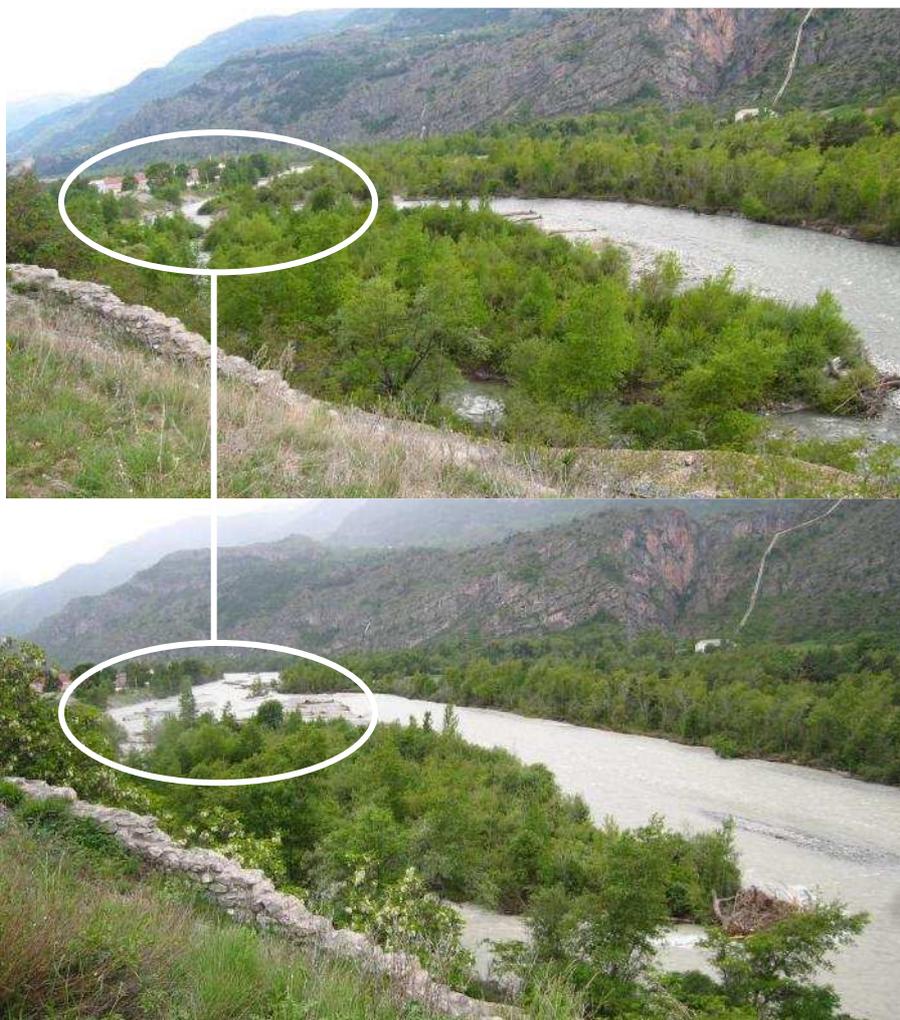


Photo 14 : Evolution du lit de la Durancé après la crue de mai 2008 montrant les fortes évolutions morphologiques et les incertitudes des modélisations hydrauliques.

2.2.5.3 - Résultats obtenus

Remarque préliminaire

Outre les évolutions de topographie décrites précédemment, le passage d'une crue peut conduire à des évolutions importantes de la rugosité. Par exemple, lorsque les herbes sont couchées par l'écoulement, la rugosité du terrain diminue. Mais elle augmente ensuite fortement lorsque le terrain est érodé et que les matériaux grossiers apparaissent. D'autre part, la rugosité de la végétation varie fortement en fonction de son âge et de la saison.

Ainsi, trois types de rugosité ont fait l'objet d'une simulation. Les résultats obtenus sont détaillés ci-dessous. Concernant les conditions aux limites, on considère dans tous les cas un écoulement critique sous le pont de la Bonneville qui forme une section de contrôle très marquée. L'écoulement reste fluvial sur l'ensemble du linéaire modélisé.

Situation probable

Cette situation correspondant à l'état actuel est basée sur les coefficients de Strickler suivants :

- 20 dans le lit mineur. Cette valeur est un peu faible à cause de la prise en compte des risques d'embâcle.

- 5 dans le lit majeur en général. Cette valeur est faible mais bien en rapport avec les boisements denses qui couvrent presque toute la superficie. De manière générale, on a considéré un recul en crue des boisements de l'ordre de 5 mètres le long du lit mineur par rapport à l'état actuel.

La figure suivante montre les niveaux atteints pour le débit liquide de 220 m³/s :

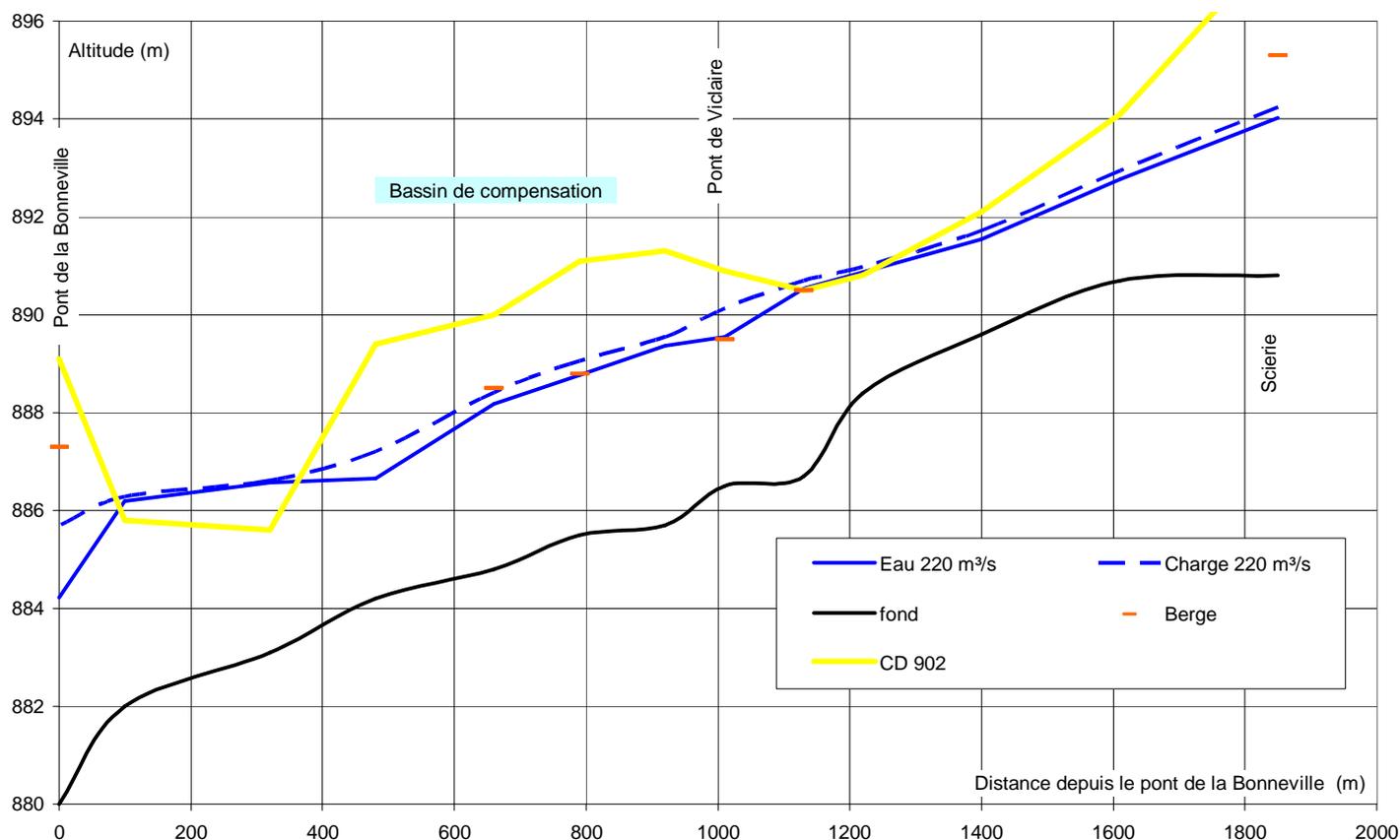


Figure 7 : Ligne d'eau pour le débit centennal dans la situation la plus probable.

Ce graphique indique les éléments suivants :

- Niveau bas du fond. Ce paramètre n'est pas très pertinent (il intègre des surcreusements locaux) mais permet d'illustrer la hauteur d'eau.
- Niveau d'eau moyen dans la section. Ce niveau est localement dépassé par les vagues où les surélévations causées par des obstacles.
- Niveau de charge³. Ce paramètre est essentiel. Il indique notamment le niveau de remontée de l'eau sur la pile du pont de Viclaire. D'autre part, la pente de la ligne de charge est directement liée au transport solide dans le lit mineur.
- Le niveau de la RD 902 en rive droite. Outre qu'il s'agit d'un repère important, il renseigne sur la submersion de la route et - dans la zone urbanisée - sur les risques de contournement de la zone artisanale.
- Le niveau des berges au droit des sites critiques. De l'amont vers l'aval, il s'agit :
 - De la plate-forme de la scierie,
 - Du point bas amont de la plate-forme de la zone artisanale,

³ La charge est définie comme le niveau d'eau majoré du terme $V^2/2g$. Elle est représentative de l'énergie de l'écoulement et correspondant, par exemple, à la remontée du niveau lors de l'accrochage du tablier d'un pont.

- De la sous poutre du pont de Viclaire,
- Du niveau de la digue du bassin de compensation en deux points,
- De la sous poutre du pont de la Bonneville.

Ce graphique confirme l'essentiel des connaissances sur les risques d'inondation de la zone :

- Dans la zone de la scierie et de la confluence avec le Nant Saint Claude, il n'y a pas de risque de débordement en rive droite lié à l'Isère. Par contre, les risques d'érosion de berge sont très nets, particulièrement au droit du remblai de la scierie.
- En amont de la zone urbanisée de Viclaire, la RD 902 est submergée avec une hauteur modérée. Cette submersion est augmentée par la géométrie du remblai de la zone artisanale qui forme un angle très important avec la direction de l'Isère, rendant un retour de l'écoulement dans le lit mineur très difficile. Cette configuration complique considérablement la détermination des niveaux dans cette zone avec une incertitude au niveau de la route de l'ordre de 50 centimètres. Cet écoulement sur la RD 902 est extrêmement défavorable car il favorise l'inondation d'une grande fraction de la zone urbanisée.
- En rive gauche, en amont de la centrale électrique, toute la plaine est inondée, la digue étant totalement submergée. Elle limite cependant les possibilités d'écoulement dans le lit majeur et surtout les divagations du lit mineur.
- Le pont de Viclaire présente une capacité théoriquement tout juste suffisante pour l'écoulement du débit centennal dans ce scénario. La brutale augmentation de la pente de la ligne de charge en aval du pont entraîne une augmentation locale du transport solide et un surcreusement probable sous l'ouvrage en cas de crue. Ce phénomène - classique au droit des rétrécissements - est positif et permettrait de dégager le dépôt en intrados, augmentant la capacité sous l'ouvrage et permettant de gagner théoriquement quelques décimètres. Cet aspect positif paraît cependant négligeable par rapport aux risques de blocage par les flottants. Il n'est pas impossible - mais peu probable - que ce surcreusement conduise à l'affouillement et peut être à la ruine de l'ouvrage. La figure suivante montre la relation hauteur/débit au niveau du pont.

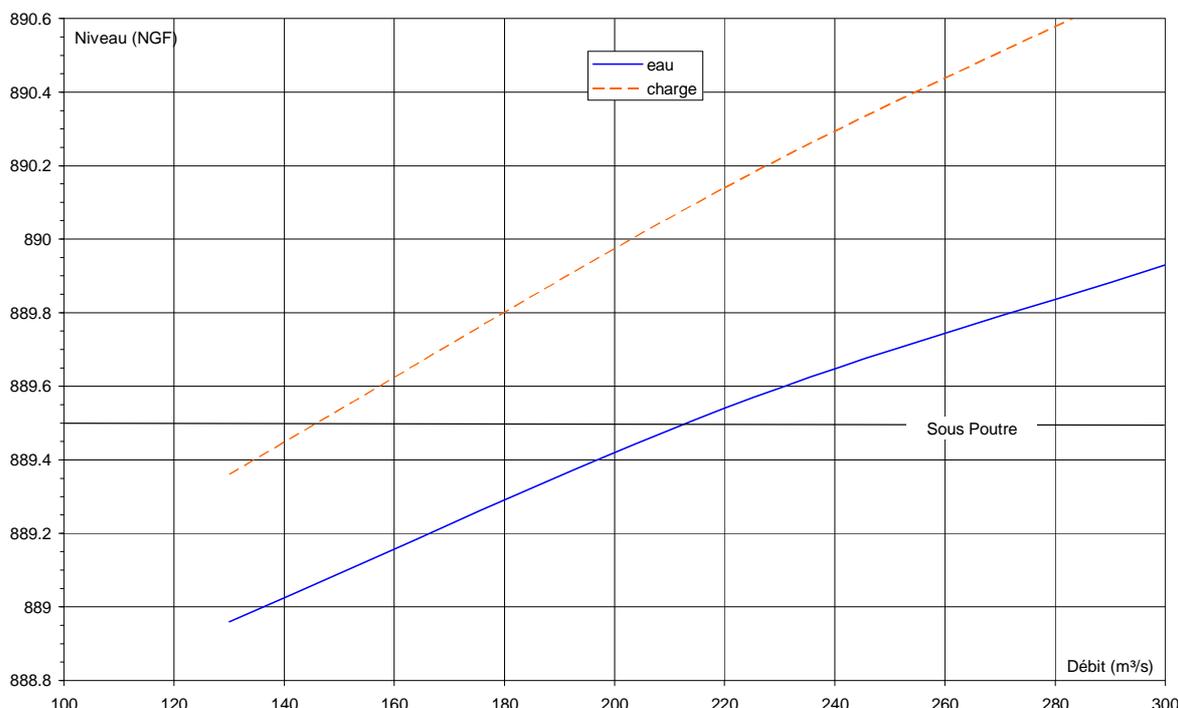


Figure 8 : Relation hauteur/débit sous le pont de Viclaire.

- Le niveau de la digue du bassin de compensation est tout juste suffisant. Une fraction importante du débit passe dans le lit majeur rive droite bien que celui-ci soit boisé. Il est probable que des brèches soient observées dans cette digue en cas de forte crue... sans conséquences importantes.
- L'effet du pont de la Bonneville est prépondérant jusqu'à l'aval du bassin de compensation. En effet, ce pont très étroit en amont des gorges constitue une section de contrôle très marquée. Lors des crues, la hauteur d'eau (et les vitesses) sous cet ouvrage sont très importants. Le pont paraît suffisamment haut pour éviter un passage en charge. Par contre, pour des débits élevés, le barrage ainsi constitué forme une "retenue" en amont qui inonde toute la plaine, mais aussi la route et les habitations. En amont du pont, la ligne de charge présente une pente très faible, ce qui signifie que le transport solide diminuera fortement, causant un dépôt massif en aval du bassin de compensation.

La figure suivante indique les conditions d'écoulement sur ce linéaire :

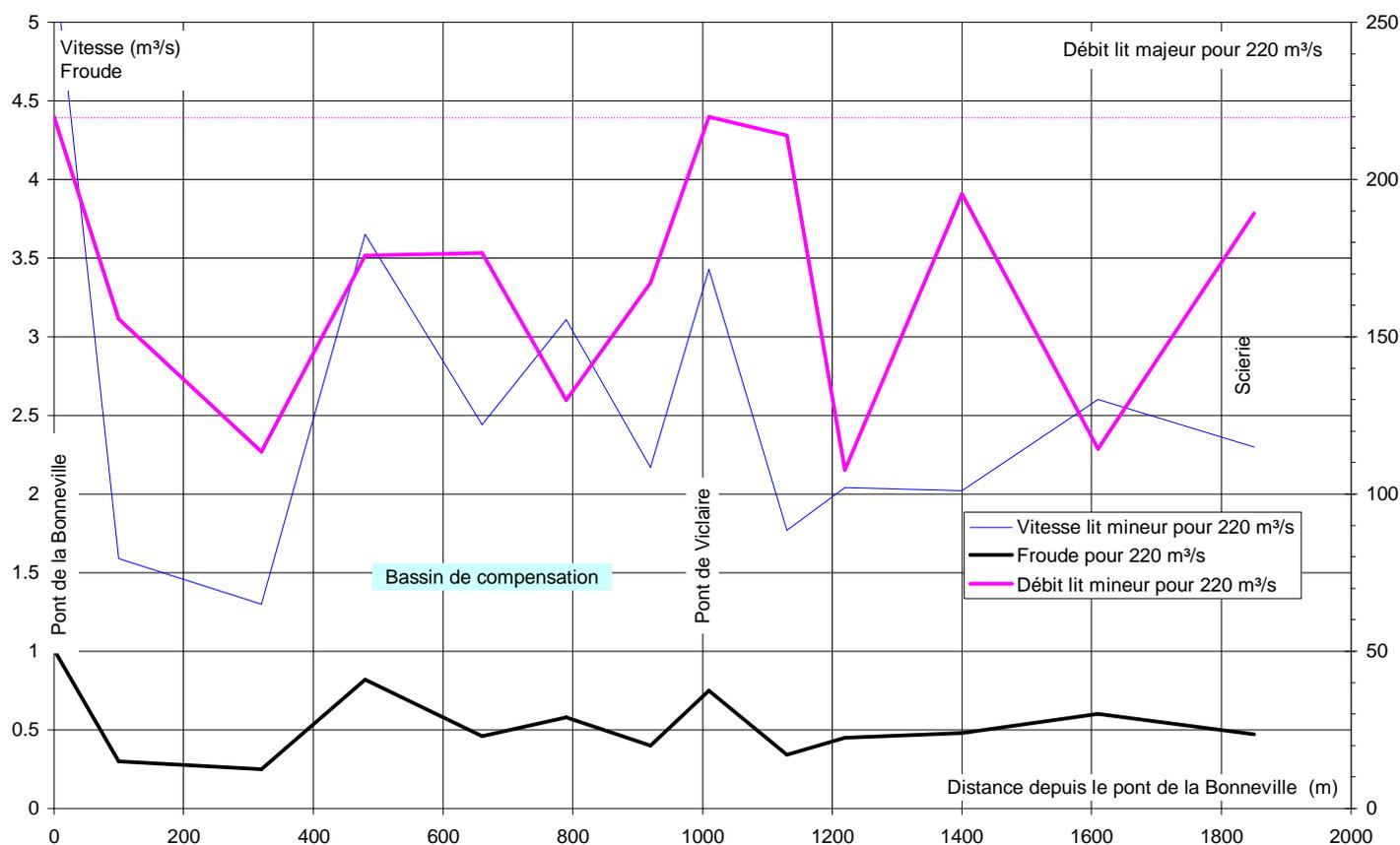


Figure 9 : Conditions d'écoulement pour 220 m³/s pour la situation la plus probable.

Ce graphique indique les éléments suivants :

- La vitesse dans le lit mineur. On note qu'elle est globalement faible (à peine 3 m/s) y compris sous le pont de Viclaire. Elle dépasse 5 m/s sous le pont de la Bonneville, validant l'hypothèse d'une section de contrôle marquée.
- Le nombre de Froude dans le lit mineur. Il est nettement inférieur à l'unité, ce qui montre que l'écoulement est franchement fluvial, en rapport avec la faible pente du tronçon.
- Le débit dans le lit mineur montre, par différence avec le débit total de 220 m³/s, que l'écoulement dans le lit majeur est important. Sauf au droit du rétrécissement des ponts, le débit liquide dans le lit

majeur est important et oscille entre 50 et 100 m³/s. Les fortes évolutions de la géométrie attendues en crue, avec notamment la création de nouveaux bras, relativisent ces résultats même s'il paraît probable que les écoulements dans le lit majeur resteront importants.

Ce calcul a été fait pour plusieurs débits comme le montre le profil en long suivant :

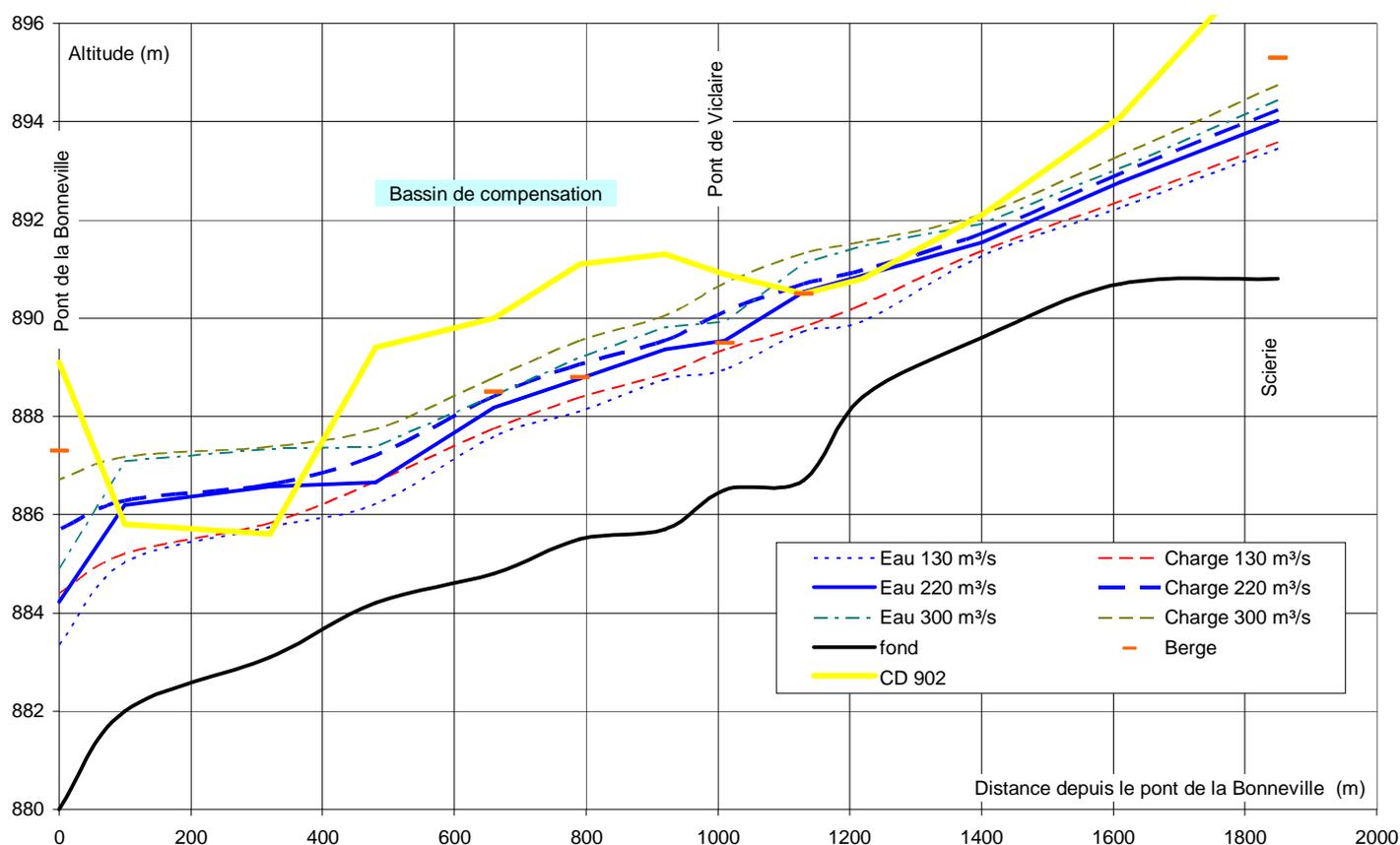


Figure 10 : Niveau dans la situation la plus probable.

Cette figure montre les niveaux et de charge pour des débits liquides de 130, 220 et 300 m³/s, soit une variation du débit liquide dans un rapport de 1 à 2.3. Les variations de niveaux sont globalement faibles :

- Le passage de 130 à 220 m³/s entraîne une remontée du niveau de l'eau de l'ordre de 50 centimètres.
- L'accroissement du débit de 220 à 300 m³/s entraîne une remontée des niveaux d'eau plutôt inférieure, souvent comprise entre 30 et 50 centimètres.

Ces faibles variations de niveaux traduisent un étalement de l'écoulement dans l'ensemble du lit majeur. Le lit sous le pont de Viclaire, même sans lit majeur, paraît suffisamment large par rapport au débit liquide.

La zone de remous en amont du pont de la Bonneville constitue une exception à cette faible variation des niveaux d'eau avec le débit : l'effet de la contraction est particulièrement net et entraîne une remontée considérable des niveaux lorsque le débit s'accroît. Ce remous est ainsi beaucoup plus net à 300 m³/s qu'à 130 m³/s.

Test de sensibilité

Un second calcul (cf. figure ci-après) a été réalisé en considérant, dans le lit mineur, un coefficient de Strickler de 25 au lieu de 20. Cette valeur de 25 est bien en rapport avec la granulométrie, moins avec les boisements riverains. Dans le lit majeur, le coefficient de Strickler de 5 est conservé.

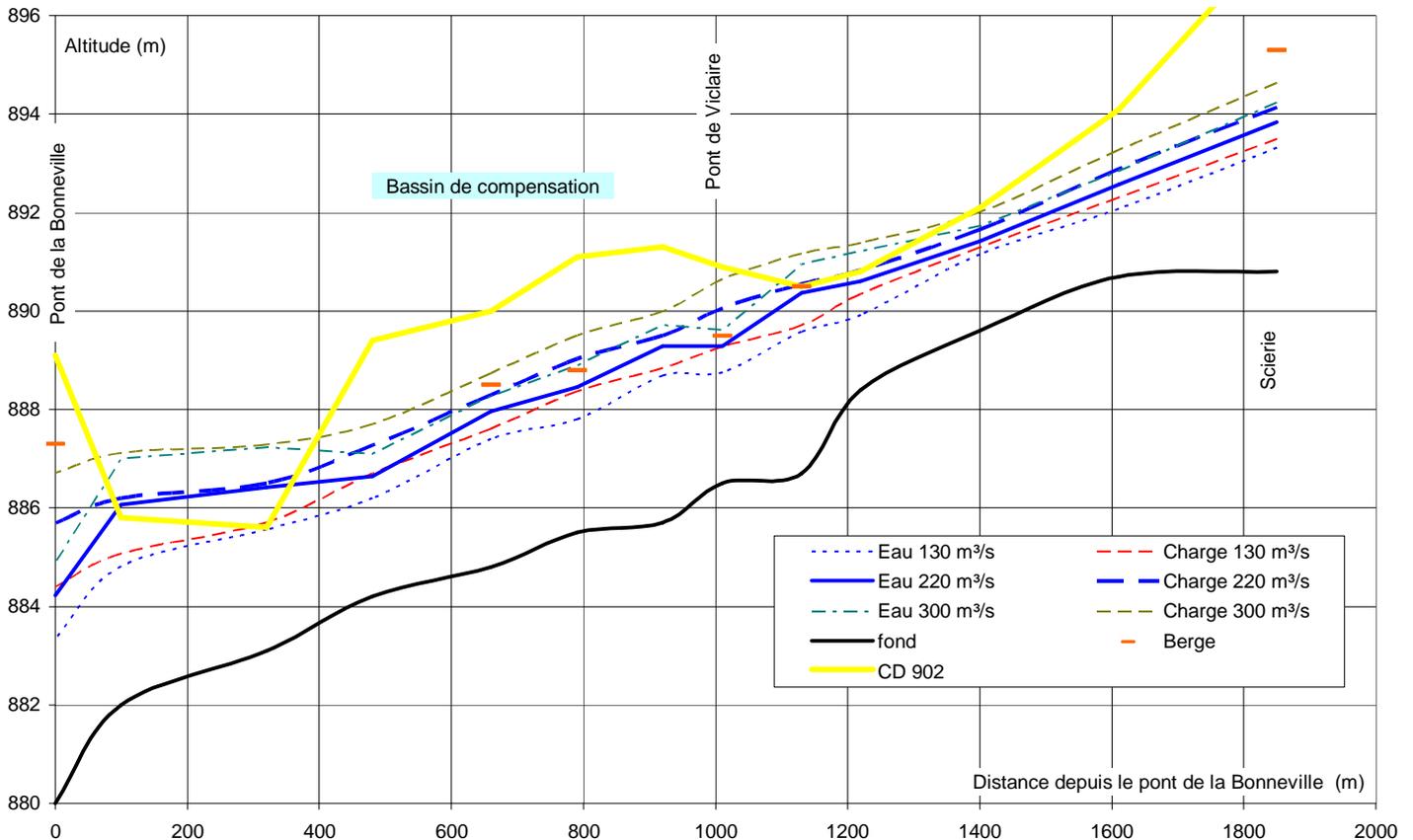


Figure 11 : Calcul avec un K = 25 dans le lit majeur.

Ce calcul conduit à des niveaux un peu inférieurs par rapport à l'hypothèse précédente, la rugosité étant plus faible dans le lit mineur. Les écarts de niveaux sont faibles. En effet, les crues sont très débordantes dans un lit majeur particulièrement large. Ainsi, un accroissement de la capacité du lit mineur n'a qu'un rôle relativement secondaire.

Pour faciliter la comparaison avec la configuration précédente, le graphique suivant indique les niveaux de charge et d'eau pour le débit centennal de 220 m³/s avec les deux rugosités. Les hauteurs d'eau et de charge évoluent faiblement (rarement de plus de 10 centimètres) dans les sens opposés : la réduction de rugosité diminue la hauteur, mais l'accélération augmente le terme d'énergie cinétique. La hauteur diminue donc alors que la charge a tendance à augmenter.

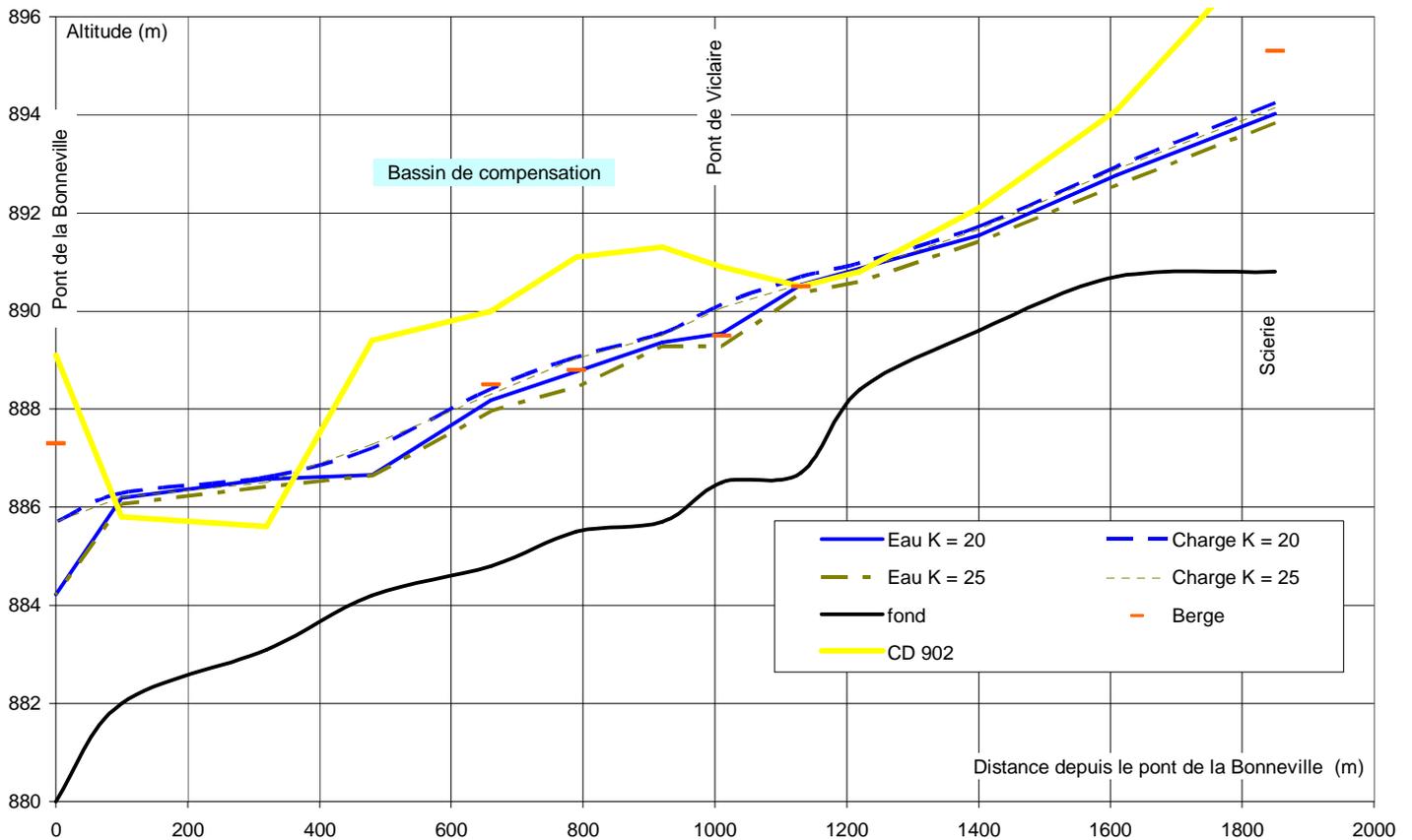


Figure 12 : Effet de la rugosité sur les niveaux pour 220 m³/s.

Il apparaît donc que les niveaux sont robustes notamment grâce à un lit majeur particulièrement large.

Simulation de l'effet des boisements alluviaux

Les deux simulations précédentes correspondent à la situation actuelle, c'est-à-dire avec des berges et un lit majeur boisé. L'effet des boisements peut être évalué de façon théorique en considérant un coefficient de Strickler uniforme de 20 dans le lit mineur (comme dans la configuration de base) et dans le lit majeur. La géométrie du lit et de la vallée reste la même que dans l'état actuel avec notamment le rétrécissement de Viclaire et les ponts. Cette configuration sans aucun arbre dans la zone submergée majeure l'effet des boisements actuels et doit toutefois être considéré comme un test de sensibilité.

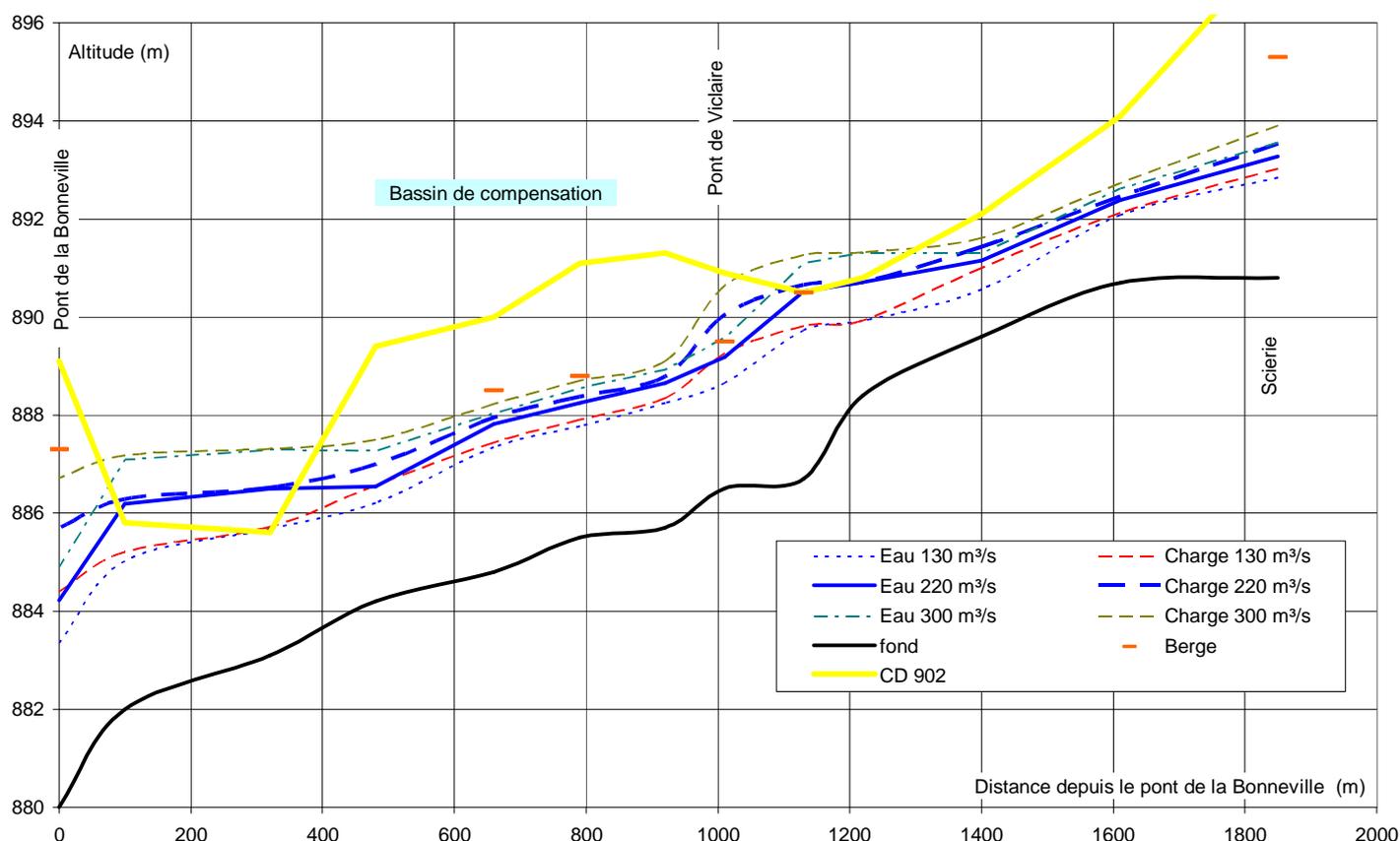


Figure 13 : Lignes d'eau théoriques sans les boisements alluviaux sur les berges et dans le lit majeur.

Cette simulation conduit aux résultats suivants :

- En amont, les conditions d'écoulement sont considérablement améliorées. Les hauteurs d'eau et les vitesses sont réduites et l'essentiel du débit liquide passe dans le lit majeur. Ce calcul théorique sous estime en réalité les niveaux dans un lit majeur large, car il ne prend pas en compte la concentration des écoulements dans un ou plusieurs bras vifs sous l'effet du transport solide, mais considère un large étalement de l'écoulement, non réaliste.
- Le rétrécissement de Viclaire joue dans ce cas un rôle de section de contrôle avec des niveaux à peine inférieurs au niveau actuel. On note une très forte perte de charge en aval du pont, cette évolution étant liée au brutal élargissement du lit.
- Au droit du bassin de compensation, les niveaux et les vitesses sont de nouveau nettement réduits et il n'y a plus de risque de surverse sur les digues (le risque de brèche reste entier).
- Dans la partie aval, l'effet de remous lié au pont de la Bonneville est encore plus net que dans le cas précédent.

Le graphique suivant permet la comparaison avec la situation la plus probable :

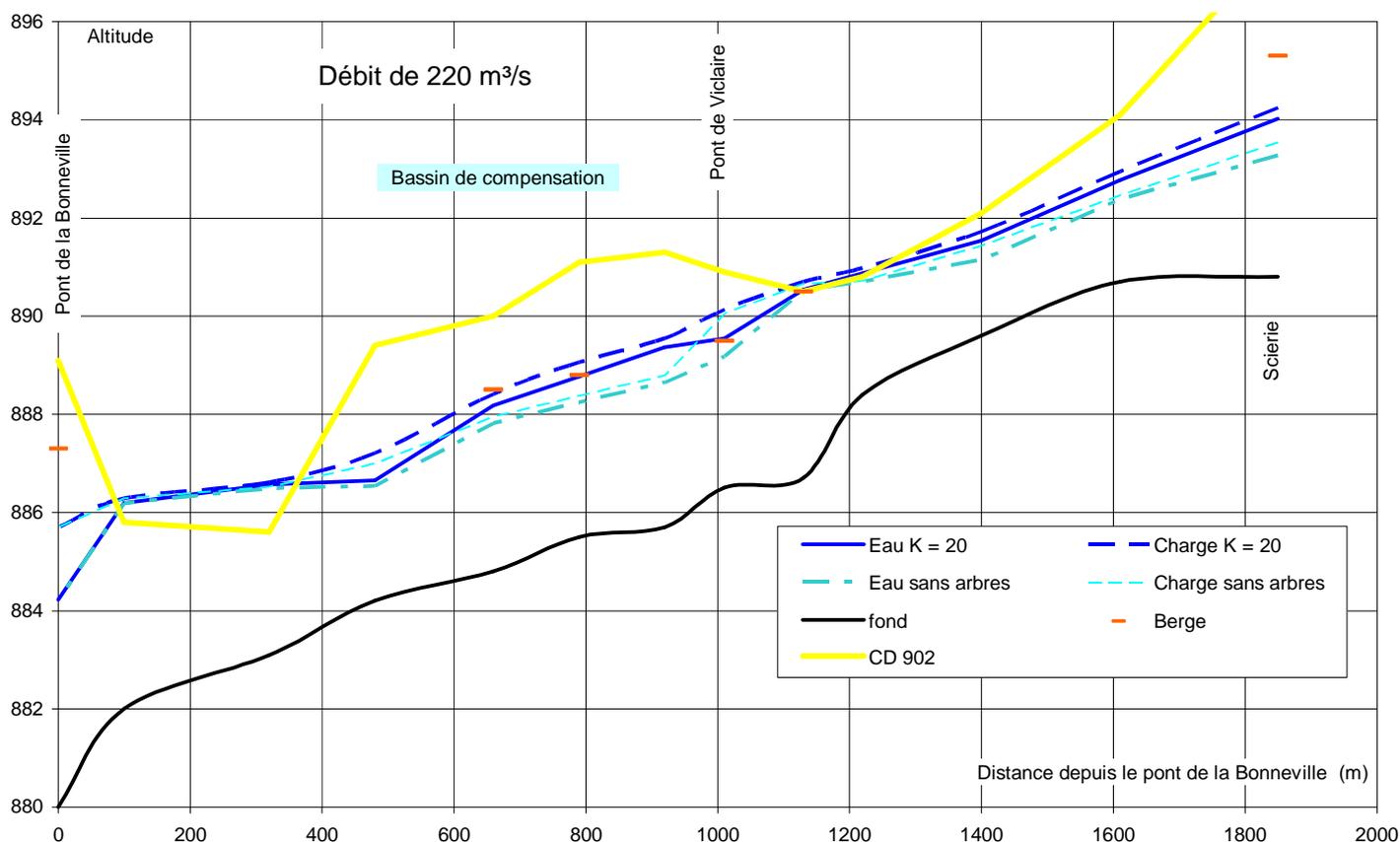


Figure 14 : Mise en évidence de l'effet des boisements.

Cette simulation souligne l'effet du rétrécissement de Viclaire alors que dans l'état actuel, sa débitance n'est pas très différente de celle du lit encombré de végétation en aval et surtout en amont. La perte de charge très importante en aval du pont est liée à l'élargissement brutal du lit et montre qu'un essartement de la végétation en aval du pont n'est pas décisif par rapport au niveau d'eau atteint sous l'ouvrage.

On note cependant que sous le pont, le niveau d'eau est 30 centimètres plus bas que dans l'état actuel, ce qui correspond à un gain théorique significatif par rapport à une revanche actuellement insignifiante.

En amont de la zone artisanale, le risque de débordement sur la RD 902 et de contournement du remblai n'est par contre pas significativement réduit.

Laminage des crues

Le bassin de compensation, protégé par sa digue, constitue un site a priori favorable au laminage des crues. Ces sites sont particulièrement rares sur l'Isère, la pente étant beaucoup trop importante pour permettre un laminage de la crue par simple étalement dans le lit majeur.

Le bassin de compensation présente une superficie de l'ordre de 33 000 m², soit une capacité de stockage de l'ordre de 50 000 m³ pour une hauteur d'eau de 1.6 m. Afin de mettre en évidence l'efficacité d'un laminage par remplissage de ce volume lors de la pointe de crue, la hauteur d'eau à l'amont du bassin a été calculée à partir de l'hydrogramme retenu pour une crue centennale (cf figure ci-après).

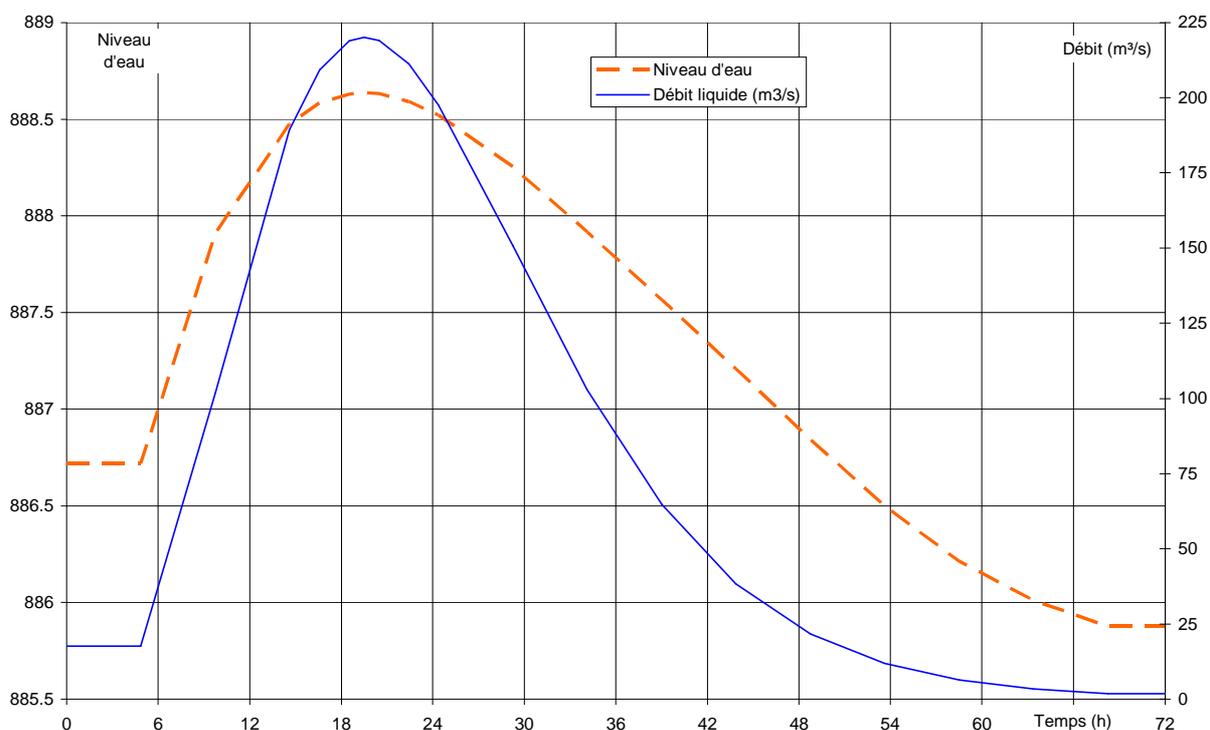


Figure 15 : Évolution des niveaux à l'amont du bassin de compensation.

Cette figure montre que le niveau maximum atteint est de 888.6 NGF, contre un niveau de digue de 889.13 NGF au droit du profil 54 qui a permis la réalisation de ce calcul. Il n'y a donc pas - en l'absence d'érosion - de déversement par l'amont dans le bassin.

Dans un second temps (cf figure ci-après), on a considéré qu'un seuil était taillé dans la digue afin de permettre un remplissage du bassin. On a retenu un seuil relativement large (30 m) afin de dériver le maximum de débit lors de la pointe de crue, car un seuil plus étroit conduirait à une dérivation moins sensible au débit, mais avec un débit de pointe beaucoup plus faible. On fait par ailleurs l'hypothèse qu'il n'y a pas de restitution de débit à l'aval durant la pointe de crue, ce qui majore l'effet de l'aménagement.

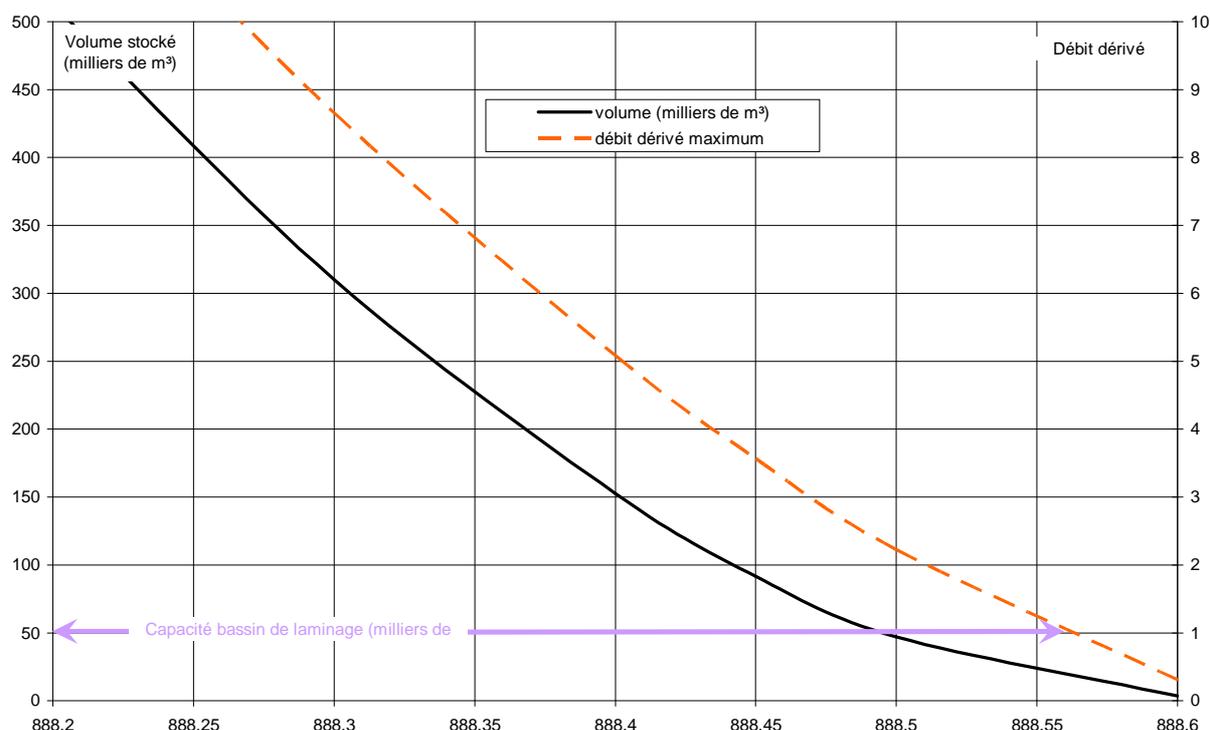


Figure 16 : Volumes et débits maximaux dérivés vers le bassin de compensation en fonction du niveau de calage du seuil.

Ce calcul montre que si l'on souhaite dériver un volume correspondant à la capacité de stockage, alors le débit correspondant n'est que de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, soit à peine plus de 1 % du débit de pointe. Dans cette gestion, il n'y a aucun prélèvement d'eau tant que le débit est inférieur à $185 \text{ m}^3/\text{s}$. L'ouvrage n'est efficace qu'au delà, mais dans une très faible proportion. Il est évidemment possible, par une gestion beaucoup plus complexe et pour certains types de crue, d'optimiser ce fonctionnement. Cependant, ce type de gestion est illusoire car très dépendant de la forme de l'hydrogramme. De plus, l'optimisation passe par des ouvrages mécaniques, qui ne seront manoeuvrés qu'une fois par siècle en moyenne, ce qui est toujours très difficile. Il apparaît donc extrêmement difficile de dépasser un gain de quelques m^3/s sur la pointe de crue, ce qui n'est pas significatif.

Par contre, ce type d'ouvrage pose de nombreux problèmes :

- La gestion de la restitution est délicate.
- Un aménagement lourd - et coûteux - au niveau du seuil déversant est nécessaire.
- La tenue de ces anciennes digues est vraisemblablement problématique. Une reprise de l'ensemble des protections représenterait un coût très important. De plus, le contexte réglementaire relatif aux digues est aujourd'hui très défavorable.

L'utilisation du bassin EDF comme site d'écrêtement des crues exceptionnelles ne paraît donc pas une solution d'aménagement intéressante au vue de la faiblesse de l'écrêtement obtenue et de l'importance des investissements financiers.

2.2.6 - Synthèse sur l'état actuel

La zone de ViClaire témoigne d'une forte réduction de capacité d'écoulement depuis les aménagements hydro-électriques :

- En amont et en aval de ViClaire, le rétrécissement de la bande active lié à la quasi-suppression des crues a entraîné une forte réduction de capacité hydraulique. Les submersions qui en découlent n'ont pas d'impact majeur, mais la forêt alluviale peut fournir une grande quantité de corps flottants en cas de crue exceptionnelle.
- L'aménagement de ViClaire a réduit la capacité d'écoulement du même ordre de grandeur que celle liée à l'évolution morphologique du lit. La zone artisanale en remblai n'a pas modifiée cette situation, si ce n'est que sa géométrie augmente significativement les niveaux du côté de la RD 902 (retour difficile vers le lit mineur) et que l'occupation de l'espace à proximité du pont est aujourd'hui très contraint.
- L'écoulement sur la RD 902 entraîne un risque important pour les personnes, avec un probable isolement entre deux bras de l'Isère.
- Le bassin de compensation réduit, là encore, la capacité d'écoulement, mais sans conséquences majeures. Le risque de surverse des digues est faible. Par contre, le risque de rupture est important, sans conséquences majeures pour les aménagements. Ce risque de rupture est optimal par rapport à la réduction des débits en aval, un déversement n'apportant aucune amélioration sensible. Le gain reste dans tous les cas très faible, car le volume de stockage potentiel est d'autant moins important que le bassin est inondable par l'amont et par l'aval.
- Le tronçon en aval du bassin de compensation est sous l'influence du rétrécissement causé par le pont de la Bonneville. La RD 902 et les habitations en retrait sont menacés de submersion sur une faible hauteur lors des plus fortes crues.

A cette situation, s'ajoutent les risques présentés par le torrent des Moulins qui menace - dans l'état actuel - l'essentiel de l'urbanisation de ViClaire. Là encore, les crues sont rares, mais un débordement conduirait à des contraintes hydrauliques importantes en rapport avec la pente relativement élevée du cône de déjection de ce torrent.

En cas de concomitance des crues - ce qui n'est pas improbable - le village de ViClaire serait à la fois totalement isolé et menacé par la crue du torrent.

Ces résultats doivent être tempérés par l'hydrologie très influencée au niveau de ViClaire :

- Le débit liquide de 130 m³/s correspondrait à une crue centennale du bassin versant intermédiaire en aval de Tignes, en faisant l'hypothèse qu'aucune prise d'eau ne fonctionne. Il correspond donc à une période de retour de l'ordre de 100 ans. Pour cette crue, les risques de débordement dommageables sont très faibles.
- Le débit de 220 m³/s correspond à une crue centennale avec une transparence totale du barrage de Tignes, même à la pointe de crue, et l'absence de turbinage à la centrale de Malgovert (le débit d'équipement de 50 m³/s n'est pas négligeable). Sa période de retour semble donc nettement supérieure à 100 ans.
- Le débit de 300 m³/s correspond seulement à un test de sensibilité, bien au delà d'un phénomène centennal.

Trois points paraissent particulièrement préoccupants, pour une période de retour plutôt supérieure au siècle :

1. Le débordement sur la RD 902 en amont de Viclaire. Étant donnée la morphologie du site, un abaissement de la ligne d'eau paraît illusoire et seule une remontée des niveaux de la route et d'une partie de la zone artisanale paraissent efficace.
2. Le pont de Viclaire, essentiellement par rapport au risque d'obstruction par les flottants.
3. L'amont du pont de Bonneville, en dehors de la zone d'étude proprement dite, est inondé à cause du rétrécissement lié à cet ouvrage. Les hauteurs et les vitesses sont faibles. Un approfondissement et/ou un élargissement du pont paraissent les solutions les mieux adaptées au site.

2.3 - Apports du Nant Saint Claude

2.3.1.1 - Caractéristiques générales

Le Nant Saint Claude se trouve sur la commune de Sainte Foy. Il prend sa source à la crête frontière, à la Louïe Blanche, et son bassin versant présente une superficie de 48 km². Son principal affluent, le Torrent du Mercuel draine un bassin de 17 km². Les glaciers sont encore importants dans le haut bassin versant et leur recul a formé des lacs qui n'ont été comblés que récemment, notamment sur le plateau de la Sassièrre.

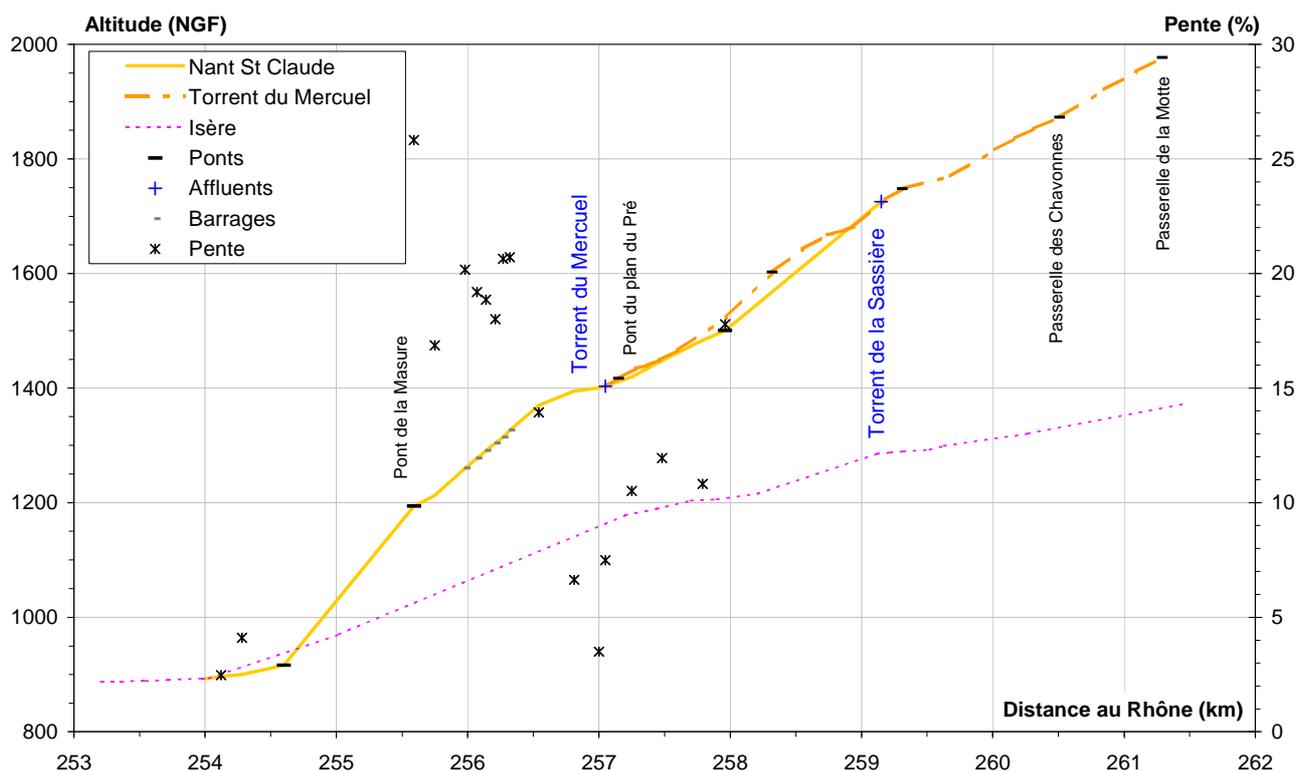


Figure 17 : Profil en long général du Nant Saint Claude.

Les tronçons suivants peuvent être dégagés de l'analyse du profil en long (cf. figure ci-dessus) :

1. Dans sa partie amont, le torrent de la Sassièrre draine le vaste glacier de l'Invernet dans le massif du Rutor. Les volumes de matériaux disponibles sont alors considérables, comme en témoigne les remarquables moraines latérales en aval de ce glacier. Malgré un bassin versant peu étendu, les apports solides sont importants.

2. Dans la partie nord du bassin versant (lac du Petit) l'érosion est moins intense et le rôle des glaciers moins marqué même s'ils sont encore bien présents, notamment en aval du Glacier du Grand.

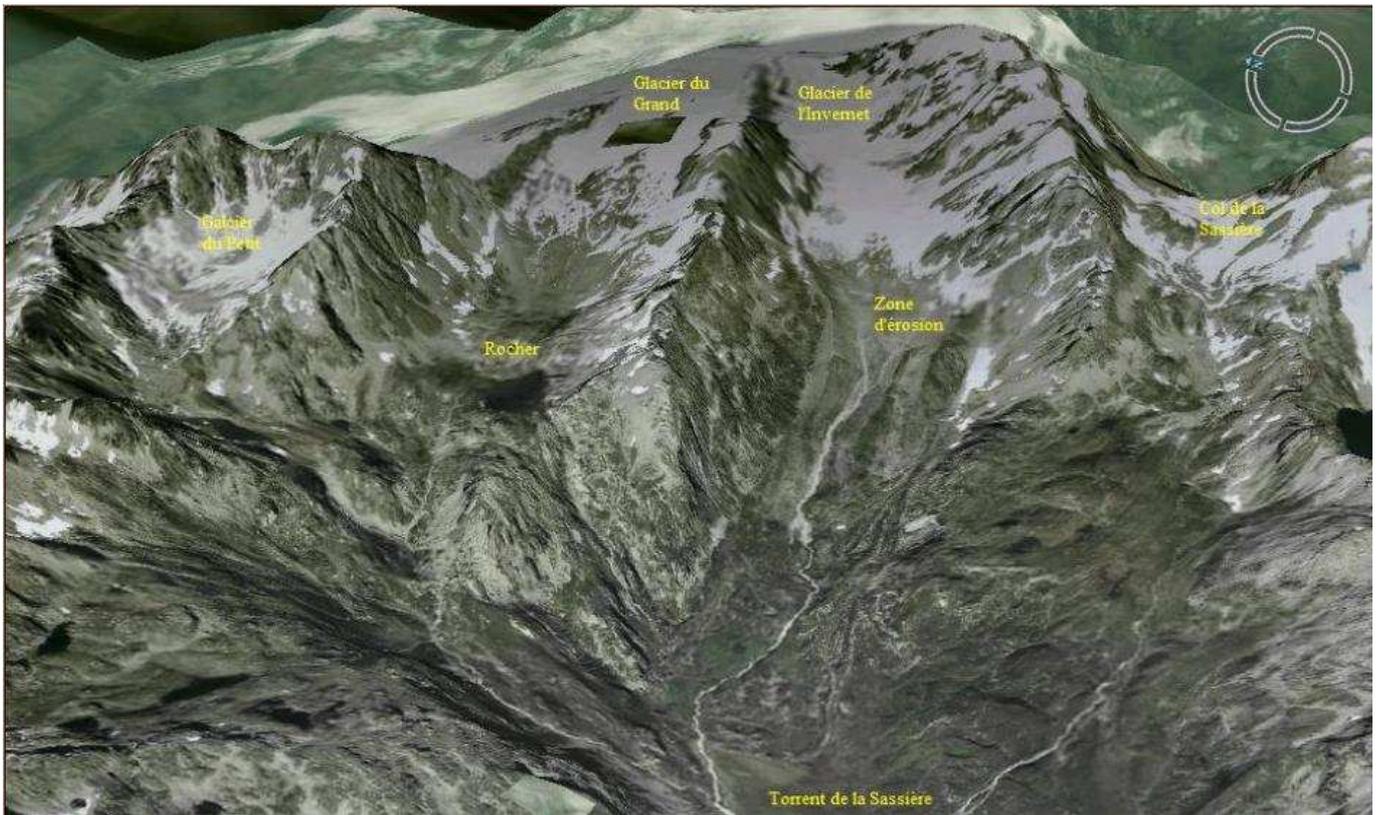


Photo 15 : Vue du haut bassin versant en amont de la Sassièrè (Géoportail).

3. Le plateau de la Sassièrè correspond à un ancien lac récemment comblé par les apports amont. Ce comblement se poursuit et entraîne un lent accroissement de la pente. Le hameau de la Sassièrè est implanté sur un massif rocheux.
4. La Tête du Plane correspond à un ancien verrou, vigoureusement érodé par les glaciers et dans lequel le torrent de la Sassièrè a taillé des gorges profondes. La prise d'eau de la centrale de Pierre Giret est implantée en amont immédiat de ces gorges.
5. Le torrent de la Louïe Blanche draine un bassin versant étendu mais sans apports solides importants. Son lit est pavé par des blocs. En aval de la confluence, la prise d'eau de Pierre Giret envoie les eaux en direction du Lac de Roselend. En aval, le lit reste pavé. Les débits liquides y sont actuellement très réduits en temps ordinaire.
6. Le torrent du Mercuel prend sa source au Col du Mont. L'essentiel des zones d'érosion est situé dans la partie amont du bassin versant, notamment des contreforts de l'Archeboc. En amont de la prise d'eau EDF, la pente est de 8 % et le lit est - très localement - alluvionnaire. Les divagations sont particulièrement nettes dans la queue de retenue de la prise d'eau EDF qui envoie l'eau en direction du site de Pierre Giret puis vers Roselend. En aval, le torrent entre dans une gorge étroite et très raide (jusqu'à 20 %). Le lit est alors pavé par des blocs et les érosions sont plus rares. Les matériaux transitent alors jusqu'au confluent avec le Nant Saint Claude.
7. À l'aval de la confluence avec le torrent du Mercuel, le lit reste raide et pavé.

8. Le fonctionnement du Nant Saint Claude est bouleversé en amont du village du Miroir par les apports solides du glissement de terrain de la Molluire. Des barrages ont été construits par le RTM dans cette zone d'apports importants afin de réduire la reprise des matériaux (ce point est détaillé par la suite).
9. Le Nant Saint Claude traverse ensuite un passage dans des gorges étroites, et rocheuses qui ne contribuent guère au transport solide, mais dans lesquelles transitent les matériaux du glissement de terrain. Cette zone ne permet aucune régulation des apports solides qui ont été considérables lors du déclenchement de l'éboulement.
10. Entre les gorges, et la confluence avec l'Isère, le Nant Saint Claude a développé un cône de déjection étendu, la vallée étant nettement plus large à ce niveau. Les engravements, lors de la période de forte activité du glissement de terrain, ont été considérables, conduisant à la destruction du village du Champet.

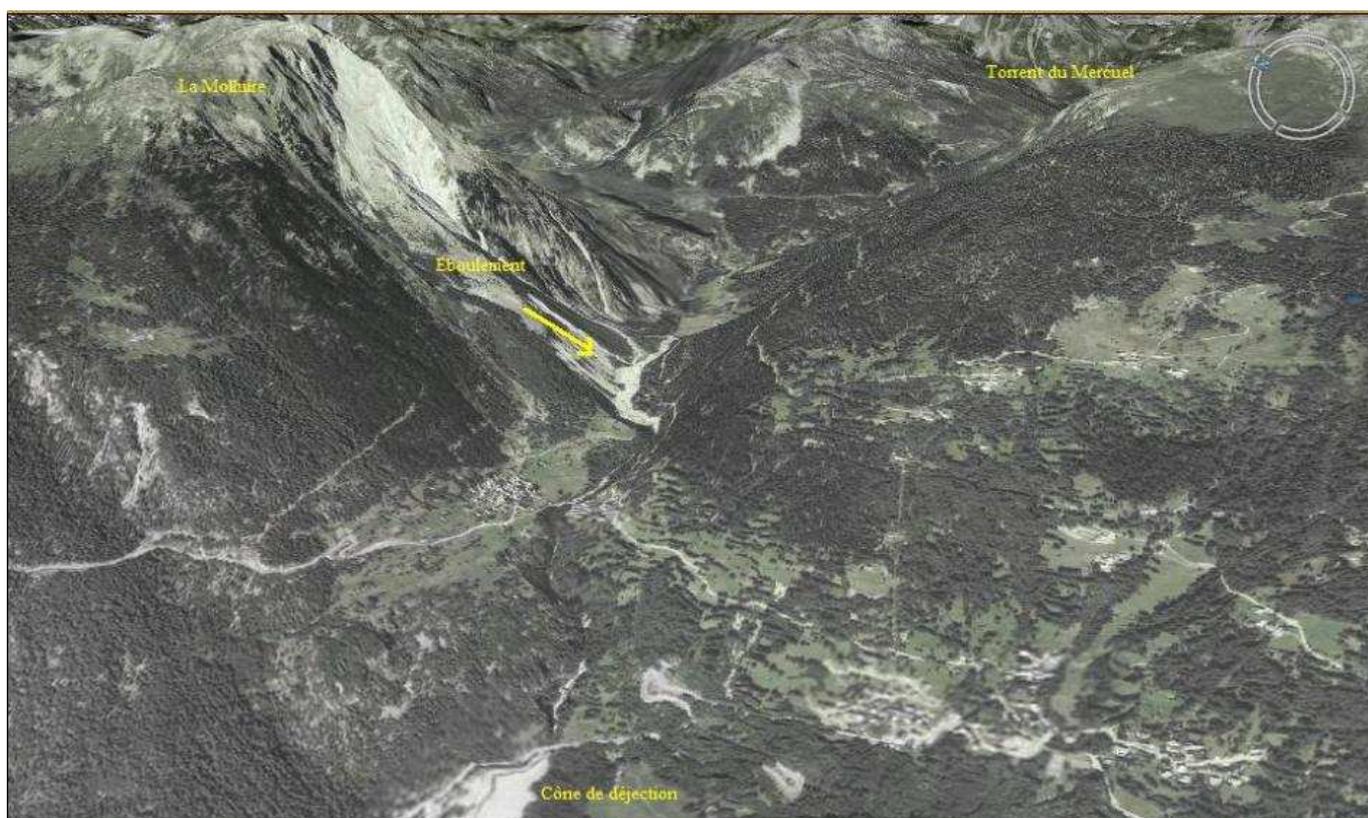


Photo 16 : Vue de la partie basse du bassin versant (Géoportail).

2.3.2 - Historique

- 1764 : la crue du Nant Saint Claude inonde le village du Champet
- 1859 : le Nant Saint Claude recouvre une partie de la plaine de ses déjections.
- 1877 : la Montagne du Bec Rouge s'écroule en écrasant des maisons du hameau du Miroir.
- 1882 : une crue du Nant Saint Claude affouille le pied du versant, se charge en matériaux créant une lave qui s'écoule sur la plaine du Champet
- juin 1883 : les pluies importantes ajoutées à la fonte des neiges créent une nouvelle lave qui vient envahir 5 maisons du Champet
- septembre 1883 : une nouvelle lave achève le hameau du Champet

- 1893 à 1900 : le RTM met en œuvre des travaux de stabilisation du versant : 6 barrages au pied de l'éboulement de la Molluire, drainage et reboisement du versant
- 1924 : EDF construit la centrale de Viclaire. Les eaux de l'Isère sont déviées de la Raie à Viclaire
- 1952 : Mise en service du barrage de Tignes
- 1959 : Mise en service du barrage de Roselend avec dérivation des eaux du Nant Saint Claude.
- Mai 2008 : crue plus remarquable par le volume transporté que par le débit de pointe. Le Nant Saint Claude est capturé sur son cône de déjection par la fosse créée en rive droite.

2.3.3 - L'éboulement de la Molluire

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

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

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

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

Depuis lors, le Nant Saint Claude continue à affouiller le pied du versant et à charrier les matériaux jusqu'au lit de l'Isère. La photo suivante montre l'ensemble de cet éboulement :

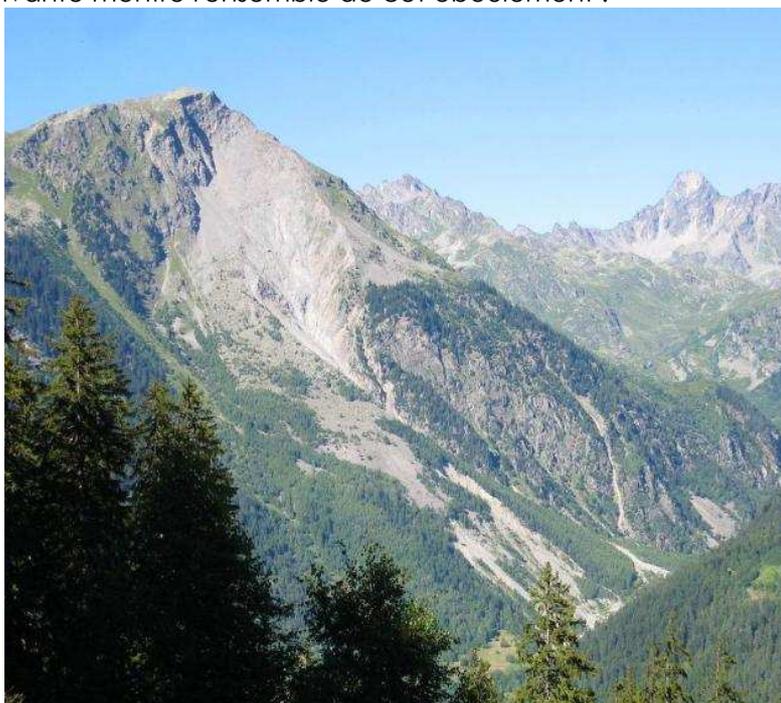


Photo 17 : Vue d'ensemble de l'éboulement de la Molluire.

Après avoir déblayé les éboulis les plus importants, et afin de limiter la dégradation des versants, le RTM a procédé à de nombreux aménagements sur le lit du Nant Saint Claude :

- 6 grands barrages ont été construits au droit de l'éboulement, entre 1893 et 1900, afin de limiter l'affouillement des versants. Ils ont ainsi permis de donner une stabilité au pied du talus d'éboulis, et donc de réduire le glissement.
- Des drainages ont permis de capter les eaux souterraines qui apportaient une fluidité au terrain et accentuaient le glissement.
- Une reforestation a également été effectuée pour stabiliser le terrain et retenir les pierres.

Les barrages ont donc permis une réduction des apports sans pour autant arrêter la fourniture des matériaux dans le bassin versant. Les photos ci-après montrent la situation lors de la réalisation des barrages et actuellement.



Photos 18 : Site des barrages au XIXème siècle et actuellement.

Le pont a visiblement été déplacé et remonté sur le barrage initialement situé en amont. Ces photos montrent plutôt une tendance à l'engravement, c'est-à-dire une fourniture en matériaux supérieure en cas de nouvelle crue. Ainsi, les dépôts sur le cône de déjection se produiraient, en l'absence d'intervention, avec une pente supérieure à celle qu'il y a un siècle.

Cette évolution ne signifie pas une augmentation des apports solides depuis un siècle mais plutôt une réduction de la capacité de reprise des matériaux. En effet, les débits liquides ont radicalement changé, comme l'illustrent les photos précédentes.

Depuis 1955 environ, une prise d'eau EDF sur le Nant Saint Claude (débit d'équipement de $5 \text{ m}^3/\text{s}$) et une autre sur le torrent du Mercuel (débit d'équipement de $2 \text{ m}^3/\text{s}$) envoient l'eau du torrent dans le lac de Roselend.

Le débit liquide du Nant Saint Claude est donc réduit, et la reprise des matériaux est plus difficile.

Cette réduction des débits - et notamment des hautes eaux de printemps - réduit fortement la capacité de transport. Les matériaux restent en place et entraînent une augmentation de la pente du lit... jusqu'à retrouver un équilibre. Cette augmentation de la pente du lit au droit de l'éboulement entraîne un accroissement de la concentration en matériaux.

Les dépôts se formeront donc sur le cône de déjection avec une pente majorée.

2.3.4 - Dépôt sur le cône de déjection

En sortie des gorges, au niveau du pont de la RD 902, le Nant Saint Claude arrive sur son cône de déjection, ce qui correspond à une brusque rupture de pente qui entraîne bien évidemment un dépôt des matériaux charriés. Cet exhaussement est lié à une augmentation de la pente. En effet si le niveau du confluent reste le même les dépôts de matériaux en amont augmentent la pente jusqu'à arriver à la pente d'équilibre, qui correspond à la pente d'atterrissement entre les barrages.

La photo ci-dessous montre le hameau du Champet noyé et engravé après la crue de juin 1882.



Photo 19 : Dépôt massif sur le cône de déjection à la fin du XIXème siècle.

L'analyse des pentes montre que 80 % du volume transporté se dépose en amont du confluent avec l'Isère, indépendamment des débits liquides dans la rivière.

L'Isère dans la plaine de Viclaire a une pente très faible, en déséquilibre sous l'effet du verrou de la Bonneville. La capacité de reprise des matériaux est donc très réduite (voir chapitre 2).

Le débit dans l'Isère ne suffit pas à reprendre les matériaux ce qui engendre un dépôt important.

2.3.5 - Curages

Suite à l'engravement important du lit du Nant Saint Claude, des curages ont été réalisés, au delà du raisonnable. Le lit s'est rapidement abaissé de plusieurs mètres, comme le montre la figure suivante comparant les niveaux en 1908 et 1987.

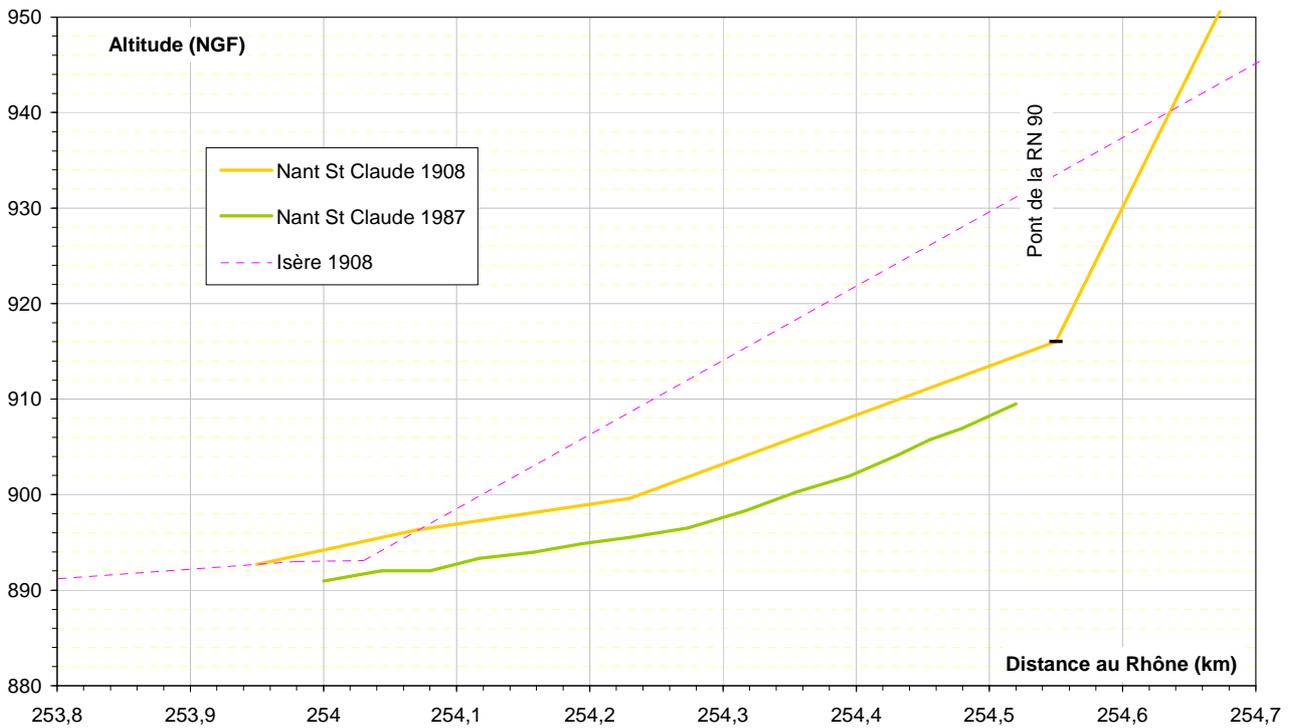


Figure 18 : Comparaison des profils en long du cône de déjection du Nant Saint Claude

Le profil en long de 1987 a été réalisé dans le cadre d'une étude pour poursuivre les extractions. Une entreprise avait déjà extrait une grande quantité de matériaux et l'étude consistait à déterminer un cadre pour les futures extractions.

Sur la quasi-totalité du cône, le lit du torrent s'est abaissé d'environ 5 m par rapport au profil de 1908. Or il est probable que l'engravement du cône de déjection se soit poursuivi après 1908 jusqu'au début des extractions, vraisemblablement après guerre. L'abaissement du lit lié aux extractions serait donc supérieur. L'affouillement était tellement important qu'il a fallu construire un seuil sur l'Isère en amont de la confluence pour bloquer la remontée de cette érosion.

Ce creusement est encore visible actuellement :



Photo 20 : Ancien cône de déjection nettement perché au dessus du torrent

La figure ci-dessous montre différents profils en long levés au cours du siècle passé et incluent notamment un levé réalisé dans le cadre de cette étude après la crue de mai 2008.

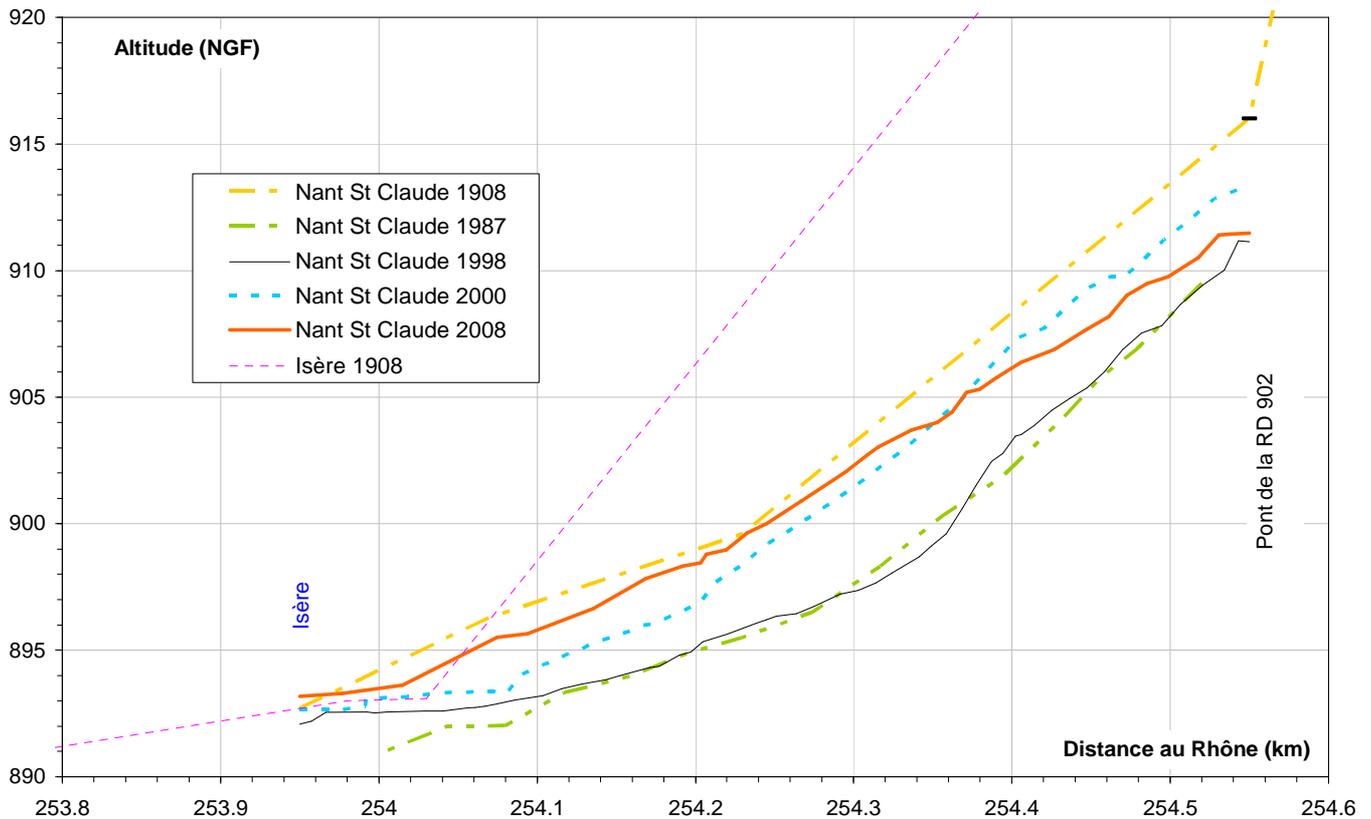


Figure 19 : Évolution des profils en long du Nant Saint Claude sur son côté.

Depuis l'arrêt des extractions et le niveau bas des années 1980, le niveau est considérablement remonté, sans retrouver celui de 1908 et encore moins les niveaux records vraisemblablement atteint juste avant les extractions.

Les levés les plus récents (2000 et 2008) correspondent à des niveaux plus élevés en l'absence - théorique - de prélèvement de matériaux. On notera cependant que l'écart entre 2000 et 2008 n'est pas très net et fortement influencé par le changement de tracé. Le niveau du fil d'eau d'étiage de 2008 n'est pas très représentatif du niveau moyen du lit. En effet, le torrent a été capturé par une fosse et s'est encaissé par rapport au lit moyen en amont de la fosse. Il semblerait que le lit s'engrave progressivement, cette évolution étant limitée par les prélèvements dans les fosses le long de la rive droite.

Dans l'état actuel, à notre connaissance, les curages sur le Nant Saint Claude sont interdits. Cependant, des prélèvements massifs sont réalisés entre les crues, comme le montre les photos ci-après.



Photos 21, 22 & 23 : Prélèvements actuels de matériaux sur le cône de déjection.

Les trois photos ci-dessus correspondent à des évolutions récentes du lit :

- En mars 2008 une fosse avait été creusée le long de la rive gauche. Le lit mineur était alors centré dans le lit majeur.
- Lors de la crue de mai 2008, cette fosse a capturé le Nant Saint Claude et s'est remplie... au détriment de l'ensemble du cône de déjection où le lit mineur s'est nettement encaissé. Le lit longe maintenant la rive droite.
- Enfin, durant l'automne 2009, une fosse a de nouveau été creusée dans le lit en étant encore encaissée par rapport au lit. Il est vraisemblablement prévu qu'elle se remplisse de nouveau lors de la prochaine crue au détriment du niveau du lit sur le cône de déjection

Les photos ci-après montrent par ailleurs l'encaissement du torrent et son déplacement vers la rive droite. La berge rive gauche a également subi une érosion.



Photos 24 & 25 : Érosion régressive en amont de la fosse.

Ces extractions sont pratiquées dans la partie amont du cône de déjection et ne réduisent à court terme que faiblement les apports à l'Isère. Les matériaux sont repris à l'amont et transportés dans la fosse. Ainsi le lit à l'amont s'est légèrement abaissé. Ces photos permettent également d'illustrer la divagation du lit, qui est passé de la rive gauche à la rive droite après les crues.

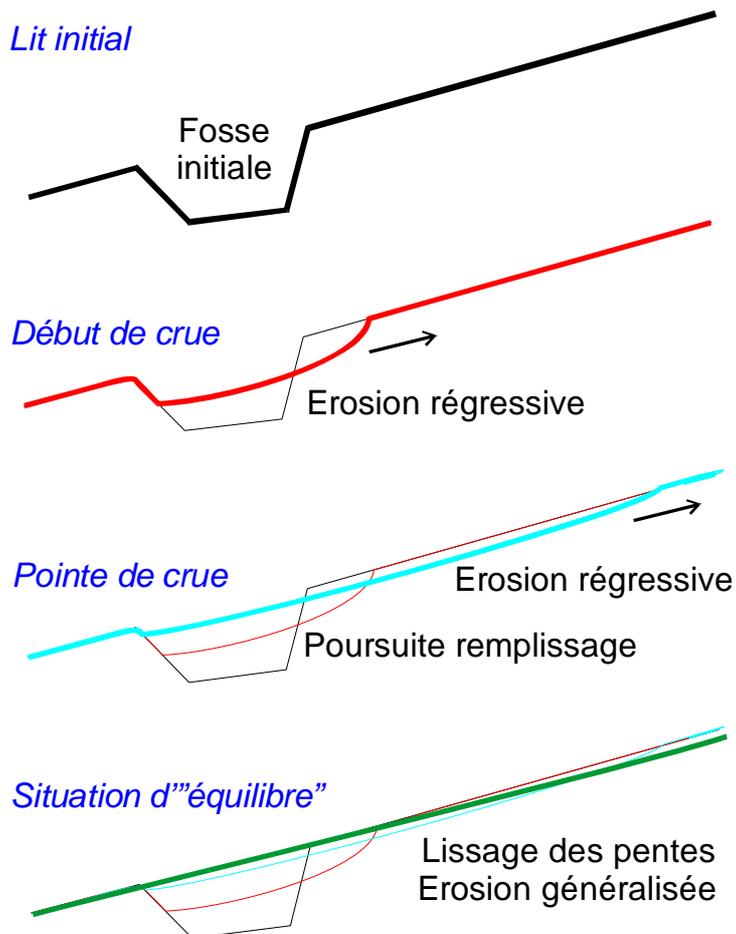


Figure 20 : Évolution générale du profil en long suite à la création d'une fosse.

2.3.6 - Aménagements de l'Isère et évolution du cône de déjection

L'évolution considérable des débits dans l'Isère a conduit à la quasi disparition de la reprise des matériaux apportés par les affluents de l'Isère (voir paragraphe 2). Les apports du Nant Saint Claude ne sont donc pas repris par l'Isère et restent sur le site, conduisant spontanément à un engravement considérable à long terme. Par ailleurs, avec l'éboulement de la Molluire, le Nant Saint Claude a vu son équilibre modifié et la nouvelle tendance est à l'exhaussement, car la déstabilisation du versant de la montagne alimente en continu le torrent en matériaux.

Ainsi et sans action humaine, cet exhaussement continuera jusqu'à atteindre un nouvel équilibre, amenant le lit très au dessus du niveau du pont de la RD 902. A plus long terme encore, le lit de l'Isère sera également modifié jusqu'à retrouver une pente proche de celle du Nant Saint Claude et conduisant à l'engravement de l'ensemble de la plaine sous plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur d'alluvions. Cette évolution paraissant difficilement acceptable, l'entretien du Nant Saint Claude par des prélèvements réguliers de matériaux est nécessaire pour maintenir le niveau existant et de ne pas perturber l'équilibre aval.

2.4 - Ripisylves

2.4.1 - Description du site

Juste à l'aval du pont, il persiste encore en rive droite une petite ripisylve offrant là un espace naturel boisé aux riverains. Elle occupe une terrasse basse et est occupée par une saulaie-aulnaie, où domine les aulnes, les saules et quelques frênes et saules blancs. Cette zone est toutefois très impactée par les coupes à blanc réalisées sous la ligne. De plus l'aulnaie est dépérissante près de la route. Aucun massif de renouées du Japon n'est présent sur ce site.

La zone à l'amont du pont forme une grande zone homogène remarquable couvrant 31 hectares de vallée alluviale.

Son occupation se répartit ainsi (calculé hors réseau routier et en amont du pont) :

- espace naturel : 21 ha - **67 %**
- espace remblayé pour la zone d'activité : 2.5 ha - **8 %** (aménagée dans les années "80")
- espace occupé par le carrier : 2.7 ha - **9 %** (aménagée dans les années "50")
- espace occupé par la scierie : 1 ha - **3 %** (aménagée dans les années "80")
- espace naturel en arrière d'une digue (RG) : 4 ha - **13%** (antérieur à 1948)

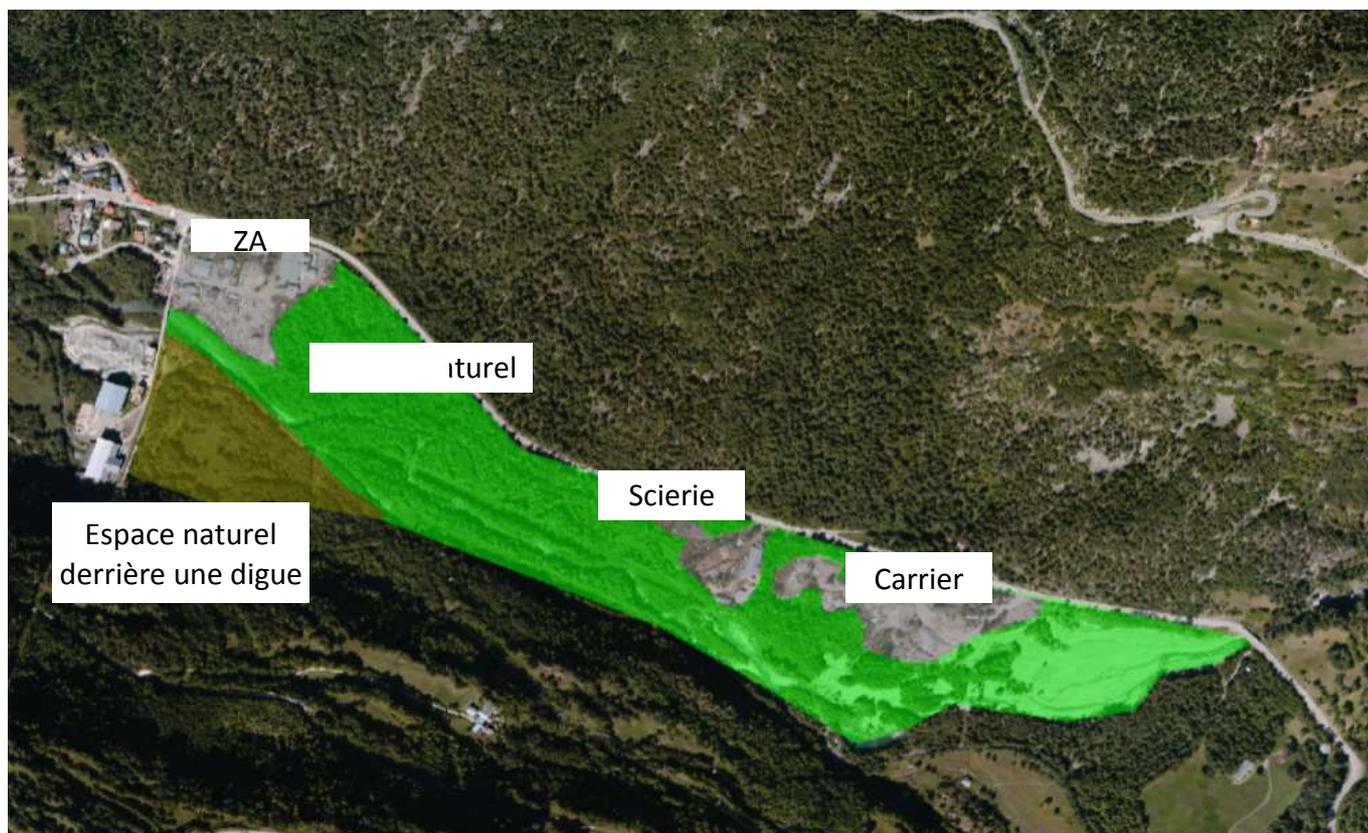


Figure 21 : Occupation de la plaine alluviale de Viclaire en amont du pont.

Les espaces naturels terrestres sont occupés par une forêt humide à dominance de saules et d'aulnes blancs, avec deux grandes formations alluviales :

- dans la zone active de divagation du lit liée aux apports du torrent de Saint Claude : des formations arbustives de saules et d'aulnes formant un couvert discontinu de 1.6 hectares (32%) sur les 5 hectares du cône de déjection. Ces formations sont essentiellement impactées par les curages "sauvages" réalisés dans le lit sur la partie amont du cône de déjection et par le remblaiement ancien de la zone pour l'installation d'un carrier.
- dans la zone plus aval non mobile : des formations boisées d'aulnes et de saules en majorité au stade perchis, avec quelques zones en taillis ou en début de futaie, et formant un couvert continu sur 16 hectares. Au sein de cet espace boisé, on rencontre également une vaste phragmitaie (*Phragmites australis*). Le caractère humide de la zone est prononcé comme en témoignent les espèces présentes, même si sur certains secteurs, la présence d'espèces arbustives mésophiles (chèvrefeuille à balai, sureau) ou la composition des fourrés (frênes et érables) témoignent d'une évolution vers une forêt alluviale à bois dur. Cette forêt en développement est parcourue par plusieurs chenaux de crue, régulièrement emprunté par l'eau, comme le prouvent les dépôts de limons de l'année. Des anciens épis en gabions sont aujourd'hui camouflés par le milieu forestier. Le milieu est principalement impacté par les coupes à blanc réalisées sous les lignes électriques.

Cette forêt alluviale est jeune comme en témoigne les stades forestiers observés. L'observation des photographies aériennes entre 1948 et 2006 montre en effet qu'une grande partie a été soumise à des extractions après les années 50. Ces extractions massives se sont arrêtées il y a sans doute une vingtaine d'années laissant la place à la recolonisation spontanée par la ripisylve. Les boisements les plus anciens déjà présents sur le cliché de 1948 représentent 6.5 ha, soit 28 % de la ripisylve actuelle. Il s'agit de la zone la

plus aval de la zone, juste en amont du remblai de la zone d'activité. Cette zone est en effet déjà "inactive" en 1948 (cf. figure ci-dessous) sans doute du fait des aménagements existants (pont et digue en rive gauche).

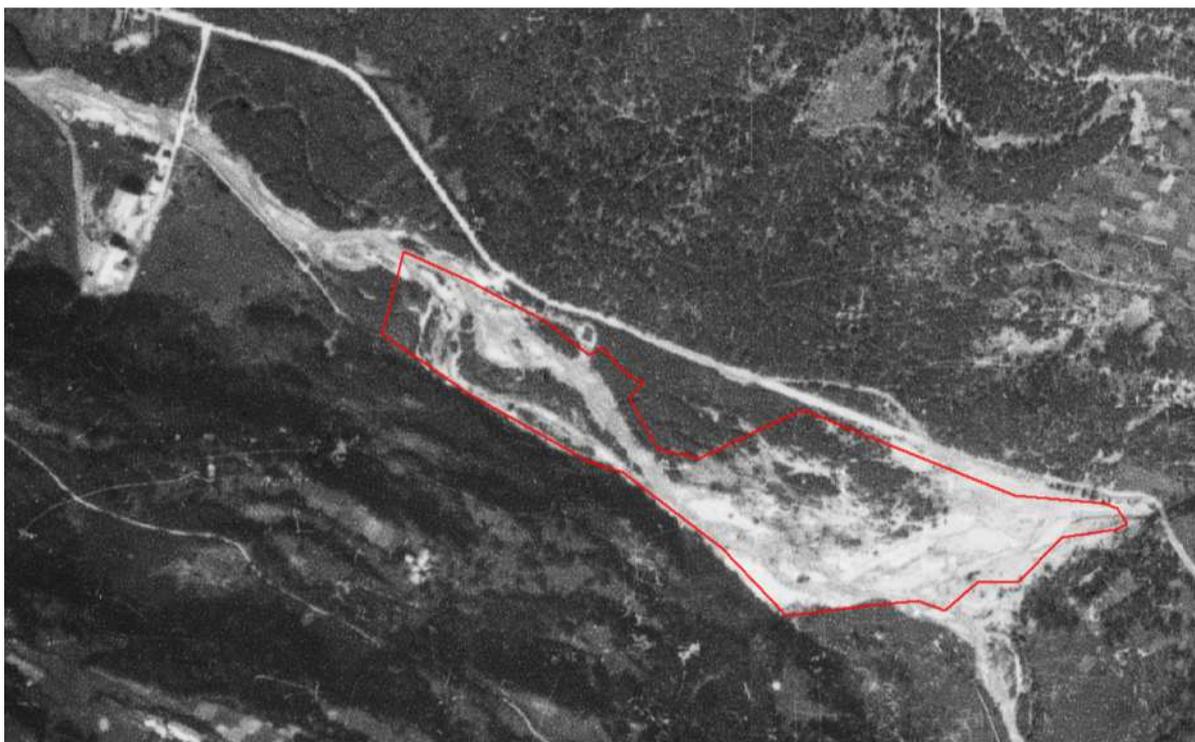


Figure 22 : Le lit de l'Isère en 1948 et l'emprise des zones remaniées postérieurement entre 1950 et 1982 (en rouge).

Les principales espèces composant ces ripisylves sont :

- le saule faux-daphné (*Salix daphnoïdes*), qui se présente sous forme arbustive ou arborée. L'espèce est typique des torrents et rivières en tresses des Alpes. Elle était sur la liste nationale des espèces protégées il y a quelques années.
- l'aulne blanc (*Alnus incana*), espèce typique des cours d'eau de montagne.
- le saule blanc (*Salix alba*), qui commence à former des futaies (quelques arbres de 40 cm de diamètre). Bien que le saule blanc ne soit pas rare dans les ripisylves, les saulaies arborescente sont des formations peu fréquentes, car leur installation et leur développement nécessitent des conditions très particulières de sols et d'hydrologie. Il s'agit donc toujours de formations ripicoles remarquables.

Quelques bois de résineux sont également présents et ont probablement été plantés (2 secteurs – 50 arbres environ).

D'autres espèces pionnières sont également présentes comme le saule drapé (*Salix eleagnos*), le saule noirissant (*Salix myrsinifolia*), et le saule marsault (*Salix caprea*).

Les dernières opérations d'entretien sur la zone d'étude ont concerné les coupes à blancs sous les lignes électriques et les berges en amont du pont de Viclaire. Plus généralement, les berges ne semblent pas entretenues et on constate la présence de plusieurs arbres morts en travers du lit, ainsi qu'un dépérissement de certains aulnes sur plusieurs secteurs.

Les principales menaces sur ces espaces naturels sont aujourd'hui une invasion par les renouées du Japon, espèce exotique très problématique sur les cours d'eau. En rive droite, 14 massifs ont été dénombrés

représentant environ une surface de 1350 m² (cf figure ci-après). L'Isère serait contaminée par la plante plus en amont de la zone d'étude (données imprécises sur cette question), mais on peut penser que tous les sites infestés datent des extractions qui ont apporté et dispersé la plante. La contamination actuelle correspond en effet à de très grosses tâches toutes situées dans l'emprise des anciennes extractions et à de récentes implantations, beaucoup plus petites, probablement dispersées par les crues à partir de ces gros foyers "historiques". La présence de ces très jeunes plantules issues de rhizomes transportés par l'eau témoigne aussi de l'écoulement des crues dans cette forêt alluviale.

La rive gauche héberge également plusieurs massifs de renouées dont le plus important est situé à l'aval du seuil.

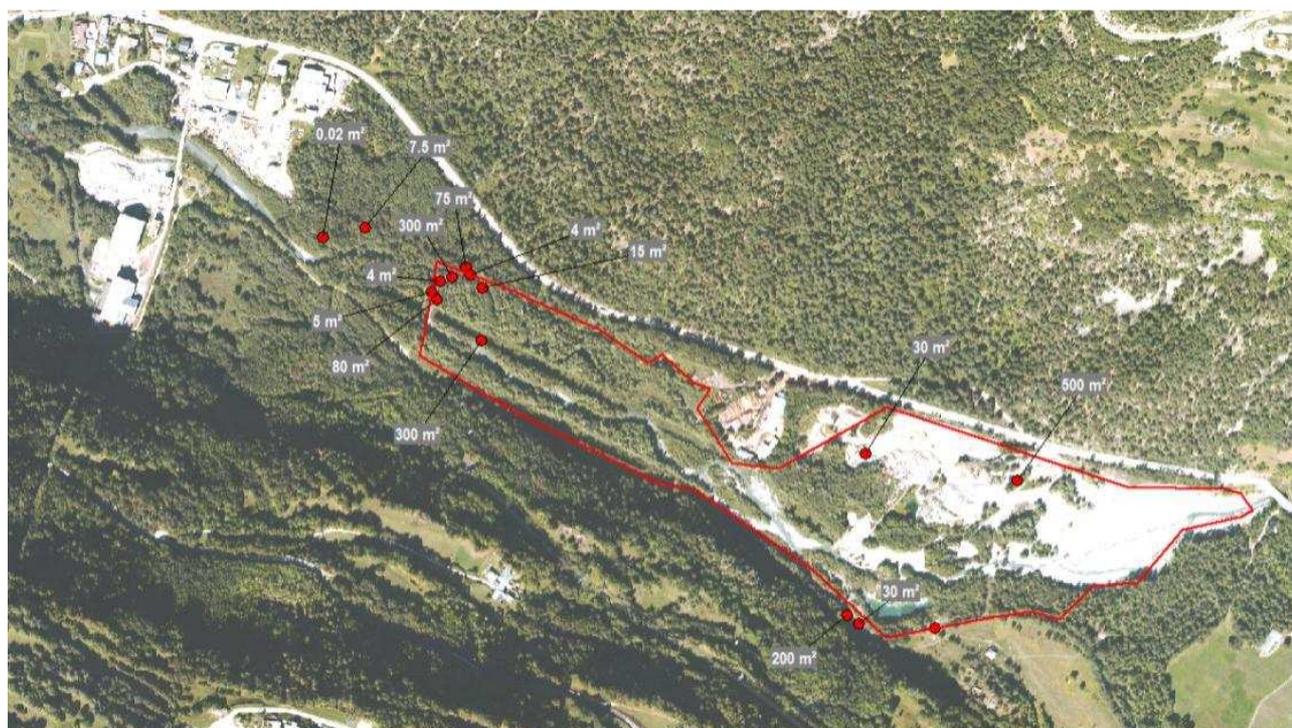


Figure 23 : Les massifs de renouées du Japon recensés en rive droite (points rouge) et leur surface et l'enveloppe de la zone remaniée (en rouge) par les anciennes exploitations de graviers (d'après les photographies aériennes entre 1950 et 1982).

L'autre espèce invasive observée est le solidage, présent en très petites tâches notamment dans le Nant Saint Claude.

2.4.2 - Diagnostic

A l'amont du pont, le site présente une configuration originale et très intéressante du point de vue écologique. Dans la zone amont de confluence avec le Nant Saint Claude, la forte activité du lit permet le maintien des formations pionnières typiques des torrents de montagne (aulnaie et saulaies arbustives). Ces formations sont impactées sur la partie amont du cône de déjection du torrent par les curages "sauvages", qui créent artificiellement des terrasses hautes (enfouissement du lit). Plus en aval, une forêt alluviale plus typique des rivières de plaine est en train de se constituer. Cette forêt en formation est aujourd'hui formée d'un patchwork de différents stades et formations végétales lié à l'histoire récente du site marquée par des extractions importantes. Elle est ainsi constituée d'une mosaïque de milieux influencés par la date d'arrêt des extractions, l'altitude du terrain abandonné et la nature des alluvions grossières ou fines présentes à ce moment là. Cette évolution étant récente, les espèces dominantes sont encore les espèces pionnières

(saules et aulnes), mais on observe déjà sur certains sites les prochains stades qui vont se mettre en place, où domineront d'autres essences (frênes, érables...). La caractéristique principale et essentielle de cette forêt reste sa nature alluviale très marquée par la présence d'une nappe à faible profondeur et les possibilités d'inondations en crue, même si ces crues sont moins fréquentes. Ce milieu forestier est en accord avec le fonctionnement actuel du cours d'eau.

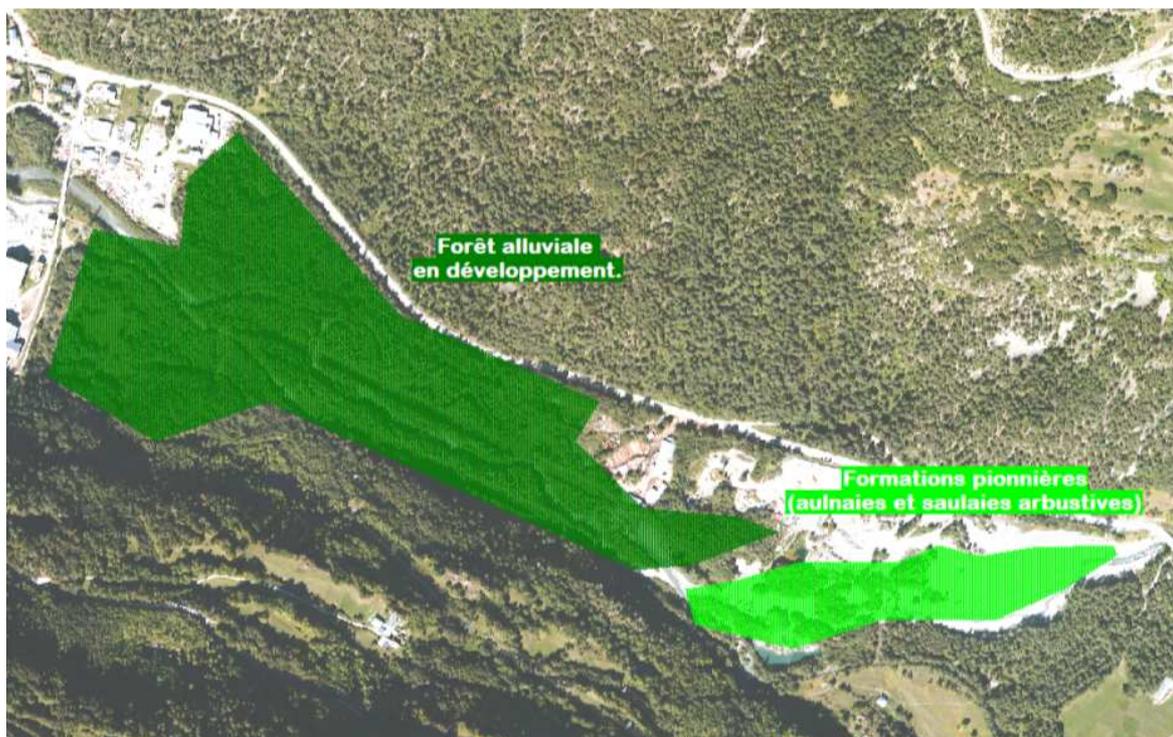


Figure 24 : Les deux milieux alluviaux boisés très différents dans la plaine de Viclaire.

Les renouées du Japon n'impactent pas aujourd'hui le milieu forestier compte-tenu des faibles surfaces infestées relativement à la surface totale de l'ensemble boisé (1500 à 3000 m² infesté sur 250 000 m² d'espace boisé). Compte-tenu de la faible dynamique du cours d'eau, la progression de l'invasion du massif boisé reste assez lente, mais certaine, comme l'atteste la présence de nouvelles implantations très récentes de la plante. Seule une crue (sans doute exceptionnelle) pourrait très rapidement changer cette situation et provoquer une invasion massive à partir des foyers existants sur la zone. En effet, la densité de bourgeons peut atteindre 5000 bourgeons par m³ d'alluvions infestés et chaque bourgeon peut redonner une plante. La suppression de ce risque impliquerait d'éradiquer tous les massifs actuels et d'accéder aux massifs avec des engins de terrassements (éradication mécanique par concassage-bâchage) avec pour conséquences immédiates des impacts importants au moment des travaux. Le coût d'une telle action serait également significatif compte tenu des volumes à traiter. L'intérêt de cette action éventuelle est à mettre en rapport avec la valeur patrimoniale de cet espace boisé à l'échelle du bassin versant de l'Isère, car pour le même montant d'autres actions peuvent être menées pour limiter la progression très active des renouées sur le cours d'eau lui-même.

Du point de vue des risques d'embâcles sous le pont de Viclaire, la situation actuelle semble défavorable avec la présence de bois morts de grandes dimensions à l'amont et l'aval de l'ouvrage. Toutefois l'absence de petites et moyennes crues limite les risques de déplacement de ce bois.

2.5 - Milieux aquatiques

2.5.1 - Habitats aquatiques

Le linéaire a été parcouru depuis le seuil situé sur la commune de Villaroger en amont de la confluence du Nant Saint Claude avec l'Isère jusqu'au pont de la Bonneville. L'appréciation de la qualité des habitats est établie par expertise basée sur la méthode développée par la DR5 de l'ONEMA (anciennement CSP). La qualité des habitats aquatiques peut se décrire selon quatre composantes principales : l'hétérogénéité, la connectivité, l'attractivité et la stabilité.

L'hétérogénéité recouvre le degré de variété des formes, des substrats/supports, des vitesses de courant et des hauteurs d'eau du lit d'étiage.

L'attractivité intègre la qualité des substrats (intérêt global des substrats/supports pour les poissons), la quantité et la qualité des caches et des abris ainsi que l'existence et la variété des frayères.

La connectivité caractérise la fonctionnalité de la zone inondable notamment les possibilités de contact qui subsistent entre le cours d'eau et les habitats annexes du lit moyen (ripisylve, terrasses alluviales, zones humides...).

L'analyse de la connectivité latérale prend en compte la qualité des confluences et la possibilité, pour la faune aquatique, de remonter dans les affluents.

Cette notion intègre également l'appréciation de la qualité du continuum longitudinal et de son éventuelle altération par les ouvrages transversaux (barrages, seuils, radiers, gués...).

La stabilité des berges et du lit traduit l'importance des érosions régressives (fréquence des seuils), progressive et latérale (proportion de méandres instables), de l'état des berges (degré d'érosion), de l'incision...

L'Isère présente une bonne hétérogénéité. Les matériaux grossiers qui constituent habituellement les lits des torrents favorisent généralement ce paramètre :

- Bonne variété des substrats avec la présence de blocs, de galets, de gravier et de sable ;
- Diversité des conditions d'écoulement (vitesses et hauteur d'eau) même si les faciès de radier et de lotiques peuvent dominer largement ;
- Variation des hauteurs d'eau satisfaisante.



Photo 26 et 27 : L'Isère à Viclaire - Hétérogénéité

Toutefois, on distingue nettement deux secteurs :

- du seuil jusque 200 m environ en amont du pont de Viclaire, on observe une bonne diversité des faciès d'écoulement et donc des vitesses et des hauteurs d'eau,
- sur le tronçon aval, le linéaire compris entre 200 m en amont du pont à la restitution de Viclaire présente une hétérogénéité très moyenne avec une dominance nette des faciès lotiques et une homogénéité des hauteurs d'eau. En aval de la restitution de Viclaire, l'hétérogénéité s'améliore, les faciès sont caractérisés par une alternance radier – plat lotique.

L'attractivité est bonne sur le secteur amont. Les caches restent peu nombreuses mais les habitats de bordure sont bien développés (racines immergées, caches sous berge, végétation de berge retombante...). Elle se dégrade vers l'aval avec de moins en moins de blocs dans le lit, de petites terrasses latérales au pied des digues se sont végétalisées et améliore l'attractivité du secteur aval qui demeure médiocre en raison de l'homogénéité des écoulements très rapides. D'une manière générale sur le linéaire parcouru, on note un colmatage minéral défavorable à la macrofaune benthique et à la fonctionnalité des frayères potentielles.



Photos 28, 29, 30 et 31 : L'Isère à Viclaire - Attractivité

La connectivité est un paramètre extrêmement important. En effet, les échanges entre les différents compartiments de l'hydrosystème (lit mineur/lit majeur, milieu aquatique/milieu terrestre, cours d'eau principal/affluent, amont/aval) sont essentiels à son fonctionnement :

- La plupart des animaux utilisent successivement plusieurs de ces compartiments pour boucler leur cycle biologique (insectes à développement larvaire aquatique et vie adulte aérienne par exemple),
- la succession des habitats au sein de l'hydrosystème dépend de l'inondabilité du lit majeur,
- La libre circulation vers l'amont est essentielle pour compenser la dérive qui dépeuple continuellement les zones amont,
- L'accès aux affluents ou certaines zones refuges des lits moyens et majeurs est primordial durant les périodes de crise comme les crues ou les étiages très sévères.

La connectivité longitudinale est bonne sur le secteur amont avec un système à plusieurs chenaux et un grand lit majeur où se développe un boisement rivulaire humide, accompagné d'un élargissement net du lit moyen.

Sur le secteur aval, la largeur du lit est fixée par les protections de berges. Le lit mineur est déconnecté de son lit majeur pour les crues courantes. La connectivité latérale est réduite.



Photos 32, 33, 34 et 35 : L'Isère à Viclaire - Connectivité

La connectivité longitudinale est bonne sur l'ensemble du linéaire sauf l'extrémité amont du périmètre d'étude avec la présence d'un seuil, en partie déstabilisé, et très sélectif à la remontée du poisson.



Photos 36 et 37 : L'Isère à Viclaire – Seuil de Villaroger

Sur ce tronçon on relève deux affluents connectifs avec l'Isère, le Nant Saint Claude et le torrent des moulins.

Le Nant Saint Claude s'écoule, en aval du pont de la RD 902, dans son cône de déjection au sein d'un chenal unique.

L'hétérogénéité est bonne avec une diversité des écoulements et des hauteurs d'eau. Les substrats sont grossiers. L'attractivité est moyenne sur le cône de déjection, seuls quelques blocs dans le lit peuvent servir de caches. Les habitats de bordures sont inexistantes. La connectivité latérale est mauvaise, le lit est encaissé par rapport au lit majeur et la végétation quasi inexistante sur les berges du tracé. La confluence avec l'Isère est fonctionnelle et la connectivité longitudinale est freinée en amont du pont de la RD 902.



Photo 38, 39 et 40 : Le Nant Saint Claude

Le torrent du Moulin se sépare en deux branches en amont de la RD902 et ces dernières confluent avec l'Isère en aval du pont de Viclaire. La branche située à l'ouest s'écoule dans un environnement boisé. Dans la traversée de Viclaire, la branche la plus à l'est, est contrainte entre deux murs de nature hétérogène. Le lit est resserré et s'élargit dès l'aval des dernières maisons pour s'écouler dans la ripisylve de l'Isère. L'hétérogénéité est bonne avec une diversité de faciès. L'attractivité est limitée par l'absence de caches. La connectivité est mauvaise dans la traversée des habitations et s'améliore vers l'aval avec des hauteurs de berges moindres et la présence de végétation.



Photo 41, 42, 43 et 44 : Le Torrent du Moulin en aval de la RD 902

Les sources du Champet prennent naissance en amont de la RD902. Elles sont collectées et traversent la route par deux ouvrages distants d'une cinquantaine de mètres. La traversée de la terrasse alluviale jusqu'à l'Isère passe par les terrains de la scierie. Le cours d'eau issu des sources amont est busé sous la scierie, puis il récupère les sources aval et rejoint l'Isère à travers la forêt alluviale. Le terrain de la scierie est le siège d'une activité avec stock et reprise de grumes et de bois.

2.5.2 - Qualité des eaux

La qualité de l'eau a été appréciée au cours des campagnes de suivi menées par le Conseil Général de la Savoie dans le cadre de son réseau de mesure de la qualité des eaux superficielles.

Les dernières données datent de 2006. On dispose de trois stations de mesure à proximité du périmètre d'étude, de l'amont vers l'aval :

- Aval du barrage de la Raie – code station 06132750
- 50 m en amont du pont de Viclaire – code station 06132980

- Aval de la restitution de Viclaire – code station 06132850

Les résultats traités avec le SEQ2 sont présentés dans le tableau ci-dessous pour la qualité de l'eau :

Altérations	Isère		
	06132750	06132980	06132850
Matières organiques et oxydables	70	71	67
Matières azotées		76	77
Nitrates	79	79	79
Matières phosphorées		78	81
Température	100	100	100
Acidification	93	63	65
Effet des proliférations végétales	84	87	89

Tableau 2 : Qualité de l'eau par altération – SEQ2

La qualité est bonne sur les trois stations. On retiendra les remarques suivantes :

- On observe :
 - o une légère dégradation des matières azotées entre la station amont et les deux stations situées à Viclaire.
 - o une légère alcalinisation du pH entre la station amont et les deux stations situées à Viclaire.
- La traversée de Viclaire influe peu sur la qualité de l'eau en aval de la restitution de la centrale.

2.5.3 - Populations piscicoles et obstacles à la circulation

L'Isère est classée rivière à migrateur (Art. L232-6 du Code de l'Environnement). A ce titre, les propriétaires d'ouvrages, constituant un obstacle à la circulation des espèces désignées, ont obligation de les équiper d'un dispositif de franchissement.

La plaine alluviale de Viclaire se situe dans un tronçon de libre circulation piscicole allant du barrage de la Raie en amont au barrage d'Aigueblanche en aval. Le seuil de Villaroger, en amont immédiat de la zone d'étude est très sélectif en fonction des débits.

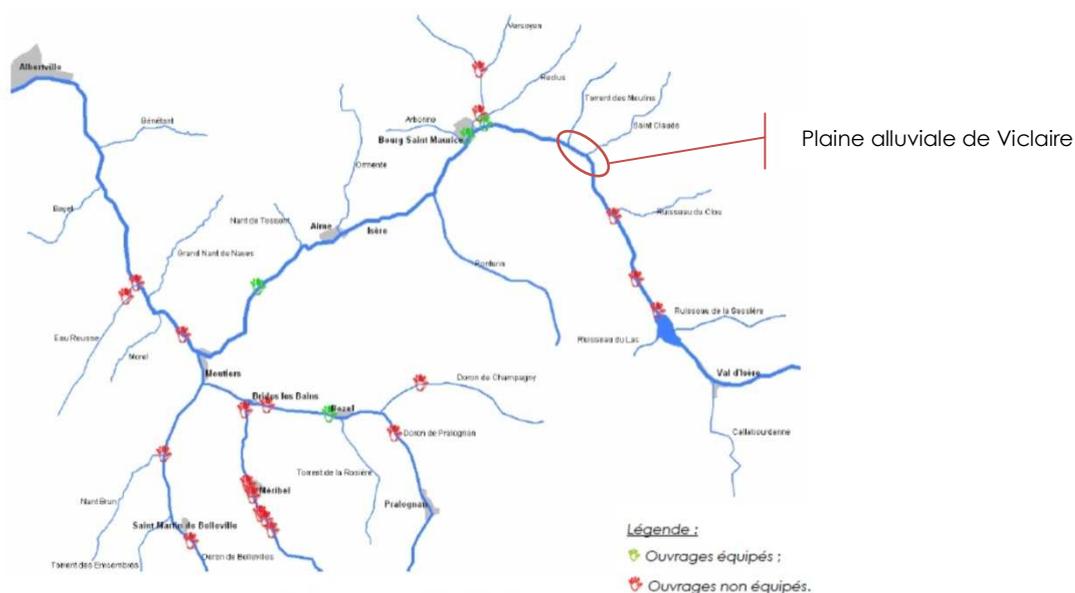


Figure 25 : Connectivité biologique (Etude piscicole 2006-TEREO/APTV)

L'étude piscicole de l'Isère en Tarentaise, réalisée en 2006, en préalable au contrat de rivière, fait état d'une situation alarmante de la qualité des peuplements ichthyologiques sur l'Isère. Au total six espèces ont été recensées sur le bassin versant, dont quatre seulement sont caractéristiques du bassin versant : truite fario, chabot, loche franche et vairon. La présence de la truite arc-en-ciel et du goujon ont des origines totalement artificielles, liées à la gestion halieutique des cours d'eau. Le saumon de fontaine n'a pas été recensé dans les inventaires mais sa présence est connue sur les têtes de bassin versant.

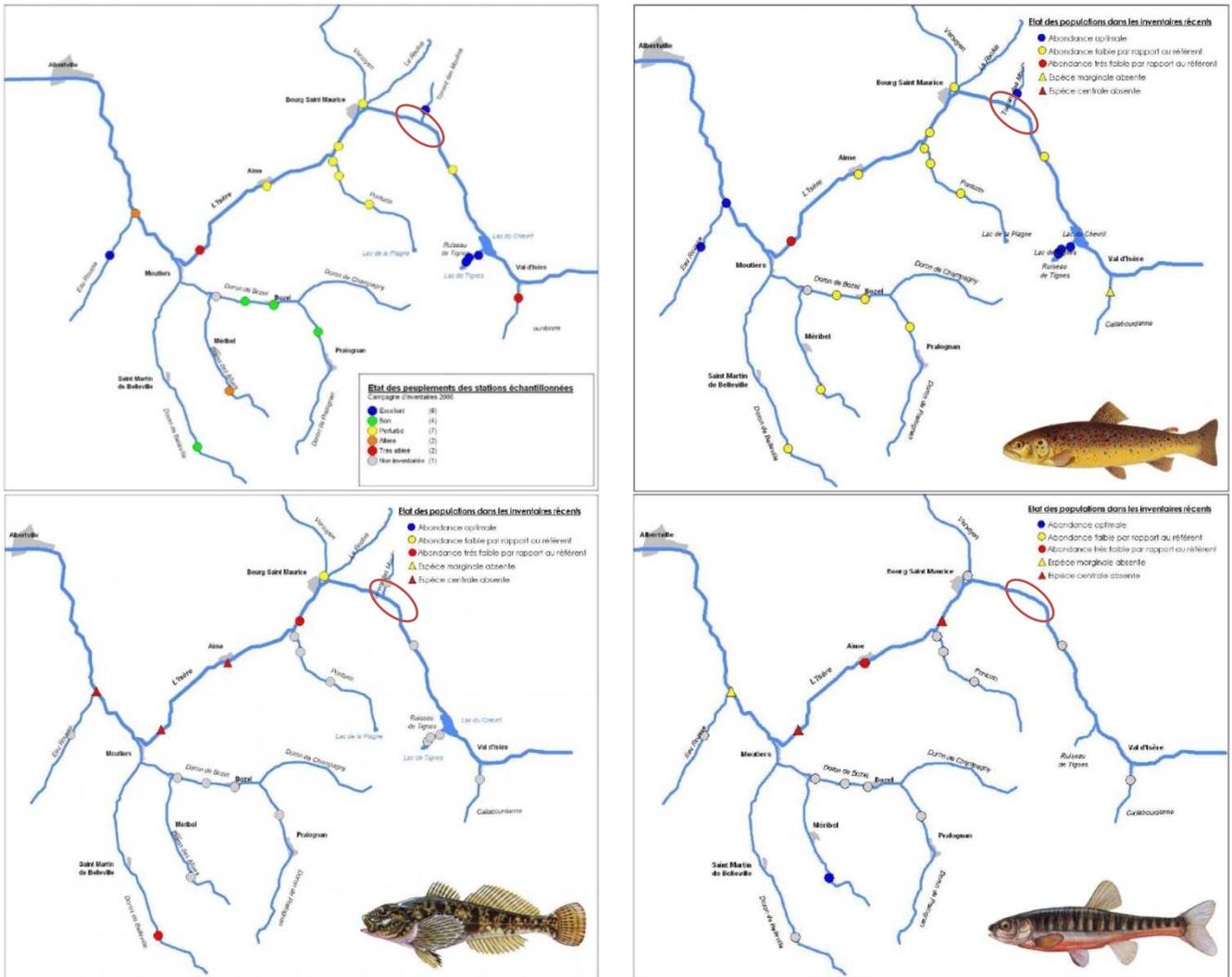


Figure 26 : Etat des peuplements (Etude piscicole 2006-TEREO/APTV)

Pour le secteur qui nous concerne, nous disposons de données quantitatives et qualitatives sur les peuplements piscicoles en place :

- Trois stations en amont du périmètre d'étude
 - o en aval du barrage de La Raie – [ISE990](#) – données quantitatives (Etude piscicole en Tarentaise ; TERE0 ; 2006)
 - o au droit du hameau de La Thuile – [ISE950](#) et au droit du Champet – [ISE 910](#) – données qualitatives (Chute de Viclaire – Demande de renouvellement de concession – Etude d'impact ; EDF ; 2002)
- Une station en aval de la restitution de Viclaire, au pont de la Bonneville suivie par l'ONEMA dans le cadre du RHP-RNB – données quantitatives

Le peuplement piscicole est composé uniquement de truite à l'amont. Le peuplement est perturbé sur la station prospectée en 2006 lors de l'étude piscicole avec des sous-abondances nettes par rapport au référentiel théorique. La qualité physique très limitée de la station semble expliquer les résultats obtenus.

La situation s'améliore vers l'aval. Les sondages réalisés dans le tronçon court-circuité indiquent la présence de toutes les classes d'âge mais en faibles effectifs. La population commence à se structurer sur la station de La Thuile.

La station du Champet et la station suivie par l'ONEMA, font état d'un peuplement toujours composé exclusivement de truite fario. Toutes les classes d'âge sont présentes et les abondances sont conformes au référentiel. La population est équilibrée et en bonne santé et présente donc une qualité excellente.

2.5.4 - Diagnostic

L'Isère dans la plaine de Viclaire présente une bonne qualité biologique et physico-chimique. La qualité physique est globalement bonne sur le linéaire. Le secteur le plus défavorable est situé depuis 200m en amont du pont jusqu'à la restitution de l'usine hydroélectrique.

Cependant, si l'on replace la plaine alluviale de Viclaire dans le contexte du bassin versant on s'aperçoit que plus en aval les peuplements piscicoles sont dégradés (résultats d'inventaire piscicole au Plan des Fourches en aval de Bourg Saint Maurice) et que dans le tronçon court-circuité en la situation reste fragile. Le site de Viclaire représente donc un enjeu essentiel à l'échelle du bassin versant en termes de conservation du milieu.

2.6 - Le bassin de compensation

Le bassin n'est plus en service depuis une cinquantaine d'année. La topographie montre une légère dépression, mais le fond du bassin se situe en moyenne entre 1,3 et 2 mètres au dessus du niveau de l'Isère.



Photos 45 et 46 : Bassin de compensation

Ce bassin n'est pas alimenté par l'Isère en fonctionnement courant (se reporter au chapitre 2.2.5 -). Deux cours d'eau temporaires descendant de la Combe Froide et Le Suel alimente le bassin. Le franchissement du chemin d'exploitation est assuré par des dalots.

Les ouvrages de régulation des niveaux d'eau dans le bassin de compensation sont toujours en place en aval du site.

Une ligne électrique traverse le site et trois poteaux sont implantés dans le bassin.



Photos 47, 48 et 49 : Alimentation latérale du bassin et ouvrage de régulation

Le bassin a été colonisé par la végétation. Aujourd'hui le site est une roselière sèche quasiment monospécifique. Le cortège végétal est constitué de phragmites et de saules. Le bassin peut servir de zone refuge à la petite faune (pas d'observation de terrain cependant), de site de nourrissage et éventuellement de reproduction pour l'avifaune.



L'intérêt écologique du site est toutefois réduit par le manque de diversité d'habitat.

3 - SYNTHÈSE DU DIAGNOSTIC ET ENJEUX

Le diagnostic ciblé sur la plaine alluviale de Viclaire a mis en évidence un déficit hydrique, lié aux installations hydroélectriques du bassin versant amont. Cela se traduit par l'absence des crues courantes et donc une diminution de la capacité de charriage des matériaux provenant des apports latéraux dans les zones de dépôt naturelles.

La plaine de Viclaire est relativement récente et sa pente d'équilibre ne semble pas encore atteinte.

Le transport solide de l'Isère est réduit à 1% de l'état naturel en raison du régime influencé. Cela se traduit donc par d'importantes érosions de berges en crue et une érosion régressive du lit en amont de la confluence avec la Nant Saint Claude.

Le transport solide du Nant Saint Claude continue lui d'être important, alimenté par l'éboulement des Molluirs. Les curages réalisés jusque dans les années 80's ont limité les exhaussements du lit. Même si cette pratique semble encore d'actualité, l'analyse montre que la tendance est au dépôt et que l'absence de crues morphogènes dans l'Isère ne permet pas de reprendre une partie des matériaux. Cela conduira vraisemblablement à une modification de la confluence et à des dépôts de plusieurs dizaines de mètres sur le cône de déjection. Cette situation est critique par rapport au risque d'inondation des bâtiments de Viclaire.

Les modélisations des écoulements liquides pour différents débits et différents états de la plaine alluviale ont montré que pour un débit de 130 m³/s, les risques d'inondation sont limités et sans enjeux majeurs au niveau de la plaine. Par contre dès qu'on atteint le débit de projet de 220 m³/s, la route départementale est submergée et les écoulements inondent Viclaire. Le gabarit hydraulique du pont de Viclaire est tout juste suffisant et reste donc critique vis-à-vis du risque d'embâcle. Un test de sensibilité a été réalisé avec un essartement complet de la plaine alluviale, il s'avère que dans cette situation l'essartement ne s'avère pas décisif pour l'abaissement des lignes d'eau au niveau du pont et qu'il ne modifie pas non plus la submersion de la RD902.

La gestion actuelle et passée de la plaine a permis de maintenir des terrasses alluviales basses connectives avec l'Isère. Sur ces terrasses s'est développée une belle forêt alluviale. La plaine à l'amont de pont de Viclaire forme un vaste ensemble naturel, remarquable, et original au bord de l'Isère, par son étendue et par le caractère alluvial des formations boisées (formations arbustives et pionnières à la confluence avec le Nant Saint Claude, forêt alluviale en formation en aval). Elle est principalement impactée par l'entretien drastique menée sous les lignes électriques.

Les renouées du Japon sont une menace sérieuse sur le site, mais la faiblesse de l'activité dynamique du cours d'eau ralentit la propagation des plantes dans la forêt. Elles sont par ailleurs une contrainte dans la gestion du site, notamment en aval du seuil ou dans la zone du carrier, car elles ne doivent pas être dispersées ailleurs.

Les boisements de berge sont bien connectés au cours d'eau, formés d'espèces typiquement ripicoles et représentent un fort intérêt écologique. On constate sur quelques secteurs un dépérissement de certains aulnes, sources principales de bois mort dans le lit mineur et de corps flottants potentiels.

Les boisements de berge sont principalement menacés par la progression des renouées du Japon et la plus forte inquiétude doit être accordée à la dispersion de celles-ci le long du cours d'eau ou sur d'autres sites, des tiges ou des fragments de rhizomes pouvant facilement être transportés par l'eau, notamment vers d'autres secteurs en aval, ou par des engins (présence de massifs dans la zone occupée par le carrier). Il est probable que cette contamination des berges constitue l'amont des zones infestées à l'échelle de l'Isère, mais la connaissance actuelle sur le bassin versant n'est pas suffisante pour l'affirmer.

Même si les curages passés ont empêchés une forte évolution de l'enfoncement du lit de la création de terrasses perchées, dans la partie aval le lit est chenalisé et déconnecté de ses annexes fluviales. Cette homogénéisation des habitats est liée en partie à l'absence de dynamique latérale et par endroit à la présence de digues (rive gauche de l'Isère en amont du pont de Viclaire).

L'analyse des peuplements piscicoles montre des populations de truites de très bonne qualité et bien équilibrée au niveau de la plaine alluviale. La qualité physico-chimique de l'eau ne semble pas limitante. Resituée dans le contexte du bassin versant, les peuplements de la plaine alluviale constituent un pool de recolonisation pour l'ensemble du bassin versant.

4 - OBJECTIFS

Les objectifs redéfinis suite à ce diagnostic sont les suivants :

- **Protection des personnes et des biens des risques d'inondation associés aux crues de l'Isère**
 - o Gestion et entretien du lit du Nant Saint Claude afin de maîtriser les facteurs aggravants de la crue associés à une rehausse du cône de déjection
 - o Maîtrise du risque de la formation d'embâcles au niveau du pont de Viclaire
- **Préservation de l'intégrité de la forêt alluviale**
- **Limitation de la dispersion et de la propagation des renouées du Japon**
- **Diversification des habitats aquatiques et humides afin de favoriser la reproduction et le développement de la faune piscicole, des batraciens**

5 - ESQUISSES D'AMENAGEMENT

L'analyse de la faisabilité des actions proposées au contrat de rivière a montré que :

- La route départementale comporte des points bas qui permettent aux écoulements d'inonder les habitations de Viclaire.
- L'essartement de la plaine de Viclaire n'améliore pas de manière significative les capacités d'écoulement des fortes crues (cf. 2.2.5.3 - Résultats obtenus – Simulation de l'effet des boisements alluviaux). De plus, le boisement alluvial évoluait, certes, en raison de l'absence de dynamique fluviale de l'Isère, mais présente un intérêt écologique non négligeable.
- Les reconnaissances de terrain ont mis en évidence la présence d'espèces végétales considérées comme invasives, la plus problématique étant la renouée du Japon en raison de son mode de dispersion et de développement.
- L'utilisation du bassin de compensation afin de stocker une partie du volume de crue n'apporte pas de résultats significatifs. Ce bassin abrite une roselière sèche présentant un intérêt écologique modéré pouvant être nettement amélioré.
- La réouverture du bras de l'Isère peut conduire à diminuer encore la qualité de l'habitat dans l'Isère par diminution du débit ; Cependant, l'augmentation du débit réservé à moyen terme permet la mise en œuvre de l'aménagement sans impact sur le milieu actuel.
- La renaturation des sources du Champet nécessite une réflexion menée avec l'exploitant de la scierie. En effet, si techniquement l'opération est réalisable, le site est toujours exploité et l'aménagement demande une adaptation de l'activité.
- Le maintien du seuil de Villaroger, sélectif à la libre circulation de la faune piscicole, ne peut être garanti lors d'une crue majeure quelque soit les dispositifs constructifs. Il permet la stabilisation du profil en long et nécessite donc de le rendre franchissable.

Les réflexions menées par le groupement sur le projet d'aménagement, à partir des constats établis lors de la phase diagnostic, conduisent aux propositions développées ci-après.

Le risque d'inondation lié aux crues liquides peut être facilement traité en reprofilant la route départementale et en stabilisant le remblai de la zone d'activité.

Le transport solide nécessite un programme de surveillance et d'entretien des dépôts à la confluence Nant Saint Claude – Isère.

La problématique de la création d'embâcles lors d'une crue majeure, phénomène constituant un facteur aggravant des conséquences de la crue reste entier.

La restauration écologique de la plaine de Viclaire peut être menée par la ré-ouverture du bras secondaire de Viclaire, la restauration des sources du Champet, sous réserve que celle-ci soit compatible avec les modalités d'exploitation de la scierie. Le gain écologique peut être augmenté par un aménagement du bassin de compensation dont l'objectif est la création de milieux favorables au développement des batraciens, des insectes et de l'avifaune inféodés aux milieux humides.

Le schéma général proposé est présenté sur la planche graphique qui suit.

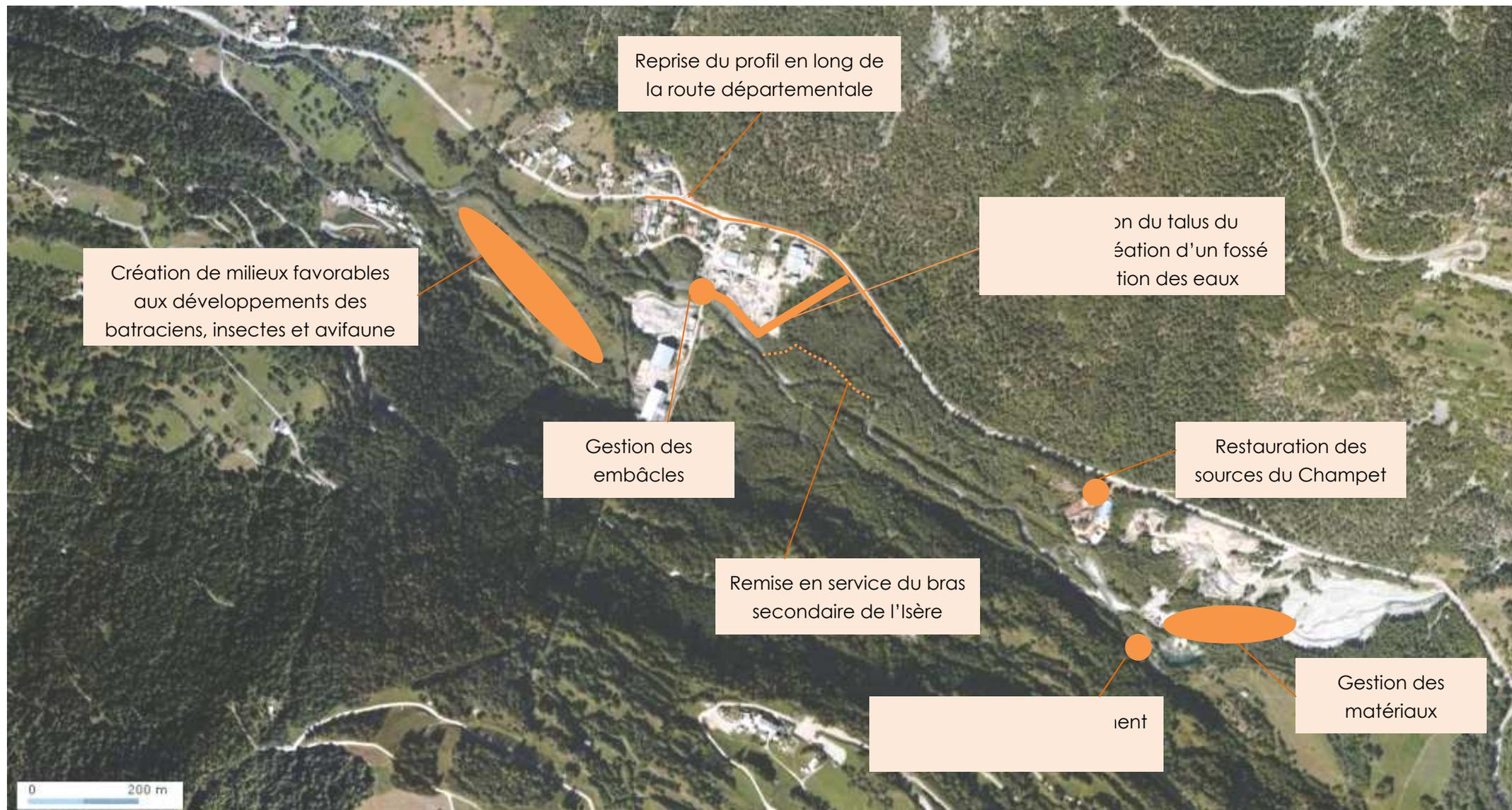


Figure 27 : Schéma organisationnel de la gestion de la plaine alluviale de Viclaire

Les actions du programme sont détaillées ci-après de l'amont vers l'aval.

Reprise du seuil et traitement du foyer de Renouée en berge

L'analyse de l'ouvrage a montré que ce seuil serait de toute façon déstabilisé lors d'une crue majeure. La pérennité du seuil dans le temps ne peut être assurée.

Compte-tenu des caractéristiques hydrauliques de l'Isère, une passe à poisson classique demanderait un entretien régulier des bassins (curage, enlèvement des bois mort, des flottants, ...) et l'intégrité du génie civil pourrait être fortement endommagé à chaque crue.

La franchissabilité sera assurée en reprenant le coursier du seuil de manière à réduire la pente. L'aménagement proposé est de type coursier à pente rugueuse.

Les travaux sur le seuil seront couplés à l'éradication du foyer de renouée présent en berge.

Programme d'entretien du Nant Saint Claude

Le profil en long suivant montre les niveaux objectifs du lit :

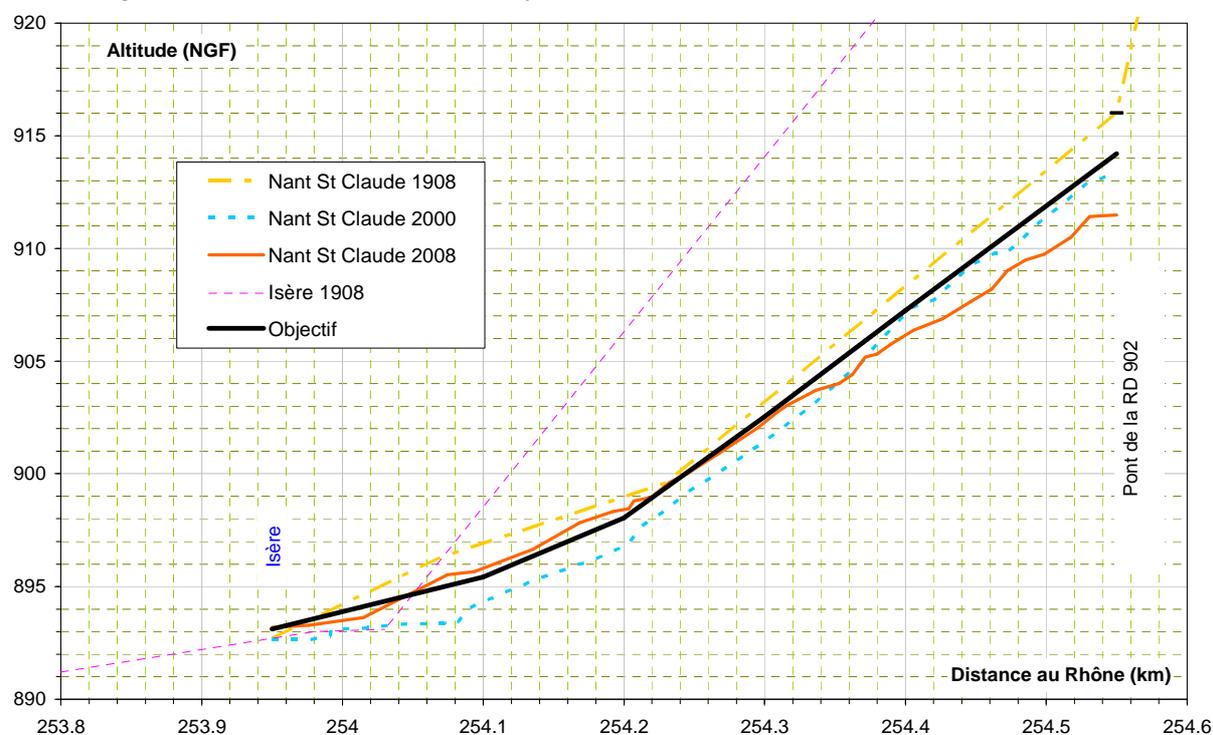


Figure 28 : Niveaux d'objectifs de l'entretien du lit du Nant Saint Claude

Ce profil en long objectif correspond aux cotes suivantes :

Distance par rapport au pont	Cote (NGF)	Remarques
0	914.0	Niveau sous le pont
350	897.9	Pente de 4.6 %
450	895.3	Réduction de pente (zone de curage)
600	893.1	Proximité du confluent avec l'Isère

Entre ces points, une interpolation linéaire sera mise en œuvre.

Le principe des prélèvements est le suivant :

- Si le niveau objectif est dépassé de plus d'un mètre sur au moins 100 mètres de longueur, un curage doit être mis en œuvre. Pour une procédure aisée, des bornes pourront être disposés sur les berges et le niveau du fil d'eau d'étiage levé au droit de 5 profils transversaux. Le levé consiste alors en seulement 5 points, le curage étant déclenché seulement si deux points indiquent une surélévation d'au moins 1 mètre.
- Il sera réalisé jusqu'à retrouver la cote objectif sur tout le linéaire où ce niveau est dépassé d'au moins 50 centimètres.
- Les curages ne concerneront que les terrasses hautes, les zones en eau n'étant pas curées, ainsi que les berges sur 5 mètres de largeur minimum. A la fin de l'opération de curage, le lit sera donc perché au dessus des terrains environnants. Il retrouvera un modelé plus naturel dès la première crue. Cette méthode présente un impact paysager net mais éphémère. Par contre, elle minimise l'impact écologique.
- Aucun curage ne doit être réalisé à moins de 15 mètres de la végétation riveraine ou des protections en enrochements afin de prévenir une érosion et de limiter l'ampleur des divagations.

La plupart des curages devront être réalisés dans la partie aval du cône de déjection, ce qui limite l'extension des prélèvements.

Restauration des sources du Champet

Cet aménagement avait été défini avec deux options de remise à ciel ouvert du tronçon busé sous la scierie. La dissociation des deux apports conduit à la création de deux lits distincts avec donc une diminution des débits dans les deux tracés. Cette option (2 dans la fiche action) limite le gain écologique. Si elle permet de supprimer le busage, elle conduit à la réduction d'habitat dans le lit aval actuel par diminution des débits.

L'option 1 apporte nettement plus au milieu en permettant de restaurer le lit dans la partie busée sans impacter le lit aval. Toutefois la mise en œuvre de cette solution nécessite l'accord de l'exploitant, non rencontré à ce jour.

Remise en service du bras secondaire de l'Isère

La reconnaissance de terrain de la forêt alluviale indique des écoulements temporaires dans des chenaux secondaires lors des crues. Les matériaux charriés lors des crues semblent se déposer au sein de la forêt alluviale et finissent ainsi par combler les chenaux secondaires.

Malgré le risque de comblement du bras par dépôt des matériaux, le gain apporté par sa remise en eau paraît justifier la réalisation de l'aménagement. D'autant que l'augmentation réglementaire prochaine du débit réservé permet la mise en eau de ce chenal sans affecter les habitats du lit principal.

Le tracé proposé initialement peut être repris avec une modification du point de confluence qui devra être déplacé pour ne pas gêner le pied du talus du remblai (voir ci-après).

Reprise du profil en long de la route départementale

Les écoulements submergent la route départementale et vont inonder les habitations de Viclaire. La mise en sécurité des personnes et des biens nécessite le traitement de ce point bas. Il est donc proposé un reprofilage de la route de manière à supprimer le point bas.

Stabilisation du talus du remblai et création d'un fossé d'évacuation des eaux

Le talus du remblai sera reprofilé à une pente de 4H/1V et raccordé à la route. Un sabot en enrochement à une pente de 3H/2V viendra stabiliser et renforcer le pied de talus. En pied un fossé d'évacuation des eaux sera créé. Le fossé sera créé de manière à pouvoir également servir de zones refuge aux poissons.

La coupe de principe de l'aménagement est présentée ci-dessous.

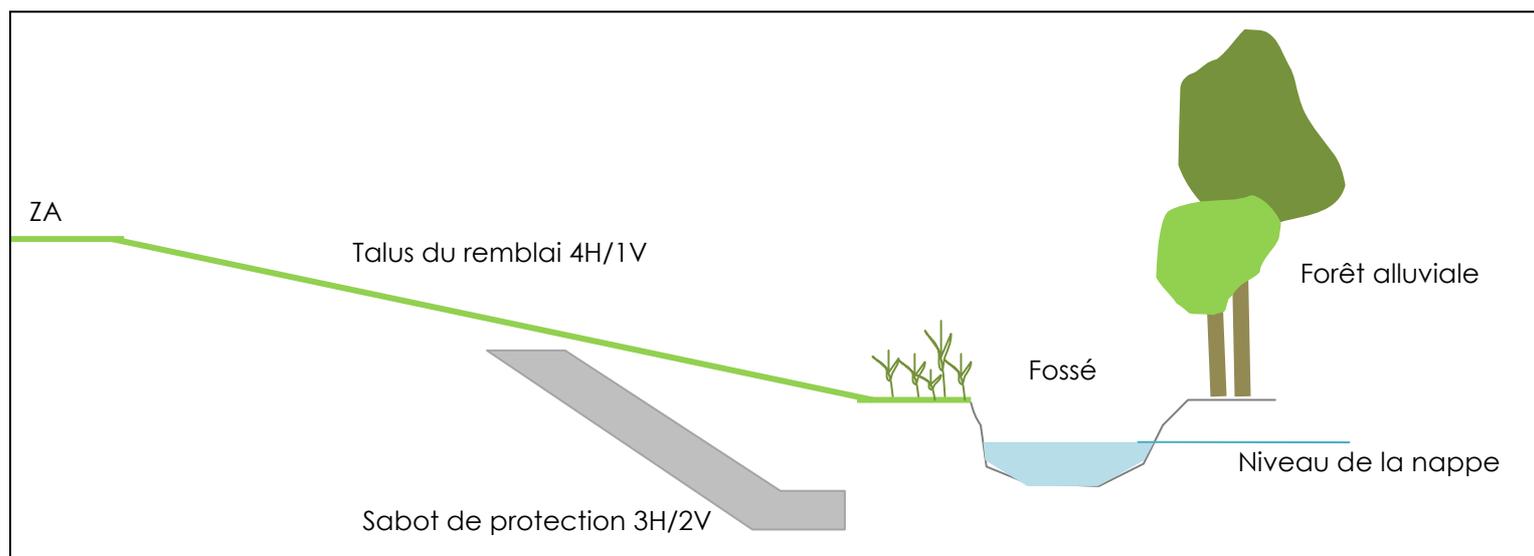


Figure 29 : Coupe de principe de la protection du talus du remblai de la ZA

Gestion des embâcles

L'essartement de la plaine ne permet pas, comme nous l'avons vu plus haut, de répondre de manière efficace à la maîtrise du risque inondation.

Les risques d'embâcles liés aux apports des berges nécessitent un entretien sélectif pour maintenir la capacité d'écoulement du lit mineur. La spécificité du régime hydrologique (moins de petites crues) ne remet pas complètement en cause la nécessité d'un entretien préventif pour réduire le volume et la dimension des corps flottants avec, comme sur les autres cours d'eau, de nombreuses incertitudes sur le déroulement de la crue et le comportement des corps flottants pour des événements exceptionnels.

La réflexion portant sur la gestion des embâcles formés par l'arrachage des bois au sein de la forêt alluviale a conduit à explorer 4 pistes possibles. Nous avons parfaitement intégré à la réflexion que, pour des raisons financières, une intervention sur le pont de Viclaire n'était pas envisagée. Toutefois, cet ouvrage constitue le seul point critique pour ce phénomène, y compris en cas d'essartement complet de la forêt alluviale.

Trois solutions portent sur une modification du pont, la quatrième porte sur la gestion de la crise :

- Reconstruction du pont en remontant le niveau du tablier pour obtenir une revanche suffisante intégrant le transit des corps flottants.
- Reconstruction d'un pont submersible en abaissant le niveau du tablier.
- Destruction du pont et déviation du transit routier par le pont de la Bonneville et remise en état du chemin longeant l'Isère pour permettre l'accès à la centrale.
- Gestion du risque lors de la crue : cela suppose la mise en œuvre d'un éclairage puissant au niveau du pont et de l'intégration dans le plan d'alerte d'une astreinte pour une pelle et son chauffeur. Ce dernier sera chargé lors de la crue de faire passer les troncs sous le pont en les enfonçant dans l'eau avec le bras de la pelle. Ce dispositif est mis en œuvre sur la Durance et a fait ses preuves.

Création de nouveaux habitats dans le bassin de compensation

La création d'habitats humides dans le bassin de compensation fait suite à l'opportunité de disponibilité d'espace dans la réflexion. L'objectif de l'aménagement est essentiellement tourné vers la reproduction et le développement des batraciens.

L'aménagement comprend la création d'un chenal alimenté via une buse par la restitution de la centrale et la création de deux ou trois mares positionnées au débouché des arrivées latérales ou au sein de dépression en creusant jusqu'au niveau de la nappe.

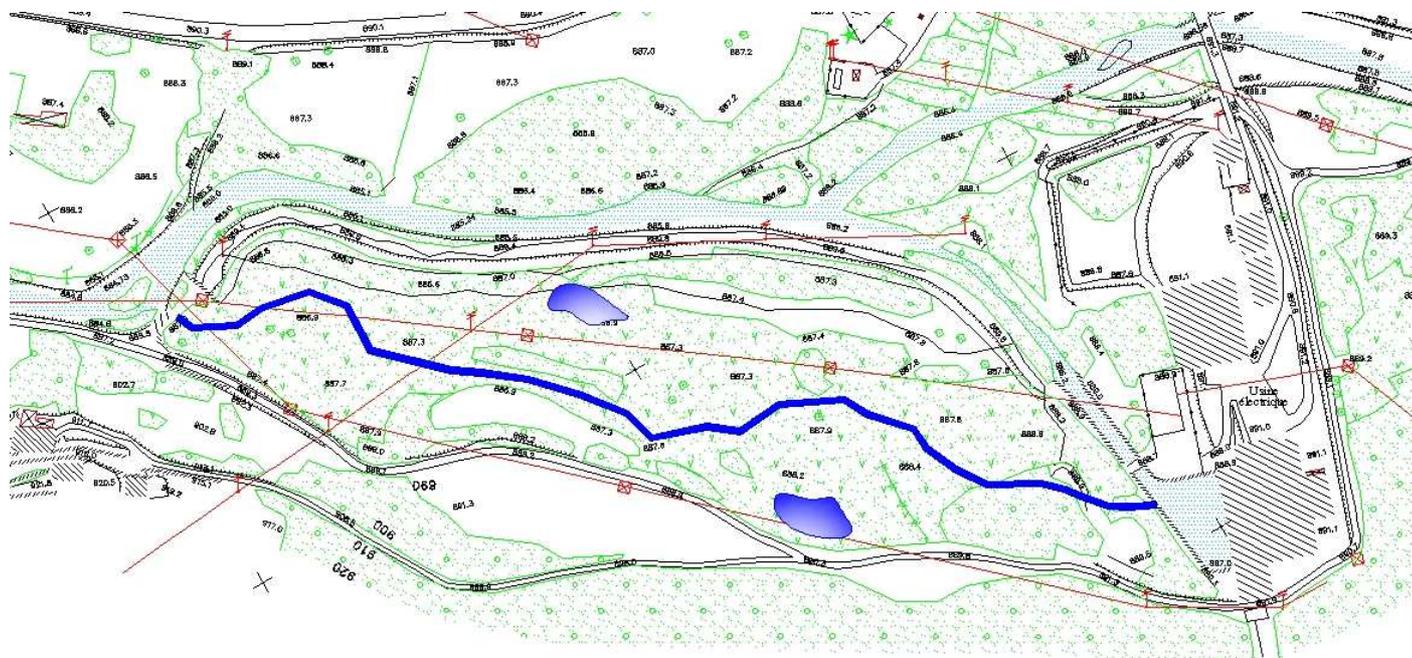


Figure 30 : Schéma de principe de l'aménagement du bassin de compensation

Limitation de la dispersion et de la propagation de la Renouée

La limitation de la propagation des renouées du Japon dans l'espace boisé sera réalisée par inventaire après les crues et arrachage précoce. La gestion des renouées se fera sans empêcher toutefois l'extension latérale des massifs existants. En effet, les coûts d'une éradication mécanique et surtout les forts impacts qui seraient générés par celle-ci ne paraissent pas justifiés au regard du gain.

Une véritable sensibilisation devra être menée afin de limiter la dispersion par les engins et la propagation des renouées du Japon le long de l'Isère. Le suivi sera réalisé par inventaire après les crues et arrachage précoce. A une plus large échelle cette action devrait être menée sur les communes amont afin de descendre progressivement vers l'aval la limite amont des zones contaminées. L'éradication mécanique pourra être mise en œuvre pour réduire la pression d'entretien nécessaire à cette limitation.



Commune de Sainte Foy Tarentaise

**Etude pour l'actualisation de
la connaissance des risques
d'avalanches sur La Thuile,
Bon Conseil, Raffort et Le
Villard**

Mars 2015

Cliché page de garde : Vue aérienne du versant avalancheux de Pierre d'Arbine – Pointe de la Fogliettaz, avec en premier plan la station de Bon Conseil. Source : RTM Savoie - 2014.

Table des Matières

I	Rappel de la problématique	4
II	Enquête sur les plus fortes avalanches connues	8
II.1	Documents et personnes consultés	8
II.1.1	Références documentaires	8
II.1.2	Personnes consultées	10
II.2	Phénomènes historiques sur chaque hameau	10
II.2.1	La Thuile (emprise CLPA n°2)	10
II.2.2	Bon Conseil – Les Maisonnettes (emprise CLPA n°2)	17
II.2.3	Raffort – Le Villard (emprise CLPA n°54)	19
III	Définition du scénario de référence centennal	22
III.1	Zones de départ et épaisseurs de neige mobilisables	23
III.1.1	Choix des zones de départ de référence	23
III.1.2	Avalanche de Bon Conseil	25
III.1.3	Avalanche de l'Arpettaz	28
III.2	Prise en compte des zones boisées et des terrassements	31
III.3	Simulation numérique de l'avalanche centennale	32
III.3.1	Avalanche de Bon Conseil	32
III.3.2	Avalanche de l'Arpettaz	37
III.4	Synthèse – mise à jour de la carte des aléas centennaux	42
IV	Probabilité d'atteinte du hameau de La Thuile	45
IV.1	Simulation numérique de l'avalanche tricentennale	45
IV.1.1	Avalanche de Bon Conseil	45
IV.2	Conclusion	48
V	Evolutions proposées du PPRN de Ste Foy Tarentaise suite à cette étude	49
VI	Perspectives pour la protection permanente des enjeux exposés à un risque centennal	49

I Rappel de la problématique

La présente étude, commandée par la mairie de Sainte Foy Tarentaise, traite du risque d'avalanche sur les zones urbanisées de la commune, et en particulier sur les hameaux de Bon Conseil – Les Maissonnettes, La Thuile, Raffort et Le Villard, tous situés sur le versant ouest du massif de la Fogliettaz (cf. fig. I-1).

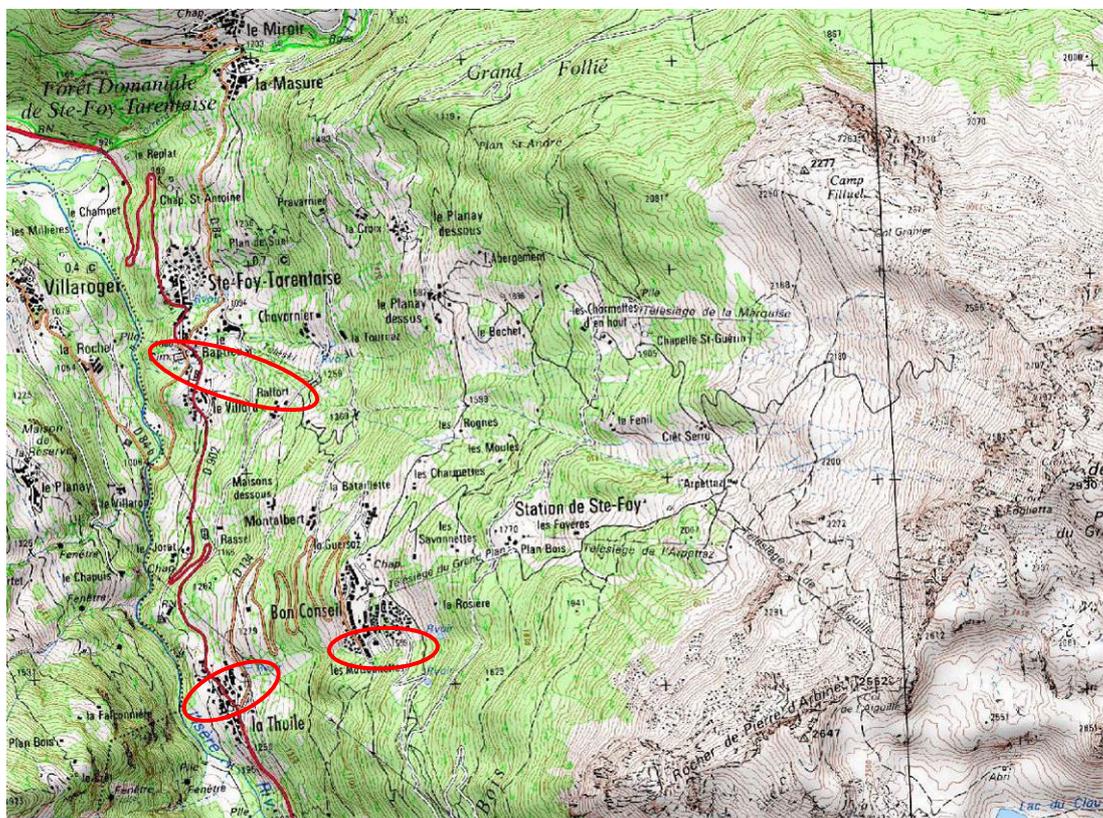


Figure I-1 : Localisation des zones urbanisées pour lesquelles le risque d'avalanche est réétudié, sur scan 25 de l'IGN (réduit).

Rappelons les éléments de contexte qui justifient cette nouvelle étude des risques d'avalanches, 11 ans après approbation du Plan de Prévention des Risques Naturels de Sainte-Foy-Tarentaise.

Le PPRN traite entre autres des risques d'avalanches sur les zones urbanisées. Comme pour les risques d'inondation, l'Etat demande que soit pris en compte, pour la réglementation de l'urbanisme, l'avalanche centennale ou le plus fort événement connu s'il est plus important. Le projet de guide méthodologique pour les PPR avalanches précise cependant que les avalanches antérieures à la fin du Petit Age Glaciaire (milieu du XIXème siècle) peuvent être écartées, en raison du changement climatique observé depuis.

Cette politique a conduit la Préfecture de Savoie à retenir dans le PPRN des extensions d'avalanches jusqu'en fond de vallée de l'Isère. En effet, des témoignages évoquent de telles extensions à la fin du XIXème siècle pour le couloir de Bon Conseil (emprise CLPA n°2) et en 1904 pour le couloir de l'Arpettaz (emprise CLPA n°54).

Les hameaux de La Thuile et du Villard sont donc chacun traversés par une zone d'aléa avalanche, d'intensité généralement forte mais passant à un niveau moyen sur le bas de La Thuile.

Cette cartographie des aléas d'avalanche, dont le fondement historique est contesté par certains habitants, en particulier sur La Thuile, est néanmoins cohérente avec les emprises d'avalanches connues par recueil de témoignages, affichées sur la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches en vigueur (cf. fig. I-2 à I-4 ci-dessous).

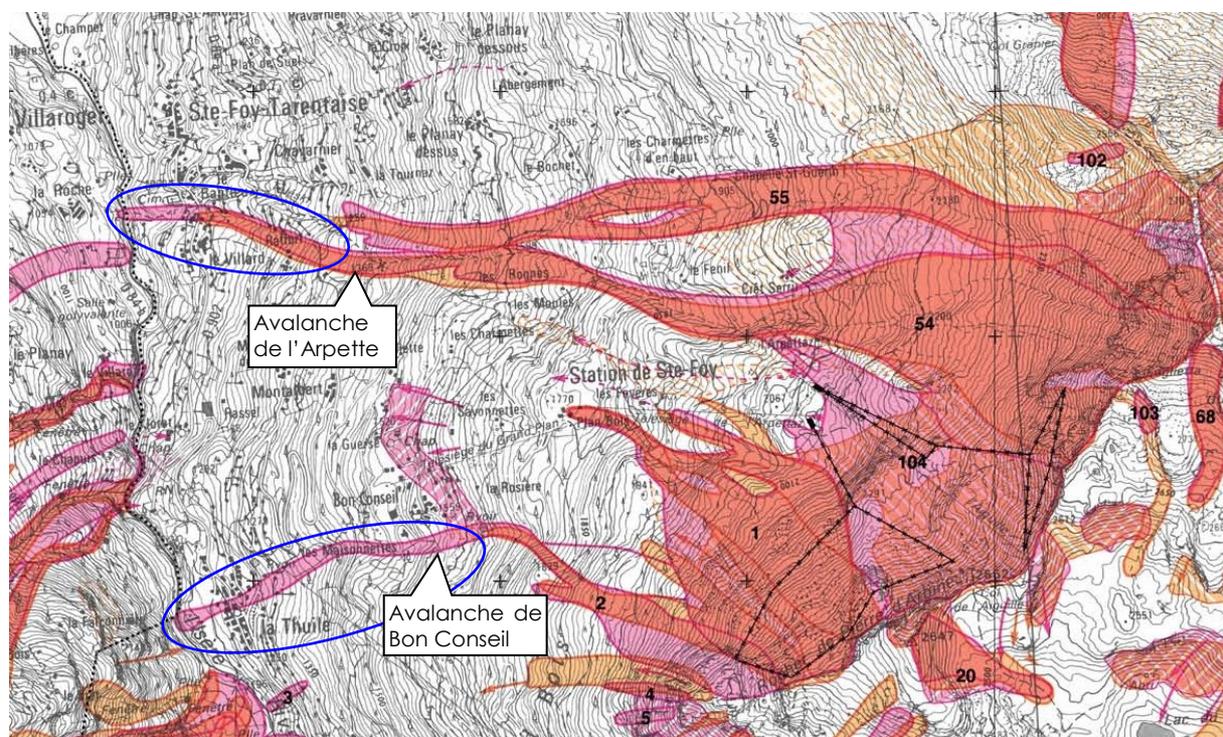


Figure I-2 : extrait des feuilles AP68 et AP69 de la CLPA éditée en décembre 2007 (téléchargeable sur <http://www.avalanches.fr/>, avec localisation des zones d'étude. Source : Irstea.

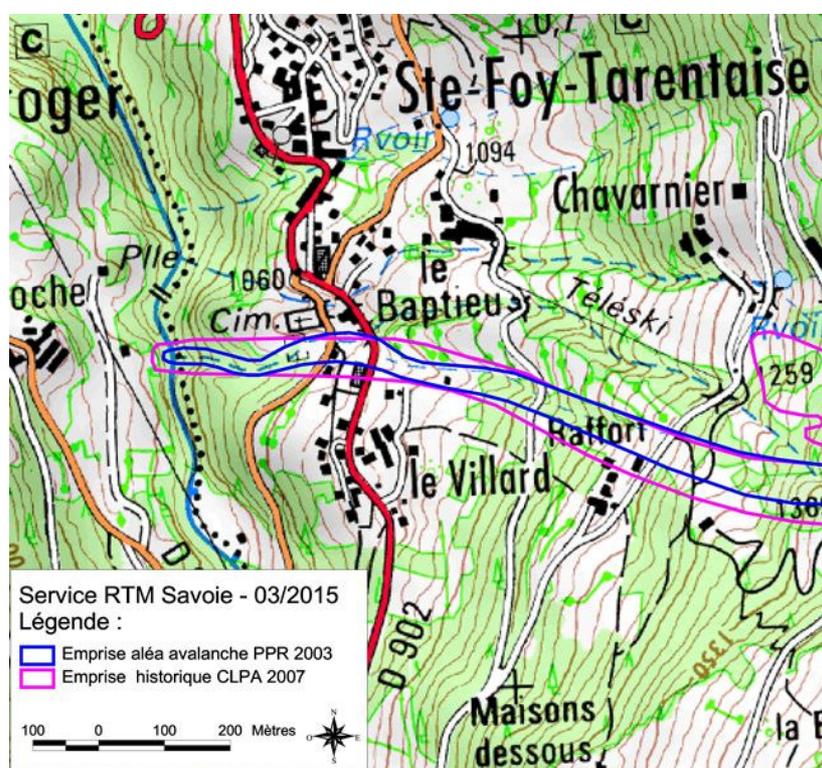


Figure I-3 : Carte comparative des emprises connues par recueil de témoignage de la CLPA (en majenta) et des emprises d'aléa d'avalanche du PPRN de Ste Foy Tse (en bleu), sur le secteur du Raffort – Le Villard. Source : RTM 73.

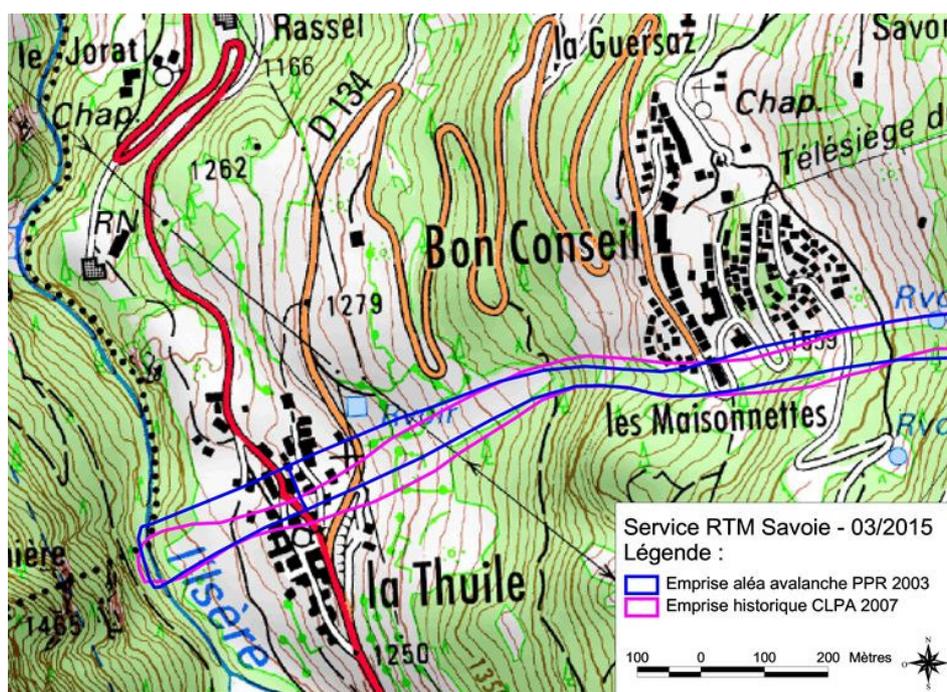


Figure I-4 : idem figure I-3 sur le secteur de Bon Conseil – La Thuile. Source : RTM 73.

Les emprises CLPA, qui n'ont pas évolué au niveau de ces extensions extrêmes depuis les années 80, sont antérieures aux tracés du PPRN de 2003. Le chargé d'étude PPRN s'est appuyé sur les limites de cette CLPA pour définir les trajectoires et distances d'arrêt de référence mais s'est autorisé quelques écarts dans la délimitation latérale des écoulements, au vu de son analyse de la topographie des couloirs.

Cette délimitation des aléas d'avalanche s'est traduite par un zonage réglementaire assez contraignant, notamment sur le secteur de La Thuile (cf. fig. I-5). Dans cet ancien hameau (bâti largement antérieur au PPRN), une douzaine d'habitations se retrouvent en zone à risque, dont cinq en risque fort. Des garages et appentis sont aussi concernés. Plusieurs demandes de permis pour des modifications de bâtiments y ont été récemment refusées.

Sur la station de Bon Conseil, deux chalets touristiques (dont les permis de construire ont été accordés juste avant publication du PPRN, se retrouvent également en zone de risque fort, inconstructible. Juste à l'amont, le parking couvert a quant à lui été autorisé par le PPRN bien qu'il soit également en zone de risque fort, sous réserve qu'il n'aggrave pas les risques et soit renforcé à 30 kPa sur 4 m de haut (zone spécifique 1.01b).

Le secteur le moins « impacté » par le zonage se trouve au Villard, où seuls deux garages situés dans le couloir d'avalanche sont concernés par ce risque. Le PPRN y interdit toute construction, hors justement les garages, sous réserve qu'ils ne constituent pas d'obstacle à l'écoulement de l'avalanche. Sur cette zone de risque fort, un refus de permis de construire a également été contesté en 2009, au prétexte que la parcelle n'était pas exposée à l'avalanche.

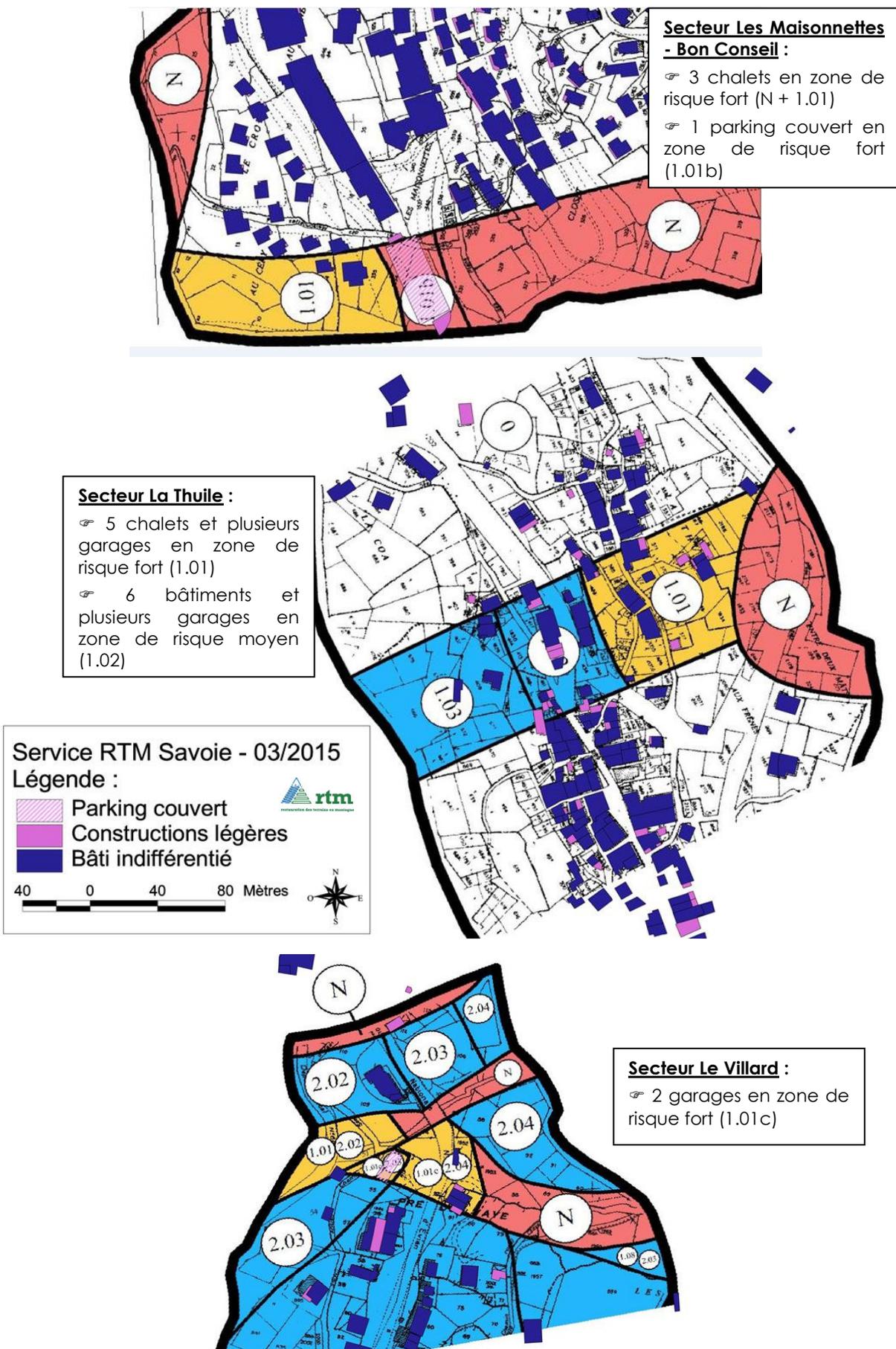


Figure I-5 : Extraits du zonage réglementaire du PPR de 2003 sur les secteurs étudiés, avec bâti actuel.

Lors d'une réunion organisée en mairie de Sainte Foy Tse le 3 septembre 2014, les nouveaux élus ont interrogé le service RTM sur les points suivants :

- Les témoignages d'avalanches anciennes étant contestés par certains natifs de la commune, notamment sur La Thuile, peut-on avoir plus de précisions sur les événements historiques relatés ?
- En admettant que ces extensions jusqu'à l'Isère aient bien eu lieu, ce scénario est-il encore possible aujourd'hui, avec l'évolution des couloirs (déclenchements préventifs des zones de départ depuis le domaine skiable, reboisement naturel des couloirs, damage des pistes, nouveaux terrassements...) ?
- Dans tous les cas, peut-on préciser davantage l'exposition des zones urbanisées au risque d'avalanche centennal et faire évoluer, si besoin, la carte des aléas établie à dire d'expert et le zonage du PPRN ?
- Si des bâtiments s'avéraient toujours exposés à un risque élevé, quelles protections pourraient être réalisées pour les protéger durablement ?
- Une fois réalisées, ces protections seront-elles de nature à faire évoluer encore davantage le zonage du PPRN ?

Pour être en mesure de répondre à toutes ces questions, le service RTM a proposé à la commune de réaliser une expertise approfondie des couloirs d'avalanche de Bon Conseil et de l'Arpettaz. Cette étude se base sur une recherche historique plus fouillée que celle réalisée dans le cadre du PPRN et sur une modélisation numérique en 2D de chaque avalanche centennale, intégrant avec précision la topographie actuelle des couloirs. C'est le logiciel suisse « Ramms v1.6 » qui a été utilisé pour ces modélisations.

II Enquête sur les plus fortes avalanches connues

Cette première étape a constitué à rassembler toute la documentation disponible sur les avalanches majeures observées ou signalées sur Bon Conseil, La Thuile et Le Villard. En parallèle, les plus anciens habitants ou natifs de La Thuile et du Villard ont été contactés, pour recueillir leurs observations directes ou les évocations d'avalanches transmises de génération en génération.

II.1 Documents et personnes consultés

II.1.1 Références documentaires

Ces références sont classées par sources et par ordre chronologique.

Archives du service RTM Savoie :

- EAUX et FORETS, 1905 : Note sur l'avalanche du 18 mars 1888 à proximité de La Thuile
- MOUGIN P., 1922 : Les Avalanches en Savoie. (p 256 - 257)
- EAUX et FORETS, 1935 : croquis de l'avalanche de Bon Conseil descendue le 2 mars 1935
- RTM, 1999 : Notes de terrain et d'enquête prises lors de la réalisation du PPR de Ste Foy Tarentaise. Témoignage de Joseph Empereur, né en 1914, habitant et natif de La Thuile
- TORAVAL, 2003 : Etude des risques d'avalanches pour l'UTN de Sainte Foy Tarentaise

- RTM, 2004 : Rapport de D. Jullien sur l'avalanche du 18/01/2004 au col de l'Aiguille, mentionnant le témoignage de M Limbarinu, responsable des pistes, sur l'avalanche majeure de décembre 1991.

Archives départementales de la Savoie :

- Mappede sarde, 1733 : plans téléchargeables sur <http://www.savoie-archives.fr/915-archives-en-ligne.htm>
- Cadastre de Sainte Foy Tse, 1904 : feuilles du cadastre téléchargeables sur <http://www.savoie-archives.fr/915-archives-en-ligne.htm>
- Journal « Le Patriote » du 19 mars 1888 : article (p2) sur l'avalanche du 18 mars 1888 à proximité de La Thuile. <http://www.memoireetactualite.org/fr/presse.php>

Archives de la médiathèque JJ Rousseau à Chambéry :

- EMPRIN JM., 1933 : Histoire de Sainte Foy Tarentaise (Savoie) (374 p)
- ONDE H., 1938 : La Maurienne et la Tarentaise – étude de géographie physique
- BRADEL JL, 1977 : Sainte Foy – La Gurraz – Villaroger : Vie, art et traditions en Haute Tarentaise. (p49)
- BOZONNET R. et BRAVARD Y., 1984 : Sainte Foy Tarentaise – une montagne pour des hommes. (p 131)
- COANUS T., 1995 : Paysage, risques naturels et intérêts locaux. Un conflit de représentations en moyenne montagne. Ste-Foy-Tse. In Paysage au pluriel, p138.

Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches (CLPA) :

- CEMAGREF, 1973 : Carte CLPA « La Rosière – Ruitor » et fiche d'enquête CLPA pour le couloir de l'Arpettaz (n°33 à l'époque, devenu n°54)
- CEMAGREF, 1985 : Carte CLPA « Sassièrè – Mont Pourri » et fiche d'enquête CLPA pour le couloir de Bon Conseil (n°2)
- CEMAGREF, 1990 : Carte CLPA « Haute Tarentaise »
- CEMAGREF, 2005 : Fiches d'enquête CLPA pour les couloirs de l'Arpettaz (n°54) et Bon Conseil (n°2)
- IRSTEA, 2015 : Feuilles de la CLPA AP68 et AP69 téléchargeables sur le site <http://www.avalanches.fr/>

Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA) :

- ONF, 1977 : carte de localisation des sites au 1/50 000ème et carnet forestier de relevé des avalanches pour Sainte Foy Tarentaise – sites n°3 (avalanche de Rochebrune Filluel) et n°19 (Bon Conseil)
- ONF – IRSTEA, 2015 : listing des événements téléchargeables sur le site <http://www.avalanches.fr/>, pour les sites n°3 (La Fogliettaz) et n°19 (Bon Conseil)

Photos aériennes anciennes, pour analyse diachronique des trajectoires d'avalanches :

- IGN, 2015 : photos aériennes centrées sur les couloirs de Bon Conseil et l'Arpettaz – campagnes de 1948, 1956, 1962 et 1970. Images téléchargeables sur <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>
- IGN : photos aériennes papiers archivées au RTM73, centrées sur les couloirs de Bon Conseil et l'Arpettaz – campagnes de 1982 (IFN –IR) et 1996 (couleurs)

II.1.2 Personnes consultées

- BLANC GONNET Christian : directeur d'exploitation du domaine skiable de Ste Foy Tse depuis 1999
- BOCH Régis : 75 ans, ancien agriculteur aux Maisonnettes, natif de la commune
- BORREL Jean : technicien chargé de l'urbanisme à la mairie de Ste Foy Tse, natif de la commune
- BOZONNET Louis : moniteur de ski à Ste Foy Tse, natif de la commune
- CUSIN-ROLLET Paul : actuel maire de Sainte Foy Tarentaise
- GRAND Christine : responsable des pistes de la station de Ste Foy Tse depuis 2011, pisteur sur site depuis 2003
- LIMBARINU Jeff: responsable des pistes de la station de Ste Foy Tse depuis sa création en 1989 jusqu'en 2011
- OTTOBON Michel : habitant de La Thuile
- PASCUAL Daniel : 73 ans, ancien maire de Ste Foy Tarentaise au lancement de la station, dans les années 80
- SALLIN Gérard : habitant et natif de La Thuile.
- VIVET Fabienne : Directrice générale des services de la mairie de Sainte Foy Tse

II.2 Phénomènes historiques sur chaque hameau

II.2.1 La Thuile (emprise CLPA n°2)

II.2.1.a Analyse des données

Dans la littérature régionale, il est fait mention à deux reprises d'une avalanche ancienne ayant traversé le hameau de La Thuile :

« Le premier village est La Thuile. Très important, le long de la route nationale, il se divise en Thuile « d'en ça » et Thuile « d'en là », un couloir à avalanches les séparant. » (BRADEL, 1977).

« Le hameau de La Thuile, à Sainte Foy, s'est trouvé coupé en deux à l'occasion d'une coulée (de neige) exceptionnelle. Aujourd'hui quelque peu masquée par la construction d'édifices légers (garages, appentis), la trouée qui en a résulté est bien visible sur les cadastres anciens. » (COANUS, 1995).

Si l'on consulte le cadastre de 1904, on retrouve très clairement la trouée non bâtie dont parle T. COANUS (cf. fig. II-1).

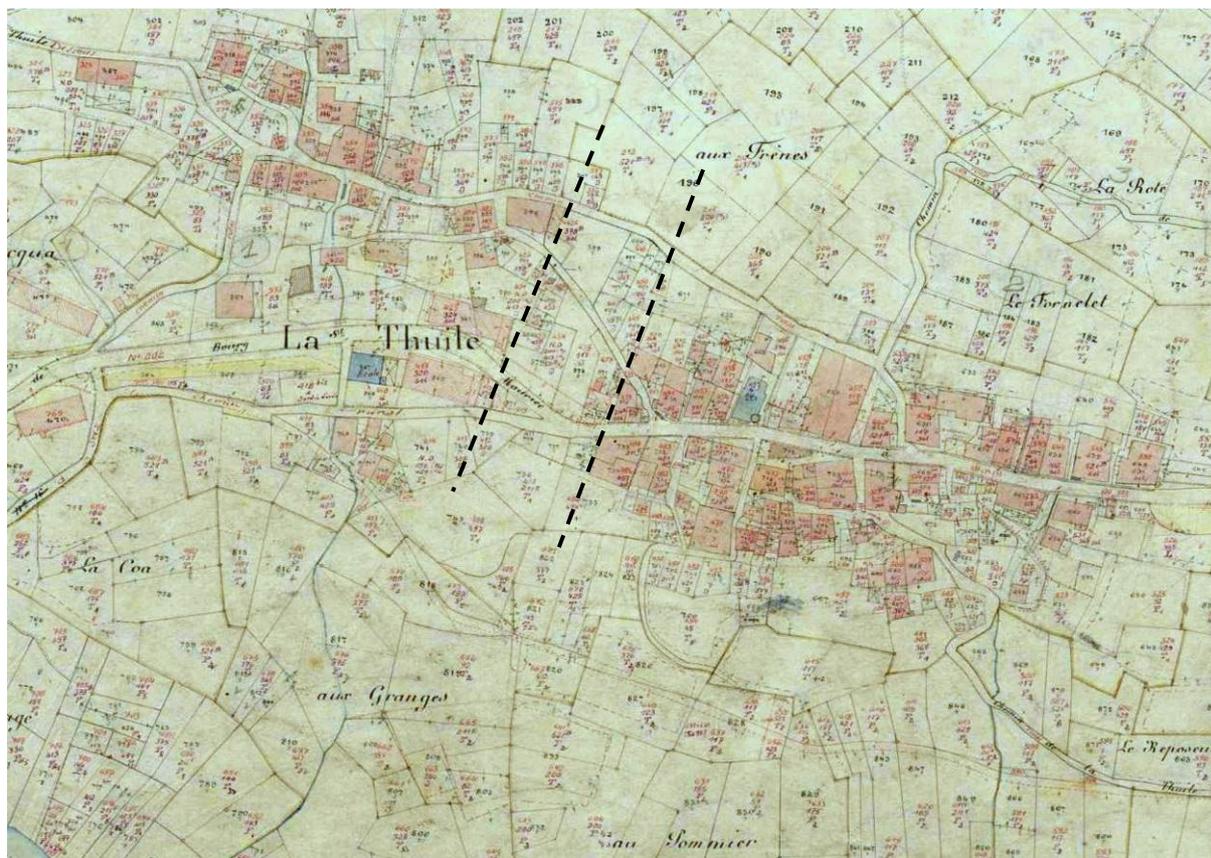


Figure II-1 : Extrait du cadastre communal de Sainte Foy Tse de 1904, avec la bande non bâtie au cœur du hameau de La Thuile. Source : archives départementales de Savoie.

Si l'on se reporte cette fois à la mappe sarde, qui date de 1733 sur la commune de Sainte Foy Tarentaise, on retrouve cette même bande non bâtie, ainsi que la même forme urbanisée (cf. fig. II-2). Preuve que l'essentiel des bâtisses de La Thuile existait déjà au début du XVIII^{ème} siècle. Preuve aussi que si la trouée a bien été causée par une avalanche, cette avalanche est antérieure à 1733. On remarquera aussi que le versant dominant La Thuile (en haut sur l'image) est coloré en zone boisée, sans disjonction laissant penser à un couloir d'avalanche.

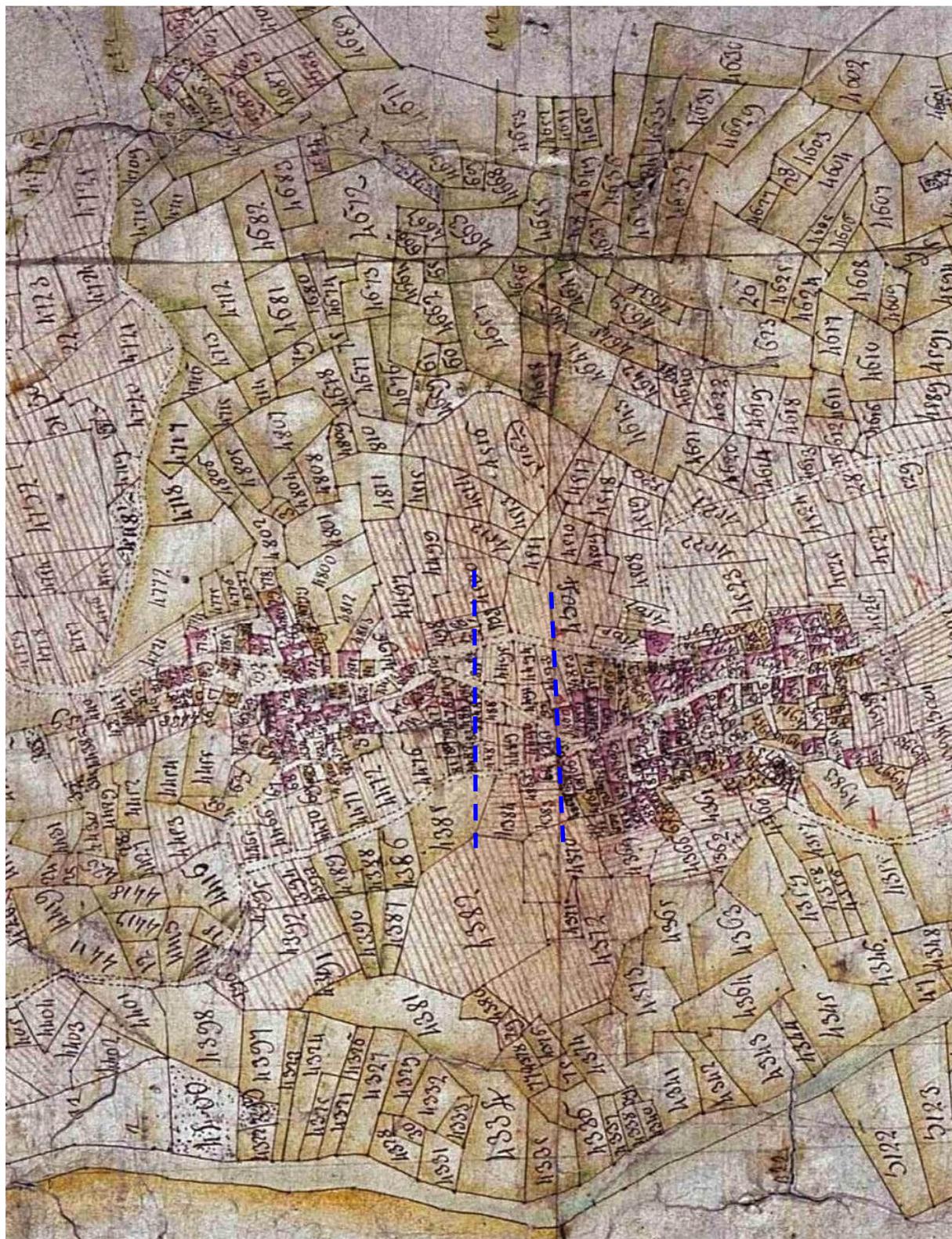


Figure II-2 : Extrait de la mappe sarde sur Sainte Foy Tse datant de 1733, avec la bande non bâtie au cœur du hameau de La Thuile. Source : archives départementales de Savoie.

Les premiers témoignages d'une avalanche à La Thuile sont collectés par les enquêteurs de la CLPA en 1985. Les personnes interrogées sont des natifs de Ste Foy : U. BOZONNET, F. CHARRIERE, C. PERRIN, P. EMPEREUR, F. BORREL. Ils signalent qu'une avalanche « a déjà coupé la RD 902 et donc le village de La Thuile. A cette époque (au début du XXème siècle), elle était allée jusqu'à l'Isère. » L'enquêteur trace alors une langue d'avalanche en majenta depuis les zones de départ de Pierre d'Arbine (déjà identifiées dans la CLPA de 1973) jusqu'à l'Isère (1165 m), en passant par la combe des Maisonnettes et la bande non bâtie de La Thuile. Cette nouvelle emprise porte le n°2 (avalanche de Bon Conseil) (cf. fig. II-3).

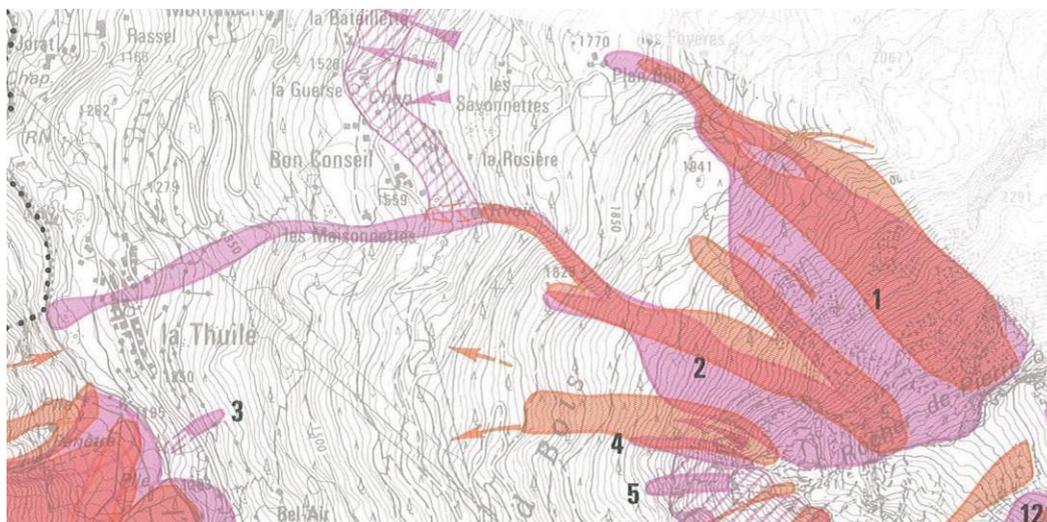


Figure II-3 : Extrait de la CLPA « Sassièrè _ Mt Pourri » de 1985. Source : Cemagref.

Le fait que les témoins situent cette avalanche au début du XXème siècle est très étonnant. En effet l'EPA, pourtant en place sur la commune dès 1900, ne mentionne pas d'avalanche sur La Thuile. Il n'en est pas fait état non plus dans l'ouvrage de P. MOUGIN dédié aux avalanches de Savoie (1922), ni même dans les archives RTM. En revanche, il est fait mention d'une avalanche ayant détruit le hameau du Lavancher, face à La Thuile, au début du XVIIIème siècle. Ce hameau était pourtant plus petit que La Thuile et sa destruction plus ancienne.

Outre une erreur de report de l'enquêteur, il n'est pas exclu que les témoins de l'époque (aujourd'hui décédés pour la plupart) aient confondu une possible avalanche très ancienne ayant coupé en deux La Thuile avant 1733 (voir ci-dessus) avec une autre avalanche plus modeste qui s'est produite à deux reprises en 1888 et 1909 à moins de 200 m au sud du hameau, et ce jusqu'à l'Isère. Cette dernière (site EPA n°17 – emprise CLPA n°3) est datée par le brigadier des Eaux et Forêts au 18 mars 1888 : « Une avalanche serait descendue à 170 m de la dernière maison de La Thuile, dans la direction de Tignes. (...) Boch et son fils ont été entraînés jusqu'à deux mètres près de l'Isère ». L'avalanche est partie 50 m en amont de l'actuelle RD 902. Le journal « Le Patriote » du 19/03/1888 relate aussi cet événement.

Si l'on se reporte à la carte de localisation des sites EPA disponible au début du XXème siècle (cf. fig. II-4), on constate que les sites n°17 (La Thuile) et n°19 (Bon Conseil) étaient proches et quasi en prolongement l'un de l'autre. Un lien aurait donc pu être établi à tort entre eux.

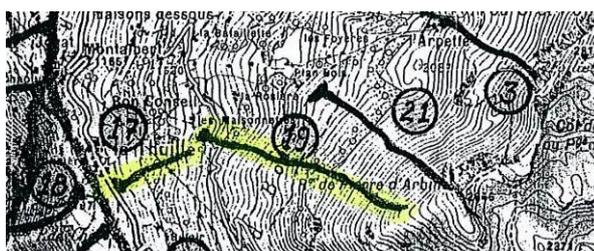


Figure II-4 : Extrait de la carte de localisation des sites EPA au début XXème. Source : ONF.

Autre élément permettant de mettre en doute une extension de l'avalanche de Bon Conseil jusqu'à La Thuile au début du XXème siècle : la photo aérienne de 1948 (cf. fig. II-5). Une avalanche capable d'atteindre l'Isère en traversant La Thuile aurait laissé dans le couloir boisé présent entre Les Maisonnettes et La Thuile une cicatrice visible pendant des dizaines d'années. Or sur la photo de 1948, on ne relève aucune anomalie dans ce boisement.

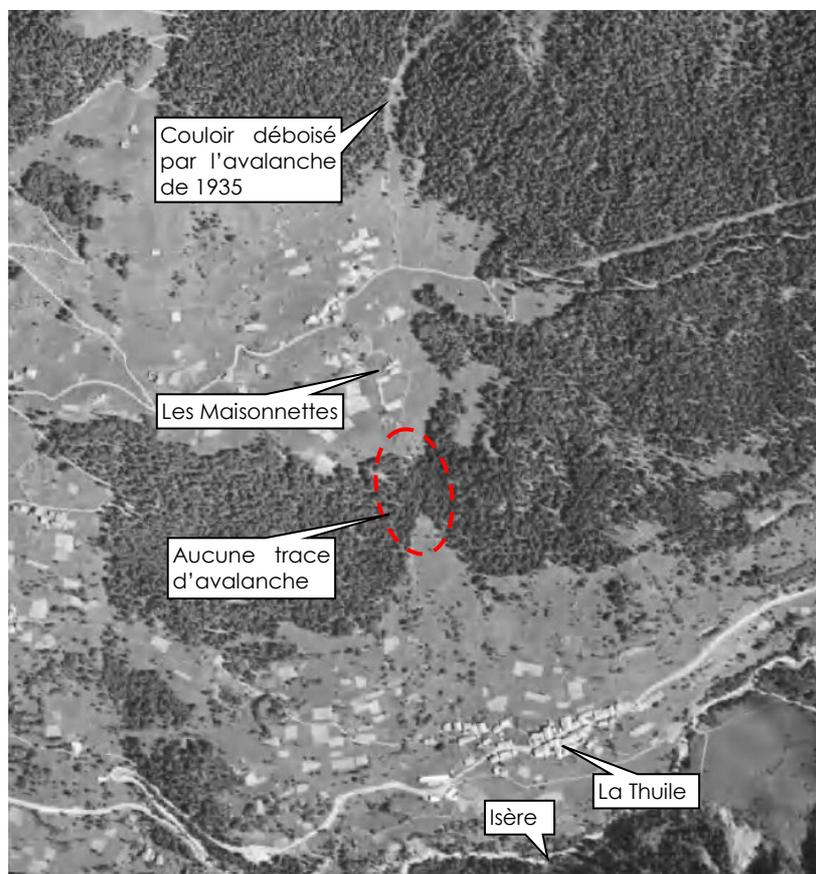


Figure II-5 : Photo aérienne de 1948. Source : Geoportail.

Entre 1985 et 1999, aucun nouveau témoignage n'a été archivé à notre connaissance sur une possible avalanche à La Thuile.

Lors de l'enquête réalisée pour l'établissement du PPRN en 1999, Joseph EMPEREUR, habitant de La Thuile alors âgé de 84 ans, signalait que son père lui avait parlé d'une avalanche qui serait descendue avant 1900 sur La Thuile, faisant quelques dégâts aux maisons, dont l'ancienne mercerie reconvertie en gîte (située en limite de la bande non bâtie). Cette mercerie possède un débord de façade qui pourrait faire penser à une protection contre l'avalanche. Mais les habitants nous expliquèrent qu'il s'agissait en fait d'une protection contre les congères se formant sur le toit de la cave (cf. fig. II-6). Une autre dame de La Thuile, du même âge et parfaitement lucide, affirma en 1999 ne pas avoir entendu parler d'avalanche à La Thuile. Elle précisa que l'avalanche de Bon Conseil s'arrêtait bien plus haut, sur un replat vers Les Maisonnettes.

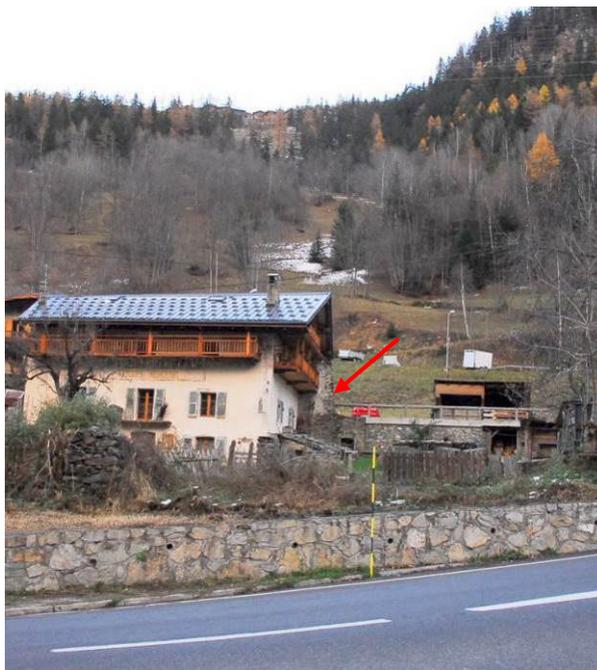


Figure II-6 : Ancienne mercerie de La Thuile, avec son débord de façade, dans l'axe du couloir de Bon Conseil. Source : RTM 2014.

Lors d'une nouvelle enquête réalisée par le Cemagref en 2005, pour la mise à jour décennale de la CLPA, la fiche signalétique de l'avalanche de Bon Conseil a été corrigée sur la base de l'historique affiché dans le PPRN de 2003. L'avalanche signalée sur la Thuile a été resituée à la fin du XIX^{ème} siècle, comme pouvait le faire penser le témoignage de Joseph EMPEREUR (voir ci-dessus). En revanche, lors de cette enquête, aucun nouveau témoignage n'est venu confirmer un tel événement.

De nouveaux témoignages ont par-contre été recueillis début 2015, dans le cadre de la présente étude. La plupart des personnes interrogées ont effectivement entendu parler d'une avalanche qui aurait coupé La Thuile en deux, ce qui expliquerait la bande restée non bâtie au centre du hameau, mais personne n'a pu nous donner de précisions, tant sur la date de l'événement que sur son emprise et les dégâts causés. C'était « il y a très longtemps », comme l'évoquaient déjà les grands parents de certains témoins qui auraient plus de 110 ans aujourd'hui.

Les habitants de La Thuile se demandent d'ailleurs s'il ne s'agirait pas d'une légende transmise de génération en génération. Certains mettent en doute cet événement, précisant qu'aucune ruine ou vieille pierre n'a été retrouvée sur la bande non bâtie. Ils ajoutent que le bâtiment situé le plus dans l'axe du couloir (la mercerie) existe depuis plus de 300 ans et qu'il n'a jamais été renforcé ou aveuglé côté amont. Cette affirmation est confirmée par la mappe sarde et nos observations. Aucun de ces témoignages ne vient donc contredire le fait que si avalanche il y a eu, elle serait antérieure à 1733.

L'analyse topographique du couloir en amont de La Thuile permet même de s'interroger sur la capacité d'une avalanche, aussi ancienne soit elle, à détruire des maisons dans l'axe de la bande restée non bâtie. L'aléa avalanche tracé dans le PPRN est à notre avis plus cohérent en terme d'emprise que la CLPA de 1985 (cf. fig. I-4). Or cet aléa ne s'aligne pas sur la bande non bâtie mais se trouve décalé vers le nord, sur une zone urbanisée de très longue date (cf. fig. II-7). La trajectoire probable d'une avalanche sortant du couloir de Bon Conseil ne permet donc pas d'expliquer les dégâts imputés à cette même avalanche au sein de La Thuile.

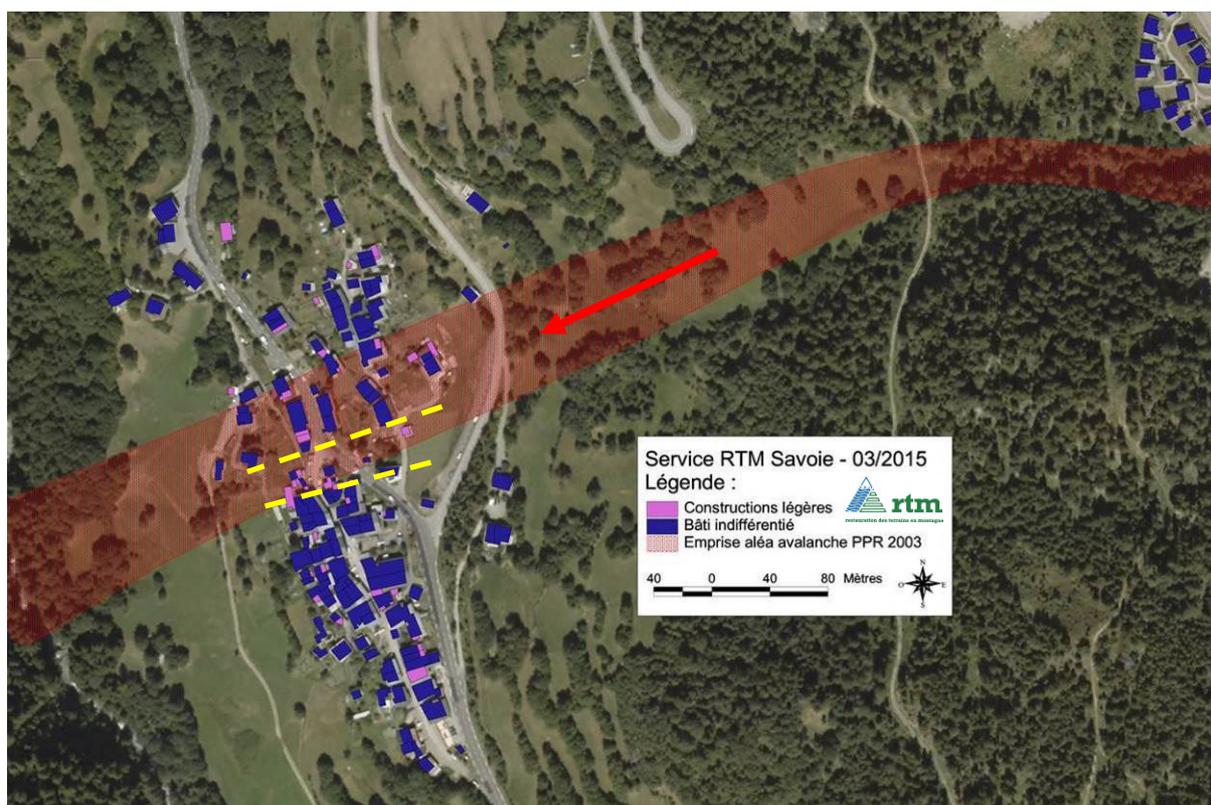


Figure II-7 : Emprise de l'aléa avalanche du PPRN de 2003 sur La Thuile, comparé à l'axe resté non bâti (en jaune). Source : RTM 2015 – sur orthophoto 2009 de l'IGN.

Enfin, après réexamen, plusieurs replats marqués en amont et sur La Thuile semblent en mesure d'arrêter une éventuelle avalanche, aussi rare soit elle, bien avant l'Isère (cf. fig. II-8 et II-9).



Figure II-8 : vue de La Thuile depuis l'amont. Noter le large replat sur lequel est installé le hameau. Source : RTM 2015.

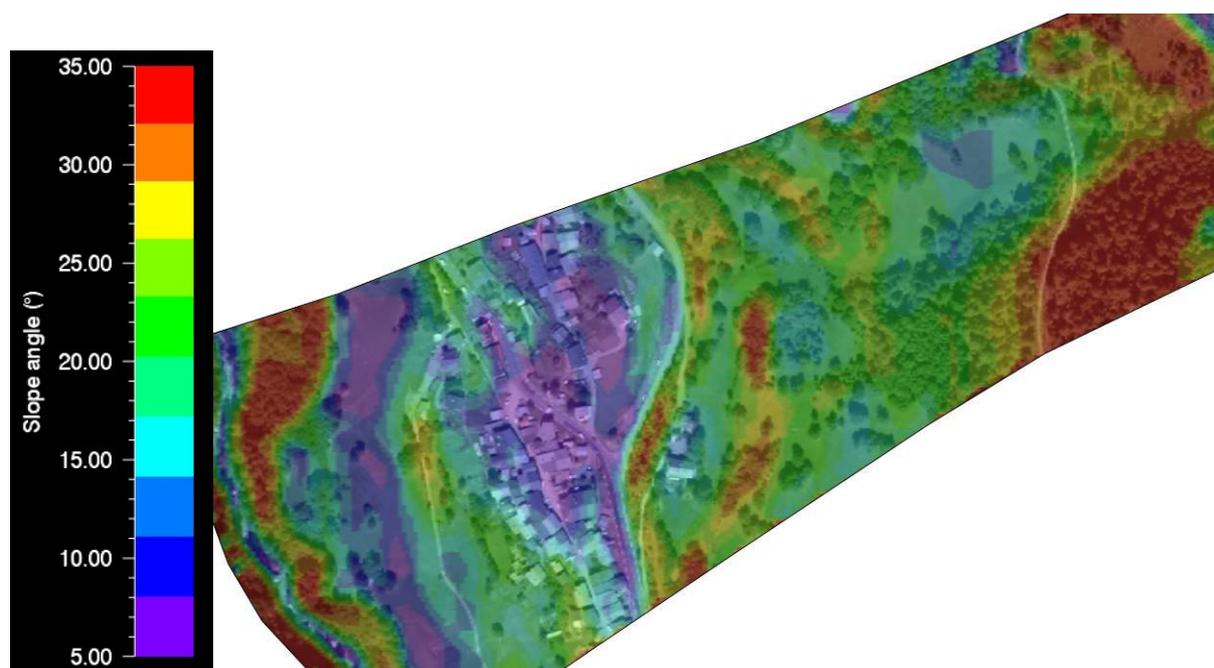


Figure II-9 : carte des pentes sur La Thuile. Noter le large replat < 8° sur le hameau. Source : RTM 2015.

II.2.1.b Conclusion

Tous ces éléments nous conduisent à fortement remettre en cause le tracé de la CLPA sur La Thuile et même à remettre en cause la possibilité d'une avalanche sur ce hameau. Nous ne pouvons complètement exclure un événement destructeur antérieur à 1733 mais ce scénario apparaît, à ce stade de l'étude, suffisamment exceptionnel et peu probable aujourd'hui pour ne pas être pris en compte en matière d'urbanisme.

Reste la possibilité d'une avalanche rare venant se déposer sur le replat en partie haute de La Thuile, sans causer de dégât significatif. Toutefois ce scénario n'est pas celui décrit par les habitants et la littérature.

La modélisation numérique en 2D de l'avalanche centennale et de l'avalanche tricentennale devrait nous permettre de confirmer ou d'infirmer cette analyse.

II.2.2 Bon Conseil – Les Maisonnettes (emprise CLPA n°2)

II.2.2.a Analyse des données

Sur le plateau de Bon Conseil dominant La Thuile, les données historiques sur les avalanches sont plus précises et fiables que sur La Thuile, bien qu'il s'agisse du même couloir.

L'EPA mentionne pour la première fois cette avalanche le 2 mars 1935 (site n°19 – Bon Conseil). Son point de départ est noté vers 2300 m (sous le rocher de Pierre d'Arbine) et son point d'arrivée vers 1560 m (à hauteur du hameau de Bon Conseil). Elle emporte 40 m³ de bois en forêt communale du Grand Bois. Son dépôt en zone d'arrêt est évalué à 80 m de large pour 2 m d'épaisseur. Il menace mais n'atteint aucun chalet des Maisonnettes.

Cette avalanche a fait l'objet d'un relevé cartographique par l'agent forestier de l'époque. Son emprise a pu être précisée en zone boisée grâce à la photo aérienne de 1948 sur laquelle, 13 ans après, le chablis est encore bien visible (cf. fig. II-10). Nous avons reporté le contour de l'événement sur orthophoto 2009, pour avoir le bâti actuel (cf. fig. II-11). Il s'avère que la cote d'arrêt est plutôt de 1520 m.

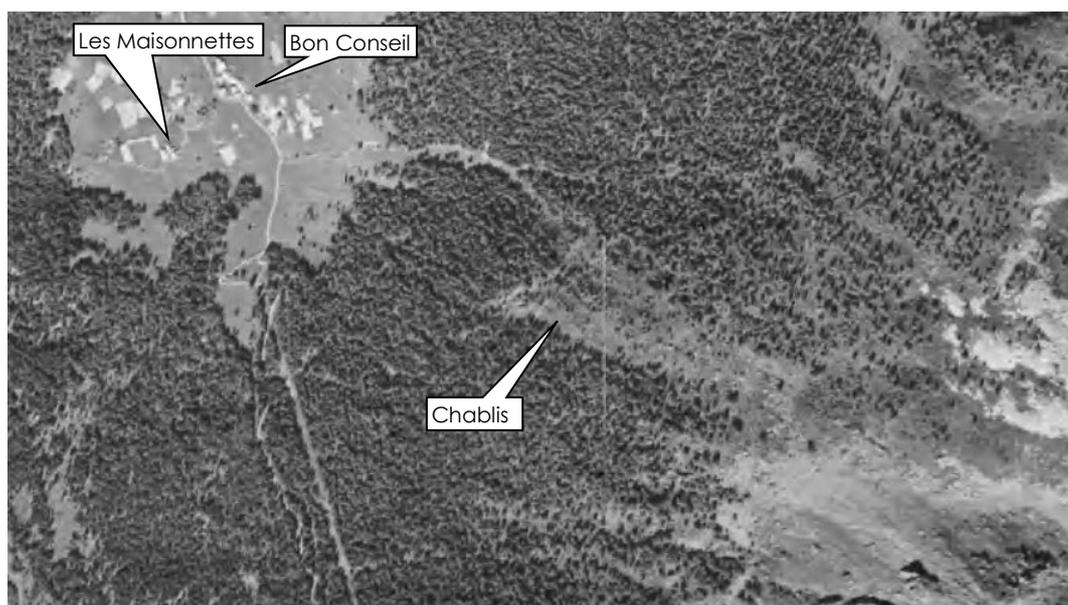


Figure II-10 : photo aérienne de 1948, avec les traces de l'avalanche de 1935. Source : Géoportail.

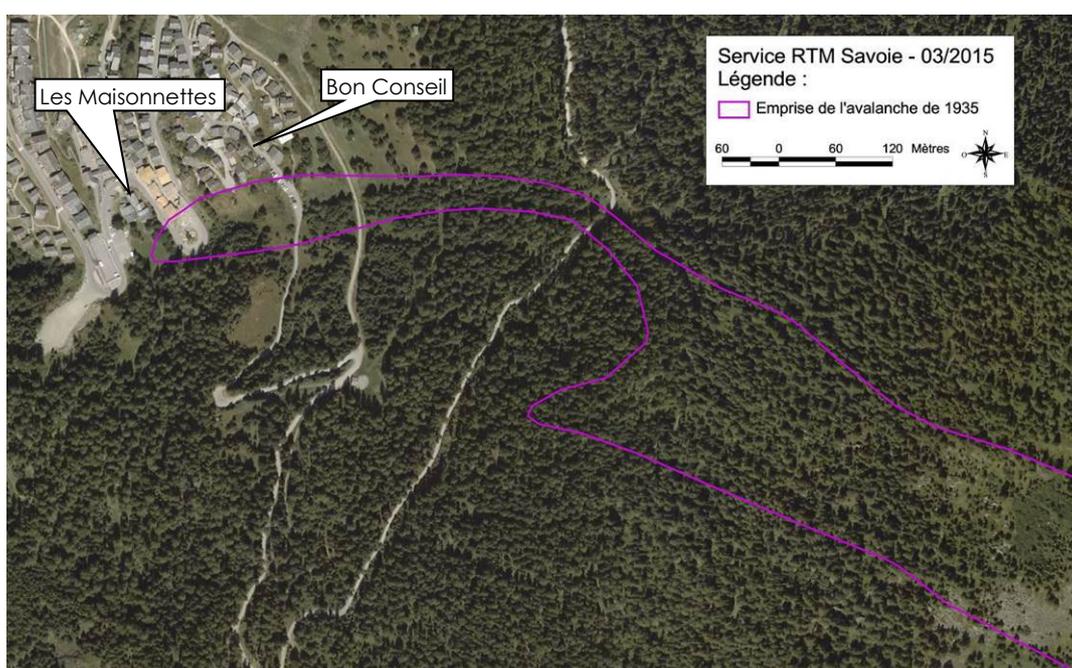


Figure II-11 : emprise de l'avalanche de 1935 sur orthophoto IGN de 2009. Source : RTM 2015.

Après 1935, aucune avalanche n'a plus été relevée dans l'EPA pour le site n°2. Sur les photos aériennes ultérieures, les traces du chablis de 1935 s'estompent peu à peu, ce qui laisse penser qu'aucune avalanche majeure n'est plus redescendue en direction de Bon Conseil.

Pourtant, certaines personnes interrogées se souviennent que l'avalanche était encore redescendue plusieurs fois dans les années 60 – 70 jusqu'en sortie de forêt (vers 1650 m), voir un peu plus bas. Elle avait déposé des souches de mélèzes depuis la piste du Creux de Formeyan. (J. Borrel, D. Pascual).

Jeff Limbarinu, alors chef des pistes, se souvient aussi d'une énorme avalanche poudreuse qu'il avait déclenchée à l'hélico en 1990 ou 1991, après une grosse chute de neige sans vent

durant la nuit précédente (120 cm). En plaçant une charge sous la croix (Pte de Fogliettaz), la cassure s'était étendue à tout le versant, y compris jusqu'au rocher de Pierre d'Arbine. Une langue d'avalanche était alors sortie de la forêt côté Bon Conseil, sans parvenir toutefois jusqu'à la route (arrêt vers 1650 m).

Depuis la mise en place de déclenchements préventifs avec le CATEX de Pierre d'Arbine à partir de 1991, aucune avalanche n'a plus dépassé le replat à 1900 m.

Ces témoignages confirment que la plus grosse avalanche avérée au cours du siècle passé dans le couloir de Bon Conseil date du **2 mars 1935** (cote d'arrêt à 1520 m). Elle est redescendue plusieurs fois jusque vers 1650 m dans les décennies suivantes, sans jamais atteindre l'ampleur de celle partie naturellement en 1935.

II.2.2.b Conclusion

Pour le couloir de Bon Conseil, nous retiendrons comme plus forte avalanche connue celle du 2 mars 1935 (cf. fig. II-11 ci-avant). Si elle se reproduisait à l'identique, son dépôt frôlerait plusieurs chalets de la station en rive droite.

II.2.3 Raffort – Le Villard (emprise CLPA n°54)

II.2.3.a Analyse des données

Dans la littérature régionale, il est fait mention sur Le Villard de « *la grande avalanche qui part de la Croix-Foglietta (2917 m) et peut atteindre l'Isère, ce qu'elle fit en 1904. En 1970, elle s'arrêta à seulement 200 m de la route de Val d'Isère.* » (COANUS, 1995).

Dans l'EPA, pour le site n°3 dit de Rochebrune – Filluel (couloir de l'Arpettaz), une avalanche est bien signalée le **11 février 1904**, mais sans indication des points de départ et d'arrivée. L'observateur précise qu'elle n'a pas fait de dégât. Cela n'est pas étonnant puisque au début du XXème siècle, il n'y avait aucun bâtiment ni véritable boisement sur la trajectoire de l'avalanche (cf. fig. II-12). Seule l'extrémité nord de Raffort aurait pu être touchée, ce qui n'a apparemment pas été le cas.

Une avalanche « exceptionnelle » ayant atteint l'Isère (970 m) est également signalée en 1904 par Ulysse Bozonnet, lors de l'enquête CLPA de 1973. Il ne parle pas non plus de dégât. Sur ses indications, l'enquêteur trace alors une longue langue d'avalanche jusqu'à l'Isère, passant entre Le Villard et le cimetière (cf. fig. II-13). L'emprise, qui s'appuie aussi sur les traces encore fraîches de l'avalanche de 1970, porte alors le n°33. Cette fameuse avalanche de 1904 est restée dans la mémoire de la plupart des anciens habitants consultés en 2015 comme la plus forte avalanche connue sur le secteur.

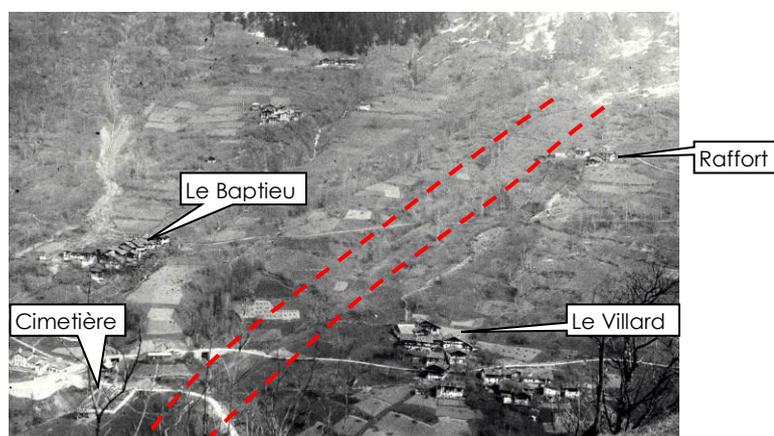
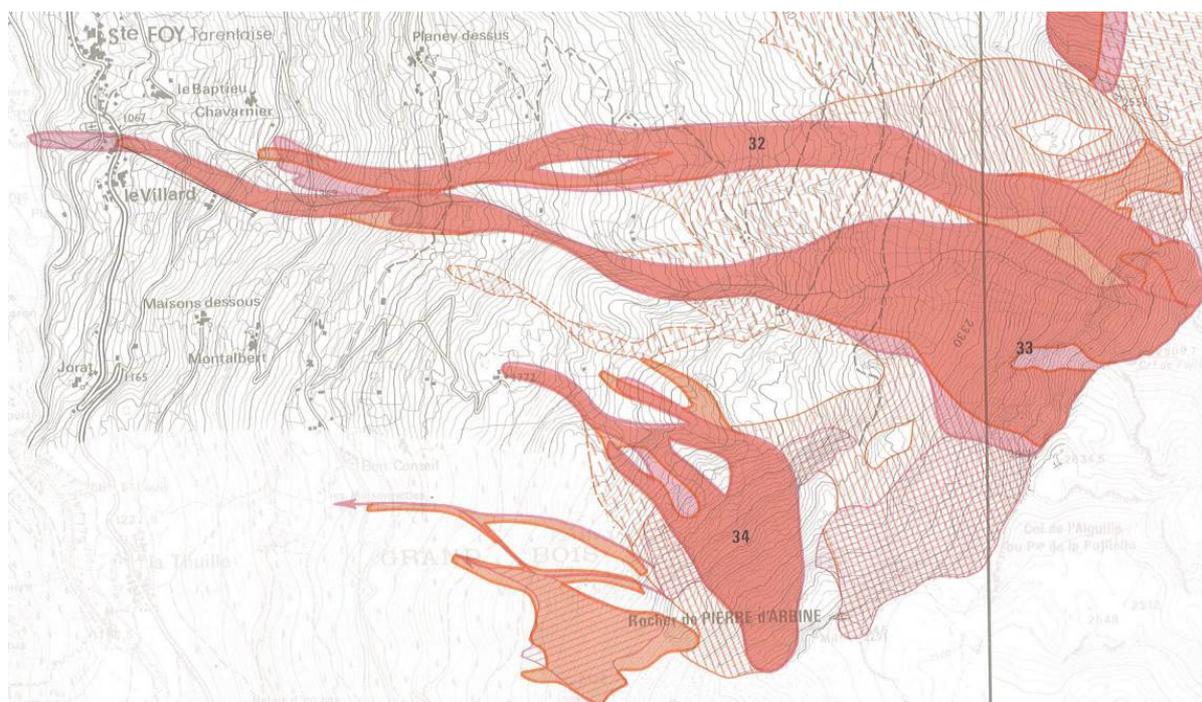


Figure II-12 : photo prise vers 1930, avec les limites approximatives de l'avalanche de 1904. Source : RTM.



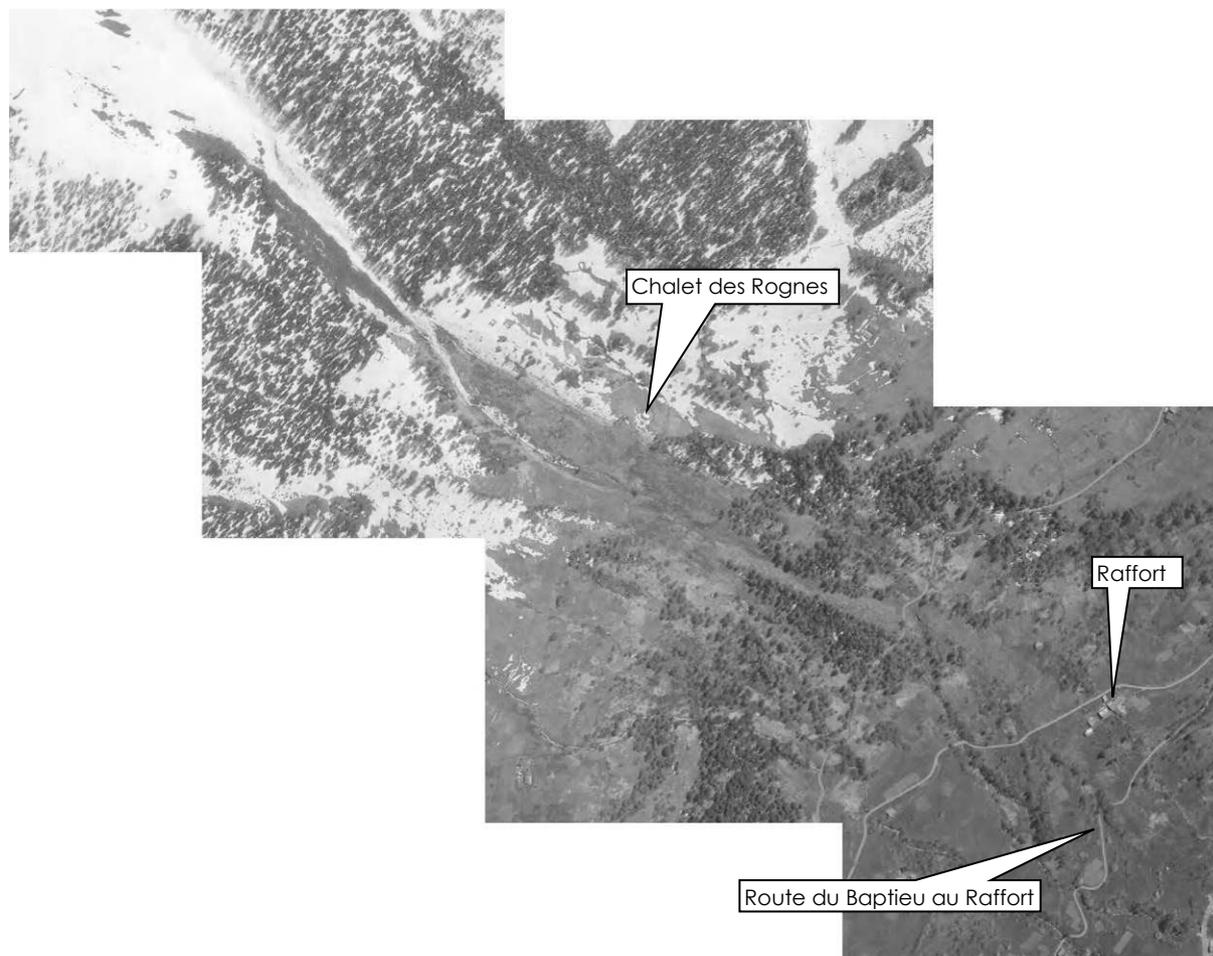


Figure II-14 : photo aérienne de 1970, avec les traces de l'avalanche du 12 février. Source : Géoportail.

Pour plus de lisibilité, nous avons géo-référencé ces photos et reporté les limites observables de l'avalanche de 1970 sur orthophoto de 2009 (cf. fig. II-15).

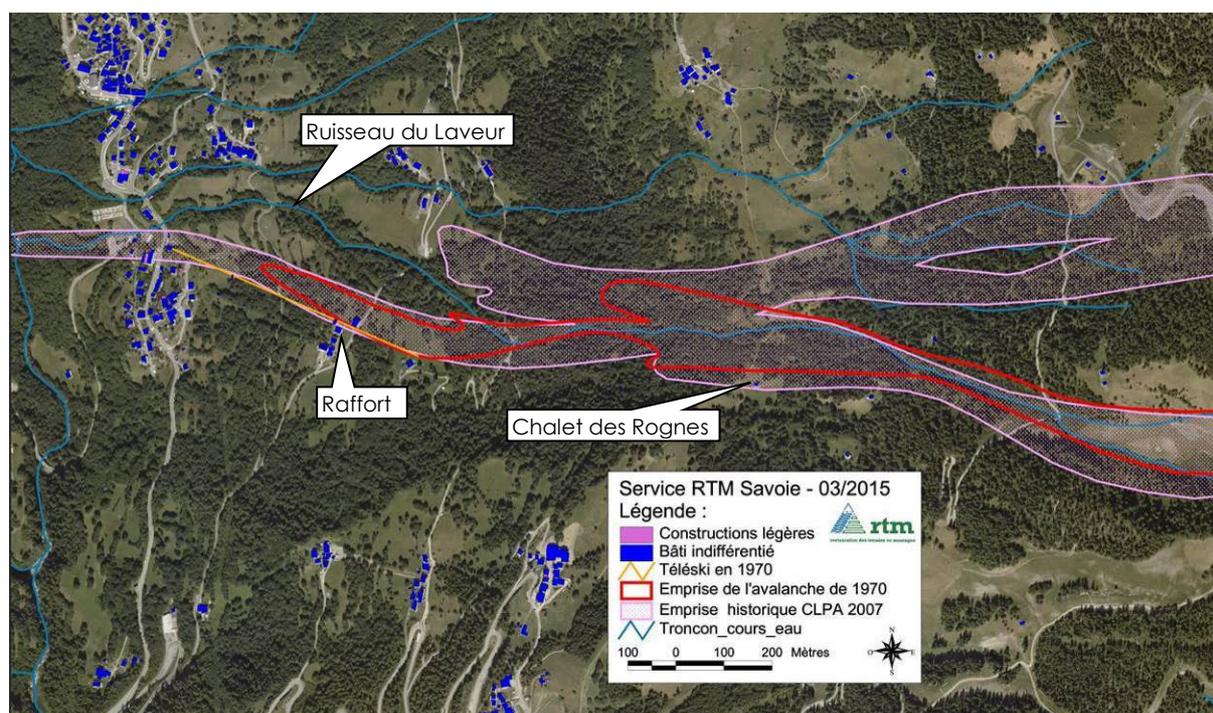


Figure II-15 : report des limites observables de l'avalanche de 1970 sur orthophoto de 2009, avec pour comparaison l'emprise historique de la CLPA de 2007. Source : RTM 2015.

On notera que l'avalanche de 1970 a épargné le chalet des Rognes en rive gauche (ce qui ne semble pas avoir été le cas de l'avalanche de 1965) mais qu'elle est passée sur l'emplacement d'un chalet – atelier mécanique construit ces dernières années en extrémité nord de Raffort. L'emprise de l'avalanche est ici confirmée par le télésiège qui passait sur cet emplacement en 1970 (cf. fig. II-14) et qui a été endommagé d'après Jean Borrel. Ce nouveau chalet n'est pas protégé contre l'avalanche, car situé hors zone avalancheuse au PPRN.

L'avalanche de 1970, probablement comme celle de 1904 à en croire la CLPA, n'a pas suivi le lit du ruisseau du Laveur jusqu'au bout. L'écoulement est sorti du talweg vers 1350 m d'altitude, pour s'épandre en rive gauche dans les prés dominant Raffort.

A noter aussi qu'en 1990 ou 1991, lorsque Jeff Limbarinu a déclenché l'avalanche de la croix – Fogliettaz à l'hélico (voir II.2.2.a ci-dessus), l'énorme poudreuse qui s'est étendue à tout le versant s'est déposée dans le couloir de l'Arpettaz jusqu'au chemin reliant Planay dessus à La Batailletaz, soit à 1600 m d'altitude.

C'est la dernière fois que l'avalanche a été observée aussi bas. Depuis la mise en place des déclenchements préventifs par CATEX en 1991, aucune avalanche n'a dépassé 1800 m d'altitude (bas des pistes).

II.2.3.b Conclusion

Cette chronique des avalanches de l'Arpettaz montre que le phénomène historique majeur, sur le bas de versant, est l'avalanche de 1904 (extension jusqu'à l'Isère). En terme d'emprises latérales, les limites de la CLPA semblent assez justes, puisqu'elles englobent l'événement de 1970 (cf. fig. II-15) et le dépassent localement. Il faut en effet garder à l'esprit que l'avalanche de 1904 était plus puissante que celle de 1970.

III Définition du scénario de référence centennal

Maintenant que les emprises des phénomènes historiques majeurs ont pu être précisées au niveau des hameaux étudiés, reste à en évaluer l'intensité prévisible et à confirmer qu'ils peuvent toujours être considérés comme scénario de référence pour le zonage du PPRN, notamment vis-à-vis des évolutions observées dans les couloirs (déclenchements préventifs des zones de départ depuis le domaine skiable, reboisement naturel des couloirs, damage des pistes, nouveaux terrassements...).

Pour répondre à cette question le plus objectivement possible, il est maintenant nécessaire de simuler l'avalanche centennale sur chacun des couloirs étudiés, en intégrant tous les éléments actuels qui peuvent avoir une influence sur l'écoulement et qui pourraient être pris en compte dans l'affichage des risques du PPRN.

En premier lieu, il s'agit de déterminer les zones de départ pouvant aujourd'hui générer une avalanche majeure, ainsi que les épaisseurs de neige mobilisables pour une occurrence centennale.

III.1 Zones de départ et épaisseurs de neige mobilisables

III.1.1 Choix des zones de départ de référence

La CLPA offre une analyse déjà précise des zones de départ, lesquelles sont délimitées par photo-interprétation et/ou par recueil de témoignages. En complément, nous avons-nous même réalisé une analyse stéréoscopique du relief, à partir de couples de photos aériennes de l'IGN.

Nous avons aussi consacré deux visites de terrain à la compréhension du fonctionnement des couloirs de Bon Conseil et de l'Arpettaz. La première visite a eu lieu le 20 novembre 2014, pour parcourir à pied les zones de départ et identifier les trajectoires. La seconde visite a eu lieu à ski le 22 janvier 2015, en présence de Christian Blanc-Gonnet, directeur d'exploitation, et Nathalie Grand, responsable des pistes. Il s'agissait cette fois de faire un point avec ces responsables sur le Plan d'Intervention et de Déclenchement des Avalanches pour la sécurité du domaine skiable et de la station de Bon Conseil. Leurs observations d'avalanches ces 15 dernières années (déclenchements par CATEX, grenadage manuel, départs accidentel) ont permis d'enrichir notre analyse.

Enfin, nous avons pu compléter nos observations et photos des couloirs en participant le 5 décembre 2014 au vol hélico organisé par la société Sintegra pour le levé topographique du versant de Sainte Foy Tse.

Une des particularités des avalanches étudiées tient au fait qu'elles menacent le cœur du domaine skiable de Ste Foy Tse (avalanche de l'Arpettaz) et plus rarement quelques chalets et voiries de la station de ski de Ste Foy - Bon Conseil (avalanche de Bon Conseil) (cf. fig. III-1).

Deux études nivologiques de sécurisation du domaine skiable ont été réalisées par le Cemagref en 1989 et par le cabinet Toraval en 2003, respectivement lors de la création du domaine et lors de son extension en direction du col du Granier. Elles préconisaient une solution de déclenchement préventif par Câble Transporteur d'Explosifs (CATEX). Cette stratégie a été suivie. Deux CATEX ont donc été installés en 1990 : le CATEX de Pierre d'Arbine pour sécuriser le sud du domaine et la station ; le CATEX de l'Aiguille pour sécuriser le nord du domaine. Ces deux CATEX ont été entièrement rénovés en 2003 et 2004. Un nouveau CATEX, celui de Fogliettaz, a été installé en 2006 pour sécuriser les pistes desservies par le TS de La Marquise.

Ces CATEX ont été précisément localisés à partir de levés de terrain et du PIDA (cf. fig. III-2).

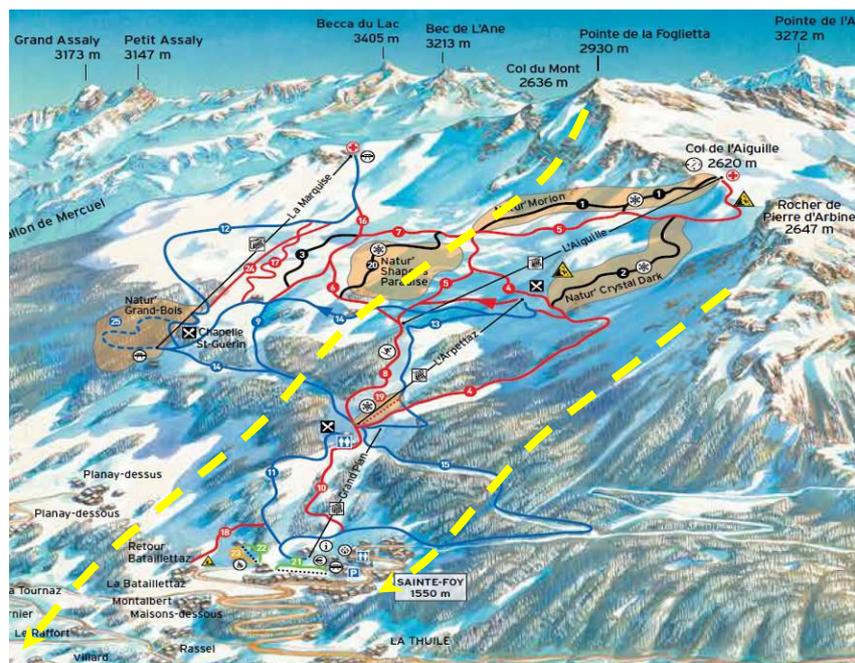


Figure III-1 : tracé des trajectoires des avalanches de l'Arpettaz et de Bon Conseil sur le plan des pistes de la station de Ste Foy Tse. Source : Office du Tourisme de Ste Foy Tse 2014.

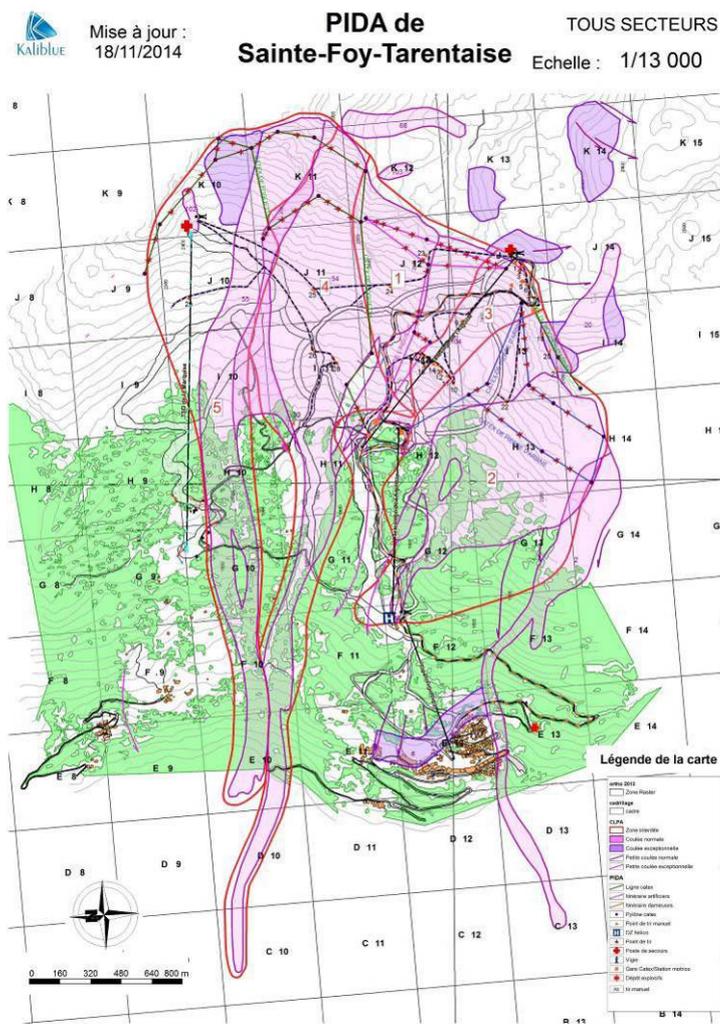


Figure III-2 : Carte générale du PIDA de Ste Foy Tse. Source : Service des Pistes 2014.

Le report précis de ces CATEX sur la CLPA de 2007 (cf. fig. III-3) montre que l'ensemble des zones de départ du versant, incluant les avalanches de l'Arpettaz (n°54) et de Bon Conseil (n°2), est traité par déclenchement préventif. Des points de tirs supplémentaires sont prévus par grenadage manuel depuis le télésiège de l'Aiguille et depuis les crêtes.

Ce point est important : le déclenchement régulier des avalanches permet de purger les zones de départ avant que de grosses accumulations ne se forment. Les écoulements sont donc moins volumineux, moins étendus et s'arrêtent bien plus haut que par le passé (généralement entre 2200 et 2100 m dans le couloir de l'Arpettaz).

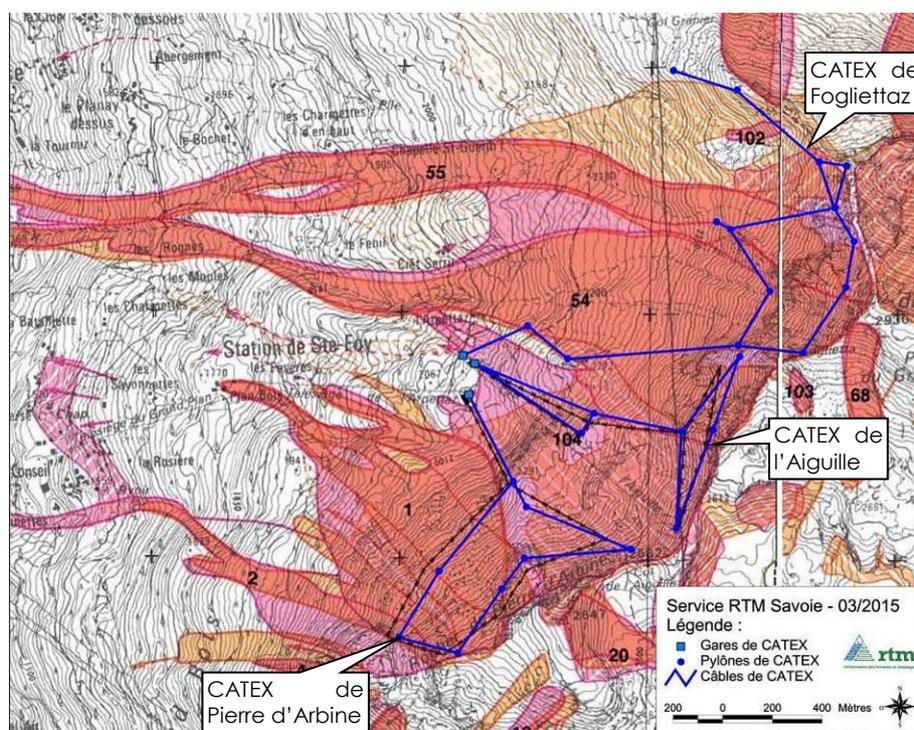


Figure III-3 : implantation des CATEX en service sur la CLPA de 2007. Source : RTM 2015.

III.1.2 Avalanche de Bon Conseil

La zone de départ correspondant à la trajectoire de l'avalanche de Bon Conseil (emprise CLPA n°2) est assez restreinte. Elle couvre une surface totale d'environ 6 hectares, en versant nord à nord-ouest (cf. fig. III-4). Le panneau principal, susceptible de fournir le plus gros volume de neige, se limite à une petite combe inclinée à 38° et parsemée de gros blocs d'éboulis (cf. fig. III-5). Les autres panneaux pouvant être entraînés par rupture de plaque ont des inclinaisons variables, de 30 à 45° (cf. fig. III-6). Ils s'étagent entre 2400 et 2050 m d'altitude. Cette pente n'est pas facilement accessible en hors-piste et reste donc peu skiée.

Elle est en revanche survolée par le CATEX de Pierre d'Arbine, avec un ou deux points de tirs prévus au PIDA (cf. fig. III-7). L'avalanche ne menace pas le domaine skiable mais peut atteindre, de façon exceptionnelle, la frange sud de la station de Bon Conseil. Les tirs préventifs y sont donc réalisés moins souvent qu'ailleurs, seulement lorsque le cumul de neige fraîche atteint 50 cm, voir 70 cm en l'absence de couche fragile.

La fiabilité du CATEX est très bonne (modèle de 2003 entièrement automatique) mais cette stratégie, aussi efficace soit-elle, ne permet pas d'exclure un départ d'avalanche sur plus de 70 – 80 cm d'épaisseur. En cas de chutes de neige exceptionnelles, il est à craindre que le CATEX ne puisse être mis en service pendant plusieurs jours. Le déclenchement préventif ne sera donc pas retenu comme facteur limitant le volume d'une avalanche centennale.

De l'avis des responsables des Pistes, une épaisseur de cassure de 1,5 m n'est pas improbable dans la combe supérieure à 38°. Moyennée sur l'ensemble de la zone de départ, l'épaisseur mobilisable devrait se limiter à 1 m. Cette valeur est cohérente avec celle que l'on peut obtenir par la méthode suisse de prédétermination de l'épaisseur mobilisable (d_0), pour une avalanche centennale. A partir des calculs de Météo France (cf. fig. III-8), on peut retenir un cumul de neige fraîche en 3 jours d'environ 2 m à l'altitude de la zone de départ, pour une période de retour de 100 ans. On obtient à peu près la même valeur centennale à partir des relevés de cumuls de neige sur le poste de Tignes, à 2080 m d'altitude. Une fois appliqué le facteur de pente (purges d'autant plus fréquentes que la pente est forte), l'épaisseur mobilisable moyenne sort à 1 m. Ce versant étant plutôt exposé au vent (principaux apports de neige par flux de nord-ouest), on peut considérer que le vent ne majore pas cette valeur.

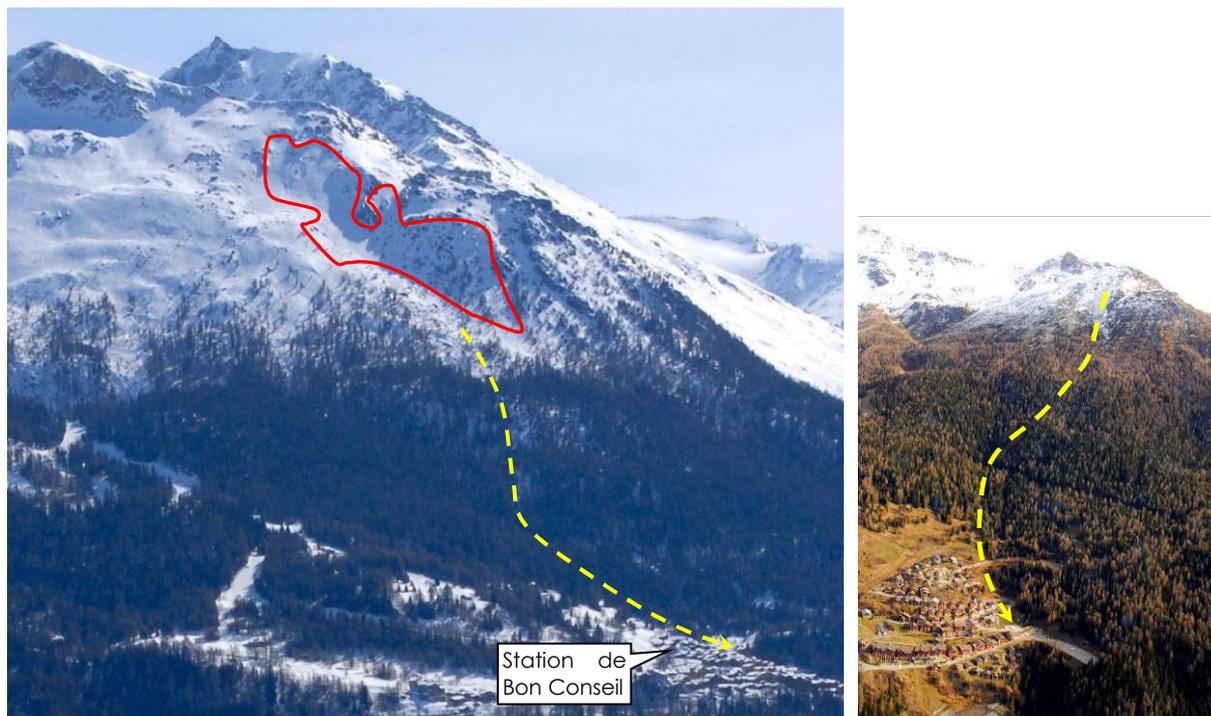


Figure III-4 : zone de départ de référence pour l'avalanche de Bon Conseil et trajectoire principale de l'écoulement jusqu'à la station. Source : RTM 2015.



Figure III-5 : zone de départ de l'avalanche de Bon Conseil, vue depuis son sommet. Noter le pylône de CATEX en rive gauche. Source : RTM 2015.

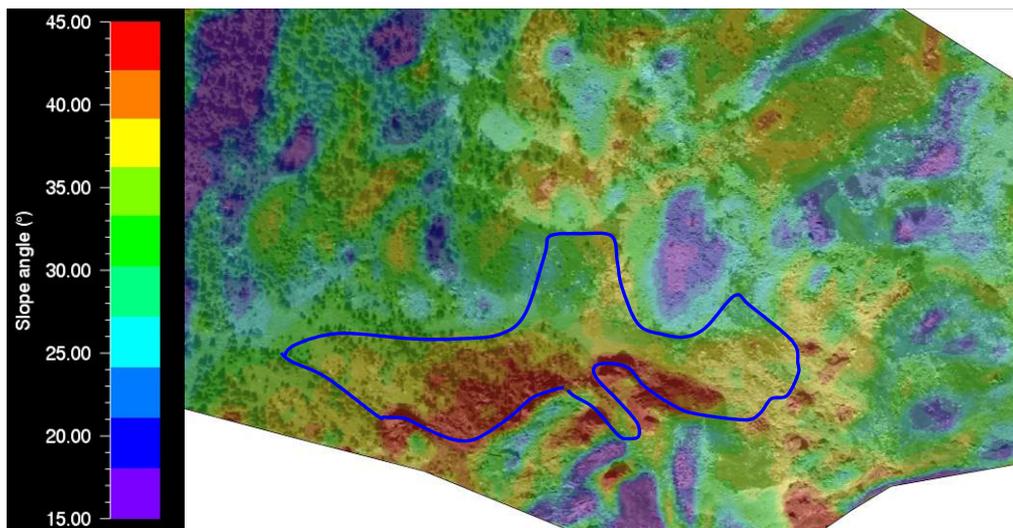


Figure III-6 : zone de départ retenue pour Bon Conseil, reportée sur la carte des pentes. Sce : RTM 2015.

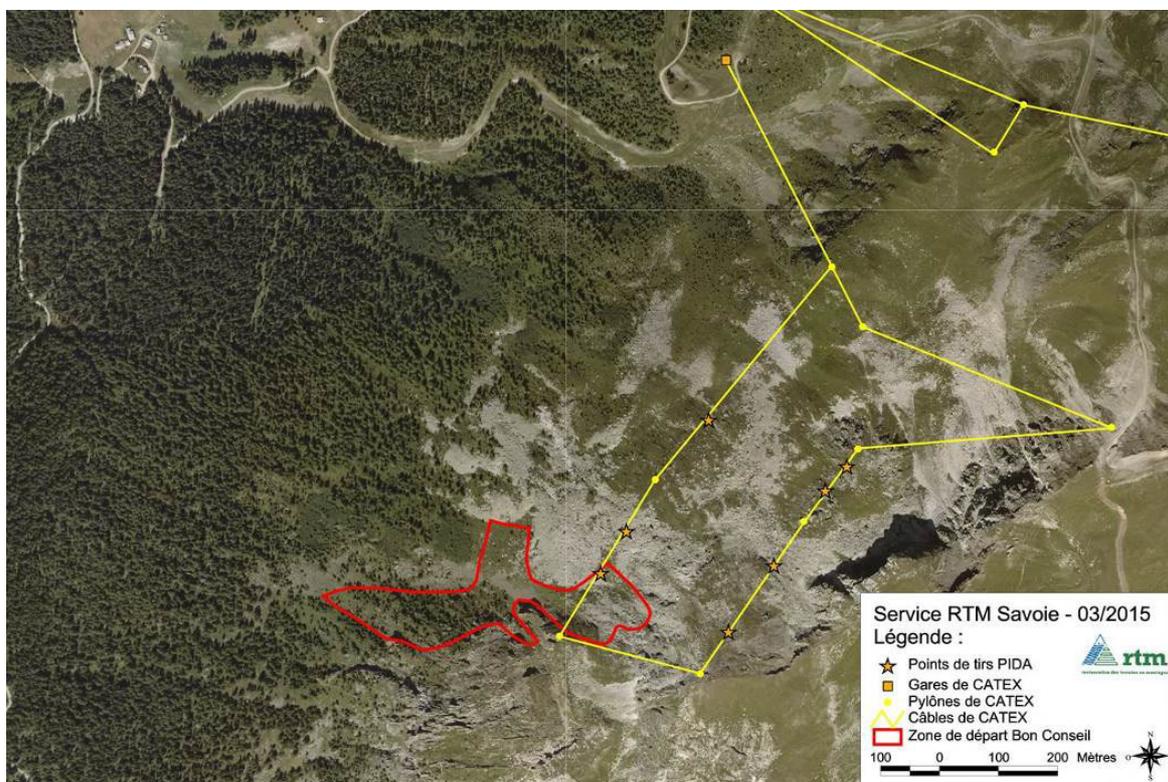


Figure III-7 : zone de départ retenue pour Bon Conseil, sur orthophoto 2009, avec implantation du CATEX de Pierre d'Arbine et points de tirs prévus au PIDA sur ce secteur. Source : RTM 2015.

Extrait des résultats de l'étude de prédétermination des précipitations hivernales

Consultez également le guide technique et les résultats complets au format brut, téléchargeables sur

N° du poste : 73 232 001
 Commune : Sainte-Foy-Tarentaise
 Massif PRA : Haute-Tarentaise
 Coordonnées en Lambert 2 étendu
 Coord. X : 954400
 Coord. Y : 2077800
 Altitude : 1230
 Première saison : 1949-1950
 Dernière saison : 2004-2005
 Nbre saisons utilisées : 51

Quantile moyen (valeur la plus probable sachant les données) :

		Durée de retour (ans)						
		2	5	10	20	30	50	100
Nbre jours de pluie cumulés	1j	45	57,8	66,8	75,8	81,2	88,1	97,8
	2j	64,4	83	96,1	109,3	117,1	127,2	141,3
	3j	76,4	98,3	113,2	127,9	136,6	147,5	162,6

Figure III-8 : valeur moyenne de cumul de précipitations hivernales sur 3 jours pour une période de retour centennale, au poste de mesure de Ste Foy Tse (1230 m). Sce : www.avalanches.fr

III.1.3 Avalanche de l'Arpettaz

L'avalanche de l'Arpettaz prend naissance sous le sommet de la Fogliettaz : soit sur la vire supérieure suspendue au-dessus d'une barre rocheuse (entre 2800 et 2500 m), soit dans les éboulis situés au pied de cette barre (entre 2560 et 2400 m - cf. fig. III-9). Le panneau amont présente une superficie de 12 hectares. Il est incliné en moyenne à 38° et exposé à l'ouest. Le panneau inférieur, de 10 hectares, est de même exposition mais de pente inférieure (35°). En cas d'instabilité marquée du manteau neigeux, la mobilisation de la pente amont, par rupture de plaque, entraîne la pente aval. La pente aval peut aussi partir en avalanche de glissement (rupture de plaque de reptation). Par précaution, nous retiendrons l'association des deux comme zone de départ de référence.

Les deux panneaux, rarement skiés, sont survolés par les câbles des CATEX de l'Aiguille et de Fogliettaz. Le PIDA prévoit 5 points de tirs sur le panneau amont et 5 points de tirs sur le panneau inférieur (cf. fig. III-12). Dominant directement le domaine skiable, l'ensemble de ces pentes est régulièrement purgé, dès que le cumul de neige fraîche atteint 30 cm.

Toutefois, pour les mêmes raisons que sur le secteur de Bon Conseil, cette stratégie de prévention n'est pas retenue pour limiter le volume de l'avalanche centennale.

D'après les responsables des pistes, le panneau supérieur est un peu soufflé en régime dominant de nord-ouest mais il peut aussi se charger de manière assez homogène, jusqu'à disparition des rochers. Il se corniche et se charge davantage par retour d'est (flux de sud-est). Toutefois, les apports de neige fraîche sont alors assez limités, la frontière italienne située 5 km plus loin faisant écran.

Par simplification et par analogie avec la zone de départ de Bon Conseil située à peine moins haut, nous retiendrons une épaisseur moyenne mobilisable de 1 m sur l'ensemble des deux panneaux, en conditions centennales.

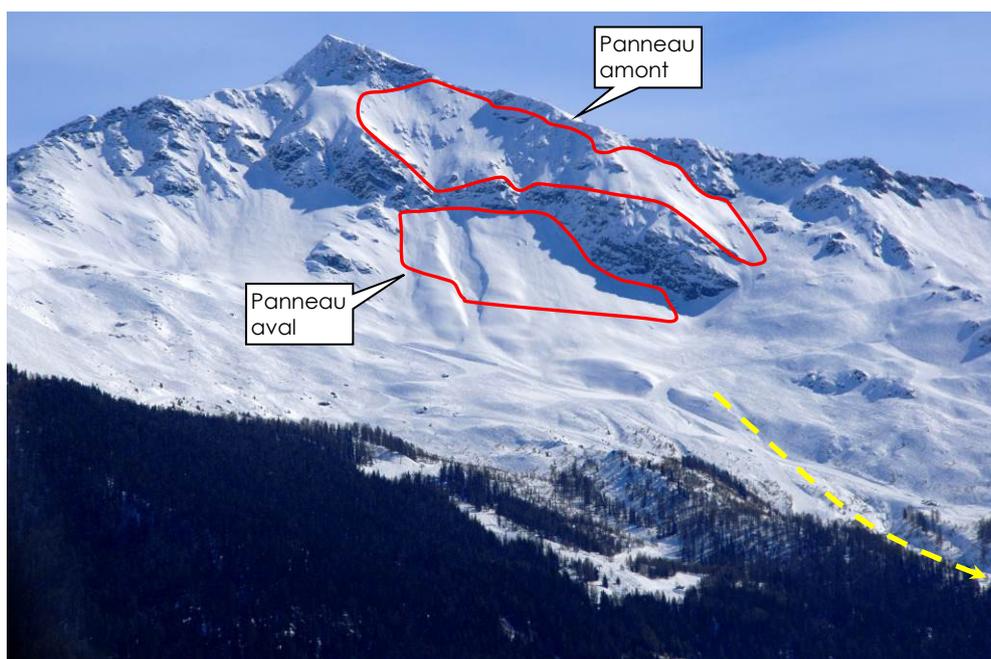


Figure III-9 : zones de départ de référence pour l'avalanche de l'Arpettaz. Source : RTM.

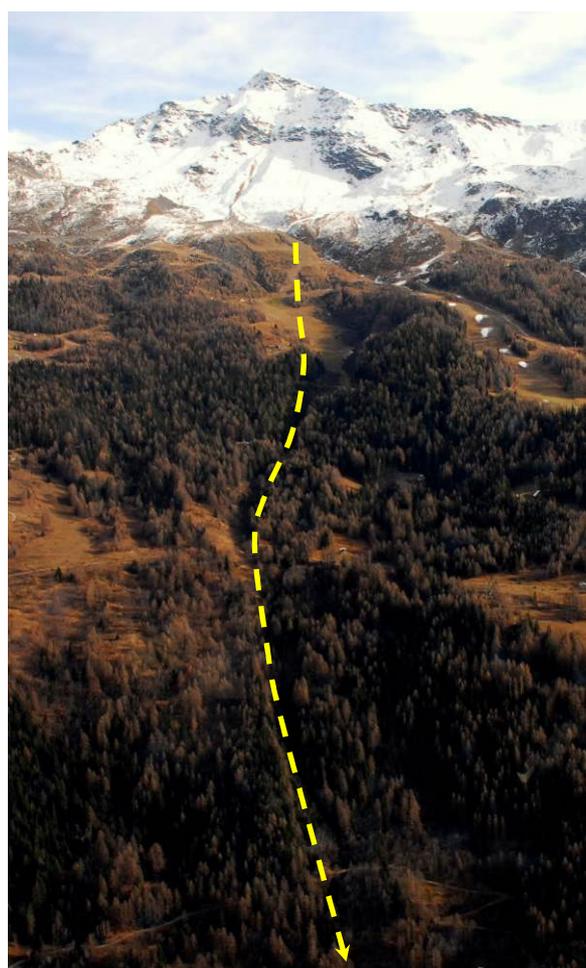


Figure III-10 : trajectoire principale de l'avalanche de l'Arpettaz en direction du Villard. Source : RTM.

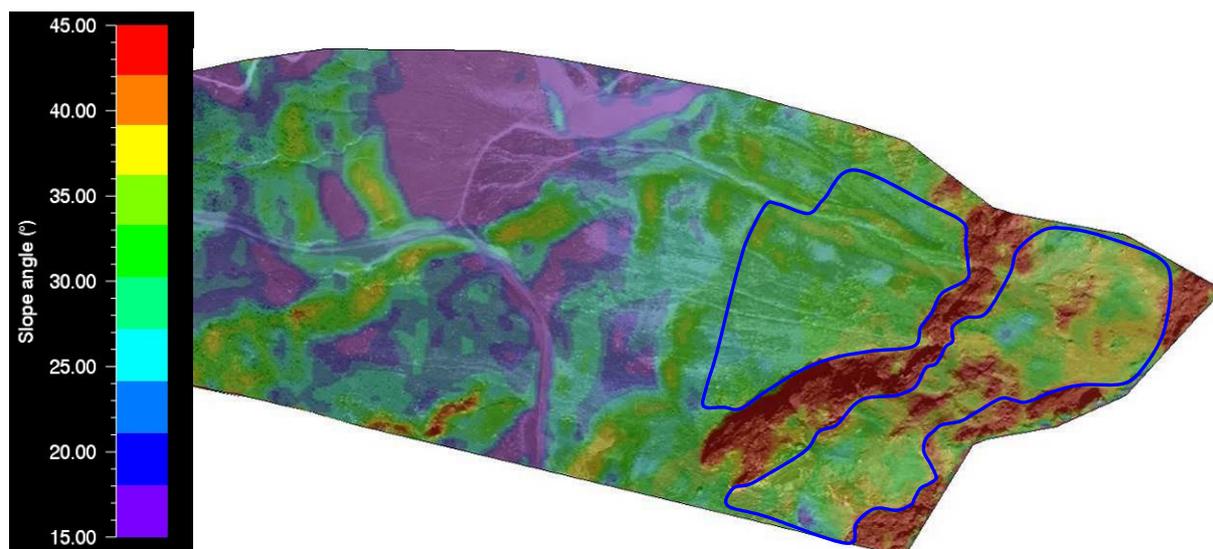


Figure III-11 : zones de départ retenues pour l'Arpettaz, reportées sur la carte des pentes. Sce : RTM 2015.

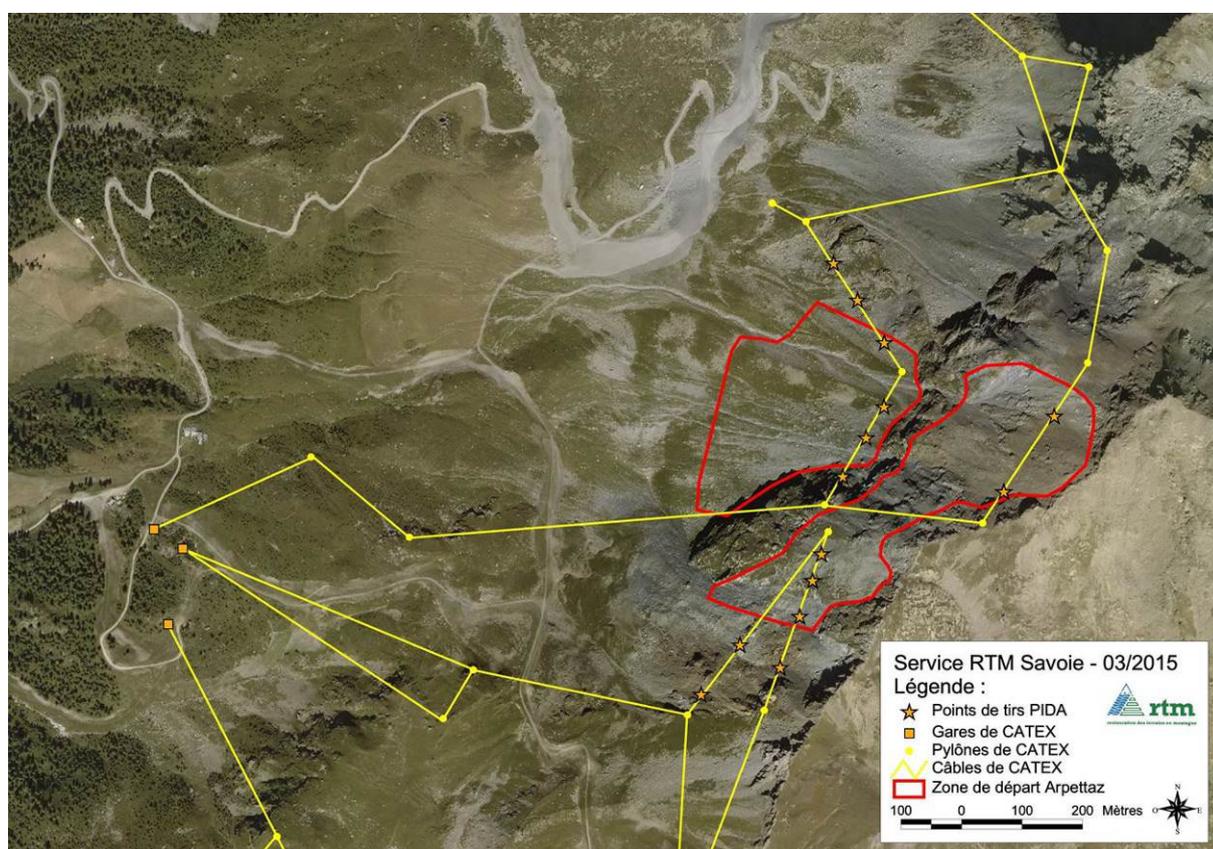


Figure III-12 : zones de départ retenues pour l'Arpettaz, sur orthophoto 2009, avec implantation des CATEX de l'Aiguille et de Fogliettaz et points de tirs prévus au PIDA sur ces pentes. Source : RTM 2015.

III.2 Prise en compte des zones boisées et des terrassements

La moitié inférieure des couloirs de Bon Conseil et de l'Arpettaz est aujourd'hui assez largement boisée. Il faut y distinguer les boisements anciens, peu ou pas touchés par les anciennes avalanches, les reboisements naturels des zones dévastées par les avalanches et les taillis de feuillus dans les lits des ruisseaux, en pied de versant.

Cette végétation peut avoir un rôle de dissipation d'énergie sur l'écoulement de neige. Le SLF, dans le manuel d'utilisation de Ramms, nous propose de prendre en compte la forêt dans nos simulations. C'est ce que nous avons fait, là où elle était mûre et influente. Nous avons délimité ces zones (cf. fig. III-13) et les avons injectées dans le modèle, en y associant des coefficients de frottement un peu plus limitants pour la vitesse de l'écoulement.

En revanche, cette végétation ne peut être prise en compte dans le modèle numérique de terrain (MNT) nécessaire aux simulations. Le plan d'écoulement de l'avalanche reste bien le sol et non la cime des arbres. Il a donc fallu trouver une technique de lever topographique capable de faire abstraction de la couverture végétale, y compris sur les zones de taillis dense en fond de couloir. Nous avons donc eu recours à un lever LIDAR hélicoptéré, dont la densité d'acquisition (plus de 8 points/m²) permet de distinguer nettement le sol des éléments en élévation.

Ce procédé a permis d'obtenir un MNT très précis (résolution métrique) et parfaitement à jour. Tous les terrassements actuels (pistes de ski, voirie, parking aériens) sont pris en compte.

En revanche, les bâtiments ont été volontairement « gommés » du MNT, comme les arbres, car ils ne sont pas censés résister à l'impact d'une avalanche et ne peuvent constituer un écran paravalanche fiable à l'échelle du siècle.

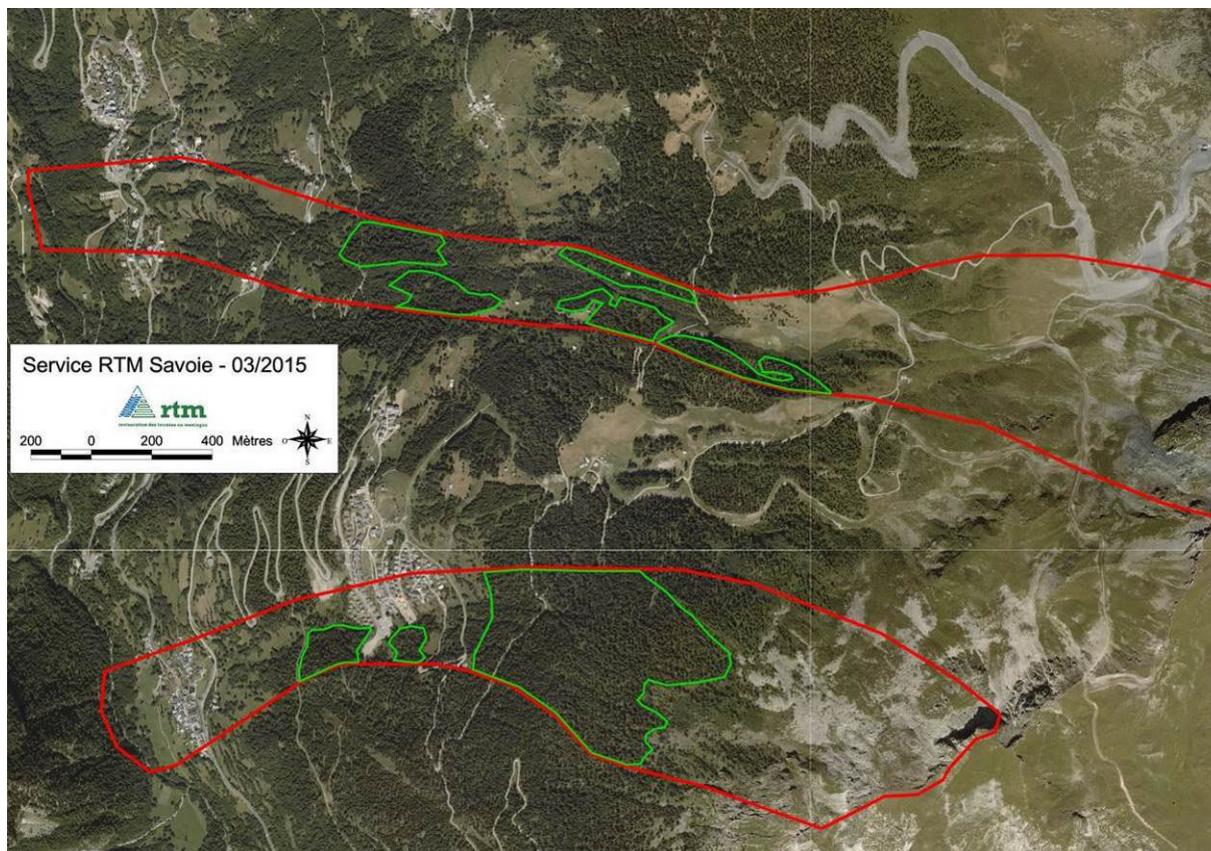


Figure III-13 : zones boisées retenues pour la simulation numérique, au sein du périmètre du MNT de chaque couloir d'avalanche. Réalisé à partir de l'orthophoto IGN 2009. Sce : RTM 2015.

III.3 Simulation numérique de l'avalanche centennale

Les modélisations numériques ont été réalisées avec le logiciel RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation) - version 1.6 de 2014. C'est un module de calcul bidimensionnel fonctionnant à partir d'un modèle numérique de terrain. Commercialisé depuis 2005 par le SLF de Davos (institut suisse pour l'étude de la neige et des avalanches) et régulièrement mis à jour depuis, il permet de simuler des avalanches coulantes de neige sèche ou humide dans les trois dimensions du terrain.

RAMMS utilise un modèle de type Voellmy (fluide frictionnel à densité constante), mettant en jeu un coefficient de frottement sec (μ) qui dépend surtout de la qualité et de l'épaisseur de neige en écoulement et un coefficient de frottement turbulent (ξ) qui dépend surtout de la rugosité du couloir. Le modèle a été calibré et validé sur des sites expérimentaux grandeur nature, comme la vallée de la Sionne dans le Valais suisse.

III.3.1 Avalanche de Bon Conseil

III.3.1.a Paramètres d'entrée retenus

Pour une parfaite traçabilité, tous les paramètres retenus sont présentés dans le tableau ci-dessous. Nous avons repris la zone de départ et l'épaisseur moyenne mobilisée définies ci-avant. Concernant les paramètres de frottement, nous avons suivi les préconisations du SLF pour une avalanche centennale, de taille intermédiaire entre moyenne et grosse.

Paramètres retenus pour simulation d'avalanche avec RAMMS v1.6	
Nom de l'avalanche :	Bon Conseil (n°2 CLPA)
Période de retour :	100 ans
Résolution du MNT :	Grille régulière au pas de 2 m
Zone de départ :	Voir tracé fig. III-7. Surface suivant la pente : 66 000 m ²
Epaisseur moyenne mobilisée :	1 m (voir calcul en III.1.2)
Volume mobilisé :	66 000 m ³ (taille moyenne à grosse)
Type de couloir :	Pentes ouvertes
Paramètres de frottement :	Variables : $\mu = 0,19$ au-dessus de 1500 m $0,20$ en dessous de 1500 m $\xi = 2700$ au-dessus de 1500 m 2300 en dessous de 1500 m
Prise en compte de la forêt :	Oui (voir fig. III-12) $\mu = 0,21$ / $\xi = 1000$
Masse volume de la neige en écoulement :	300 kg/m ³ (valeur moyenne par défaut)
Cohésion de la neige en écoulement :	50 Pa (valeur moyenne pour neige sèche)

Régime numérique :	2 nd ordre (calculs plus précis)
Critère d'arrêt du calcul :	Quantité de mouvement < 8% valeur max. (généralement entre 1 et 10 %)

III.3.1.b Résultats

Les coefficients de frottement retenus déterminent une avalanche de neige sèche, plutôt fluide et rapide. Malgré cela, l'avalanche s'arrête sur le large replat (<8°) en amont du parking couvert de Bon Conseil (cf. fig. III-14 à III-18). D'après notre simulation, l'avalanche centennale ne parvient donc pas à basculer dans le couloir boisé qui domine La Thuile et ne menace pas ce hameau.

L'emprise de l'avalanche simulée est par contre très proche de celle observée en 1935. Cela montre la qualité du modèle et cela confirme nos conclusions suite à l'analyse historique : l'avalanche de 1935 est très probablement la plus grosse avalanche connue depuis plus d'un siècle.

A noter qu'aucun bâtiment n'est réellement menacé par cette avalanche centennale : le mur amont du parking couvert pourrait être faiblement impacté mais il a été conçu, en conformité avec le PPRN, pour résister à une avalanche (façade amont aveugle renforcée à 30 kPa). Il constituera certainement un très bon ouvrage d'arrêt de l'avalanche centennale. Un chalet pourrait être frôlé en rive droite (cf. fig. III-15 et III-16) mais il ne possède pas d'ouvertures vulnérables sur ses façades exposées.

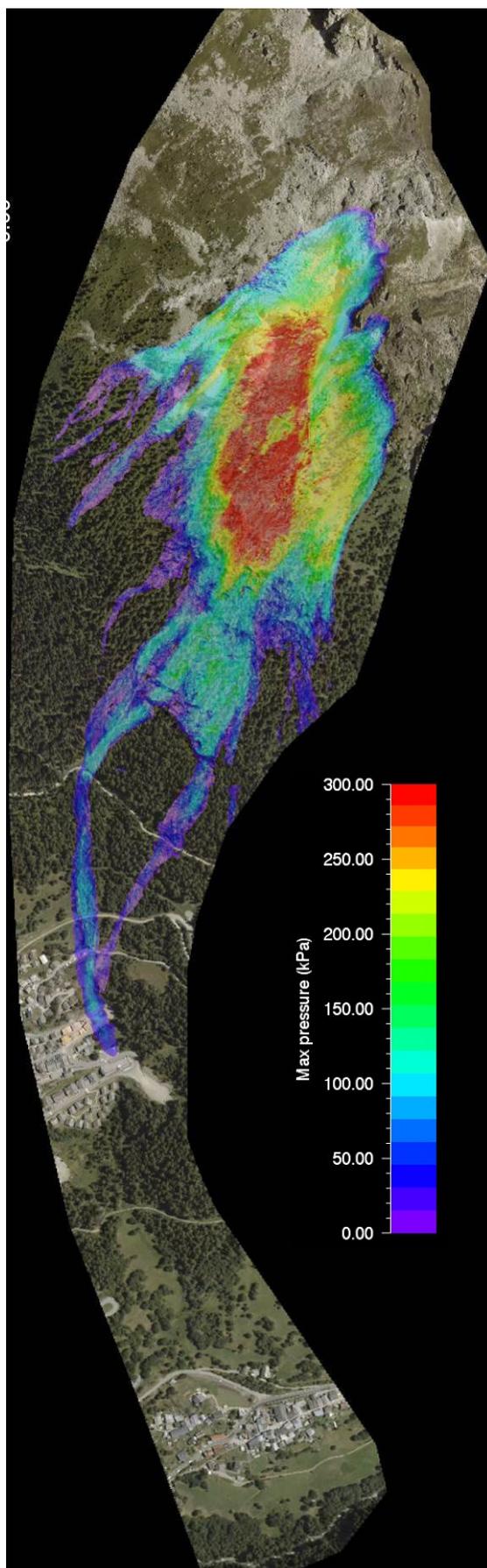


Figure III-14 : pressions d'impact obtenues avec Ramms pour l'avalanche centennale de Bon Conseil.
Source : RTM 2015.

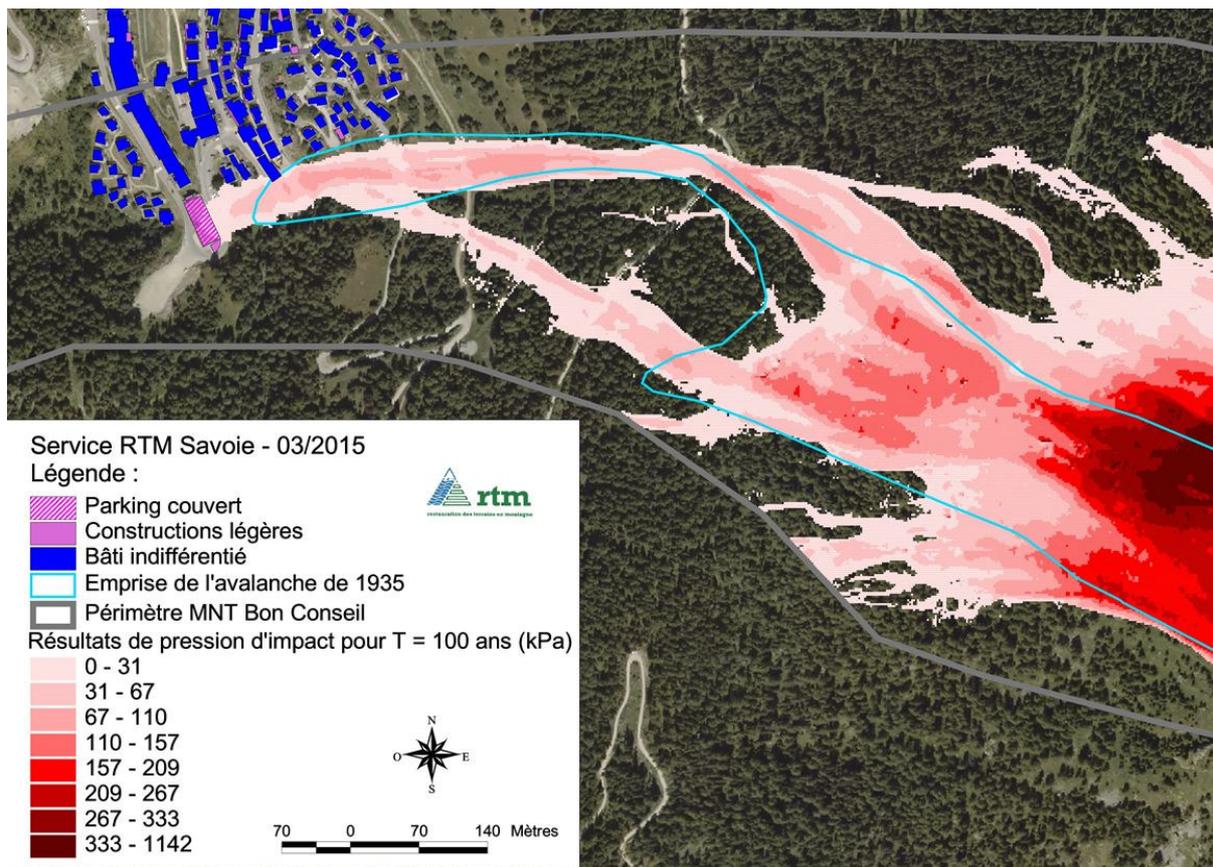


Figure III-15 : détail des pressions d'impact obtenues avec Ramms pour l'avalanche centennale de Bon Conseil, en comparaison de l'emprise de l'avalanche de 1935. Source : RTM 2015.



Figure III-16 : vue de la zone d'arrêt de l'avalanche centennale de Bon Conseil, depuis le parking couvert de la station vers l'amont. Source : RTM 2014.



Figure III-17 : vue de la zone d'arrêt de l'avalanche centennale de Bon Conseil, sur le replat en amont du parking couvert. Le mur n'est pas pris en compte dans la simulation mais sera probablement très efficace pour arrêter l'avalanche. Source : RTM 2014.

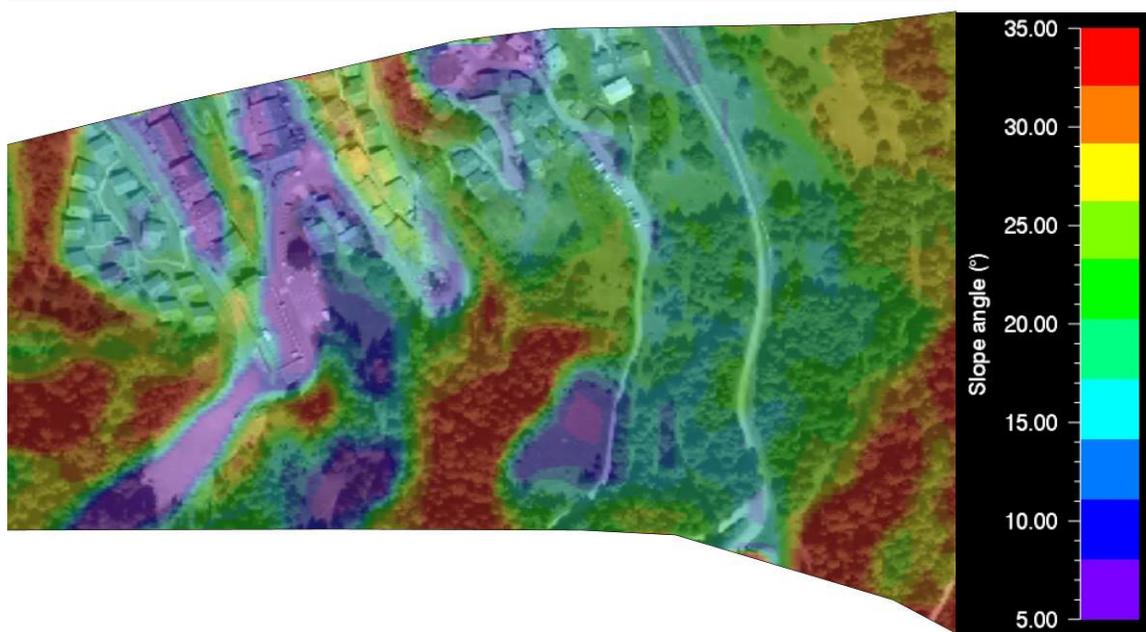


Figure III-18 : carte des pentes au niveau de la station et du parking couvert. Source : RTM 2015.

III.3.2 Avalanche de l'Arpettaz

III.3.2.a Paramètres d'entrée retenus

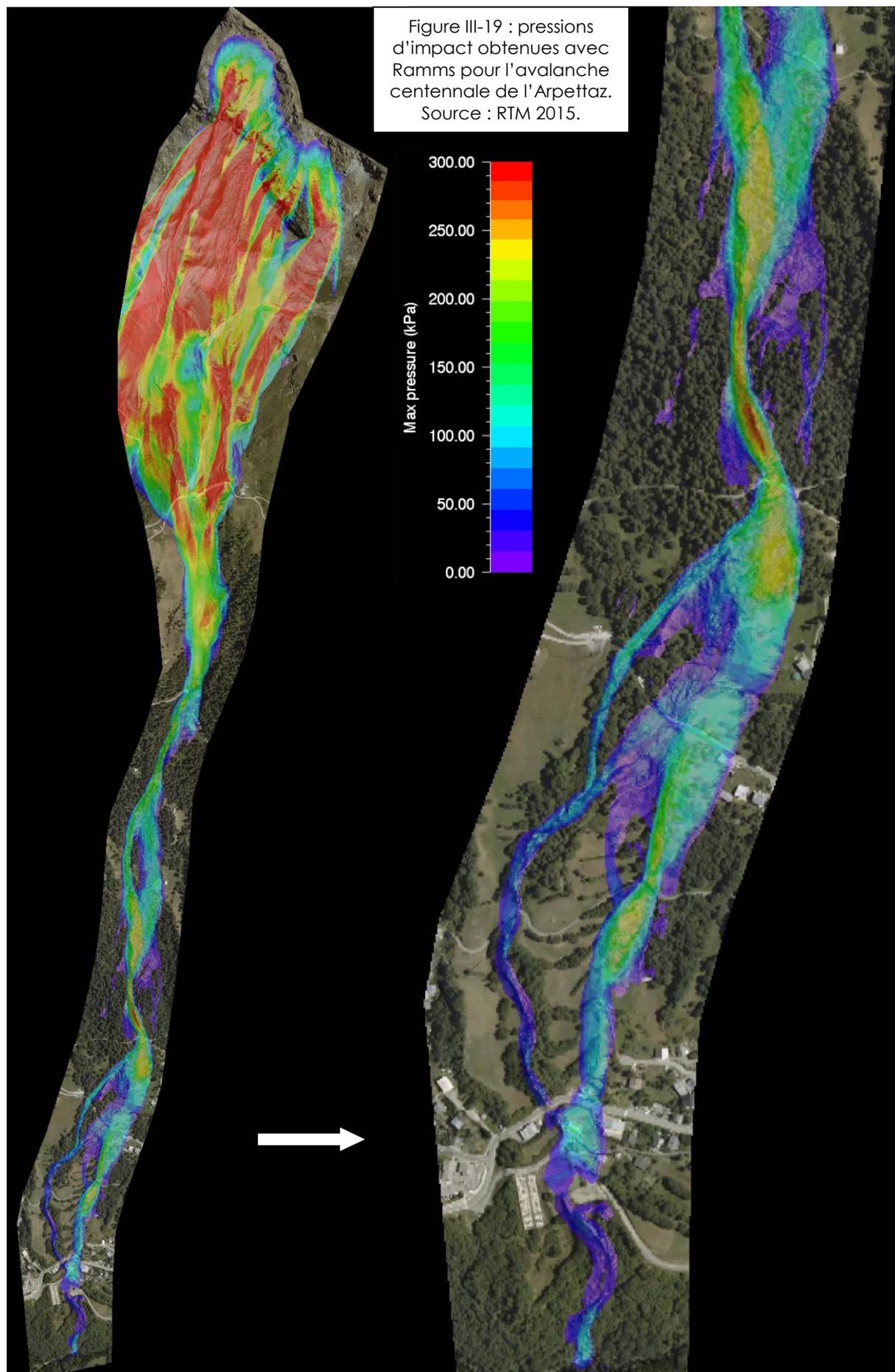
Nous avons repris la double zone de départ (déclenchement simultané avec le modèle) et l'épaisseur moyenne mobilisée définies ci-avant. Concernant les paramètres de frottement, nous avons suivi les préconisations du SLF pour une avalanche centennale de grosse taille.

Paramètres retenus pour simulation d'avalanche avec RAMMS v1.6	
Nom de l'avalanche :	Arpettaz (n°54 CLPA)
Période de retour :	100 ans
Résolution du MNT :	Grille régulière au pas de 2 m
Zone de départ :	2 panneaux (voir tracé fig. III-11) Surface totale suivant la pente : 220 000 m ²
Epaisseur moyenne mobilisée :	1 m sur chaque panneau (voir calcul en III.1.2)
Volume mobilisé :	220 000 m ³ (taille grosse)
Type de couloir :	Pentes ouvertes
Paramètres de frottement :	Variables : $\mu = 0,165$ au-dessus de 1500 m $0,18$ en dessous de 1500 m $\xi = 3000$ au-dessus de 1500 m 2500 en dessous de 1500 m
Prise en compte de la forêt :	Oui (voir fig. III-12) $\mu = 0,18$ au-dessus de 1500 m $0,20$ en dessous de 1500 m $\xi = 1000$
Masse volume de la neige en écoulement :	300 kg/m ³ (valeur moyenne par défaut)
Cohésion de la neige en écoulement :	50 Pa (valeur moyenne pour neige sèche)
Régime numérique :	2 nd ordre (calculs plus précis)
Critère d'arrêt du calcul :	Quantité de mouvement < 6% valeur max. (généralement entre 1 et 10 %)

III.3.2.b Résultats

Les coefficients de frottement retenus déterminent une avalanche de neige sèche, fluide et rapide. Elle se superpose quasi parfaitement avec l'emprise n°54 de la CLPA (cf. fig. III-19 et III-20). Cela conforte le tracé de la CLPA et confirme que l'avalanche de 1904, la plus grosse observée depuis plus d'un siècle, était probablement une avalanche centennale.

Seul écart : le modèle maintient une partie (mineure) de l'écoulement dans le ruisseau du Laveur jusqu'à la RD 902. Ce phénomène a pu se produire mais n'a pas été noté sur la CLPA.



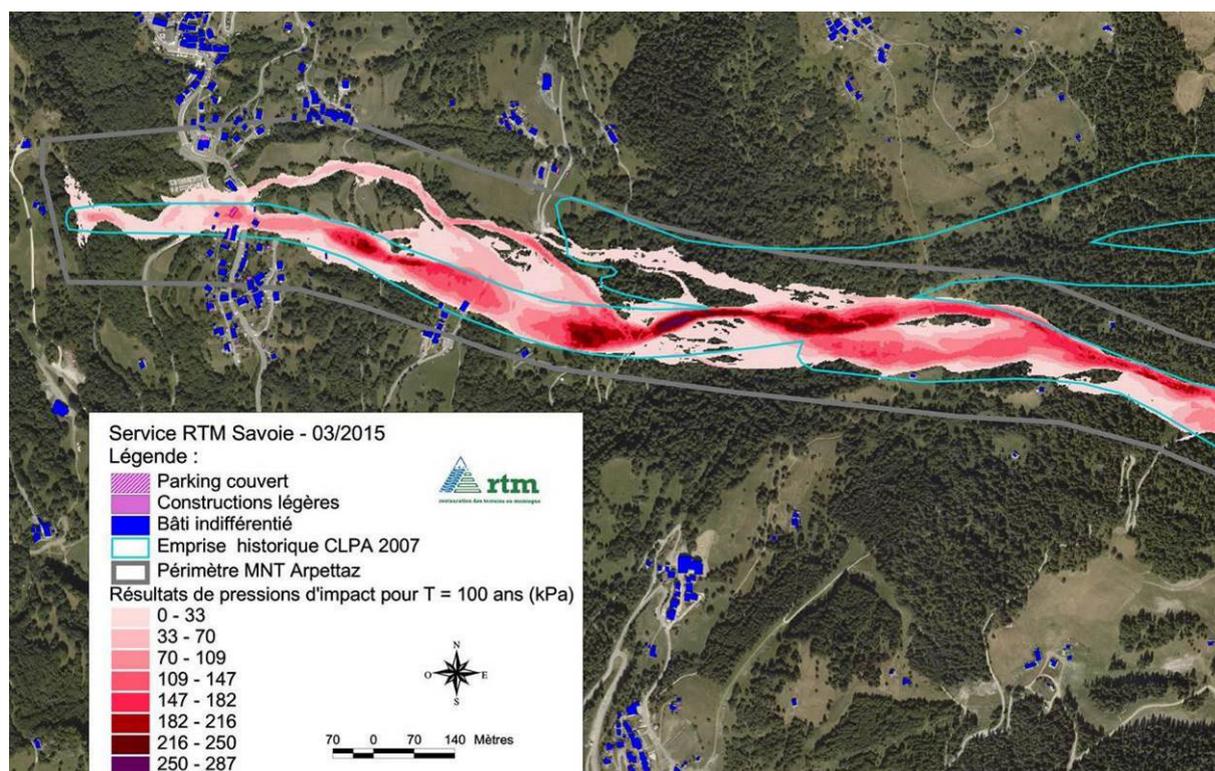


Figure III-20 : détail des pressions d'impact obtenues avec Ramms pour l'avalanche centennale de l'Arpettaz, en comparaison de l'emprise historique de la CLPA. Source : RTM 2015.

Cette emprise centennale connue par la CLPA et reconnue par la modélisation englobe huit bâtiments dans la zone d'écoulement. Le plus exposé (emplacement déjà atteint en 1970) est le chalet – atelier de Raffort (cf. fig. III-21). Bien que situé en bordure de l'avalanche, ce chalet pourrait subir une pression d'impact maximale d'environ 30 kPa, avec de lourds dégâts (enfouissement des portes de garage en façade amont, pulvérisation des vitrages en façade nord, dégâts sur la charpente et la structure). Heureusement, il n'est pas habité. Cet atelier devra néanmoins être intégré au Plan Communal de Sauvegarde, afin d'en assurer l'évacuation lorsque le risque d'avalanche le justifie.



Figure III-21 : vue du chalet – atelier mécanique de Raffort en zone exposée à l'avalanche centennale de l'Arpettaz. Source : RTM 2015.

Toujours à Raffort, le vieux chalet situé en contrebas de l'atelier, un peu plus en marge du couloir d'avalanche, n'est pas atteint par l'avalanche simulée. Il est pourtant englobé dans l'emprise connue de la CLPA. Ce chalet existait déjà en 1904 et ne semble pas avoir été reconstruit depuis. Il apparaît sur le cadastre de 1904 avec la même emprise au sol qu'aujourd'hui. Sa façade amont est aveugle côté couloir mais constituée d'un mur en maçonnerie classique qui n'aurait pas résisté en cas d'impact > 30 kPa (cf. fig. III-22). Aucun témoin n'a par ailleurs évoqué de dégât sur Raffort, ni en 1904, ni en 1970. Il peut néanmoins être concerné par la bordure de l'écoulement poudreux et soumis à des pressions modérées.



Figure III-22 : vue du vieux chalet situé en extrémité nord de Raffort, sous l'atelier mécanique. L'avalanche de l'Arpettaz peut le frôler par le nord. Source : RTM 2015.

Sur le Villard (non atteint en 1970), les constructions les plus exposées sont de simples garages sans logement. On notera en premier lieu le garage des parcelles n°2071 – 2072 (cf. fig. III-23). Situé juste dans l'axe de l'avalanche centennale, où l'épaisseur de l'écoulement pourrait atteindre plus de 5 m, sa destruction est probable (étage construit en moellons).



Figure III-23 : vue du garage du Villard situé le long de la RD 902, en zone exposée à l'avalanche centennale de l'Arpettaz. Source : RTM 2015.

Toujours le long de la RD 902, 15 m plus au nord, trois garages mitoyens et semi-enterrés peuvent aussi être atteints, à priori sans gravité.

Entre la RD 902 et la RD 84b (route d'accès à Villaroger), d'autres garages, inachevés, sont eux aussi exposés à des pressions élevées, car situés dans l'axe principal de l'avalanche centennale (parcelle n°83 - cf. fig. III-24).



Figure III-24 : garages du Villard situés en contrebas de la RD 902, également exposés à l'avalanche centennale de l'Arpettaz. Source : RTM 2015.

En rive gauche, deux chalets habités pourraient être atteints par l'écoulement dense d'après notre modélisation (chalets également inclus dans l'emprise CLPA) mais leur position surélevée par rapport au couloir nous laisse penser que les pressions d'impact y seront tout au plus modérées (aléa moyen).

Plus en aval, de gros dépôts (> 5 m d'épaisseur) peuvent se former contre un dernier garage ainsi que sur la route d'accès à Villaroger et sur le large replat des terrains de jeu inutilisés l'hiver (cf. fig. III-25).

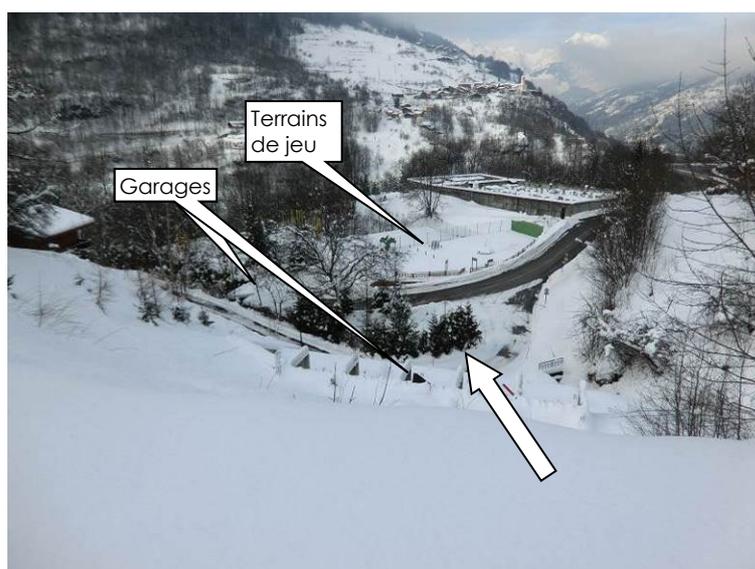


Figure III-25 : vue plongeante, depuis la RD 902, vers les garages inachevés et les terrains récréatifs du Villard exposés à l'avalanche centennale de l'Arpettaz. Source : RTM 2015.

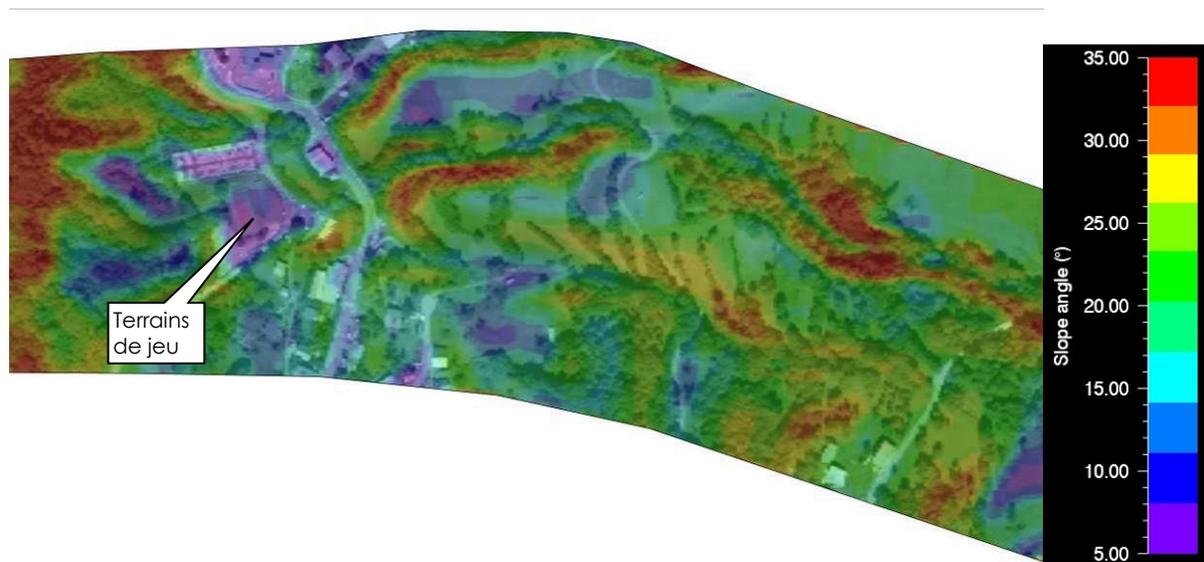


Figure III-26 : carte des pentes sur le secteur de Raffort – Le Villard. Source : RTM 2015.

III.4 Synthèse – mise à jour de la carte des aléas centennaux

En faisant la synthèse des emprises connues (voir chapitre II) et des résultats des simulations numériques d'avalanches centennales, tant vis-à-vis des pressions d'impact que des épaisseurs d'écoulement, nous pouvons proposer une nouvelle carte d'aléas sur les secteurs de Bon Conseil – La Thuile d'une part et de Raffort – Le Villard d'autre part.

Pour un temps de retour centennal, le niveau d'intensité prévisible du phénomène détermine la classe de l'aléa. Les valeurs seuils de changement de classe sont classiquement de 3 et 30 kPa en pression d'impact.

		Temps de retour (TR)	
		TR ≤ 100 ans	TR > 100 ans
Pression (P)	P ≥ 30 kPa	Aléa fort	Aléa exceptionnel
	3 kPa ≤ P < 30 kPa	Aléa moyen	
	1 kPa ≤ P < 3 kPa	Aléa faible	

La masse volumique retenue pour la neige en écoulement (300 kg/m³) permet à notre avis de prendre en compte l'impact éventuel de débris d'arbres ou de bâtiments.

La nouvelle carte est très différente de celle du PPRN de 2003 sur La Thuile (cf. fig. III-27 et III-28). La Thuile se retrouve totalement hors zone d'aléa centennal.

Sur le secteur Raffort – Le Villard, la nouvelle carte est proche de l'ancienne vis à vis de l'extension longitudinale de l'avalanche. L'extension latérale est par contre bien élargie. Cette évolution, cohérente avec la topographie et la CLPA, entraîne une augmentation du nombre de bâtiments exposés. On notera l'ajout en aléa fort de l'atelier de Raffort, qui ne figure malheureusement pas en zone avalancheuse dans le PPRN, et l'ajout en aléa moyen d'un chalet à Raffort et de deux chalets au Villard (cf. fig. III-29 et III-30).

A noter que Ramms ne modélise pas l'effet de souffle de la poudreuse, lequel peut être négligé sur Bon Conseil mais considéré faible sur Raffort (cf. zone d'aléa faible en fig. III-30).

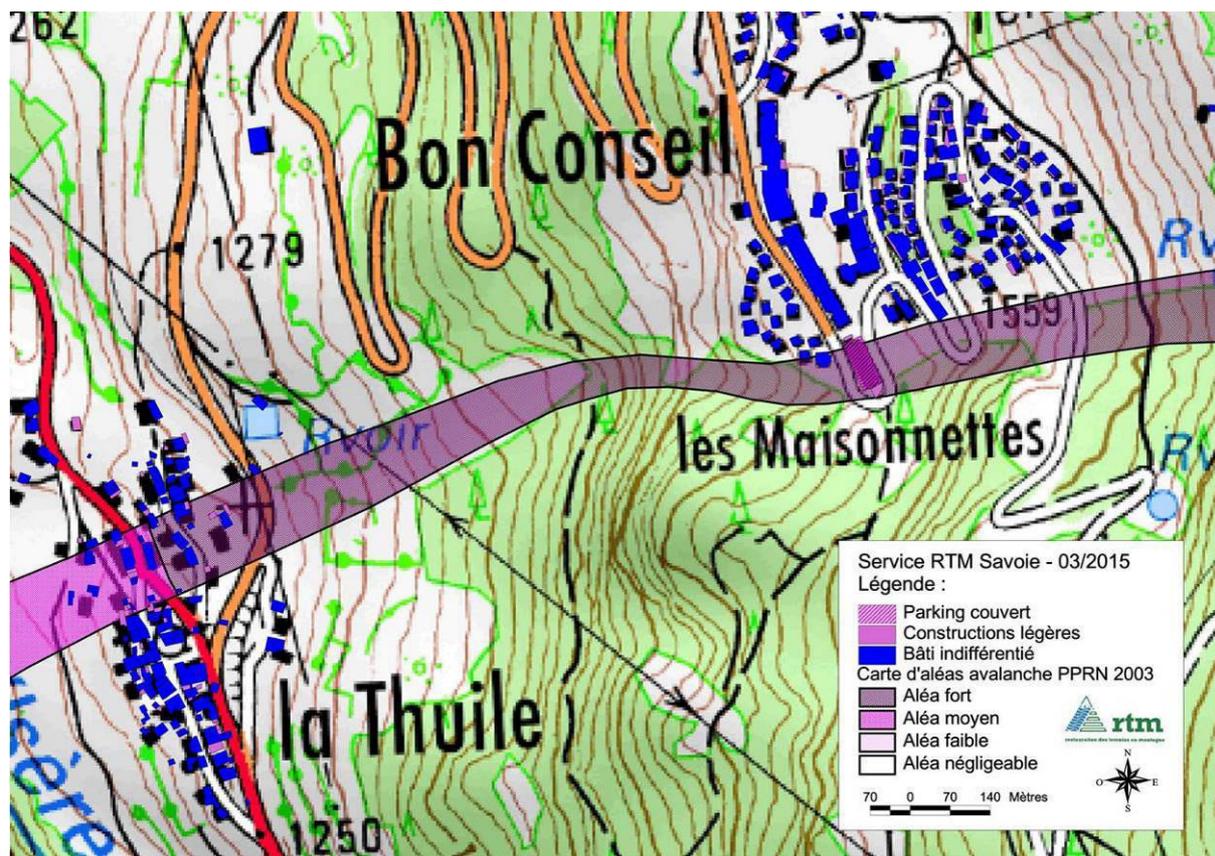


Figure III-27 : carte des aléas avalanche du PPRN de 2003 – secteur Bon Conseil La Thuile. Sce : RTM2015.

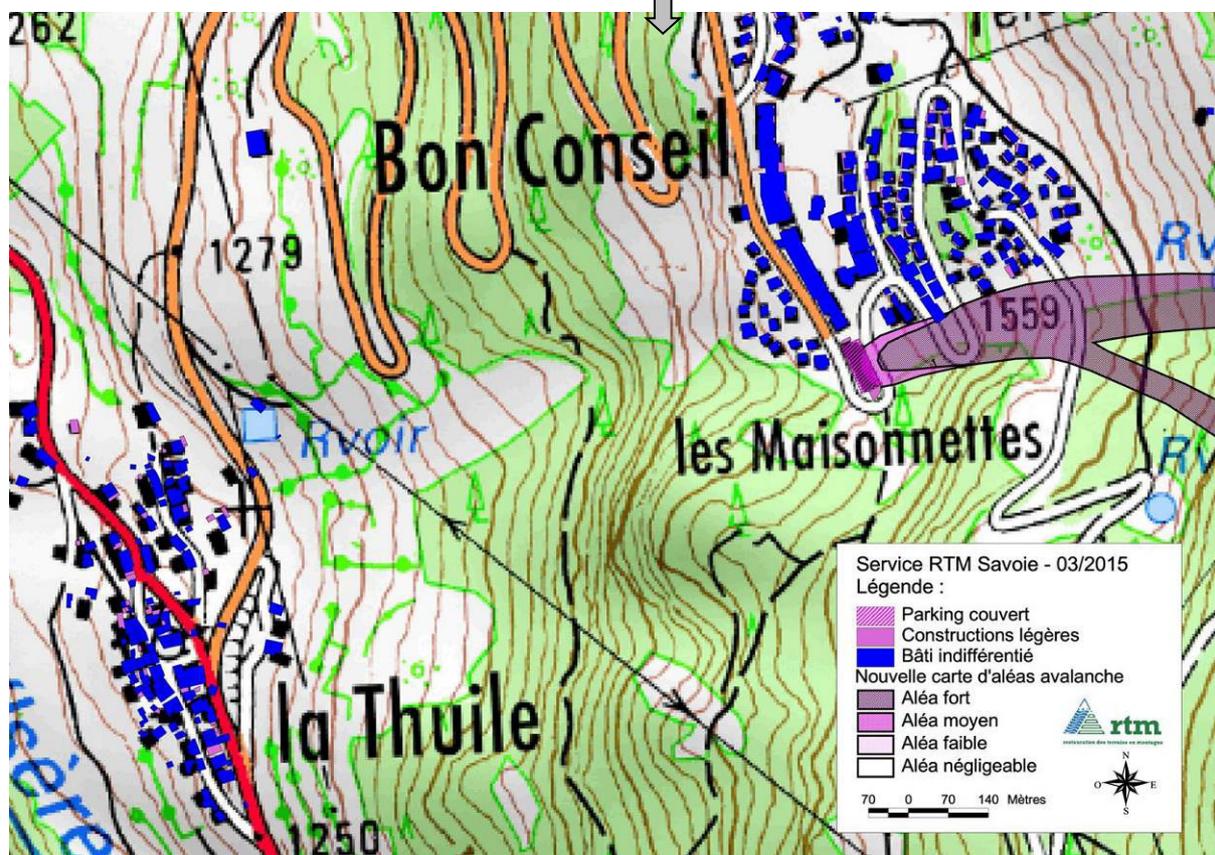


Figure III-28 : nouvelle carte des aléas avalanche proposée - secteur Bon Conseil La Thuile. Source : RTM

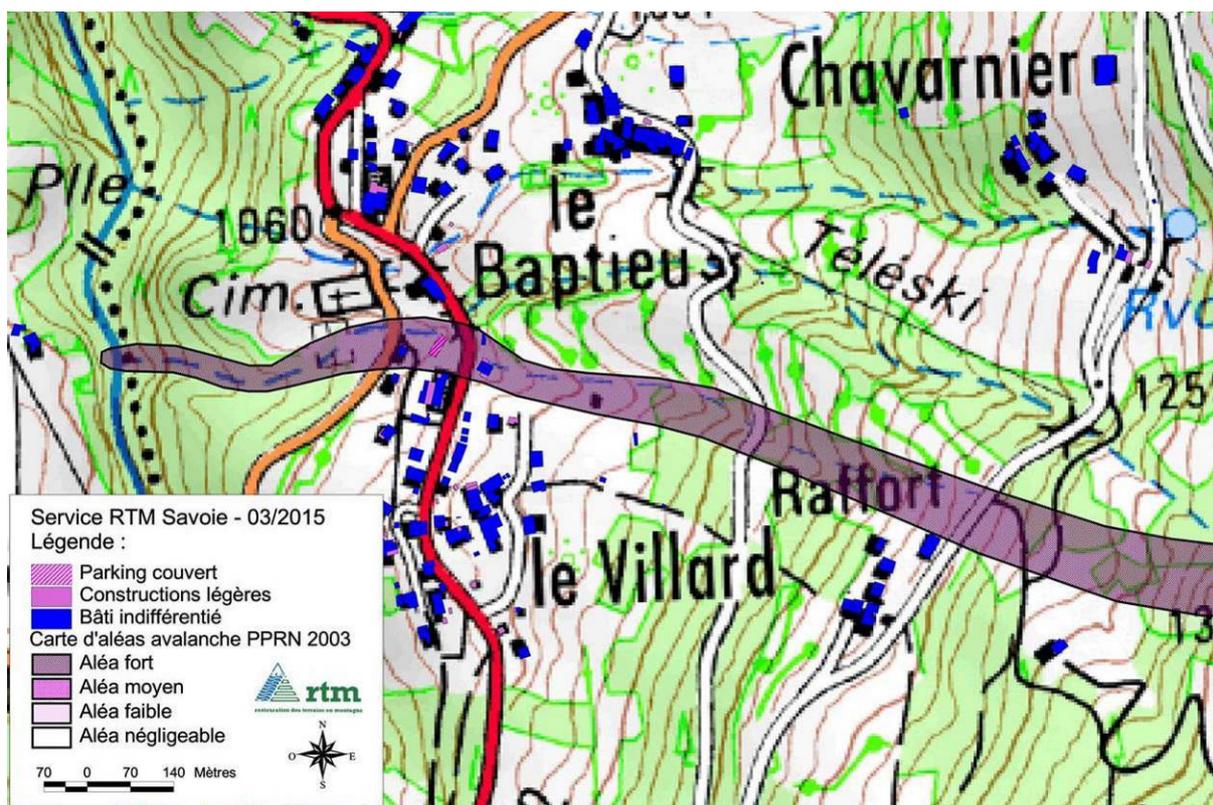


Figure III-29 : carte des aléas avalanche du PPRN de 2003 – secteur Raffort Le Villard. Source : RTM.

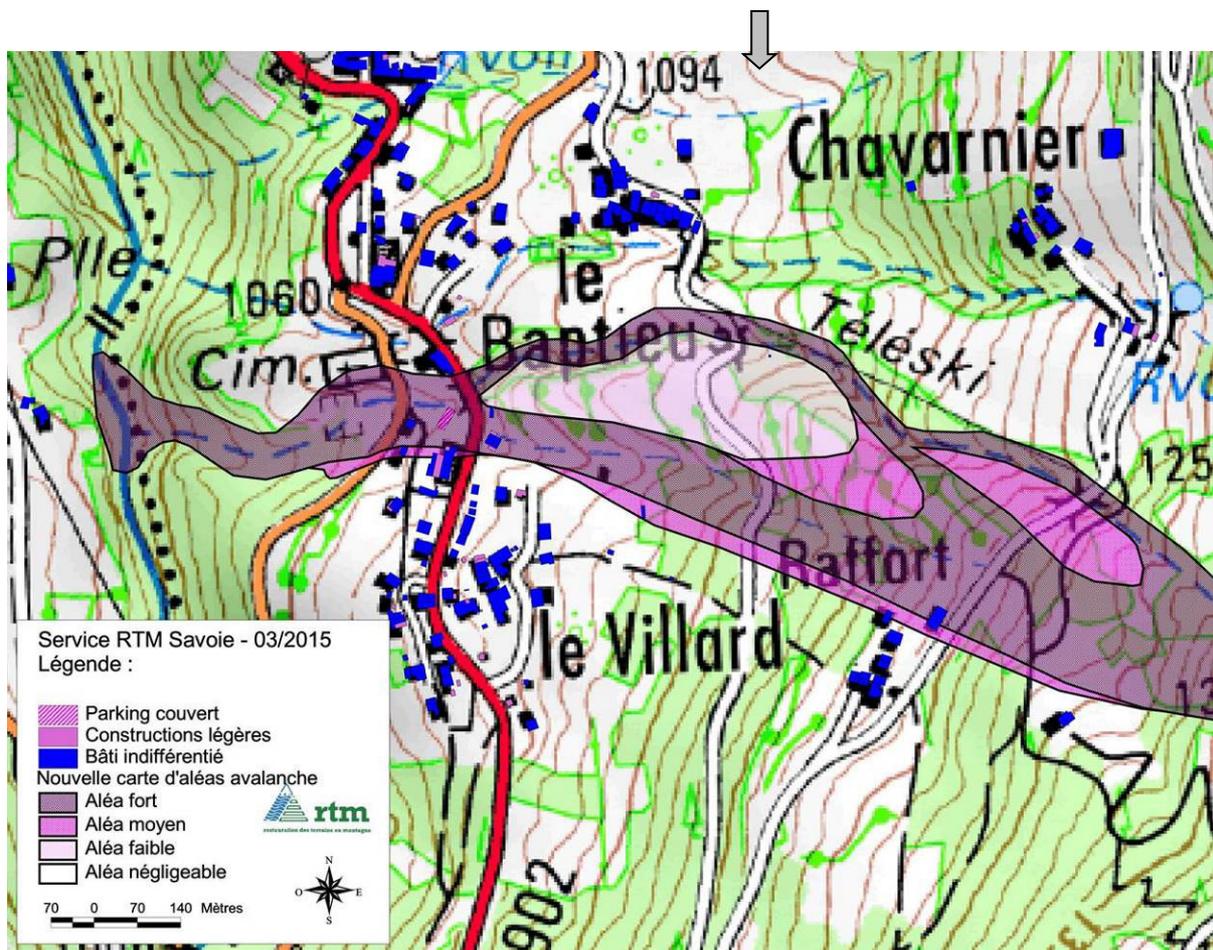


Figure III-30 : nouvelle carte des aléas avalanche proposée – secteur Raffort Le Villard. Sce : RTM 2015.

IV Probabilité d'atteinte du hameau de La Thuile

La question qui se pose maintenant est de savoir s'il le hameau de La Thuile peut néanmoins être atteint par une avalanche plus exceptionnelle que l'avalanche centennale, comme le laisse penser les anciens témoignages. Pour y répondre, nous avons réalisé sur ce couloir une simulation d'avalanche tricentennale.

IV.1 Simulation numérique de l'avalanche tricentennale

IV.1.1 Avalanche de Bon Conseil

IV.1.1.a Paramètres d'entrée retenus

Nous avons conservé la zone de départ mais augmenté l'épaisseur moyenne mobilisée de 1 à 1,5 m. Concernant les paramètres de frottement, nous avons suivi les préconisations du SLF pour une avalanche tri-centennale, de taille intermédiaire entre moyenne et grosse.

Paramètres retenus pour simulation d'avalanche avec RAMMS v1.6	
Nom de l'avalanche :	Bon Conseil (n°2 CLPA)
Période de retour :	300 ans
Résolution du MNT :	Grille régulière au pas de 2 m
Zone de départ :	Voir tracé fig. III-7. Surface suivant la pente : 66 000 m ²
Epaisseur moyenne mobilisée :	1,5 m (voir calcul en III.1.2)
Volume mobilisé :	100 000 m ³ (taille assez grosse)
Type de couloir :	Pentes ouvertes
Paramètres de frottement :	Variables : $\mu = 0,17$ au-dessus de 1500 m $0,19$ en dessous de 1500 m $\xi = 3000$ au-dessus de 1500 m 2500 en dessous de 1500 m
Prise en compte de la forêt :	Oui (voir fig. III-12) $\mu = 0,20$ / $\xi = 1000$
Masse volume de la neige en écoulement :	300 kg/m ³ (valeur moyenne par défaut)
Cohésion de la neige en écoulement :	50 Pa (valeur moyenne pour neige sèche)
Régime numérique :	2 nd ordre (calculs plus précis)
Critère d'arrêt du calcul :	Quantité de mouvement < 6% valeur max. (généralement entre 1 et 10 %)

IV.1.1.b Résultats

Cette avalanche est plus volumineuse, rapide et inertielle que l'avalanche centennale. Elle se déporte davantage sur la rive droite du couloir en arrivant sur Bon Conseil et touche une douzaine de chalets de la station avec des pressions élevées.

Le flux se recentre ensuite dans le couloir boisé dominant La Thuile puis s'élargit en perdant de l'énergie dans les prés. Si l'écoulement parvient à traverser la route d'accès à la station, il se dépose rapidement sur le replat au niveau des premières maisons et n'atteint pas la RD 902 (cf. fig. IV-1 et IV-2).

A noter que la trajectoire suivie par cette avalanche simulée s'aligne parfaitement avec celle retenue dans le PPRN sur La Thuile, mais pas avec la bande non bâtie imputée à l'avalanche.

En définitive, même une avalanche tri-centennale ne parvient pas à traverser La Thuile, et encore moins à atteindre l'Isère. En ne tenant pas compte du boisement, la tendance reste la même. La légendaire avalanche de La Thuile a donc été surestimée, à moins qu'il ne s'agisse que d'une... légende.

Il faut néanmoins retenir que dans des circonstances très exceptionnelles (cumul de neige fraîche > 3 m en altitude, forte instabilité du manteau neigeux, absence de déclenchement préventif préalable, neige poudreuse sur l'ensemble du couloir), pas moins d'une douzaine de chalets sont potentiellement menacés sur Bon Conseil. Sur La Thuile, trois bâtiments sont menacés mais dans une moindre mesure (intensité modérée).

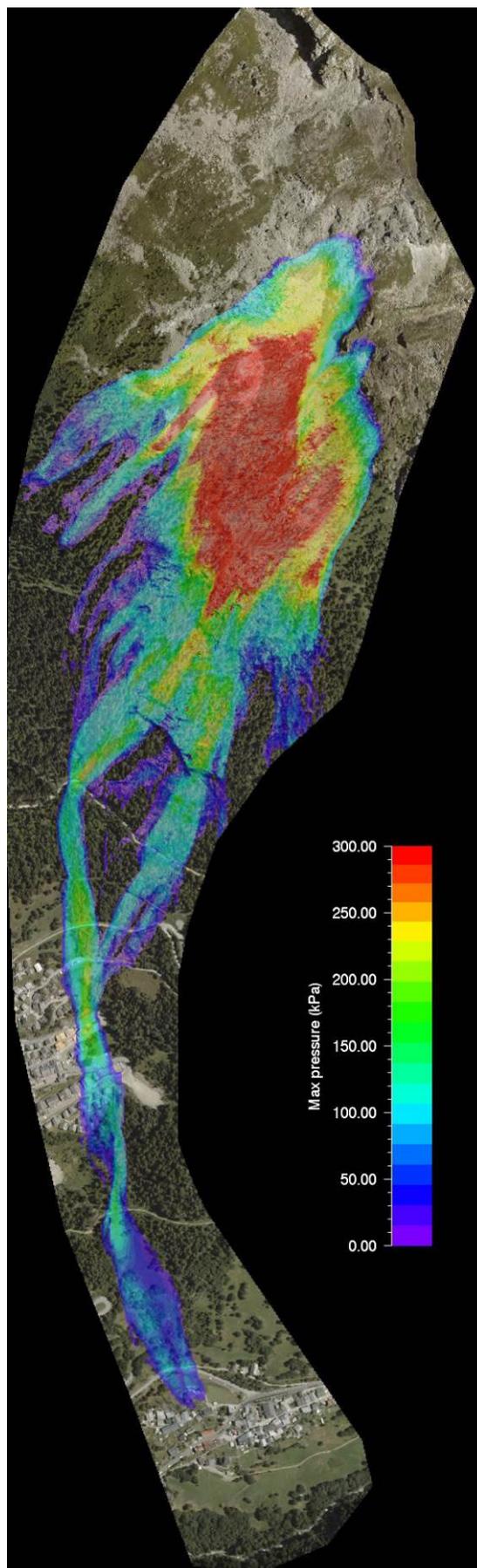


Figure IV-1 : pressions d'impact obtenues avec Ramms pour l'avalanche tri-centennale de Bon Conseil.
Source : RTM 2015.

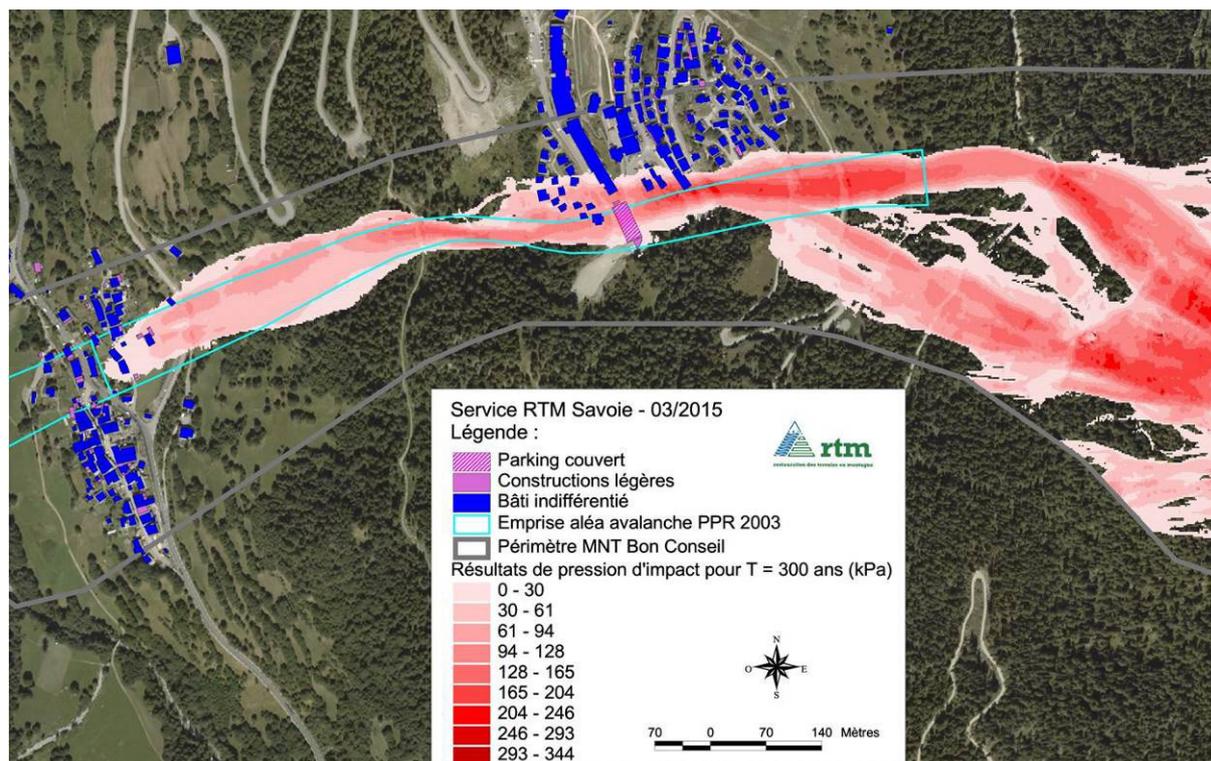


Figure IV-2 : détail des pressions d'impact obtenues avec Ramms pour l'avalanche tri-centennale de Bon Conseil, en comparaison de l'emprise de l'aléa avalanche du PPRN. Source : RTM 2015.

IV.2 Conclusion

Cette dernière simulation numérique confirme notre conclusion partielle au chapitre II, à propos du risque d'avalanche sur La Thuile. Nous excluons maintenant l'hypothèse d'une avalanche ayant traversé tout le hameau jusqu'à l'Isère et ayant emporté des bâtiments. De manière très exceptionnelle, trois habitations peuvent être touchées par une fin de poudreuse, sans que la pression d'impact ne dépasse le seuil des 30 kPa.



Figure IV-3 : les trois bâtiments potentiellement menacés par une avalanche tri-centennale à La Thuile. Au centre, l'ancienne mercerie reconverte en gîte rural. Source : RTM 2015.

V Evolutions proposées du PPRN de Ste Foy Tarentaise suite à cette étude

L'objectif de cette étude est de mettre à jour la connaissance des aléas d'avalanche sur les zones urbanisées de Sainte Foy Tarentaise, pas de réaliser un zonage réglementaire. Il appartiendra en effet à la Direction Départementale des Territoires et à la Préfecture de Savoie de juger de l'opportunité de mettre à jour le zonage du PPRN, au vu de ces résultats.

Si l'on en reste à l'évaluation des aléas, nous proposons que la carte des aléas du PPRN soit mise à jour comme suit (cf. fig. V-1 et V-2), en distinguant l'aléa centennal (3 degrés d'intensité) et l'aléa tri-centennal, dit exceptionnel (1 degré).

Afficher sur cette carte l'aléa exceptionnel (ce qui n'est pas le cas dans le PPRN actuel) permettra à la municipalité d'identifier les enjeux (bâtiments, routes, parkings, aires de loisirs...) susceptibles d'être atteints lors d'une crise avalancheuse sans précédent. Il appartiendra alors aux élus locaux de décider d'une éventuelle évacuation ou fermeture préventive, en vue de protéger les personnes.

Rappelons qu'en France, l'aléa exceptionnel n'est pas retenu pour protéger les biens et réglementer l'urbanisme (hors bâtiments nécessaires à la gestion de crise).

VI Perspectives pour la protection permanente des enjeux exposés à un risque centennal

La protection des biens contre l'aléa centennal est souhaitable, non seulement pour réduire le coût sociétal des dommages en cas de catastrophe naturelle, mais aussi pour réduire le risque d'accident aux personnes, en cas de dysfonctionnement du Plan Communal de Sauvegarde (PCS).

Sur le secteur de Bon Conseil – La Thuile, l'étude n'a pas mis en évidence de biens exposés à l'avalanche centennale (hors la route d'accès à la station et les places de stationnement situées dans le couloir, qui doivent être fermées en cas de très fort risque d'avalanche).

Sur le secteur de Raffort – Le Villard, huit bâtiments sont plus ou moins exposés. Leur protection est un volet à part entière de l'étude qui, comme convenu dans notre devis du 8 décembre 2014, fait l'objet d'une tranche conditionnelle. A priori, seuls des ouvrages en déblais-remblais, pérennes et dimensionnés vis-à-vis du risque centennal, seraient susceptibles d'être pris en compte, sous conditions, dans le zonage du PPRN.

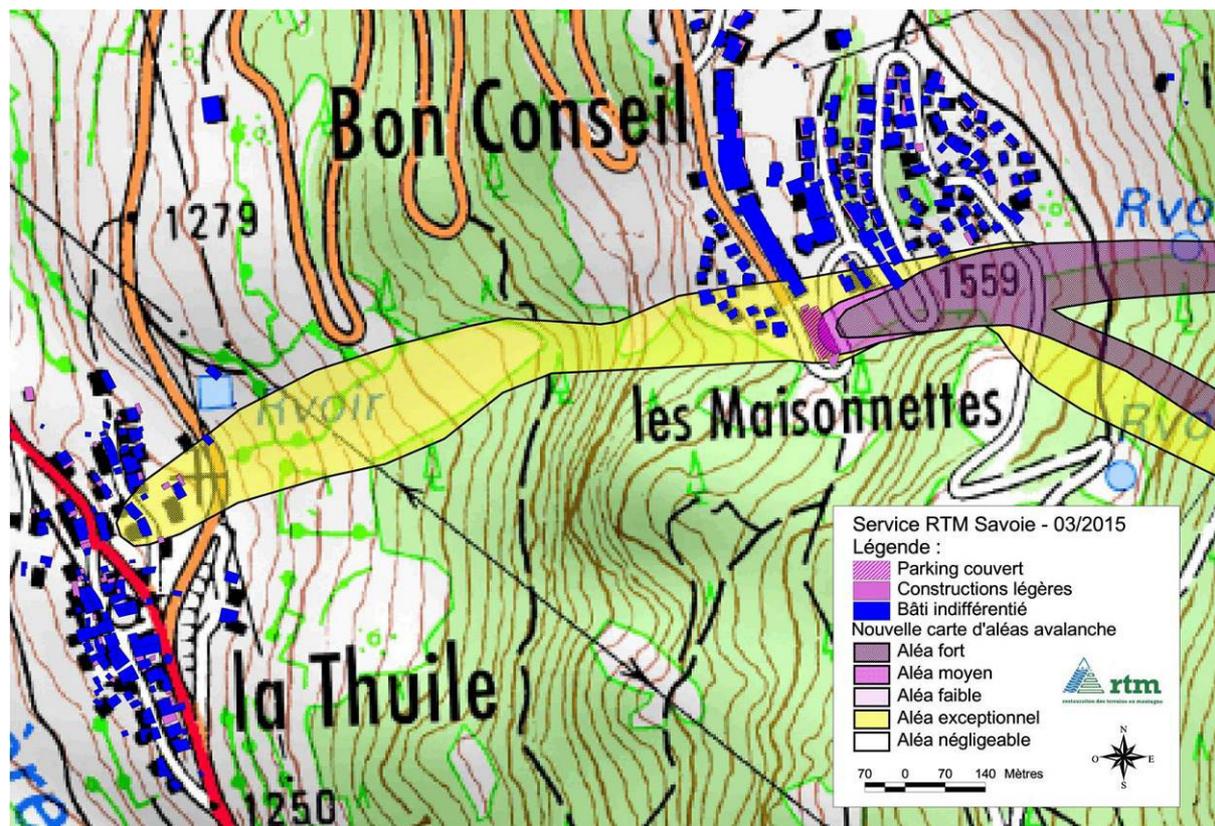


Figure V-1 : nouvelle carte des aléas avalanche sur le secteur Bon Conseil – La Thuile, incluant l'aléa exceptionnel. Source : RTM 2015

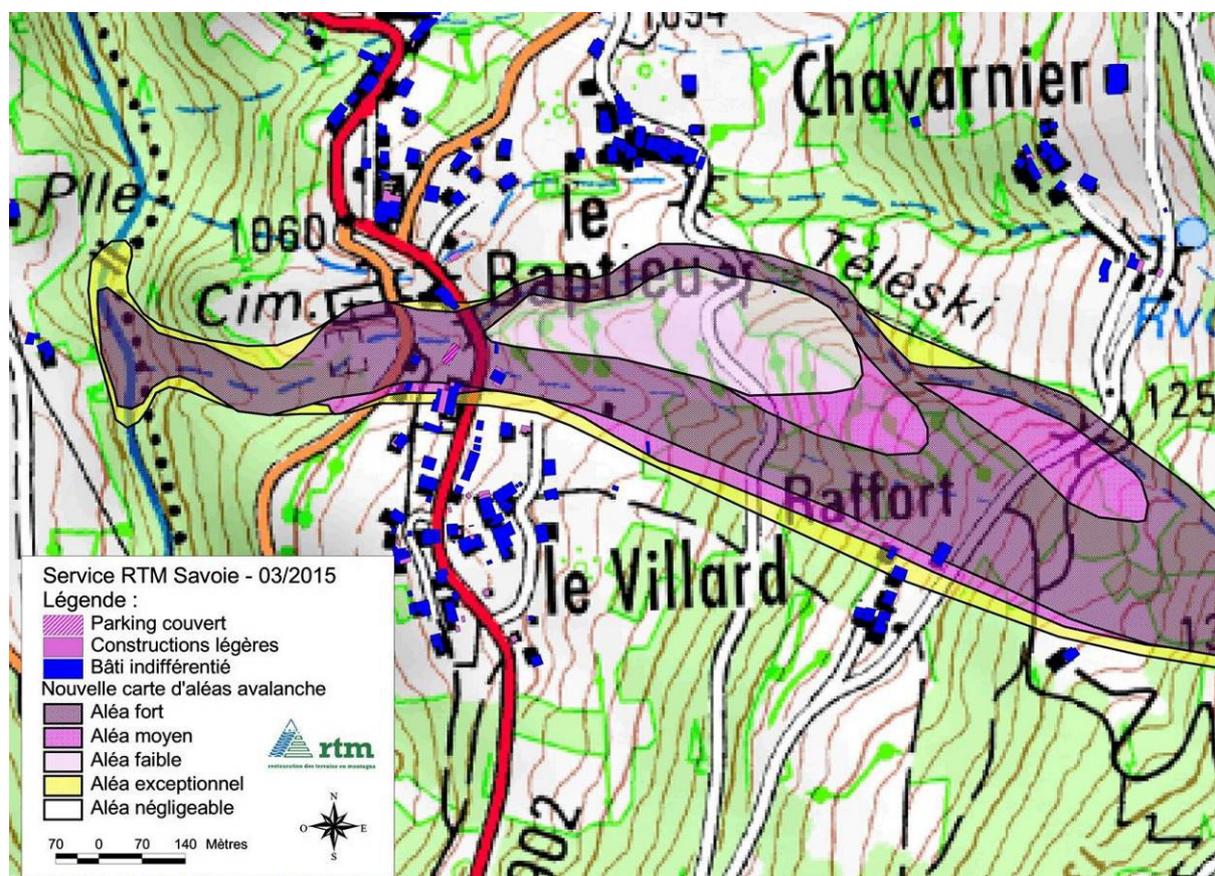


Figure V-2 : nouvelle carte des aléas avalanche sur le secteur Raffort – Le Villard, incluant l'aléa exceptionnel. Source : RTM 2015

Version 1 du 16 mars 2015

Chargé d'étude	Relecture	Transmission
S. ROUDNITSKA 	P. MACABIES 	Le chef du service RTM de la Savoie  Laurent VOISIN

OFFICE NATIONAL DES FORETS

*Service de Restauration des Terrains en
Montagne de Savoie*



42, quai Charles Roissard, 73026 Chambéry Cedex
Tél. : 04.79.69.96.05 - Fax : 04.79.96.31.73



Adél : rtm.chambery@onf.fr - Web : www.onf.fr