

2020

Expertise avalanche

Commune de Val Cenis

Etude pour l'actualisation des aléas d'avalanche sur la zone agricole de Termignon, suite à l'avalanche de Bonnenuit du 23/12/2019.

Mai 2020

V3

Maître d'ouvrage :

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

DDT de la Savoie

rtm
restauration des terrains en montagne

Agence RTM Alpes du nord
Pôle expertises

Office National des Forêts

Historique de la diffusion

Version	Date	Commentaires
V1	10/03/2020	Pour relecture interne
V2	13/03/2020	Pour transmission à DDT et commune
V3	18/05/2020	Version mise à jour suite à de nouveaux éléments et à la transmission du rapport V0 du 04/05/2020 d'Engineerisk pour la phase 2 : Possibilités de protections – avalanche de Bonnenuit – Zone agricole de Termignon.

Rédacteur(s) et validation

Rédacteur principal du rapport	Relecture - Validation
ROUDNITSKA Stéphane Ingénieur chargé d'étude - expert avalanche pour les services RTM	LIEVOIS Jérôme Responsable de la cellule expertise RTM Savoie PAULHE Romain et LAMY Olivier Ingénieur et technicien RTM Maurienne TRACOL Christian (DDT 73) pour les chapitres IV.3 et V

Photo en couverture : vue aérienne (par drone) de la langue terminale de l'avalanche du 23/12/2019 jusqu'à l'étable de G. BURDIN, après dégagement de la route. Noter les dépôts colorés de l'avalanche du 24/12/2019 en recouvrement. Cliché : G. COURBAT – www.data-avalanche.org du 25/12/2019.

Les photos du rapport sont du service RTM de Savoie, sauf mention contraire

Sommaire

I. RAPPEL DE LA PROBLÉMATIQUE 4

II. ENQUÊTE HISTORIQUE COMPLÉMENTAIRE 6

II.1 AVALANCHES DES XXEME ET XXIEME SIECLES 6

II.2 AVALANCHE DU 8 MARS 1817 8

III. ESSAI DE CALIBRAGE DE L'AVALANCHE CENTENNALE PAR SIMULATIONS NUMÉRIQUES 13

III.1 LOGICIEL DE SIMULATION ET MNT UTILISES 13

III.2 DELIMITATION DES ZONES DE DEPART MOBILISABLES 14

III.3 ESTIMATION DES EPAISSEURS DE NEIGE MOBILISABLES 17

III.4 ESSAI DE RECONSTITUTION DE L'AVALANCHE DU 23 DECEMBRE 2019 19

III.5 ESSAIS DE SIMULATION DE SCENARIOS CENTENNAUX 20

IV. ACTUALISATION DES ALÉAS DE RÉFÉRENCE 23

IV.1 EXTENSION ET CARACTERISATION DES DEPOTS EN CONDITIONS CENTENNALES ... 23

IV.1.1 Analyse morphologique 23

IV.1.2 Pressions liées aux dépôts sur la zone agricole 27

IV.2 ORIENTATION ET PRESSIONS D'IMPACT D'UN EFFET DE SOUFFLE CENTENNALE 27

IV.3 PROPOSITION DE MISE A JOUR DE LA CARTE DES ALEAS DU PPRN 28

IV.3.1 Méthodologie 28

IV.3.2 Commentaires sur les résultats 29

V. CONSÉQUENCES POUR LA ZONE AGRICOLE 32

V.1 CONSEQUENCES POUR LES PERMIS DE CONSTRUIRE A VENIR 32

V.2 CONSEQUENCES POUR LES ETABLES DEJA EXISTANTES 33

V.3 ET VIS-A-VIS DU RISQUE EXCEPTIONNEL ? 33

I. RAPPEL DE LA PROBLEMATIQUE

Cette expertise vient en complément du rapport d'événement RTM sur les avalanches du couloir de Bonnenuit (CLPA n°7 / EPA n°6) descendues les 23 et 24/12/2019 (rapport transmis le 13/01/2020 à la commune de Val Cenis, à la DDT et à la Préfecture - SIDPC pour information ainsi qu'à l'INRAE pour mise à jour de la CLPA). Elle vient aussi en complément du compte-rendu de la réunion du 03/01/2020 en mairie annexe de Termignon sur les suites à donner à cet événement.

Le rapport d'événement (cf. annexe) a tenté de décrire au mieux les deux avalanches de décembre 2019 et les conditions qui ont pu favoriser l'extension d'une épaisse langue de neige quelques mètres au-delà de la limite d'aléa fort retenue dans le PPRN de Termignon (cf. fig. I.1). Pour autant il n'a pas été possible de préciser la période de retour d'un tel phénomène et donc l'évolution souhaitable des aléas de référence, en l'absence d'une expertise plus fine qui ne relevait pas de cette mission d'intérêt général financée par le ministère de l'Ecologie.

Compte-tenu de l'arrêté municipal du 01/10/2015 accordant un permis d'aménager la zone agricole de Termignon sur la butte de Pierres Grosses et compte-tenu de nouveaux permis de construire déposés début 2020 pour la réalisation de bâtiments d'élevage, l'actualisation des limites d'aléa centennal d'avalanche et le repositionnement de la limite de zone constructible apparaît prioritaire. Pour l'heure la commune fait valoir un sursis à statuer sur ces demandes de PC.

Le RTM a proposé au Service Sécurité Risques (SSR) de la DDT 73 de réaliser la présente étude pouvant conduire à une actualisation de la cartographie des aléas de référence du PPR. Le SSR a été favorable à ce que cette étude soit réalisée sous maîtrise d'ouvrage DDT et financée par l'Etat au titre des études préalables aux PPR. Elle doit proposer une carte des aléas de référence centennale (ARC) et exceptionnelle (ARE), avec gammes de pressions d'impact associées à l'ARC et hauteurs d'application, conformément au guide PPR Avalanche de 2015. Elle propose, en lien avec la DDT, de nouvelles règles d'urbanisme et de construction pour la zone agricole, dans le cadre de la délivrance des futurs permis de construire (en application de l'article R111-2 du code de l'urbanisme).

Pour cela, l'expertise fait appel à une enquête complémentaire sur les anciennes avalanches majeures du couloir de Bonnenuit (notamment celle de 1817 dont les conséquences étaient jusque-là méconnues sur le secteur de la butte de Pierres Grosses), ainsi qu'à des simulations numériques d'avalanches sur modèle numérique de terrain (MNT), en lien avec les épaisseurs de neige mobilisables pour une occurrence centennale sur les différentes zones de départ identifiées.

Les résultats de ces investigations sont présentés dans la suite du rapport. Il sera fait référence aux avalanches de décembre 2019 mais pour le détail de cet événement, le lecteur est invité à se reporter au rapport d'événement RTM du 13/01/2020 (cf. annexe).

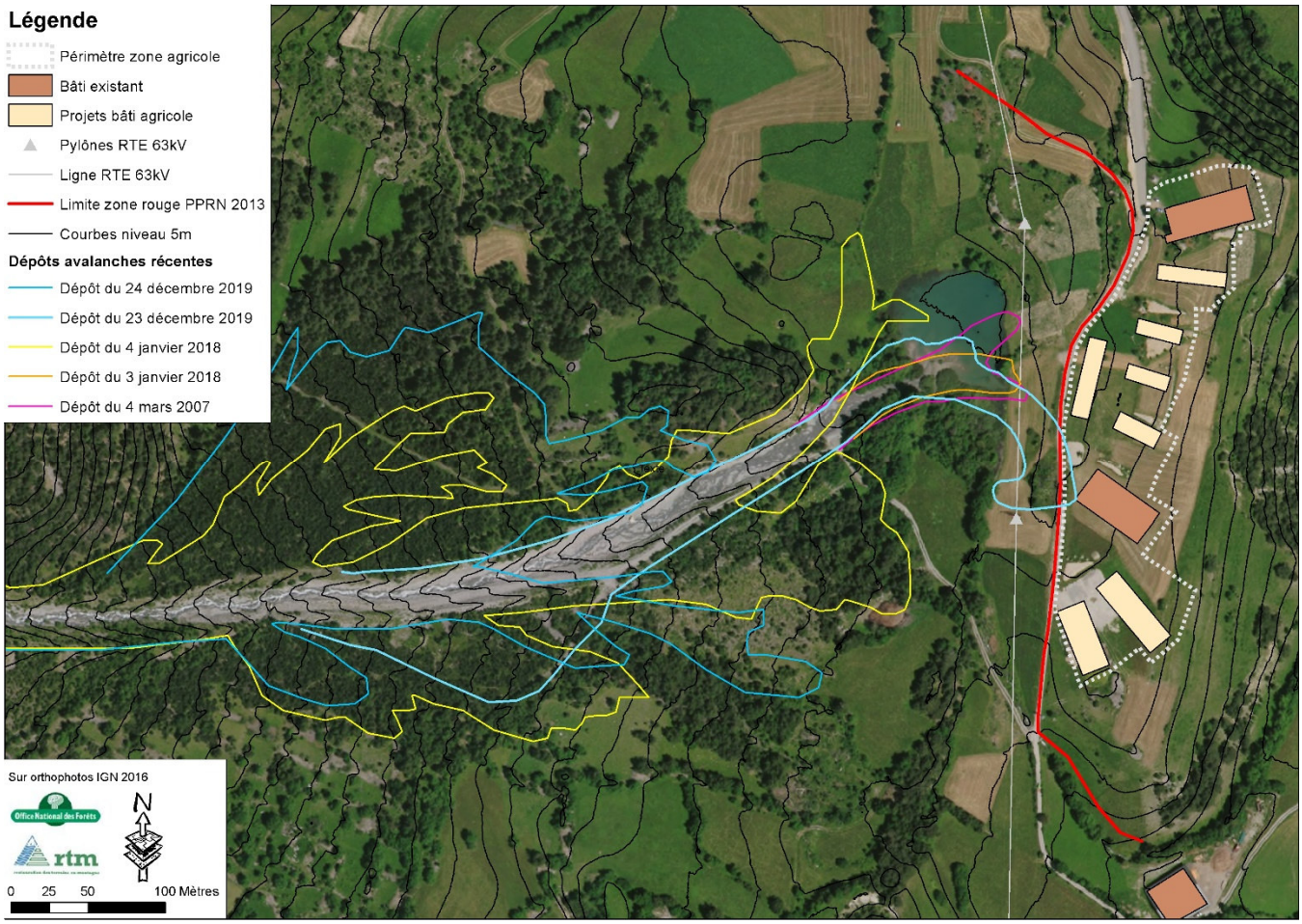


Fig. I.1 : zone d'étude des aléas d'avalanche, en lien avec le périmètre de la zone agricole (en pointillés gris).

II. ENQUETE HISTORIQUE COMPLEMENTAIRE

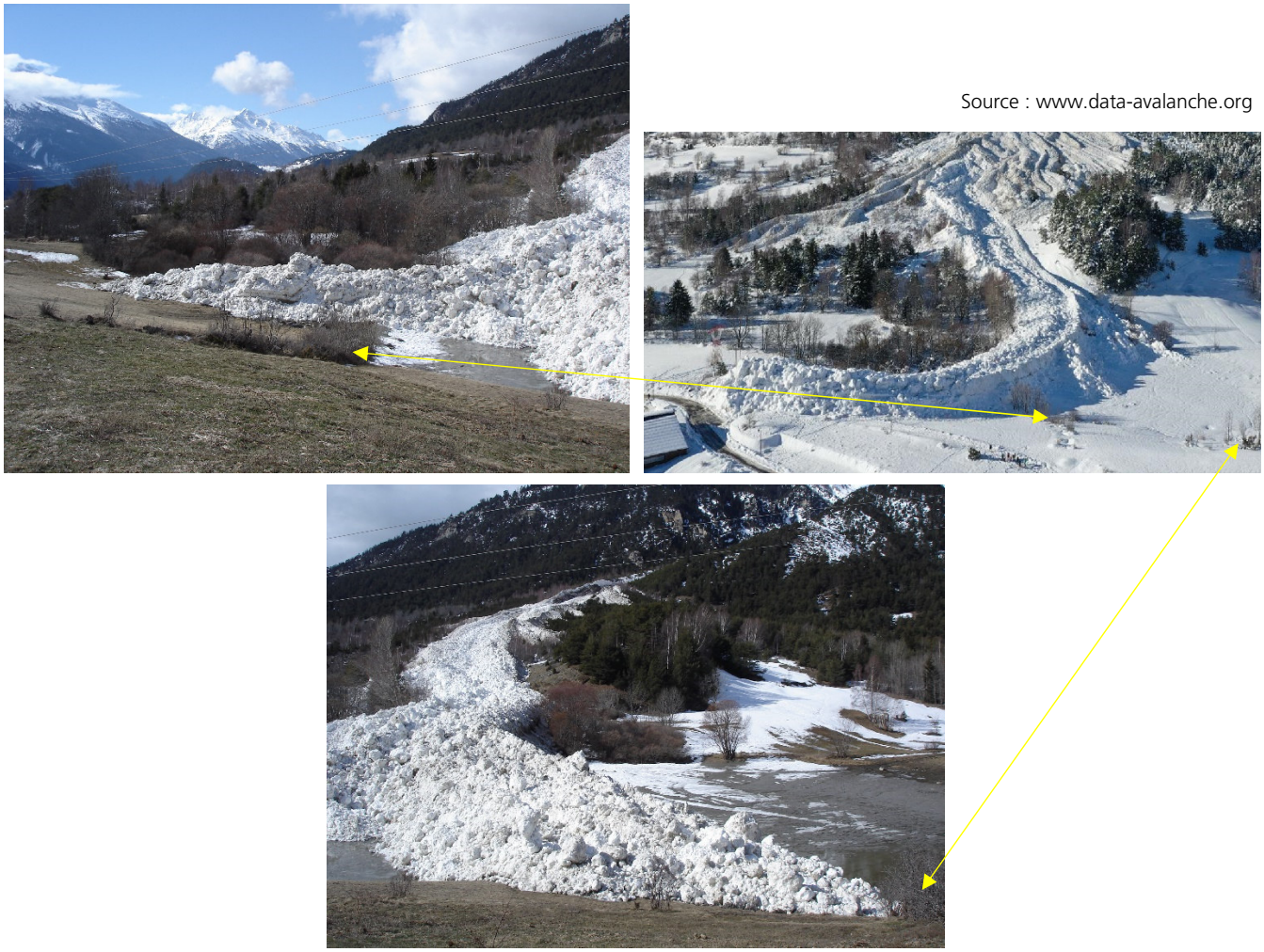
II.1 *Avalanches des XXème et XXIème siècles*

Dans notre rapport d'événement, nous avions fait une rapide recherche historique des avalanches récentes et plus anciennes sur le secteur d'étude. Cela avait permis de conforter la mémoire locale, à savoir qu'au XXème et début XXIème siècle, aucune langue d'avalanche n'était remontée aussi haut sur la butte de Pierres Grosses que celle du 23 décembre 2019.

Il faut signaler cependant **l'avalanche du 4 mars 2007**, non listée dans l'EPA mais ayant fait l'objet d'une fiche événement RTM. Cette avalanche coulante de neige récente et humide est décrite comme étant partie vers 2900 m (cassure linéaire) et étant arrivée au niveau de la marre de Termignon (dépôt de 30 m de large pour 6 m d'épaisseur). Il est précisé que ce dépôt s'est arrêté à seulement 26 m de la route communale de Sollières à Termignon et à 46 m d'un pylône de la ligne HT.

Des photos sont liées à cette fiche événement. Elles montrent clairement que l'avalanche est partie sous la crête de Belle Place, comme le 1er mars 2010 et comme début janvier 2018, mais surtout qu'en 2007 une langue de neige avait déjà amorcé une remontée de quelques mètres sur la butte de Pierres Grosses, dans la même direction que celle du 23 décembre 2019 (cf. fig. II.1). Cette extension, qui est la deuxième plus longue connue après celle de 2019, a été reportée sur la figure I.1 ci-avant (en magenta).

Cet événement de 2007 montre aussi qu'au cours de ces 15 dernières années, pas moins de trois avalanches sont venues butter contre la butte de Pierres Grosses, y compris sur sol non préalablement enneigé (la neige au sol pouvant avoir un effet « lubrifiant » favorable aux longues extensions).



Source : www.data-avalanche.org

Fig. II.1 : photos comparatives de la langue terminale de l'avalanche du 04/03/2007 et du 23/12/2019 (à droite).

Concernant l'effet de souffle, puisque l'objectif de cette étude est aussi d'évaluer l'aléa centennal d'avalanche aérosol, ce sont la fiche signalétique et la carte de la CLPA éditée en 2005 qui apportent des éléments sur son extension.

Ces documents relaient le témoignage de Roger RICHARD : « Un souffle d'avalanche avait pris le témoin et son frère alors qu'ils circulaient sur la route haute au niveau de la colonie de vacances des Alouettes. Leur cheval avait été couché mais pas le mulet qui les accompagnait. » Cette extension incertaine est cartographiée sous forme d'une flèche magenta en tiretés jusqu'au centre de vacances de Sollières, lequel a été construit vers 1960 (cf. fig. II.2).

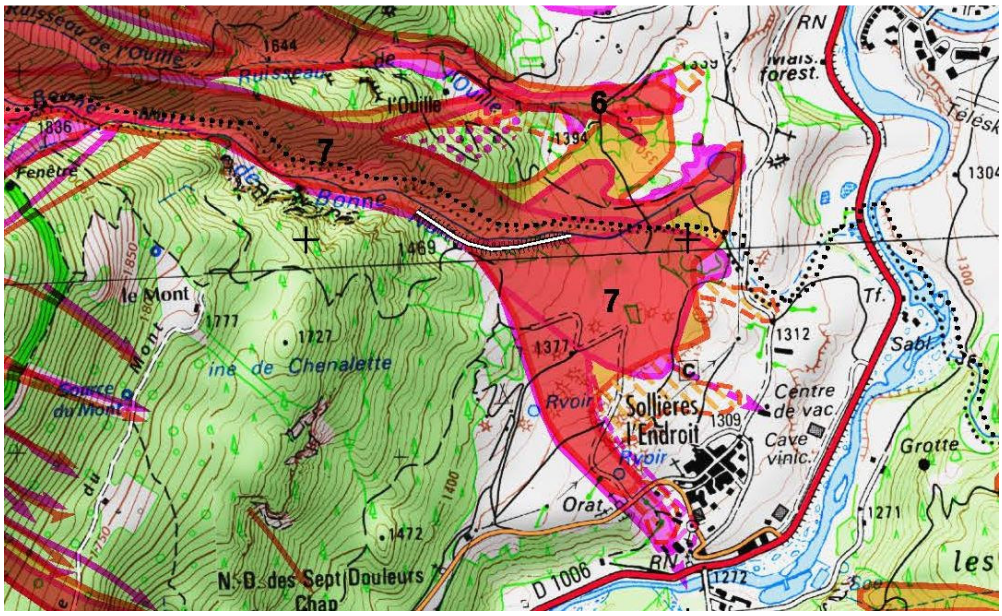


Fig. II.2 : extrait de la CLPA mise à jour en 2019 sur le couloir de Bonnenuit.

Cet événement n'est pas daté mais d'après les relevés de l'EPA et les descriptions associées, il pourrait s'agir de l'une des avalanches suivantes :

- **11 février 1970** : très grosse avalanche mixte, dense et aérosol, arrivée vers 1300 m (cône de dépôt « immense », probablement en direction de l'ancien lac de Sollières). Le souffle a renversé 150 pins sylvestres dans la parcelle n°43 et emporté trois pylônes de la ligne HT Modane - Lanslebourg ;
- **20 janvier 1981** : avalanche de neige sèche avec aérosol, arrivée vers 1350 m. Il est précisé que la tourne était complètement remplie après cette avalanche qui était en partie passée par-dessus ;
- **10 février 1988** : avalanche de neige sèche avec aérosol, arrivée vers 1350 m ;
- **29 janvier 1999** : avalanche de neige sèche avec aérosol, arrivée vers 1400 m.

L'aérosol de 1970 apparaît comme le plus puissant d'entre eux puisque c'est le seul événement pour lequel des dégâts sont signalés : boisement couché au débouché du couloir et ligne HT couchée sur plusieurs centaines de mètres dans l'axe du couloir.

Rappelons que le 23/12/2019, un effet de souffle a aussi été perceptible sur le bas du couloir, avec des pins couchés au débouché du couloir et une étable plâtrée côté amont sur la zone agricole (cf. fig. II.3).



Fig. II.3 : pins sylvestres couchés par l'avalanche du 23/12/2019 en sortie de couloir et étable plâtrée ce matin-là.

II.2 *Avalanche du 8 mars 1817*

Lors de la réunion du 03/01/2020 en mairie sur l'exposition de la zone agricole aux avalanches, les élus nous ont fait part d'une « ouï-dire » concernant une langue d'avalanche du ruisseau de Bonnenuit qui aurait pu atteindre l'Arc il y a longtemps, sans autre précision. Rien dans nos archives ni sur les photos aériennes anciennes ne permet d'associer ce souvenir confus avec un événement du XXème siècle. En revanche plusieurs sources relatent l'avalanche du 8 mars 1817, dont l'une de ses branches serait bien arrivée dans le lit de l'Arc.

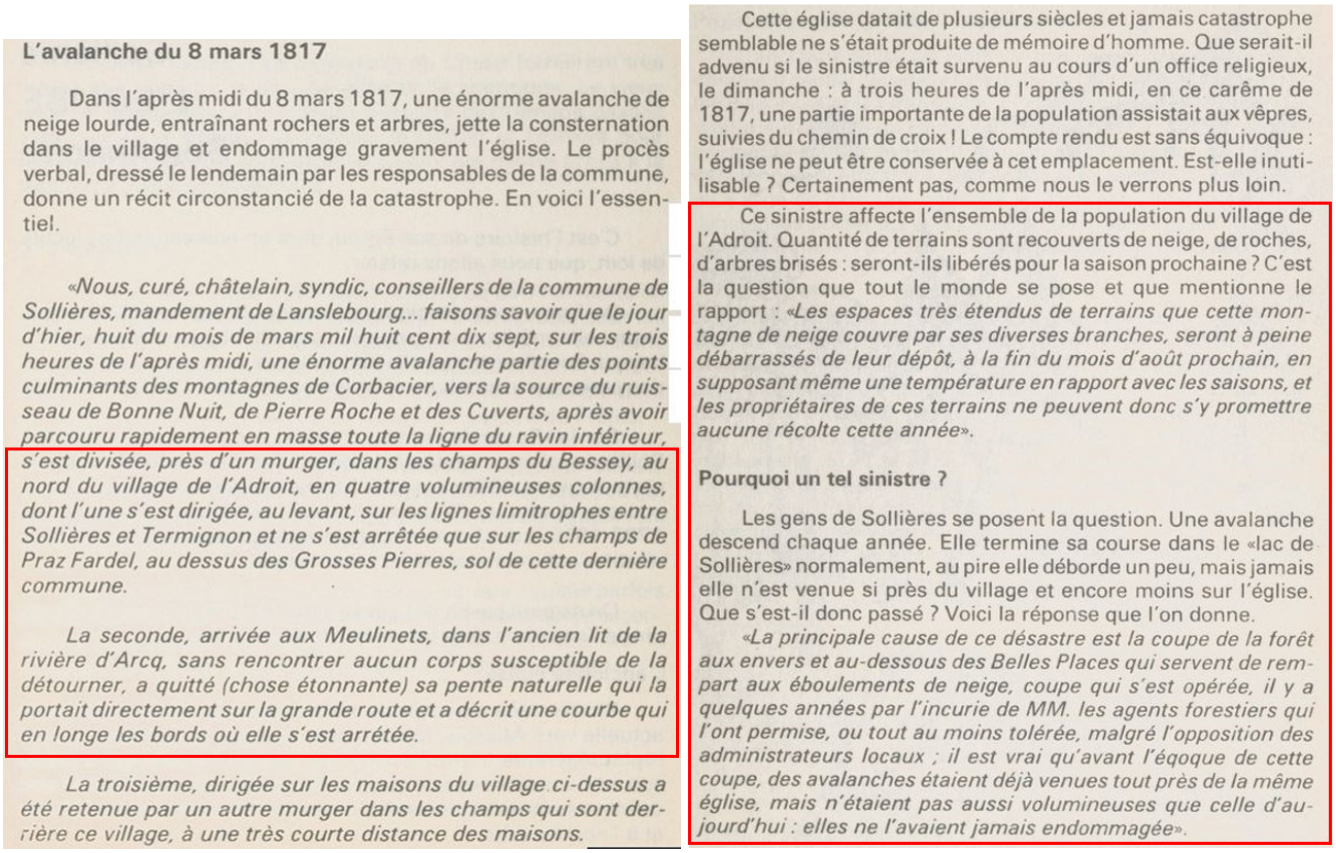
La fiche signalétique 2005 de l'emprise n°7 la CLPA s'appuie sur plusieurs monographies locales (Thèse sur la Maurienne et la Tarentaise – 1938 ; « De lourdes charges pour une petite commune » – 1979 ; « Deux chefs d'œuvre de l'art baroque à découvrir » – 1988) pour préciser que « **l'avalanche du 08/03/1817 est descendue à la rivière. Il y avait trois branches : une est venue jusque vers la première maison de la grande route**, celle du milieu n'était pas descendue beaucoup, la troisième a détruit l'église de Sollières l'Endroit. **C'était une énorme avalanche de neige lourde qui a entraîné rochers et arbres**. »

Le magazine « Terra Modana » n°185 de mars 2017 archivé au RTM revient aussi sur cet événement majeur : « **8 mars 1817, Sollières, milieu d'après-midi. Une énorme avalanche de neige lourde dévale des pentes de la Dent Parrachée**. L'avalanche est si importante qu'elle se divise en **quatre branches**. La première (au nord) s'arrête dans les champs, **la deuxième arrive jusqu'à l'Arc**, la troisième s'approche dangereusement des maisons de Sollières L'Endroit, sans les toucher. Mais la dernière atteint l'église située un peu à l'écart du village. La tour seule du clocher ne paraît pas avoir été ébranlée par **cette masse extraordinaire de neige, de rocs et de terrains mélangés qui s'élève à la hauteur de 18 toises (19 m)** » racontent René Milleret et Claudius Bochet dans leur ouvrage sur Sollières-Sardières.

L'article précise aussi que **l'église, bien que déjà approchée, n'avait jamais été touchée en six ou sept siècles. Il s'agit donc manifestement du plus gros événement connu, d'une ampleur dépassant les autres avalanches observées depuis des siècles**. Soulignons aussi que cette avalanche est antérieure à la fin du Petit Age Glaciaire (PAG) datée vers le milieu du XIXème siècle. Le climat froid et neigeux des hivers du PAG a pu donner lieu à des avalanches d'une ampleur inégalée depuis, que le guide PPR avalanche conseille de qualifier d'événement « exceptionnel », au-delà du scénario de référence centennal.

Même si l'extension de la branche nord (ou centrale suivant les récits) peut donc être considérée comme supérieure à l'extension de référence centennale, il est apparu important de vérifier que cette branche, non cartographiée sur la CLPA, n'a pas atteint l'Arc en passant sur la butte de Pierres Grosses. Sans preuve du contraire, cela laisserait supposer qu'une langue de neige humide et très épaisse est capable de remonter 6 à 8 m de contre-pente pour ensuite traverser le replat de la zone agricole.

Nous avons donc contacté le maire délégué de Termignon et celui de Sollières - Sardières pour tenter de collecter, par leur intermédiaire, davantage d'archives et de précisions sur cet événement vieux de 200 ans. Parallèlement, nous avons consulté l'ouvrage « Sollières – Sardières : splendeurs de l'art baroque montagnard » édité en 1988 dont il est fait référence dans l'article de Terra Modana. Les pages 12 à 16 de cet ouvrage citent in extenso le procès-verbal et les témoignages de l'époque et apportent des détails et références géographiques qui permettent de mieux localiser la branche descendue jusqu'à l'Arc (cf. fig. II.4).



L'avalanche du 8 mars 1817

Dans l'après midi du 8 mars 1817, une énorme avalanche de neige lourde, entraînant rochers et arbres, jette la consternation dans le village et endommage gravement l'église. Le procès verbal, dressé le lendemain par les responsables de la commune, donne un récit circonstancié de la catastrophe. En voici l'essentiel.

«Nous, curé, châtelain, syndic, conseillers de la commune de Sollières, mandement de Lanslebourg... faisons savoir que le jour d'hier, huit du mois de mars mil huit cent dix sept, sur les trois heures de l'après midi, une énorme avalanche partie des points culminants des montagnes de Corbacier, vers la source du ruisseau de Bonne Nuit, de Pierre Roche et des Cuverts, après avoir parcouru rapidement en masse toute la ligne du ravin inférieur, s'est divisée, près d'un murger, dans les champs du Bessey, au nord du village de l'Adroit, en quatre volumineuses colonnes, dont l'une s'est dirigée, au levant, sur les lignes limitrophes entre Sollières et Termignon et ne s'est arrêtée que sur les champs de Praz Fardel, au dessus des Grosses Pierres, sol de cette dernière commune.

La seconde, arrivée aux Meulinets, dans l'ancien lit de la rivière d'Arcq, sans rencontrer aucun corps susceptible de la détourner, a quitté (chose étonnante) sa pente naturelle qui la portait directement sur la grande route et a décrit une courbe qui en longe les bords où elle s'est arrêtée.

La troisième, dirigée sur les maisons du village ci-dessus a été retenue par un autre murger dans les champs qui sont derrière ce village, à une très courte distance des maisons.

Cette église datait de plusieurs siècles et jamais catastrophe semblable ne s'était produite de mémoire d'homme. Que serait-il advenu si le sinistre était survenu au cours d'un office religieux, le dimanche : à trois heures de l'après midi, en ce carême de 1817, une partie importante de la population assistait aux vêpres, suivies du chemin de croix ! Le compte rendu est sans équivoque : l'église ne peut être conservée à cet emplacement. Est-elle inutilisable ? Certainement pas, comme nous le verrons plus loin.

Ce sinistre affecte l'ensemble de la population du village de l'Adroit. Quantité de terrains sont recouverts de neige, de roches, d'arbres brisés : seront-ils libérés pour la saison prochaine ? C'est la question que tout le monde se pose et que mentionne le rapport : *«Les espaces très étendus de terrains que cette montagne de neige couvre par ses diverses branches, seront à peine débarrassés de leur dépôt, à la fin du mois d'août prochain, en supposant même une température en rapport avec les saisons, et les propriétaires de ces terrains ne peuvent donc s'y promettre aucune récolte cette année».*

Pourquoi un tel sinistre ?

Les gens de Sollières se posent la question. Une avalanche descend chaque année. Elle termine sa course dans le «lac de Sollières» normalement, au pire elle déborde un peu, mais jamais elle n'est venue si près du village et encore moins sur l'église. Que s'est-il donc passé ? Voici la réponse que l'on donne.

«La principale cause de ce désastre est la coupe de la forêt aux envers et au-dessous des Belles Places qui servent de rempart aux éboulements de neige, coupe qui s'est opérée, il y a quelques années par l'incurie de MM. les agents forestiers qui l'ont permise, ou tout au moins tolérée, malgré l'opposition des administrateurs locaux ; il est vrai qu'avant l'époque de cette coupe, des avalanches étaient déjà venues tout près de la même église, mais n'étaient pas aussi volumineuses que celle d'aujourd'hui : elles ne l'avaient jamais endommagée».

Fig. II.4 : extraits (pages 12 et 15) de l'ouvrage de R. MILLERET et C. BOCHET « Sollières – Sardières : splendeurs de l'art baroque montagnard » édité en 1988, où est décrite l'avalanche de Bonnenuit du 08/03/1817. Les éléments importants pour notre étude sont encadrés en rouge.

Nous avons retrouvé sur le cadastre de Sollières de 1893 (via le site des archives départementales) le lieu-dit « Le Bessey », cité comme point de séparation des quatre langues de l'avalanche. A partir de ce lieu, nous avons tenté de retracer le cheminement de ces quatre langues, en nous laissant guider par la description détaillée de l'événement faite dès le lendemain par les responsables de la commune.

La langue la plus au nord est restée sur la limite communale entre Termignon et Sollières, en suivant l'axe d'écoulement naturel, cadastré et non canalisé du torrent de Bonnenuit (cf. fig. II.5 et II.6). L'écoulement s'est arrêté au-dessus des « Grosses Pierres » (ndlr : butte de Pierres Grosses), sur le territoire de Termignon. Ce point d'arrêt pourrait correspondre à la cuvette située au pied de la zone agricole, quelques dizaines de mètres au sud de l'actuelle mare où viennent désormais se déposer les avalanches chenalisées.

La langue nord principale (ou centrale) aurait cheminé intégralement sur le territoire de Sollières L'Adroit. Il est précisé qu'elle n'a pas rencontré d'obstacle. Par conséquent, si elle était remontée de 8 m sur la butte de Pierres Grosses, les auteurs du procès-verbal en auraient probablement fait mention. Cette trajectoire centrale sur le cône de déjection était courante avant l'édification de la tourne paravalanche en 1978 et avant la chenalisation/déviation du lit torrentiel vers la mare de Termignon. Les gens de Sollières interrogés en 1817 signalaient en effet que « l'avalanche termine normalement sa course dans le lac de Sollières ». Or ce lac ne correspond pas à l'actuelle mare de Termignon mais à une grosse doline sur le territoire de Sollières, qui était remplie d'eau au XIXème siècle et qui s'est vidangée depuis (cf. fig. II.6 et 7).

Il est ensuite écrit que cette langue est arrivée aux « Meulinets », dans l'ancien lit de l'Arc. Suite à notre enquête auprès de la commune, Jean-François DALIX, de l'association d'Histoire, d'Archéologie et du Patrimoine de Sollières-Sardières, a consulté l'atlas de Marchetti et Denis (1782) sur la route royale de Chambéry à Lanslebourg (source archinoe.fr). Sur la planche de Sollières figure le lieu-dit « Pleine du Mulinet » (cf. fig. II.7), en rive gauche d'un ancien méandre de l'Arc, environ 400 m en amont de l'actuel plan d'eau des « Moulinets » aménagé dans un bras mort de l'Arc. Ce point de repère signifie que l'avalanche a atteint l'Arc dans ce secteur, sur la commune de Sollières et non sur celle de Termignon. Elle n'a donc pas pu atteindre l'Arc en passant la butte de Pierres Grosses.

En 1817, les habitants mentionnent la crête de Belle Place comme origine de l'avalanche. C'est tout à fait plausible car ce versant sud-est constitue l'une des plus vastes et des plus fréquentes zones de départ de l'avalanche de Bonnenuit. Vu la surface de ce versant et vu l'étendue et l'épaisseur des dépôts décrits en 1817, on peut imaginer que l'avalanche du 8 mars 1817 ait déposé près d'un million de mètres cubes de neige humide sur le cône de déjection, pour l'essentiel sur le territoire de Sollières.

Avec un tel volume et une telle masse de neige compacte poussant par l'arrière, **il est assez logique que la langue d'écoulement sortant dans l'axe du couloir ait continué sa route tout droit vers l'Arc, en cheminant lentement selon la ligne de plus grande pente sur le cône de déjection. Il apparaît très probable que cette langue soit passée au niveau des actuels bâtiments agricoles de Sollières l'Endroit, une centaine de mètres au nord de la colonie de vacances, et qu'elle se soit arrêtée au niveau de l'actuel parking de l'Intermarché, dans la zone artisanale des Favières (cf. fig. II. 8 à 10).**

A noter le détail donné sur la langue terminale qui, au lieu d'aller tout droit vers l'Arc, a décrit une courbe pour venir longer « la grande route » (actuelle RD 1006), a priori sans la traverser. Ce n'est pas sans rappeler le comportement de l'avalanche du 23/12/2019 qui a aussi fini « en moustache » contre l'étable de M BURDIN. Cette dynamique est typique des épaisses langues de neige humide en phase d'arrêt.

Nous n'avons pas récupéré d'autres archives permettant de conforter cette localisation probable. En revanche le maire délégué de Termignon, Rémi ZANATTA, nous a orienté vers Bernard PINAUD, guide de l'association d'Histoire, d'Archéologie et du Patrimoine de Sollières qui a confirmé notre interprétation.

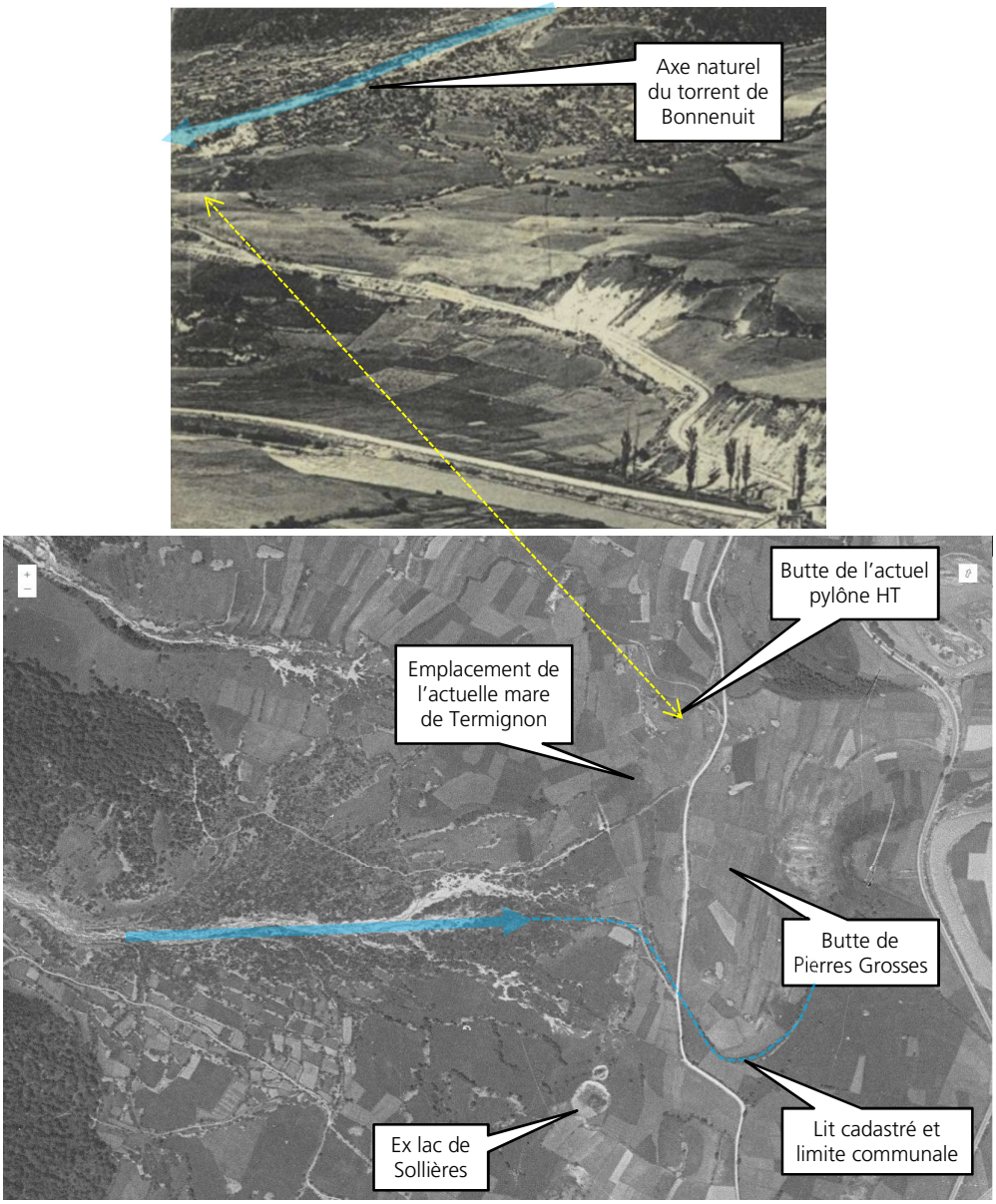


Fig. II.5 : axe naturel et cadastré du torrent de Bonnenuit sur carte postale du début du XXème siècle (en haut) et sur photo aérienne de 1939 (en bas – source IGN). Depuis, le torrent a été dévié vers la mare de Termignon.

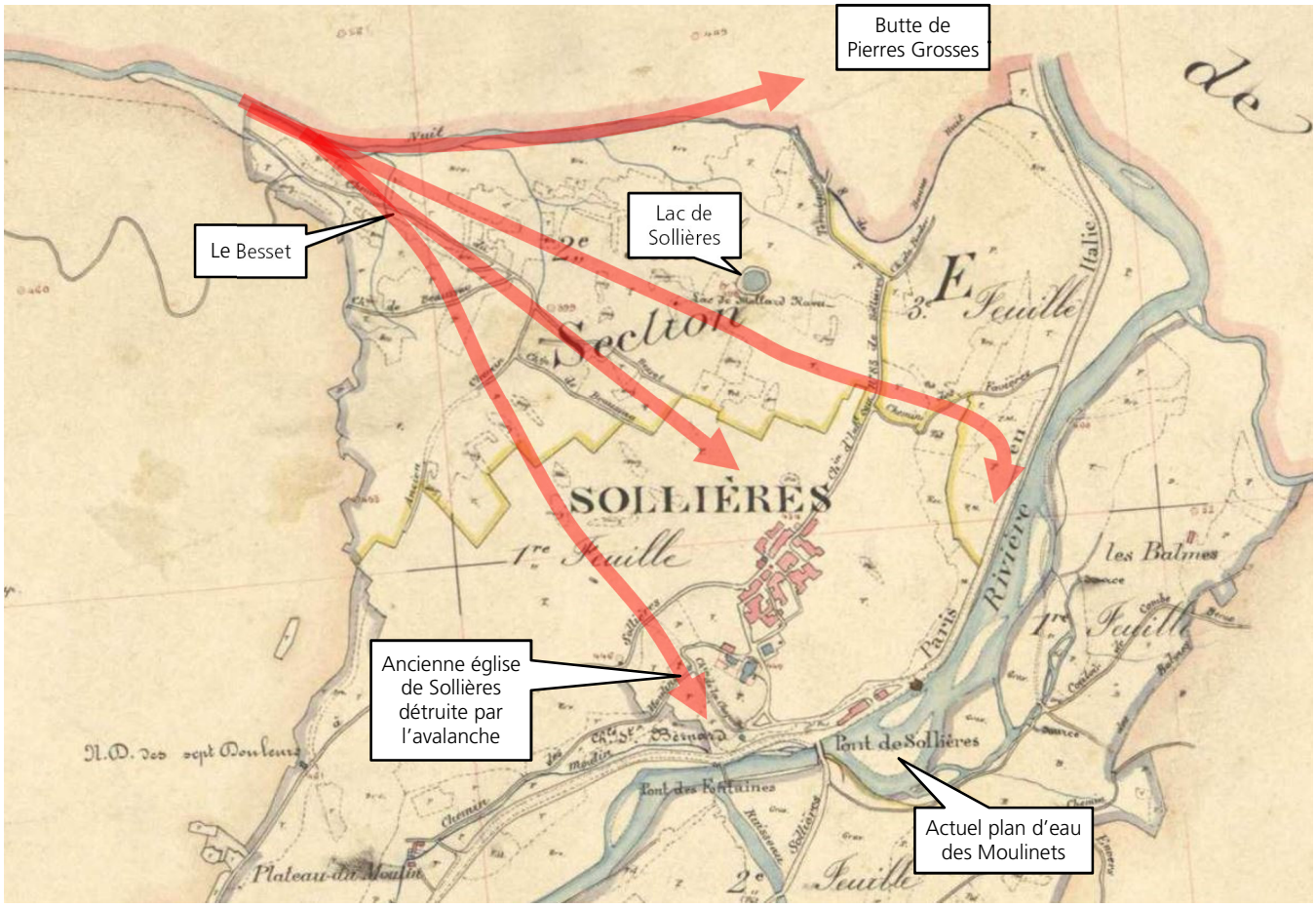
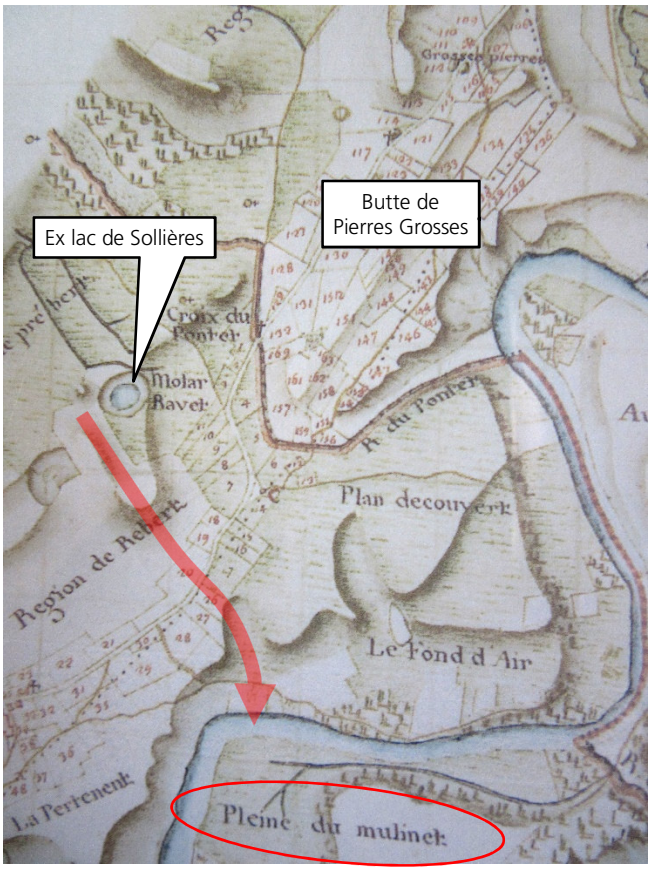


Fig. II.6 : localisation probable des trajectoires des quatre langues de l'avalanche de 1817 sur fond cadastral de 1893 (source : archives départementales de la Savoie).



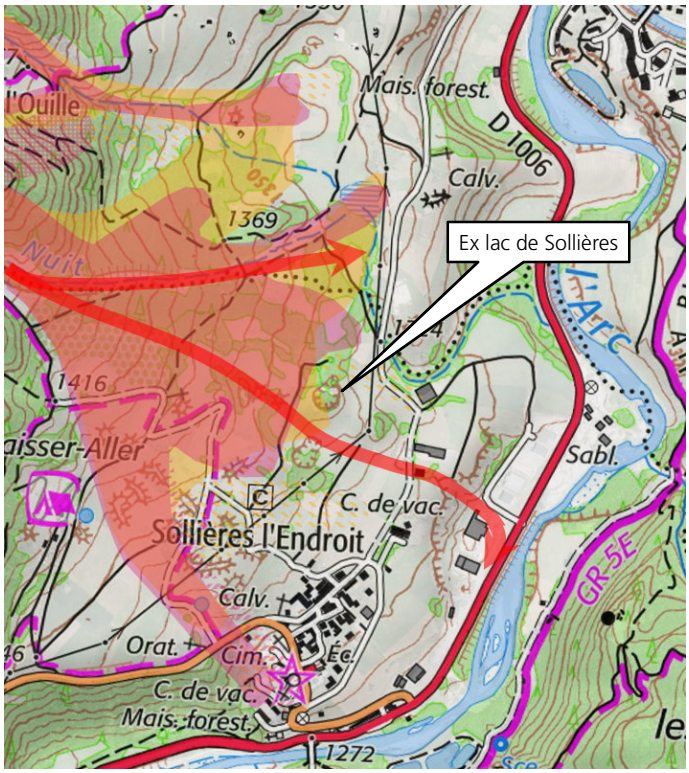


Fig. II.7 et 8 : localisation probable de la langue « centrale » de l'avalanche de 1817 sur l'atlas Marchetti et Denis (1782), dans l'axe de la plaine du Mulinet, et sur le scan25 de l'IGN, comparé à l'emprises CLPA actuelle. Noter l'important dépassement de l'emprise connue pour cette branche centrale.

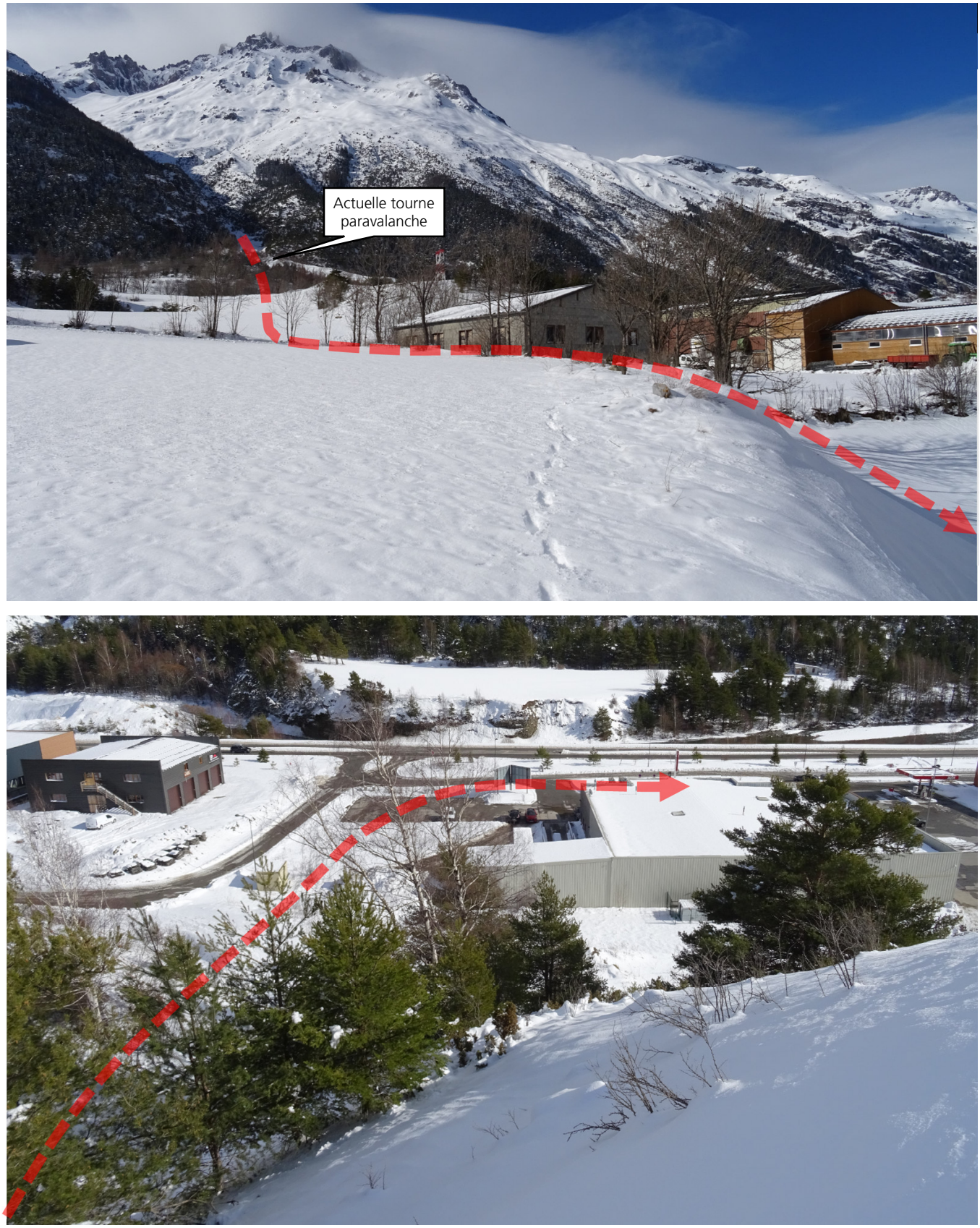


Fig. II.9 et 10 : report à titre indicatif de la trajectoire probable de la langue centrale de l'avalanche de 1817 sur photos de mars 2020. En haut à hauteur des bâtiments agricoles, en bas à hauteur de l'Intermarché.

Cette enquête complémentaire apporte essentiellement quatre enseignements :

- en conditions exceptionnelles, l'avalanche de Bonnenuit peut déposer près d'un million de m^3 de neige compacte sur le cône de déjection, avec des langues historiquement capables d'atteindre l'Arc si elles suivent la ligne de plus grande pente et ne rencontrent pas d'obstacle ;
- le terrassement de la tourne en sortie de couloir en 1978 -1979 et la chenalisation du torrent vers la mare de Termignon dans les années 1990 – 2000 ont sensiblement modifié la distribution de ces langues d'avalanches sur le cône de déjection, avec une forte réduction d'extension vers l'ancien lac de Sollières mais une forte augmentation de fréquence des dépôts contre la butte de Pierres Grosses ;
- la butte de Pierre Grosse (zone agricole) n'a jamais été traversée par une langue d'avalanche, au moins depuis des siècles (mais il n'y avait pas de tourne jusqu'en 1978) ;
- lors de forts cumuls de neige sèche (type février 1970, janvier 1981…), l'avalanche de Bonnenuit peut développer un aérosol dommageable sur le cône de déjection.

III. ESSAI DE CALIBRAGE DE L'AVALANCHE CENTENNALE PAR SIMULATIONS NUMERIQUES

III.1 *Logiciel de simulation et MNT utilisés*

Le type d'avalanche le plus pénalisant en terme de pressions d'impact et de constructibilité sur les terrains soumis à l'avalanche de Bonnenuit est l'avalanche coulante de neige dense. C'est bien cette phase dense qui a menacé la zone agricole en décembre 2019. Nous avons donc simulé les écoulements à l'aide d'un logiciel dédié à ce type de phénomène : le logiciel suisse « RAMMS » (Rapid Mass Movements Simulation) - version 1.7 de novembre 2017 (http://ramms.slf.ch/ramms/). Il 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, et fait l'objet de très nombreux retours d'expérience.

Le MNT utilisé pour les simulations d'avalanches est un assemblage de deux MNT préexistants, de qualité contrastée.

- En amont des gorges de Bonnenuit, au-dessus de 1950 m, il s'agit des dalles de la RGE ALTI® de l'IGN dont la précision réelle est un peu inférieure à celle du scan25 (de l'ordre d'un point tous les 20 m). C'est le seul MNT disponible sur le haut bassin-versant.
- Des gorges jusqu'à l'Arc, il s'agit du MNT issu d'un levé LIDAR aéroporté réalisé par Sintégra en 2017 sur toute la vallée de la Maurienne en dessous de 2000 m et mis à disposition de l'ONF par la RGD73-74. Sa précision initiale est excellente, avec une densité moyenne de points sol d'environ 5 par mètre carré sur les zones non boisées. La végétation et les bâtiments ont été classiquement gommés de ce MNT.

Pour réduire les temps de calcul et lisser les microreliefs comme le fait le manteau neigeux, nous avons volontairement « dégradé » ce MNT assemblé en grille régulière au pas de 2 m (cf. fig. III.1). A noter que la précision du MNT reste suffisante sur le haut du couloir, s'agissant de grands versants assez homogènes. Le besoin de précision était par contre bien plus important sur le cône de déjection, où la tourne et le lit chenalisé du torrent influencent les écoulements vers la zone agricole.

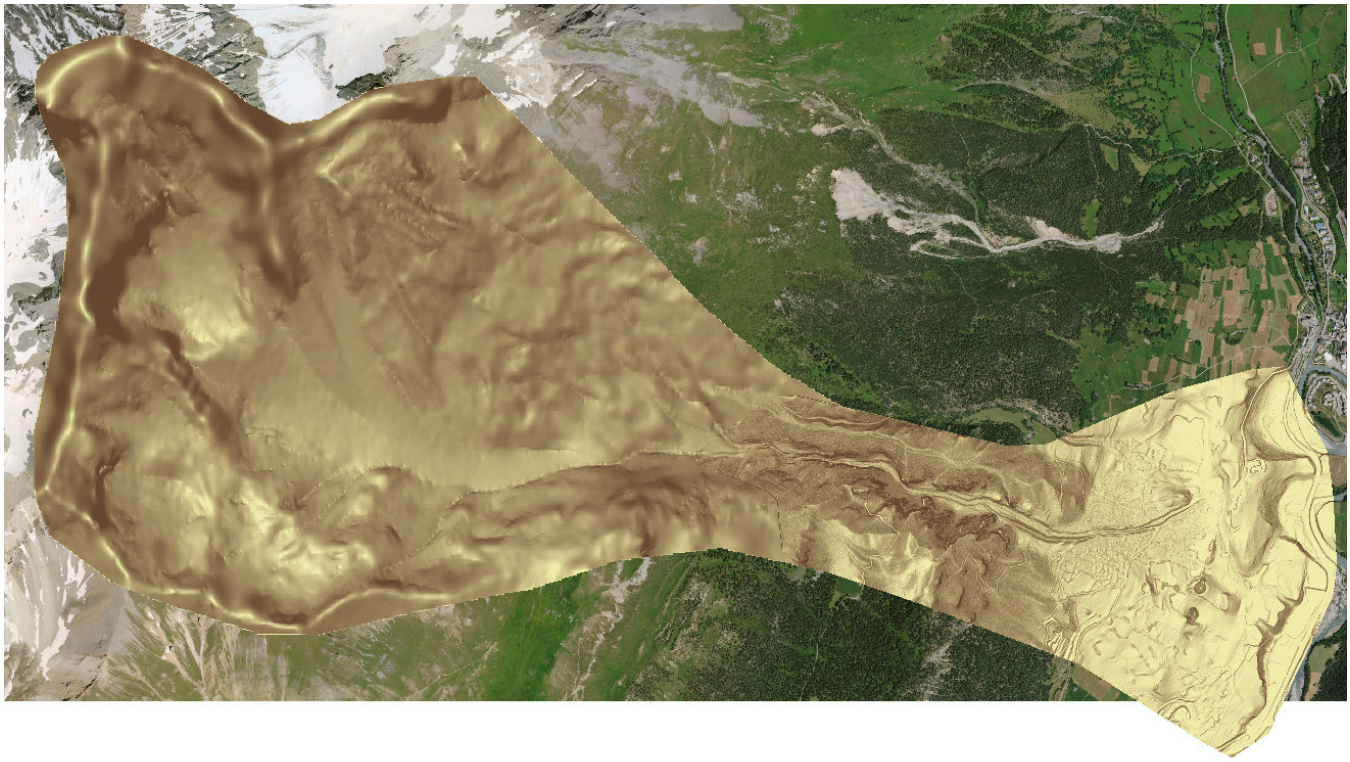


Fig. III.1 : carte des pentes du MNT assemblé, au pas de 2 m, sur l'ensemble du couloir d'avalanche de Bonnenuit.

III.2 *Délimitation des zones de départ mobilisables*

Grâce aux photos des avalanches de 2007, 2010, 2018 et 2019, aux vues hivernales du couloir, au scan25 / orthophoto de l'IGN ainsi qu'à la carte des pentes du MNT, nous avons pu proposer, dans le prolongement de notre rapport d'événement, trois scénarios de départ pour l'avalanche de Bonnenuit (cf. fig. III.2).

Le scénario « A » issu de la Dent Parrachée est celui qui a fonctionné le 24 décembre 2019 (cf. fig. III.3) et qui avait été aussi observé le 20 avril 2018. L'hypothèse la plus probable est un départ de plaque sur la Chaise du Pape, formant un écoulement qui bascule dans les couloirs sud-est pour venir déclencher toutes les pentes de l'ancien Glacier du Coin du Govard. L'écoulement ainsi élargi vient à son tour déclencher toute la pente de la moraine frontale de ce même glacier.

Le scénario « B » issu du Col des Hauts, très abrité des vents d'ouest, est sans doute celui qui a fonctionné le 23 décembre 2019 (voir notre rapport d'événement). L'hypothèse est ici la formation d'une très longue cassure entre le col des Hauts et le col de la Faculta, mobilisant ainsi toutes les pentes > 30° orientées est du couloir de Bonnenuit. Si une partie de l'écoulement se dépose sur les replats des lacs, le reste bascule dans un second niveau de pente pouvant à son tour mobiliser beaucoup de neige (zone d'accumulation également).

Le scénario « C » de la crête de Belle Place est celui qui a fonctionné en 2007, 2010, 2018 et sans doute très fréquemment auparavant. Ce versant sud-est est moins « froid » et moins chargé par flux d'ouest, donc a priori moins instable que les deux autres, mais il présente une surface mobilisable d'un seul tenant très importante. C''est donc surtout cette vaste surface qui crée le volume et la puissance des avalanches. La cassure sous la crête de Belle Place peut néanmoins être épaisse par flux de nord-ouest et favoriser la purge de toute le versant, même au-delà de la limite retenue.

Les surfaces mobilisables retenues pour un seul événement peuvent paraître pessimistes (notamment pour le scénario « B ») mais on est souvent surpris par la longueur des cassures en situation de grande instabilité. Cette hypothèse surévalue donc peut-être un peu le volume réellement mobilisable mais elle compense la non prise en compte par le modèle, dans le calcul du volume global de l'avalanche, de l'érosion (la reprise) que l'avalanche opère sur le manteau neigeux dans la zone de transit, sur des pentes inférieures à 30°.

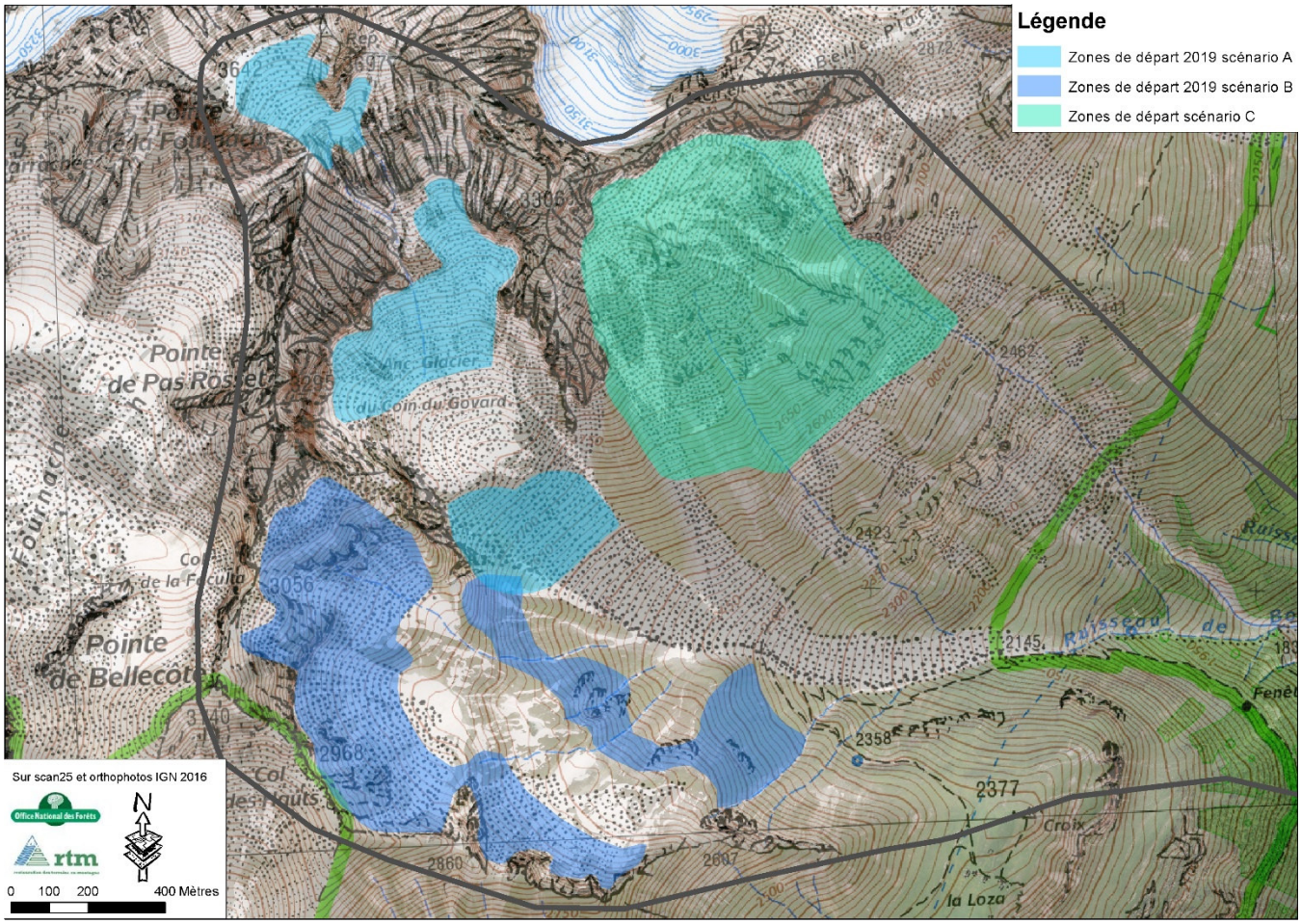


Fig. III.2 : carte des zones de départ retenues pour trois scénarios d'avalanches au sein du couloir de Bonnenuit.



Fig. III.3 : localisation des trois zones de départ mobilisables successivement suivant le scénario A (Dent Parrachée).



Fig. III.4 : localisation des deux niveaux de départ mobilisables successivement suivant le scénario B (Col des Hauts).



Fig. III.5 : localisation de la zone de départ retenue pour le scénario C (Belle Place).

III.3 *Estimation des épaisseurs de neige mobilisables*

Les épaisseurs de neige mobilisables sont classiquement estimées à partir de l'analyse statistique des précipitations hivernales sur les postes nivo-météorologiques les plus représentatifs des zones de départ étudiées (étude de prédétermination des précipitations hivernales disponible sur le site www.avalanches.fr – onglet « En Savoir plus »).

On s'intéresse dans le cas présent au cumul de précipitations hivernales d'occurrence centennale sur 3 jours pour le poste climatologique de Termignon (1280 m) (cf. fig. III.6).

N° du poste : 73 290 002
Commune : Termignon
Massif PRA : Haute-Maurienne
Coordonnées en Lambert 2 étendu
Coord. X : 951100
Coord. Y : 2040600
Altitude : 1280
Première saison : 1954-1955
Dernière saison : 2004-2005
Nbre saisons utilisées : 47

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	32,7	45,2	55,4	67	74,6	85,1	101,4
	2j	45	60,9	74,5	90,5	101,3	116,5	140,9
	3j	52,7	72,2	88,9	108,5	121,6	140,3	170,1

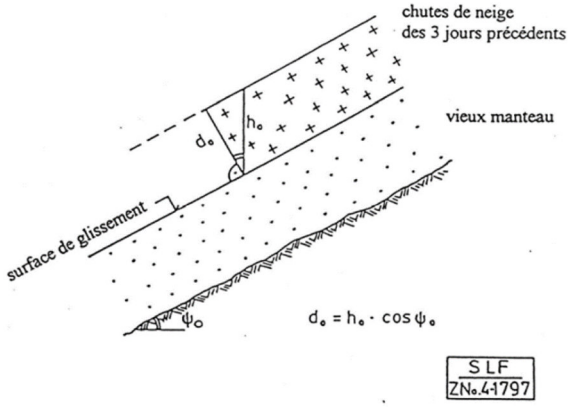
Figure III.6 : quantiles moyens des précipitations hivernales sur le poste de Termignon.

Ce quantile moyen centennal de précipitations hivernales (170,1) s'exprime en mm d'eau. Pour le convertir en cm de neige, en supposant de manière conservative que les précipitations se soient produites exclusivement sous forme de chutes de neige, on retient une densité initiale de 0,1 et un tassement moyen du manteau neigeux de 25% sur 3 jours. **Cela nous donne, à 1280 m d'altitude, un cumul centennal de neige fraîche en 3 jours d'environ 136 cm**.

En tenant compte ensuite d'un gradient d'augmentation du cumul de neige avec l'altitude communément admis autour de 3 à 5 cm/100 m, on obtient, aux altitudes des zones de départ (entre 3500 et 2600 m), un cumul centennal sur 3 jours pouvant théoriquement varier de 220 à 190 cm du haut vers le bas. Considérant l'orientation de l'ensemble du bassin d'alimentation du couloir de Bonnenuit globalement sous les vents dominants d'ouest à nord-ouest mais considérant aussi que les accumulations seront plus faibles près des crêtes et sommets que dans les pentes bien abritées, **ce cumul centennal de neige fraîche en 3 jours peut in fine varier entre 220 et 200 cm suivant les zones de départ.**

Pour chaque zone de départ retenue, l'épaisseur moyenne mobilisable (d_0) d'occurrence centennale a été définie selon la méthode suisse (SLF, 1992).

L'épaisseur d_0 est considérée comme statistiquement proportionnelle à la hauteur de neige fraîche tombée en 3 jours sur la zone de départ, pour cette même période de retour. En effet, les grosses avalanches catastrophiques ont lieu généralement à la suite de longues chutes intenses de neige (entre 2 et 4 jours), et c'est le plus souvent la couche récente ou une partie de cette couche qui se met en mouvement (Burkard, 2010).



L'épaisseur de neige fraîche correspondante, mesurée perpendiculairement à la pente, s'exprime ainsi : $d_0^* = \Delta Hn.\cos \Psi$. (SLF, 1992).

La contrainte de cisaillement du manteau neigeux, d'autant plus importante que la pente est forte et que l'épaisseur de neige fraîche augmente, finit par dépasser la valeur de résistance au cisaillement. Cette instabilité limite la quantité de neige pouvant réellement s'accumuler sur une pente. Plus la pente sera forte, plus l'avalanche aura de chance de partir avant que l'épaisseur de neige fraîche théorique en 3 jours soit atteinte.

Cette épaisseur de neige fraîche est donc multipliée par un facteur de déclivité f(Ψ) pour obtenir l'épaisseur mobilisable : $d_0 = d_0^* f(\Psi)$.

Le SLF propose la formule simplifiée ci-après :

$f(\Psi) = 0{,}291/(\sin\Psi - 0{,}202.\cos\Psi)$. *Ainsi, avec Ψ = 28°, f(Ψ) = 1 et avec Ψ = 45°, f(Ψ) = 0,52.*

Cela signifie par exemple que l'épaisseur statistiquement mobilisable sur une pente à 45° est moitié moindre que sur une pente à 28-30°.

Ainsi, en prenant par exemple une zone de départ inclinée à 35° et située à 2500 m d'altitude, on obtient, au vu de ce qui précède, une épaisseur moyenne mobilisable théorique de 117 cm (arrondie à 120 cm) en conditions centennales.

Estimation de l'épaisseur moyenne de neige mobilisable en zone de départ (IFENA-SLF, 1992)		
Cumul neige de réf. ΔHn sur 3 jours (cm)	Pente moy. zone de départ (°)	Pente moy. zone de départ (radians)
200	35	0,61
Renseigner les cellules blanches	Epaisseur neige (d^*_0) suivant la pente (cm)	Epaisseur moy. mobilisable (d_0) (cm)
	164	**117**

Le volume mobilisable considéré sur chaque zone de départ unitaire est le produit de la surface de départ (selon la pente) par l'épaisseur moyenne de neige mobilisable sur cette surface (cf. tableau ci-dessous).

Epaisseurs et volumes mobilisables retenus pour les simulations d'avalanches centennales dans le couloir de Bonnenuit - Termignon					
Scénario / Zone de départ	**Altitude moyenne**	**Pente moyenne**	**Epaisseur moyenne mobilisable (d_0) pour T100**	**Surface selon la pente**	**Volume mobilisable**
A - Chaise du Pape	3500 m	38°	**110 cm**	83 000 m²	**92 000 m³**
A - Ancien glacier	3000 m	35°	**130 cm**	180 000 m²	**234 000 m³**
A – Moraine frontale	2700 m	33°	**140 cm**	117 000 m²	**164 000 m³**
B – Sous les cols	2860 m	35°	**130 cm**	446 000 m²	**580 000 m³**
B – Sous les lacs	2560 m	35°	**120 cm**	184 000 m²	**221 000 m³**
C – Sous la crête de Belle Place	2830 m	37°	**105 cm**	740 000 m²	**777 000 m³**

En considérant que toutes les zones de départ de chaque scénario peuvent être mobilisées en cas d'avalanche (voir III.2), on obtiendrait les volumes d'avalanches centennales suivants :

Scénario A (Dent Parrachée) : environ 500 000 m³

Scénario B (Col des Hauts) : environ 800 000 m³

Scénario C (Belle Place) : environ 800 000 m³

III.4 *Essai de reconstitution de l'avalanche du 23 décembre 2019*

Avant de tenter de simuler des avalanches dites « centennales », nous avons fait un premier essai en tentant de reproduire l'avalanche coulante du 23 décembre 2019. En cohérence avec notre analyse préalable des volumes mobilisés/déposés en 2019 (voir p11 du rapport d'événement), nous avons testé le scénario A avec un volume de 400 000 m³ puis le scénario B avec un volume de 500 000 m³.

Notre analyse du contexte météorologique en fin de nuit du 23/12/2019 montrait que l'avalanche avait pu mobiliser des accumulations de neige ≥ 1 m dans le bassin d'alimentation. En retenant des épaisseurs mobilisées moyennes d'un mètre sur les zones de départ délimitées ci-avant, nous obtenons bien ces gammes de volumes.

La simulation a été lancée en retenant les paramètres de frottement proposés par la notice du SLF pour une avalanche trentennale de catégorie « Large » (> 60 000 m³) et en fixant la cohésion de la neige (sa viscosité en zone d'arrêt) à une valeur de 200 Pa (valeur moyenne pour une avalanche de neige humidifiée en fin d'écoulement). La zone de départ A – Ancien glacier a été mobilisée avec 20 secondes de retard sur la première et la zone A - moraine frontale avec 40 secondes de retard, pour reproduire l'effet d'entrainement au passage du front de l'avalanche. Idem pour le scénario B.

Les résultats ci-après (cf. fig. III.7 et 8) pour les hauteurs maximales d'écoulement et les dépôts sont satisfaisants à plusieurs égards vis-à-vis de l'événement observé :

- Similitude au niveau des traces d'écoulement et de dépôts dans le couloir ;
- Similitude au niveau des débordements par-dessus des chicanes dans les gorges ;
- Similitude au niveau des débordements en rive droite à l'aval de la tourne ;
- Similitude au niveau de la langue principale d'une dizaine de mètre d'épaisseur dans le chenal torrentiel jusqu'à la mare.

Par contre, comme nous nous y attendions, le modèle ne reproduit pas « l'auto-chenalisation » de la langue principale jusqu'à la butte de Pierres Grosses. Il laisse la neige se répandre comme un fluide visqueux sur le bas du cône de déjection et interrompt l'écoulement une fois atteint le replat de la mare.

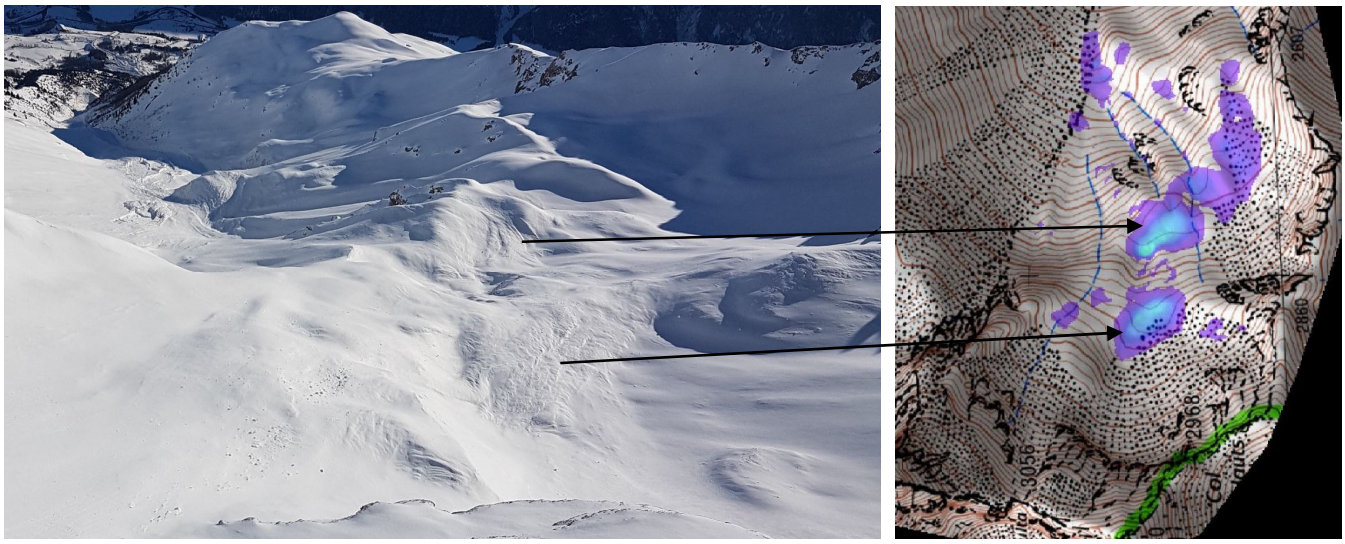


Fig. III.7 : comparaison entre les dépôts supérieurs photographiés le 30/12/2019 par D. PETIT sur le replat des lacs et ceux obtenus par simulation du scénario B (Col des Hauts). On retrouve bien les principales accumulations.

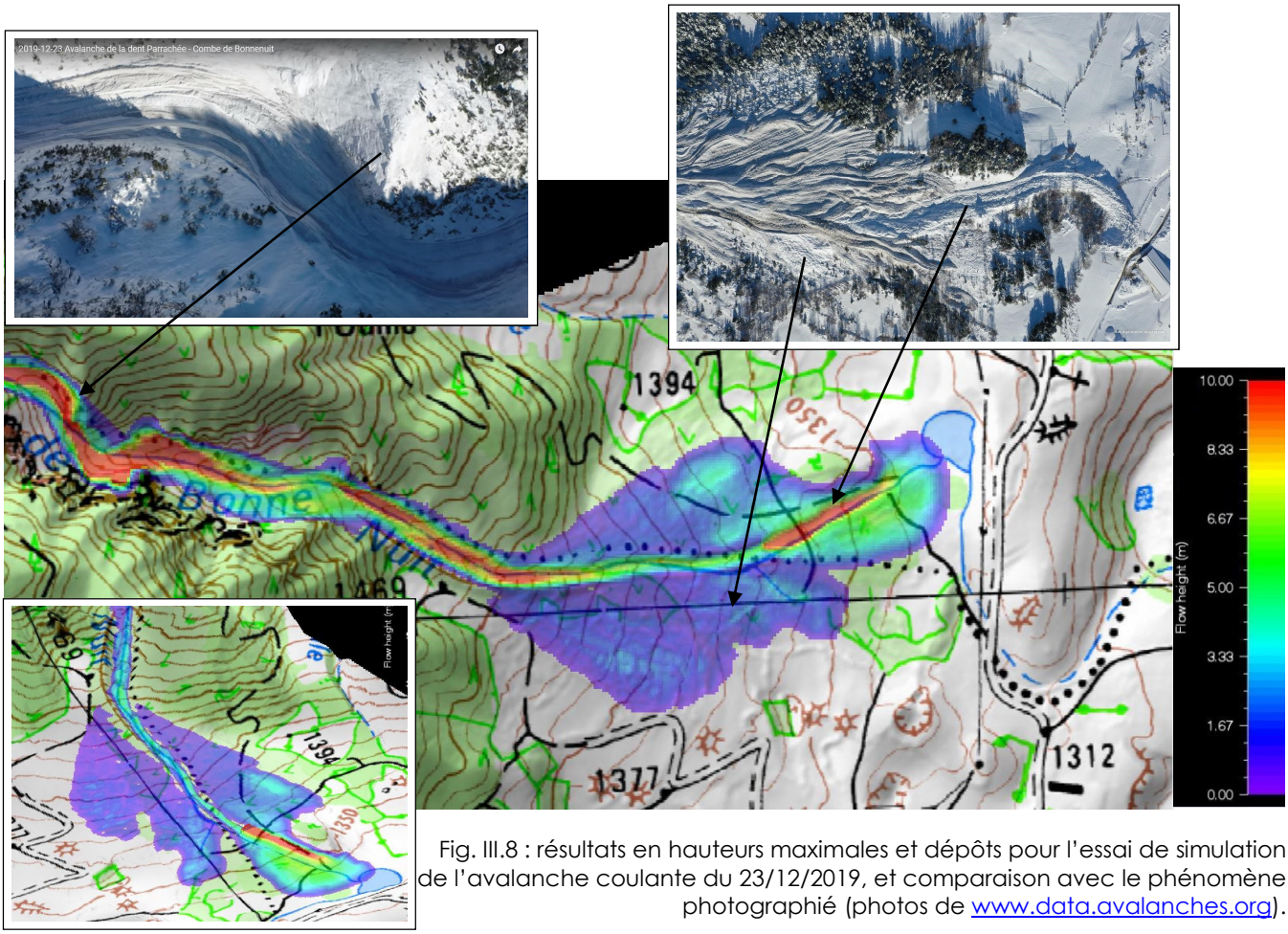


Fig. III.8 : résultats en hauteurs maximales et dépôts pour l'essai de simulation de l'avalanche coulante du 23/12/2019, et comparaison avec le phénomène photographié (photos de www.data.avalanches.org).

III.5 *Essais de simulation de scénarios centennaux*

Bien que le premier essai ait déjà montré les limites du modèle numérique pour reproduire la langue terminale de l'avalanche du 23/12/2019, nous avons testé des scénarios centennaux pour mesurer l'évolution des emprises et épaisseurs de dépôts.

Concernant le scénario A, nous avons simulé une avalanche paramétrée en centennale, toujours de catégorie « Large » mais avec un volume de 500 000 m³ (22% en plus - cf. tableau en III.3). Pour forcer le modèle à auto-chenaliser la langue terminale, nous avons créé des digues de contention virtuelles de 12 m de haut sur les deux rives à proximité de la mare. Cet artifice est censé reproduire les dépôts latéraux de neige compacte qui se sont produit à l'avancement de la langue d'avalanche, et qui ont constitué autant de tournes ou digues naturelles influençant le cheminement du reste de l'écoulement. Cela améliore la similitude avec le dépôt du 23/12/2019 mais l'écoulement « refuse » toujours de remonter la contre-pente de la butte de Pierres Grosses (cf. fig. III.9).

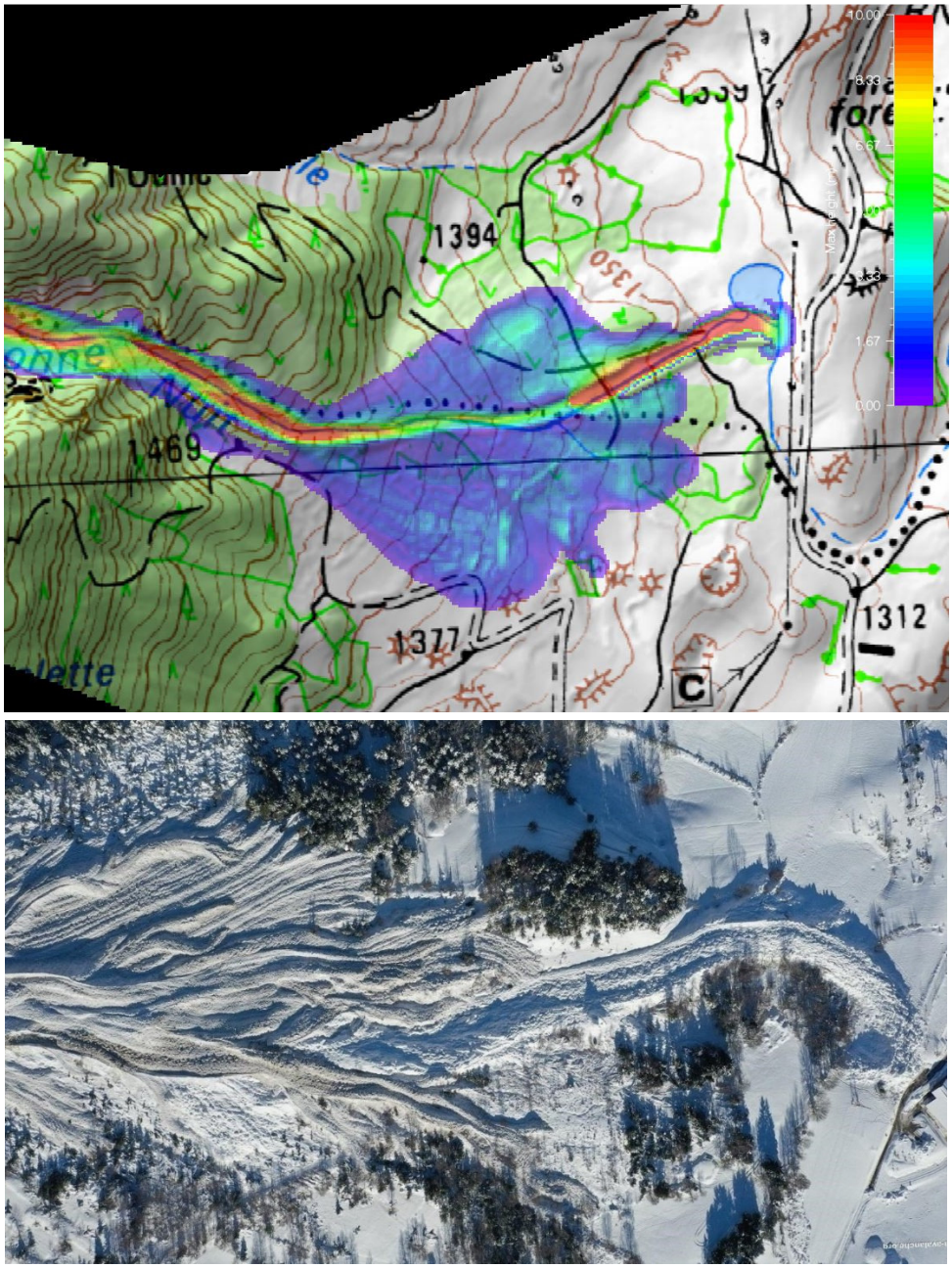


Fig. III.9 : résultat en hauteurs maximales d'écoulement pour le scénario A centennal, avec digues de contention « numériques », et comparaison avec les dépôts de décembre 2019 (photo www.avalanches.org).

Les scénarios B et C ont ensuite été simulés en conditions centennales et même tri-centennales, pour un volume dans les deux cas de 800 000 m³ (60 % en plus vis-à-vis du scénario 2019 - cf. tableau en III.3). Malgré cela et malgré les digues de contention virtuelles, la langue terminale ne dépasse pas la route communale et ne pénètre pas dans le périmètre de la zone agricole. L'excédent de volume reflue sur les bords (cf. fig. III.10). En fait le modèle ne peut reproduire la très forte cohésion de la langue de neige humide en phase d'arrêt, qui permettrait ici d'assimiler l'écoulement à la poussée par saccades successives d'un solide précontraint sur sol lubrifié (l'effet « tube de dentifrice »).

Ces résultats montrent clairement que ce n'est pas avec les modèles numériques disponibles sur le marché que nous pourrons fixer la distance d'arrêt d'une avalanche de volume centennal sur la butte de Pierres Grosses. Néanmoins, ces résultats montrent qu'un important accroissement du volume d'écoulement (+60% ici) ne signifie pas un accroissement proportionnel du dépôt contre la butte de Pierres Grosses. L'excédent de volume a surtout tendance à déborder sur les deux rives du torrent (comme observé ces 15 dernières années) avant d'atteindre la mare de Termignon (cf. fig. III.10 et 11).

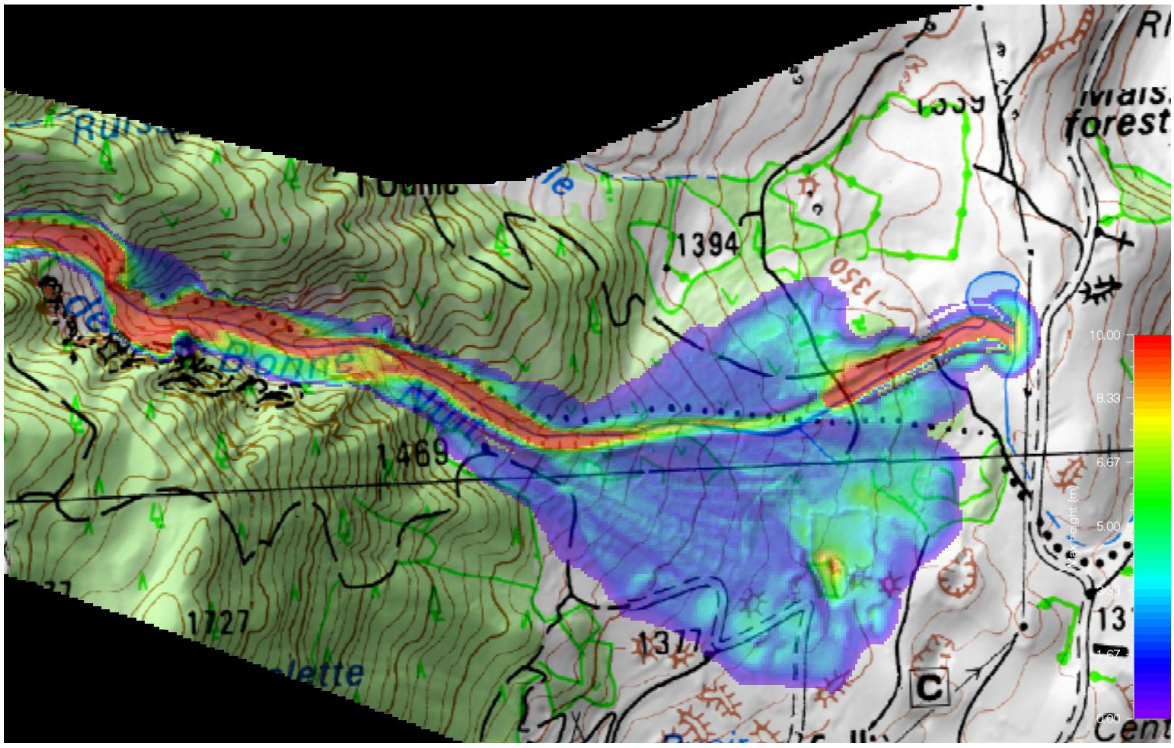


Fig. III.10 : résultat en hauteurs maximales d'écoulement pour le scénario B tri-centennal (800 000 m³), avec digues de contention « numériques ».

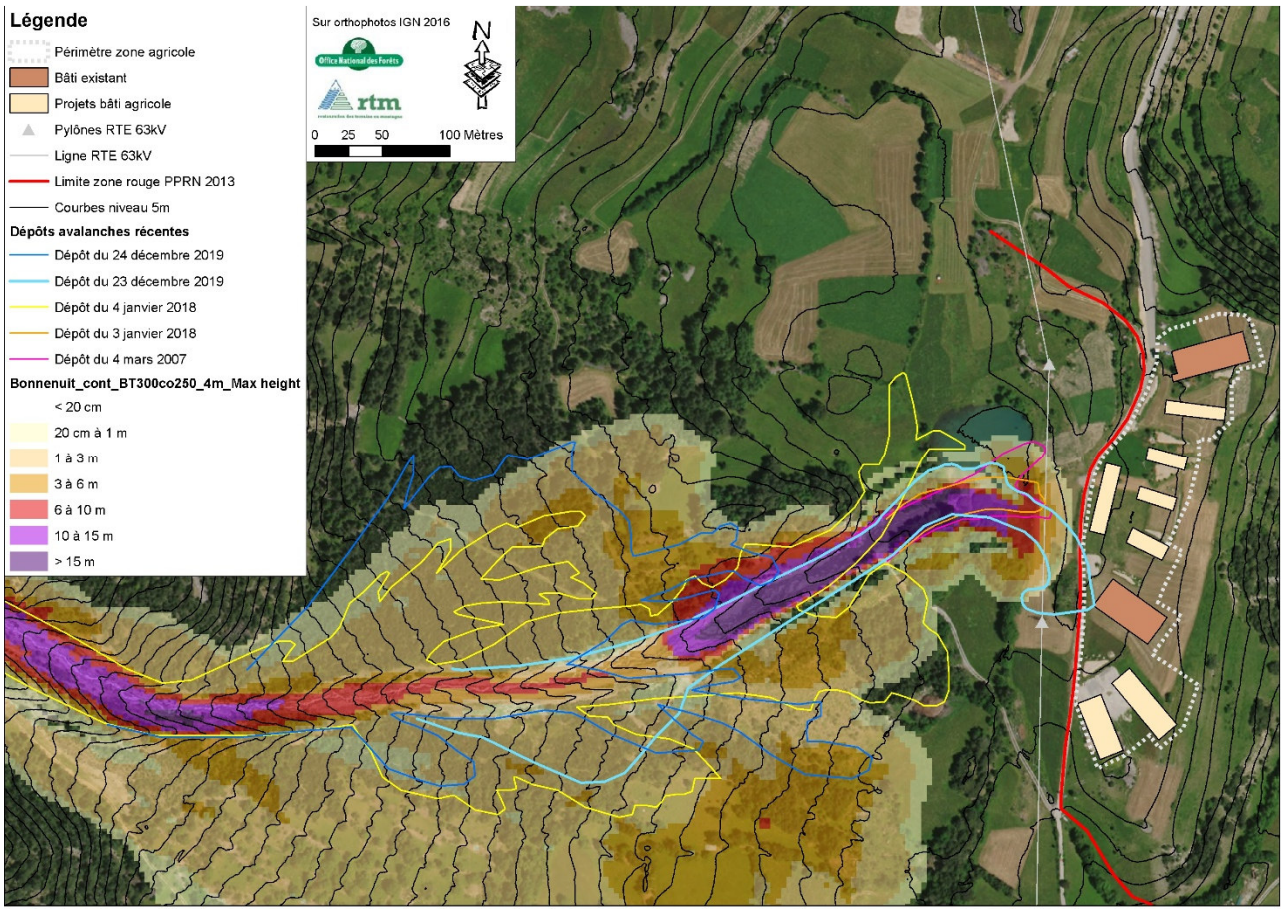


Fig. III.11 : même résultat sur orthophoto 2016, avec en comparaison les dépôts d'avalanches remarquables de ces 15 dernières années et la limite de dépôt retenue dans le PPRN de 2013 (en rouge).

IV. ACTUALISATION DES ALEAS DE REFERENCE

IV.1 *Extension et caractérisation des dépôts en conditions centennales*

IV.1.1 Analyse morphologique

En complément de l'analyse historique et des essais de simulations numériques, nous nous efforçons maintenant, grâce à notre expertise de terrain, de conclure sur le comportement prévisible d'une avalanche coulante de volume centennal (500 000 à 800 000 m³) interagissant avec la tourne, le chenal torrentiel, le replat de la mare et la butte de Pierres Grosses.

Concernant la tourne à la sortie du couloir, il faut préciser que ces 40 dernières années, malgré de très fréquentes avalanches, elle s'est toujours avérée efficace pour dévier l'écoulement vers l'est et protéger Sollières l'Endroit et son centre de vacances. Jusqu'à 1430 m d'altitude, l'ouvrage présente une hauteur de parement amont d'une douzaine de mètres et, d'après nos photos d'archives, il parvient à dévier la totalité du flux, qu'il s'agisse de neige très humide comme en 2010 ou 2018 ou plus sèche comme 2019.

Ceci dit, l'EPA signale un débordement de la tourne le 20/01/1981 (neige sèche, ouvrage rempli), un débordement limité en avril 1984 (neige humide) et un dernier débordement en janvier 1995. Faute de renseignements complémentaires, nous ne savons pas si ces débordements ont eu lieu à l'extrémité amont de la tourne (petite zone de faiblesse), sur la tourne à proprement dit, là où elle atteint 12 à 13 m de haut, ou juste à l'aval, où des pseudo-digues en produits de curage rehaussent les berges d'environ 4 m. Les photos ci-dessous montrent en tous cas que des débordements se produisent régulièrement sur les deux rives à l'aval immédiat de la tourne, toujours à peu près aux mêmes niveaux. C'est surtout au passage du front, qui peut atteindre 8 à 10 m d'épaisseur (cf. fig. IV.3), que se forment les surverses. Elles ne restent pas alimentées par le flux principal et s'arrêtent donc plus ou moins rapidement, sans menacer les enjeux situées dans leur prolongement (ZA de Termignon, étable en limite communale sur Sollières).

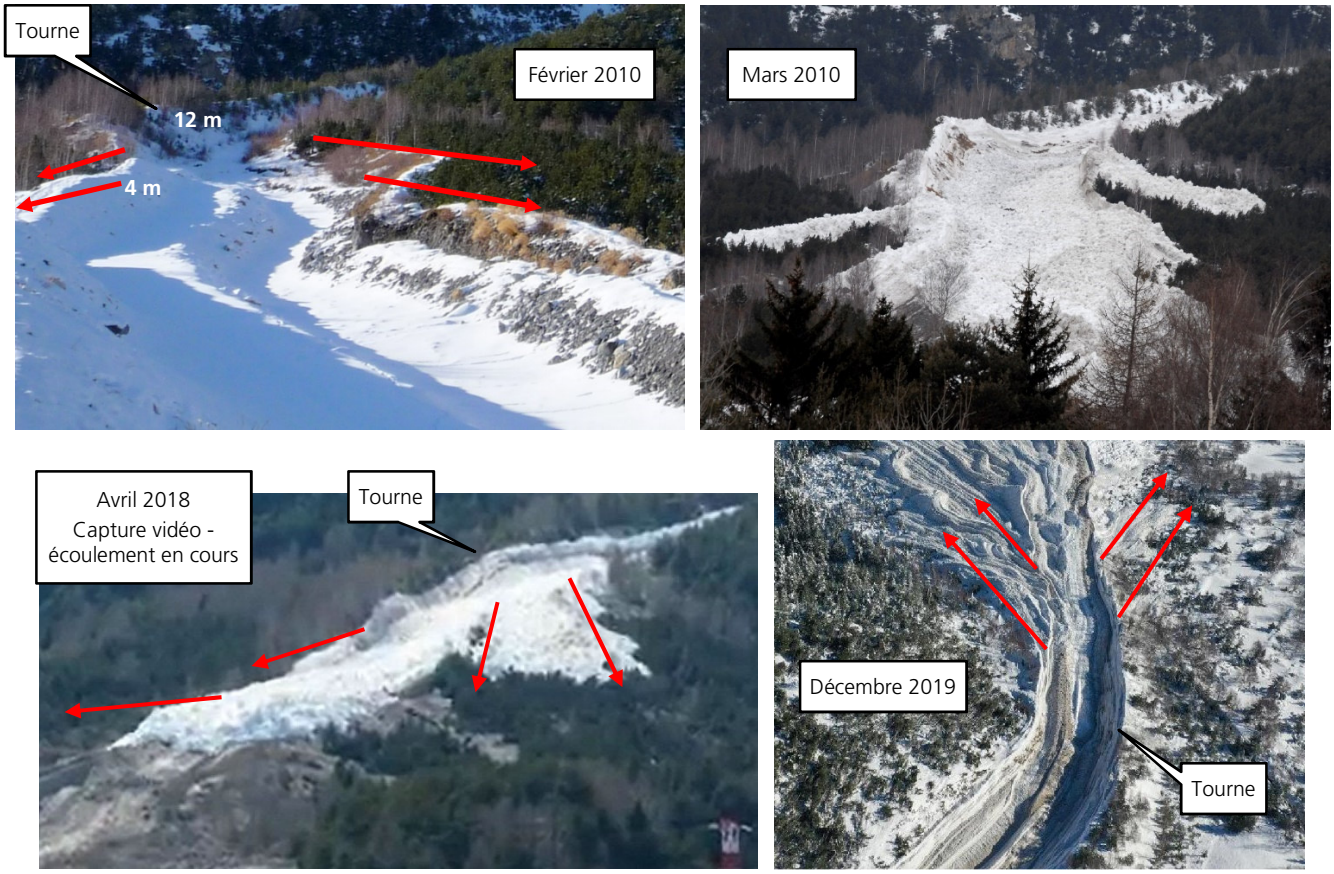


Fig. IV.1 à 4 : morphologie du lit torrentiel de Bonnenuit à la sortie de la tourne et photos de débordements observés ces 20 dernières années (en bas : source data.avalanches.org)

Il nous est apparu intéressant de confronter ces observations avec la hauteur théorique d'ouvrage que nous conseillent les formules de dimensionnement en vigueur, pour éviter tout débordement. En retenant, d'après les simulations réalisées, une vitesse incidente maximale de 20 m/s et une épaisseur incidente moyenne de 8 m, en considérant par ailleurs que l'angle de déviation imprimé par l'ouvrage est d'environ 30° et que la couche de neige au sol préalable se limite à 1 m (pas de dépôt antérieur), la méthode traditionnelle (1990) nous conseille une hauteur de tourne de 12 m, conforme à la hauteur réelle. Les nouvelles formules de 2009 recommandent une hauteur de tourne sensiblement plus importante, pour prendre en compte la formation d'un possible « ressaut » à l'amont de l'ouvrage. Un surcroît de hauteur de quelques mètres aurait sans doute permis d'éviter les quelques débordements signalés dans l'EPA mais il faut souligner que l'éloignement des enjeux exposés rend ces débordements sans conséquence.

Entre 1420 et 1370 m d'altitude, les cavaliers de 4 m de haut réalisés sur les deux rives en produits de curage ne sont pas assez hauts pour empêcher de fréquents débordements d'avalanche mais suffisamment marqués pour canaliser le flux principal et orienter l'avalanche, surtout la première de la saison, vers la mare de Termignon (cf. fig. IV 5 et 6).

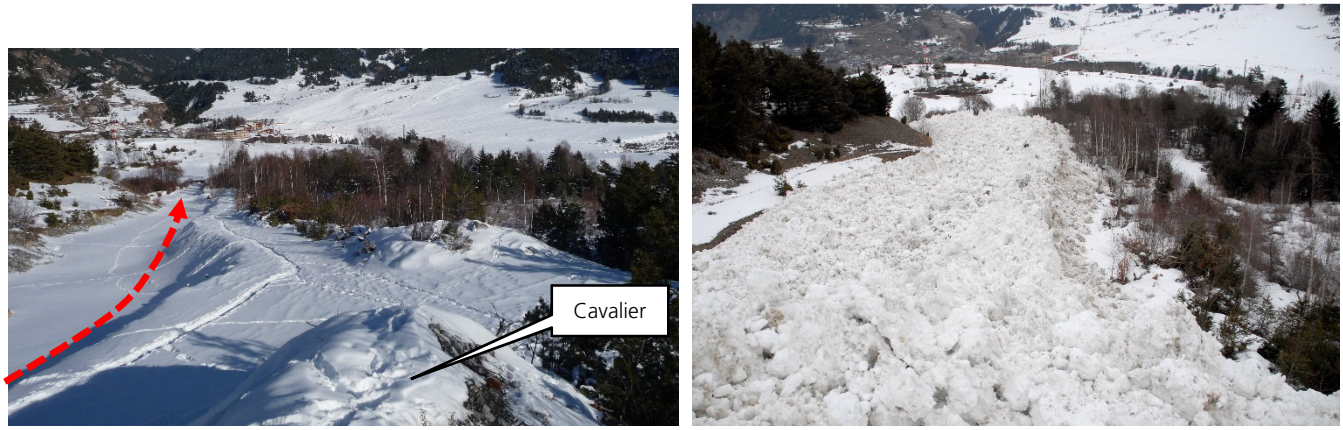


Fig. IV.5 et 6 : morphologie du lit torrentiel de Bonnenuit en aval de la tourne, juste avant et juste après l'avalanche du 1er mars 2010. Noter l'effet chenalisant des cavaliers et talus de berges.

Entre 1370 et 1340 m d'altitude, les cavaliers (pseudo-digues) s'effacent mais subsiste un talus de berge de 4 à 5 m de haut en rive droite, également réalisé avec les produits de curage du torrent (largeur carrossable). Ce talus, comme nous l'avions déjà noté dans notre rapport d'événement, est suffisamment marqué pour servir d'appui ou de rail à l'avalanche et maintenir le flux de neige lourde vers la mare de Termignon (cf. fig. IV.7 et 8). Du fait de cette morphologie du lit, il n'est pas étonnant que les avalanches de mars 2007, mars 2010 et les premières avalanches de janvier 2018 et décembre 2019 aient toutes suivies cette trajectoire jusqu'à la mare.



Fig. IV.7 et 8 : morphologie du lit torrentiel de Bonnenuit en amont de la mare de Termignon, en février 2010. Noter l'effet chenalisant du talus de berge rive droite.

En l'état actuel du terrain, on peut donc affirmer que le flux principal des avalanches est conduit directement vers la mare de Termignon via le lit curé et chenalisé du torrent de Bonnenuit, jusqu'à ce que ce chenal soit totalement rempli. Les écoulements ultérieurs peuvent alors se répartir de manière

aléatoire sur les deux rives, comme avant chenalisation, sans amplifier davantage le volume de neige conduit jusqu'au pied de la butte de Pierres Grosses.

La question est ensuite de savoir si toute cette épaisse masse de neige canalisée et poussée jusqu'à la mare est ensuite capable de remonter loin sur la butte de Pierres Grosses ? Un élément joue en défaveur de la zone agricole : l'inclinaison globalement faible du flanc ouest de la butte. En revanche, un autre élément lui est favorable : la dénivelée positive à franchir par l'avalanche est d'autant plus importante que l'on se rapproche de l'axe du chenal torrentiel (cf. fig. IV.9). L'énergie cinétique du flux étant a priori plus importante dans l'axe d'écoulement initial, c'est une bonne chose que la butte soit plus haute à ce niveau (+ 11 m). Sur l'extrémité sud de la zone agricole, les terrains à bâtir ne sont situés que 3,5 m au-dessus de la cuvette mais la langue d'avalanche doit tourner et faire plus de chemin pour y arriver, ce qui va lui ôter une partie de son énergie.

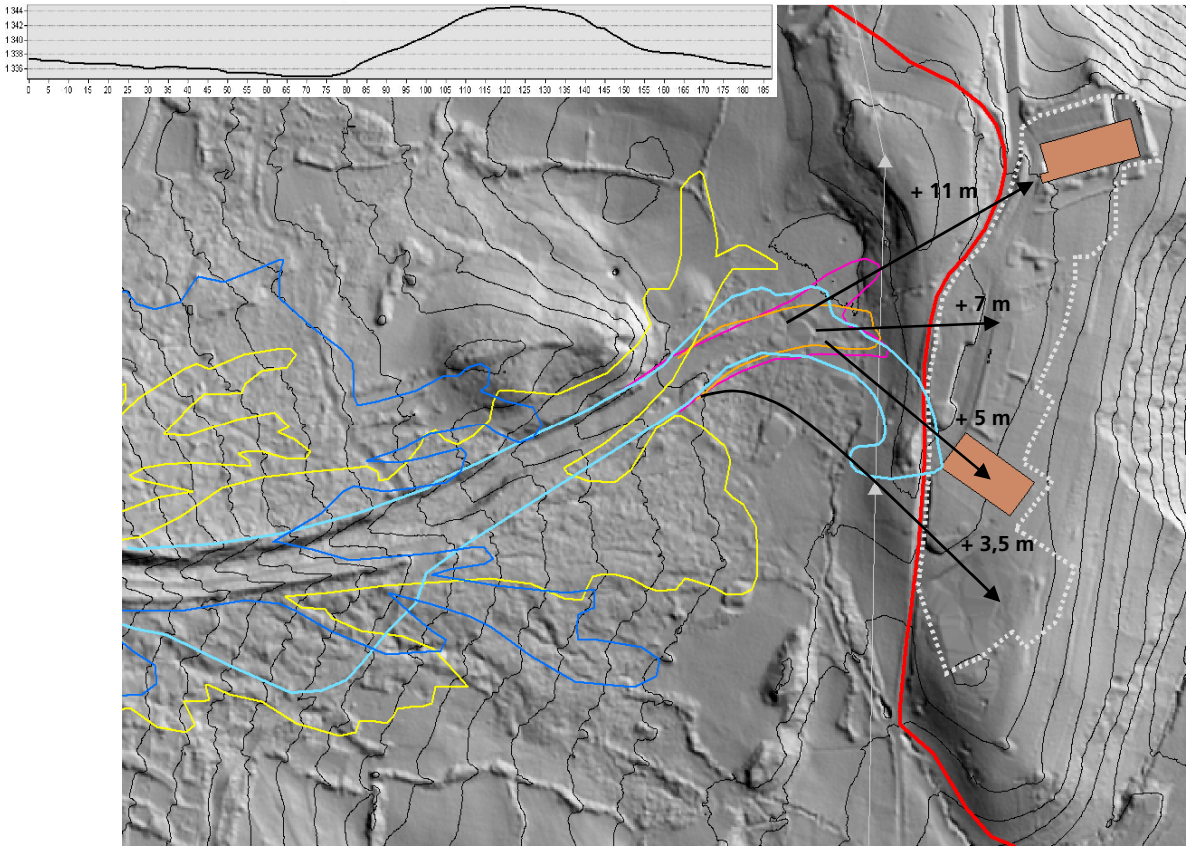
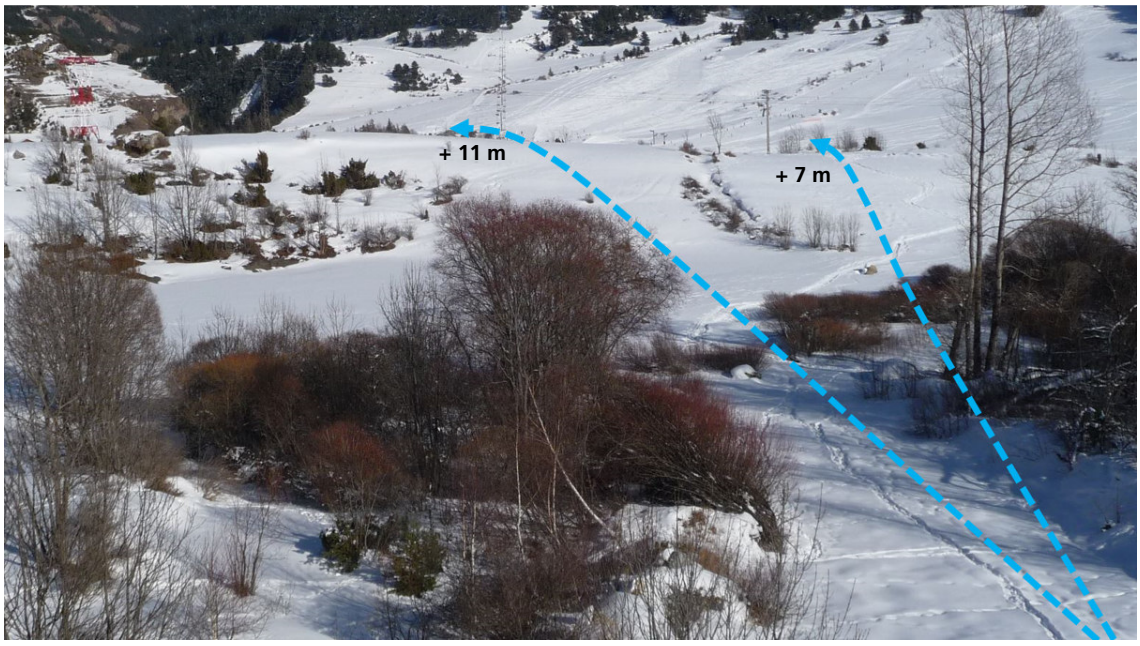


Fig. IV.9 et 10 : dénivelée positive à franchir pour atteindre la zone agricole depuis le chenal d'écoulement.



En définitive, une plus faible contre-pente est compensée par un plus grand éloignement de l'axe d'écoulement initial. Cette configuration topographique tend à homogénéiser le niveau d'exposition sur toute la frange ouest du périmètre de zone agricole.

Comme nous l'avons montré dans notre rapport d'événement, la langue du 23/12/2019 est sans doute celle qui est remontée le plus haut sur la butte ces 120 dernières années. En même temps, nous avons vu que des langues d'avalanches avaient amorcé une remontée sur la butte en moyenne tous les 4 à 5 ans ces dernières décennies, depuis la chenalisation du torrent. On peut donc raisonnablement considérer que **la probabilité de remontée d'une langue vers la zone agricole est plus forte aujourd'hui que dans les années 90 (avant curages du lit) et beaucoup plus forte qu'avant 1978 (année du terrassement de la tourne).**

Nous avons vu par ailleurs que le volume de dépôt du 23/12/2019, estimé à environ 300 000 m³ sur le bas du couloir et le cône de déjection, ne représenterait que 50 à 60% du volume de dépôt d'une avalanche centennale. On peut donc supposer qu'une avalanche centennale apporterait significativement plus de neige dans la cuvette de la marre. Même si ce surcroît de dépôt aurait tendance à s'étaler plus largement dans la cuvette, il est très probable que l'épaisseur et la puissance accrue de la langue frontale lui permette de s'étendre un peu plus loin qu'en 2019 sur la zone agricole. La différence devrait néanmoins rester limitée, tant la remontée de la butte est consommatrice d'énergie. **Le front viendrait se figer quelques mètres plus loin, sans vitesse, sur le plateau ouvert de la butte (cf. fig. IV.11).**

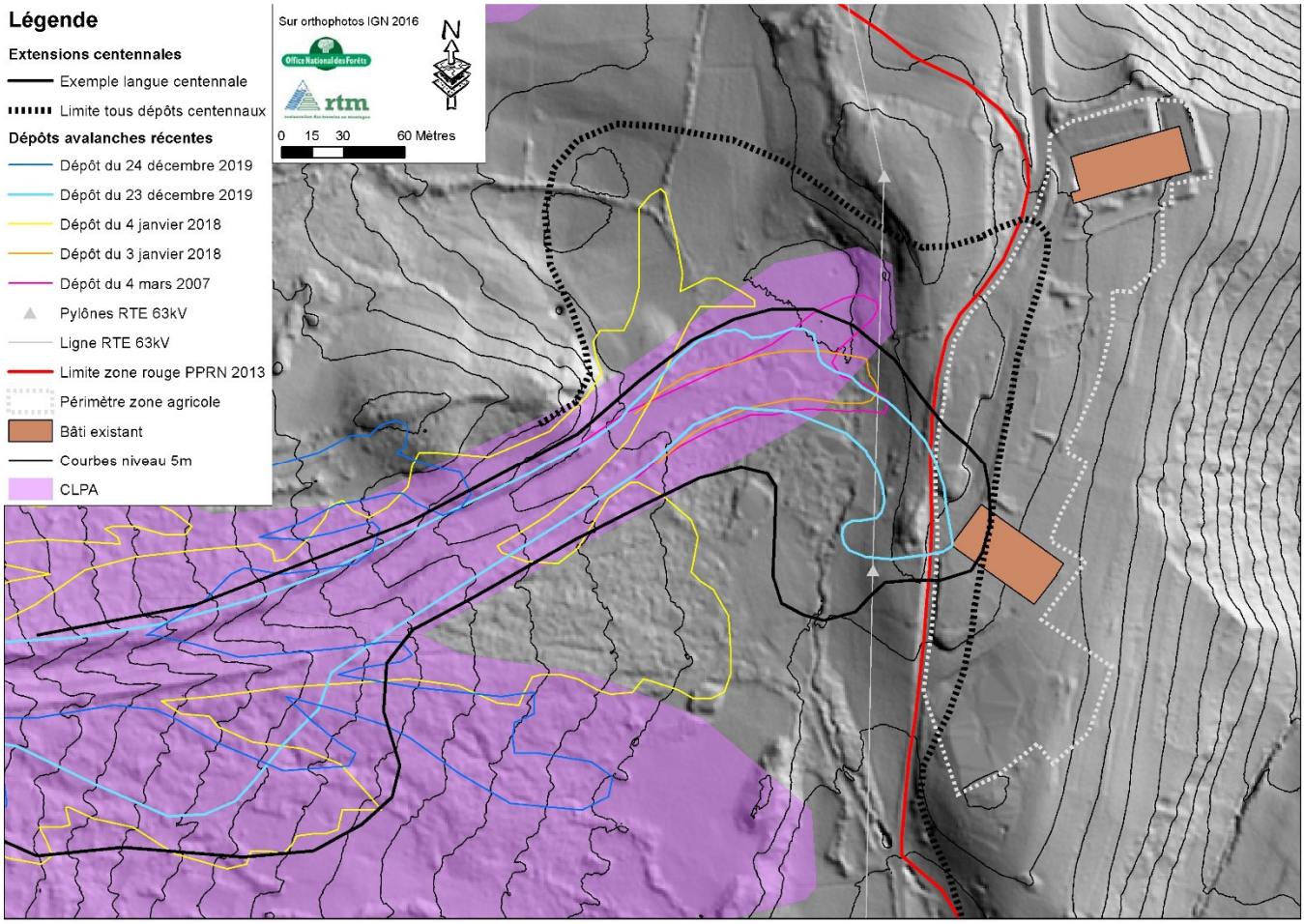


Fig. IV.11 : Extension centennale probable d'une langue « type 2019 » (trait noir plein) et limite maximale retenue pour l'ensemble des dépôts prévisibles sur la zone agricole, toujours suivant un scénario centennal (pointillés noirs).

Cette limite des dépôts, établie à dire d'expert compte-tenu de l'incapacité du modèle numérique à gérer ces langues terminales, signifie qu'**une bande de 20 à 30 m de large au sein du périmètre de la zone agricole peut être atteinte par un amas de neige lourde en cas d'avalanche centennale.** On remarquera que cette limite s'aligne assez bien avec celle retenue en 2013 dans le PPRN de Termignon, mais qu'elle empiète davantage sur la butte, du fait de l'évolution défavorable du chenal torrentiel qui n'avait pas été suffisamment prise en compte dans ce PPRN. Le renflement en direction de l'étable du lot n°1 (au nord) est lié à un risque d'étirement de la langue sur la route légèrement descendante.

IV.1.2 Pressions liées aux dépôts sur la zone agricole

Qu'en serait-il de la pression sur la façade directement exposée d'un bâtiment de la zone agricole atteint par la phase coulante, comme la façade nord-ouest de l'étable de G. BURDIN ?

Proche de l'arrêt, la vitesse de l'écoulement devient tellement faible (ici de l'ordre de 1m/s) que la pression dynamique devient marginale (quelques kPa malgré une masse volumique et un coefficient du régime d'écoulement élevés) face à la pression hydrostatique. On passe alors en régime gravitaire (Naaim, 2007).

En régime gravitaire, on obtient :

$\boxed{P_{hydro} = \rho g h}$ (ρ = masse volumique, g = constante de gravitation, h = hauteur d'écoulement)

Les dommages dépendent essentiellement de la masse de l'écoulement en phase d'arrêt.

Appliquée à une façade faisant obstacle à l'écoulement (C_{fo}=2), la pression statique à la base du mur s'exprime ainsi : $P_{so} = 2\rho g h$

Dans le cas présent, on peut retenir ρ = 500 kg/m³ (neige humide et compacte) et h = 6 m (hauteur du front d'avalanche en appui contre l'ensemble de la façade). **La pression statique exercée à la base du mur serait donc d'environ 60 kPa. Moyennée sur l'ensemble du mur impacté (hauteur maximale d'environ 6 m, avec partie supérieure triangulaire), la pression statique serait d'environ 40 kPa.**

Le retour d'expérience de l'avalanche du 2 mars 2012 sur le télésiège de la Lauzière (St François Longchamps) est intéressant à titre de comparaison. La langue terminale, qui obéissait au même régime d'écoulement, a généré une pression estimée entre 50 et 60 kPa à la base du portique P2, selon le calcul en retour du cabinet CNA-MO (Grenoble). Ce niveau de pression a été atteint alors que ce cadre métallique était poussé par un mur de neige d'une masse volumique estimée à 500 kg/m³, haut de 6,5m et se déplaçant à environ 1 m/s (voir pages 19 et 20 de l'analyse de l'événement par Toraval, en date de mars 2012, et l'article dédié à l'événement dans la revue Neige et Avalanches n°141 d'avril 2013).

Les valeurs de pression avancées pour la zone agricole sont néanmoins à prendre avec beaucoup de précaution, compte-tenu des incertitudes sur la hauteur de neige potentiellement en appui sur la structure en fin d'écoulement, sur la possibilité ou pas d'une déviation de l'écoulement contre l'obstacle et sur la valeur du coefficient de traînée en régime statique, La pression pourrait être sensiblement supérieure, comme le suggère Engineerisk dans son rapport de phase 2. On retiendra que le niveau de pression attendu n'est a priori pas compatible avec un renforcement de façade.

IV.2 *Orientation et pressions d'impact d'un effet de souffle centennale*

Notre enquête historique complémentaire n'a pas permis de mettre à jour d'autres archives caractérisant mieux l'impact des effets de souffle sur le cône de déjection de Bonnenuit. Nous resterons, comme précisé dans le PPRN de Termignon, sur un aérosol de référence similaire à celui du 11/02/1970.

Nous savons que l'aérosol a été capable de plier trois pylônes de la ligne HT, très probablement dans l'axe du couloir. L'étude de phase 2 d'Engineerisk a mis en évidence (grâce notamment aux photos aériennes IGN de 1967 et 1970) que la ligne HT passait, avant sa destruction en 1970, en relative ligne droite sur le cône de déjection de Bonnenuit, soit près de 300 m plus à l'ouest qu'aujourd'hui (cf. fig. IV.12). Les pylônes détruits étaient donc bien plus près du débouché du couloir et donc bien plus exposés que ceux reconstruits à l'aval au début des années 70. Ils ont pu aussi, comme le souligne Engineerisk, être sollicités par la phase dense de l'avalanche, laquelle a laissé de larges traces dans la végétation à hauteur de cette ancienne ligne (cf. fig. 26 du rapport d'événement en annexe).

Le bâtiment de la colonie, qui existait déjà en 1970, ne semble pas avoir été affecté. Les abords de Sollières l'Endroit n'étant pas boisés en 1970, il n'est pas possible de compléter l'inventaire des dégâts par les dommages à la végétation que l'on pourrait détecter sur la photo aérienne d'août 1970 (cf. fig. IV.12).

En se référant à l'échelle d'intensité publiée en 2002 par Géosciences Consultants, sur la base d'un travail de F. Rapin de l'INRAE, on peut estimer que des pylônes HT sont potentiellement vulnérables dès une pression d'impact de 5 kPa et généralement pliés/sectionnés avec une pression d'impact de 10 kPa.

En faisant abstraction de la phase dense, on peut donc estimer que la pression d'impact de l'aérosol de référence a pu approcher les 10 kPa sur le quart supérieur du cône de déjection de Bonnenuit. Sur la zone agricole, plus éloignée du couloir, cette pression reste inférieure à 5kPa, voire à 3kPa, ce qui s'avère globalement cohérent avec la valeur maximale de pression retenue dans le PPRN en vigueur.

A noter que le terrassement de la tourne ultérieurement à l'aérosol de 1970 ne modifie pas sensiblement la distribution des pressions d'aérosol sur le cône de déjection.

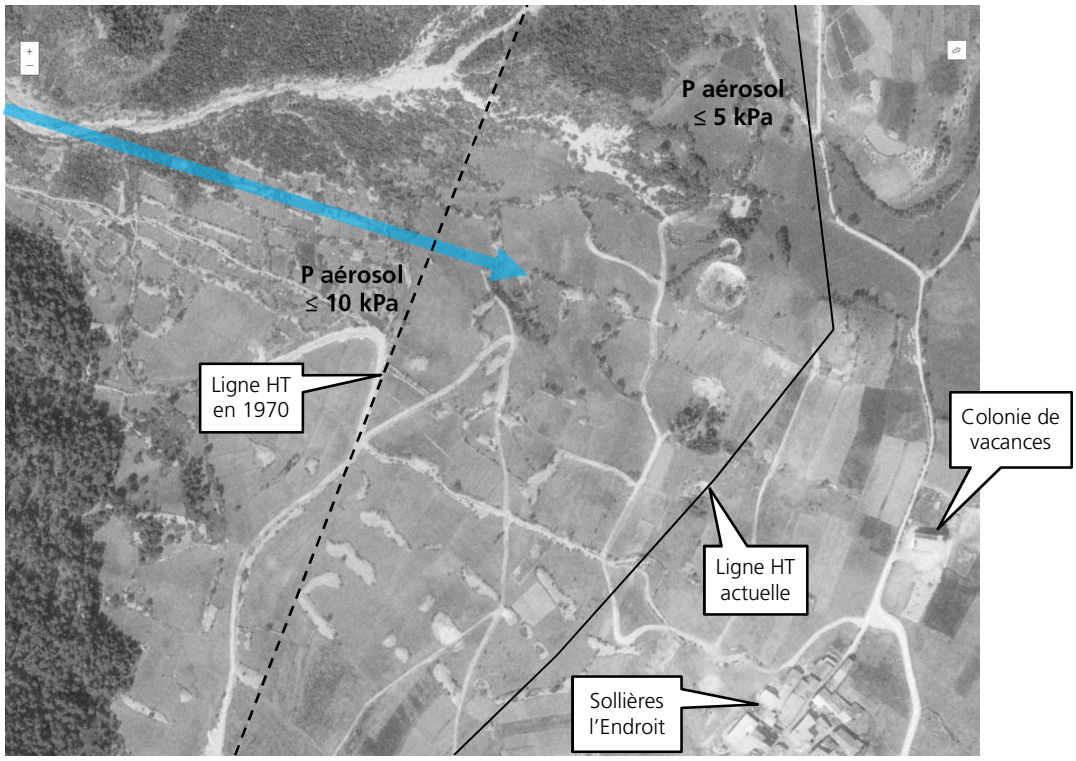


Fig. IV.12 : photo aérienne d'août 1970, pour montrer le déplacement de la ligne HT suite à l'avalanche et l'absence de boisement qui aurait pu jouer un rôle de marqueur des effets de l'aérosol de 1970 près de Sollières.

IV.3 *Proposition de mise à jour de la carte des aléas du PPRN*

Fort de l'ensemble des analyses et simulations numériques ci-avant, nous proposons une nouvelle carte d'aléas d'avalanche en l'état actuel du terrain (cf. fig. IV.13), qui couvre l'ensemble du cône de déjection de Bonnenuit, à cheval sur les anciennes communes de Termignon et Sollières - Sardières.

IV.3.1 Méthodologie

Cette carte d'aléas suit les grands principes nationaux du guide méthodologique PPR avalanche mis à jour en 2015 :

- **Prise en compte du bâti :**

Les bâtiments existants ne sont pas pris en compte comme écran pour restreindre une zone d'aléa (ils sont d'ailleurs supprimés du MNT). En revanche, leurs effets aggravants sont pris en compte s'ils modifient manifestement la zone d'aléa (par déviation par exemple).

- **Prise en compte d'ouvrages de protection (passifs ou actifs) :**

Seuls sont pris en compte les ouvrages de protection pérennes, ne nécessitant pas d'entretien régulier. Il s'agit donc uniquement des remodelages de terrain de grande ampleur ne risquant pas d'être endommagés pendant une période de plus d'un siècle, comme la tourne de Bonnenuit. L'axe du torrent dans le prolongement de la tourne est considéré comme pérennisé. Son niveau de chenalisation actuelle est pris en compte pour ses effets aggravants sur la zone agricole.

- **Prise en compte des boisements :** non retenus ici.

- **Prise en compte d'éléments transportés :**

Les chocs et surpressions localisées pouvant être générés par le transport de troncs d'arbres, de rochers ou de débris de bâtiments (poutres, dalles béton…) ne sont pas spécifiquement pris en compte dans la qualification de l'aléa, de même que le basculement d'arbres sur des toitures en zone de souffle.

- **Niveaux d'aléas :**

Nous avons cartographié d'une part les aléas de référence centennale (ARC), en tenant compte des effets de cumuls de plusieurs avalanches au cours d'une même saison, et d'autre part les aléas de référence exceptionnelle (ARE), en suivant les conseils de mise en forme du projet de note méthodologique pour la prise en compte des avalanches exceptionnelles (DGPR, 2017).

Les niveaux d'aléas avalanches sont définis suivant le tableau ci-dessous, en retenant que ni les ARC ni l'ARE ne sont cartographiés sous le seuil de pression d'impact de 1 kPa (dommages perceptibles).

		Période de retour (T)	
		T ≤ 100 ans (ARC)	T > 100 ans (ARE)
Pression d'impact (P)	P ≥ 30 kPa	Aléa fort (A3)	Aléa exceptionnel Limite phase coulante ou mixte Limite phase aérosol
	3 kPa ≤ P < 30 kPa	Aléa moyen (A2) A2c = phase coulante ou mixte (10 kPa ≤ P < 30 kPa) A2s = effet de souffle aérosol (3 kPa ≤ P < 10 kPa)	
	1 kPa ≤ P < 3 kPa	Aléa faible (A1) Effet de souffle aérosol (faibles dommages possibles)	

IV.3.2 Commentaires sur les résultats

Cette nouvelle carte d'aléas diffère en partie des cartes d'aléas des PPRN en vigueur de Termignon et Sollières – Sardières (cf. fig. IV.14).

La phase coulante centennale est partout assimilée à un aléa fort (A3) compte-tenu de l'épaisseur des dépôts observés (jusqu'à 10 - 12 m en 2019) et de leur densité (neige humide très compacte, transport de blocs et de terre…). Comme nous l'avons vu précédemment, cet aléa fort remonte plus loin sur la butte de Pierres Grosses. Il s'étend aussi plus loin en rive gauche du lit chenalisé, au vu des débordements déjà observés et des résultats de simulations. En revanche nous n'avons pas inclus dans l'ARC les dépôts qualifiés de « potentiels » dans les deux PPRN en vigueur, à proximité du village et des fermes de Sollières l'Endroit. La tourne et la chenalisation du torrent ne permettent plus, en conditions centennales, des débordements aussi étendus dans cette direction.

Concernant la phase aérosol centennale, la cartographie des aléas (A2s et A1) a évolué depuis la V2 de notre rapport, grâce à la relocalisation par Engineerisk des dommages recensés sur l'ancien tracé de la ligne HT en 1970 et grâce aux simulations d'aérosols présentées par Engineerisk dans son rapport V0 de phase 2. Les aléas du PPRN sont encore revus à la baisse sauf en rive droite du couloir (bande d'aléa faible à l'amont du village de Sollières) et en partie basse du cône de déjection (ajout d'une bande d'aléa faible sur la colonie de vacances et les bâtiments agricoles de Sollières).

L'aléa exceptionnel est tracé pour information. Il montre que la phase coulante peut recouvrir la majeure partie du périmètre de la zone agricole (en cas de langues d'avalanches très épaisses, type 1817) et même qu'une langue peut basculer jusque dans l'ancien lit de l'Arc, en passant entre les deux étables déjà construites sur la zone. La phase aérosol exceptionnelle est elle aussi plus étendue, avec un effet de souffle perceptible sur l'essentiel des constructions du cône de déjection.

Concernant spécifiquement la ligne HT, équipement le plus haut placé sur le cône de déjection et donc le plus exposé, on notera que près d'un kilomètre de ligne est exposé à l'avalanche centennale, essentiellement par effet de souffle. Deux pylônes seraient en effet exposés à un effet de souffle modéré et deux autres à un souffle de faible intensité. Vis-à-vis de la phase coulante, les pylônes sont plutôt bien positionnés et jugés hors d'atteinte, mis à part un pylône implanté dans la cuvette au pied de la butte de Pierres Grosses, lequel a d'ailleurs failli être renversé par l'épaisse langue du 23/12/2019.

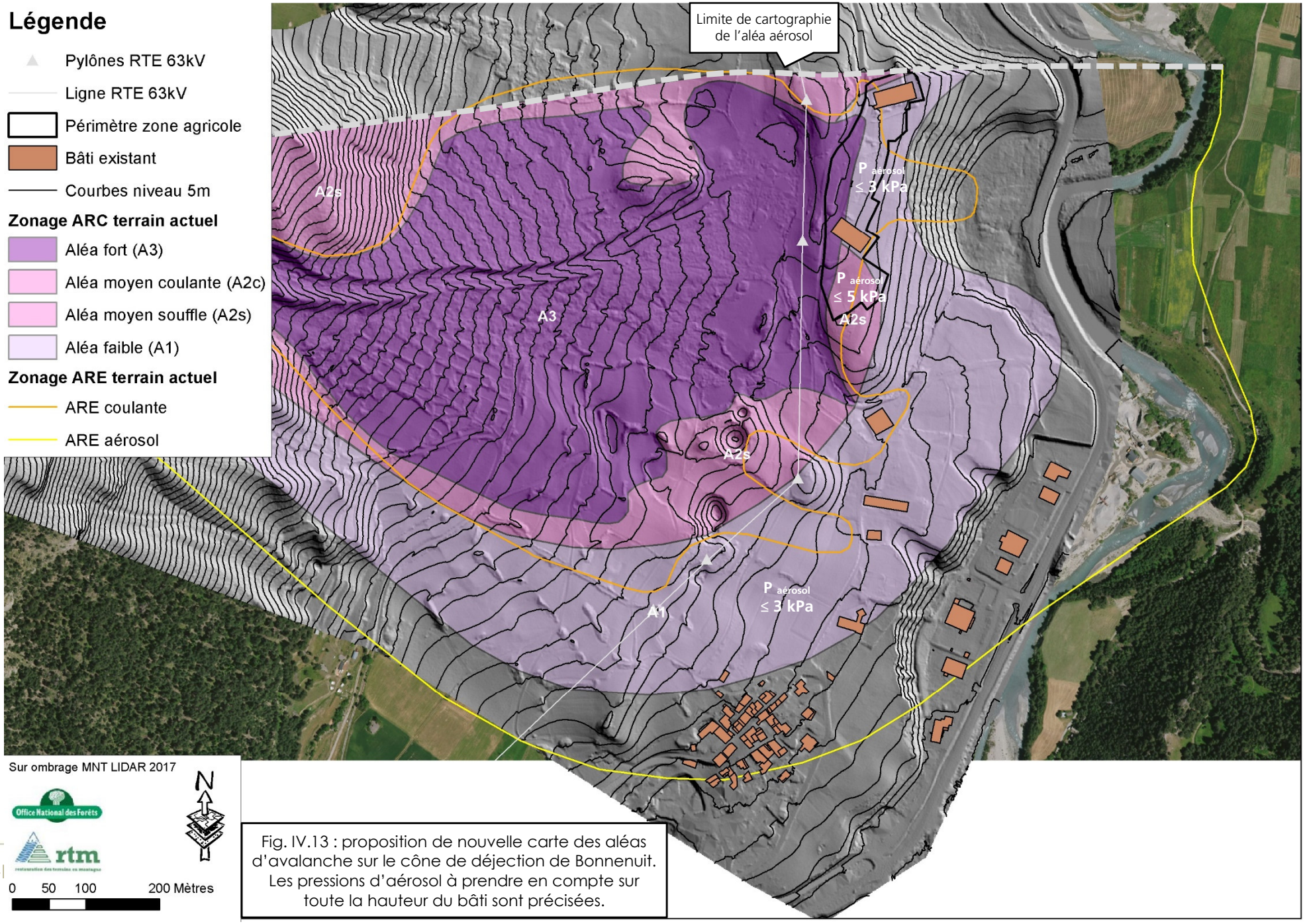


Fig. IV.13 : proposition de nouvelle carte des aléas d'avalanche sur le cône de déjection de Bonnenuit. Les pressions d'aérosol à prendre en compte sur toute la hauteur du bâti sont précisées.

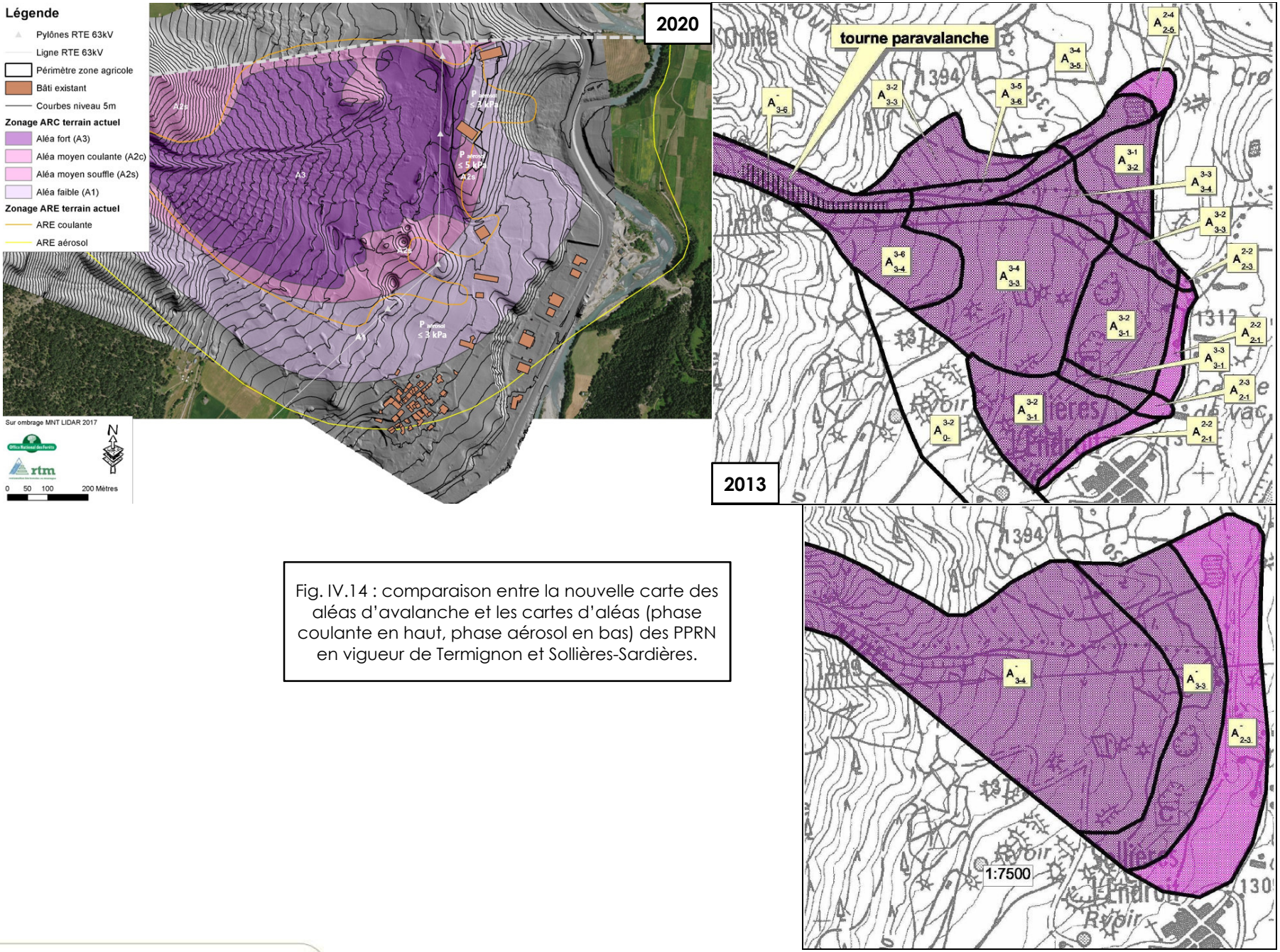


Fig. IV.14 : comparaison entre la nouvelle carte des aléas d'avalanche et les cartes d'aléas (phase coulante en haut, phase aérosol en bas) des PPRN en vigueur de Termignon et Sollières-Sardières.

V. CONSEQUENCES POUR LA ZONE AGRICOLE

En préambule il convient de souligner que cette nouvelle carte d'aléas est établie en l'état actuel du terrain. Ses conséquences pénalisantes pour la zone agricole (en application de l'article R111-2 du code de l'urbanisme) peuvent être rendues caduques si des travaux de terrassement sur le cône de déjection sont réalisés de manière à faire évoluer durablement les risques à la baisse. Ces travaux de protection permanente restent à définir et à dimensionner dans le cadre d'une étude ultérieure, en lien avec les acteurs concernés. Ils pourront viser la protection de la zone agricole mais aussi celle du pylône de la ligne HT exposé à la phase coulante (cf. IV.3.2).

La révision du PPR de Val Cenis sur ce secteur ne sera pas engagée tant que des réflexions et/ou travaux seront en cours pour la protection de ces enjeux.

V.1 *Conséquences pour les permis de construire à venir*

Concrètement, cette nouvelle carte d'aléas a un impact sur l'aménagement de la zone agricole de Termignon, sans pour autant remettre en cause sa faisabilité. Conformément aux guides PPR, l'aléa fort (A3) n'autorise pas de nouvelles constructions, même sans pièce habitable, en l'absence de protections pérennes. En l'état actuel du site, le bâtiment de stockage communal prévu intégralement en aléa fort n'est donc plus possible. De même, l'étable du lot n°8 prévue en extrémité sud, à cheval entre aléa fort et moyen, n'est plus possible dans cette configuration.

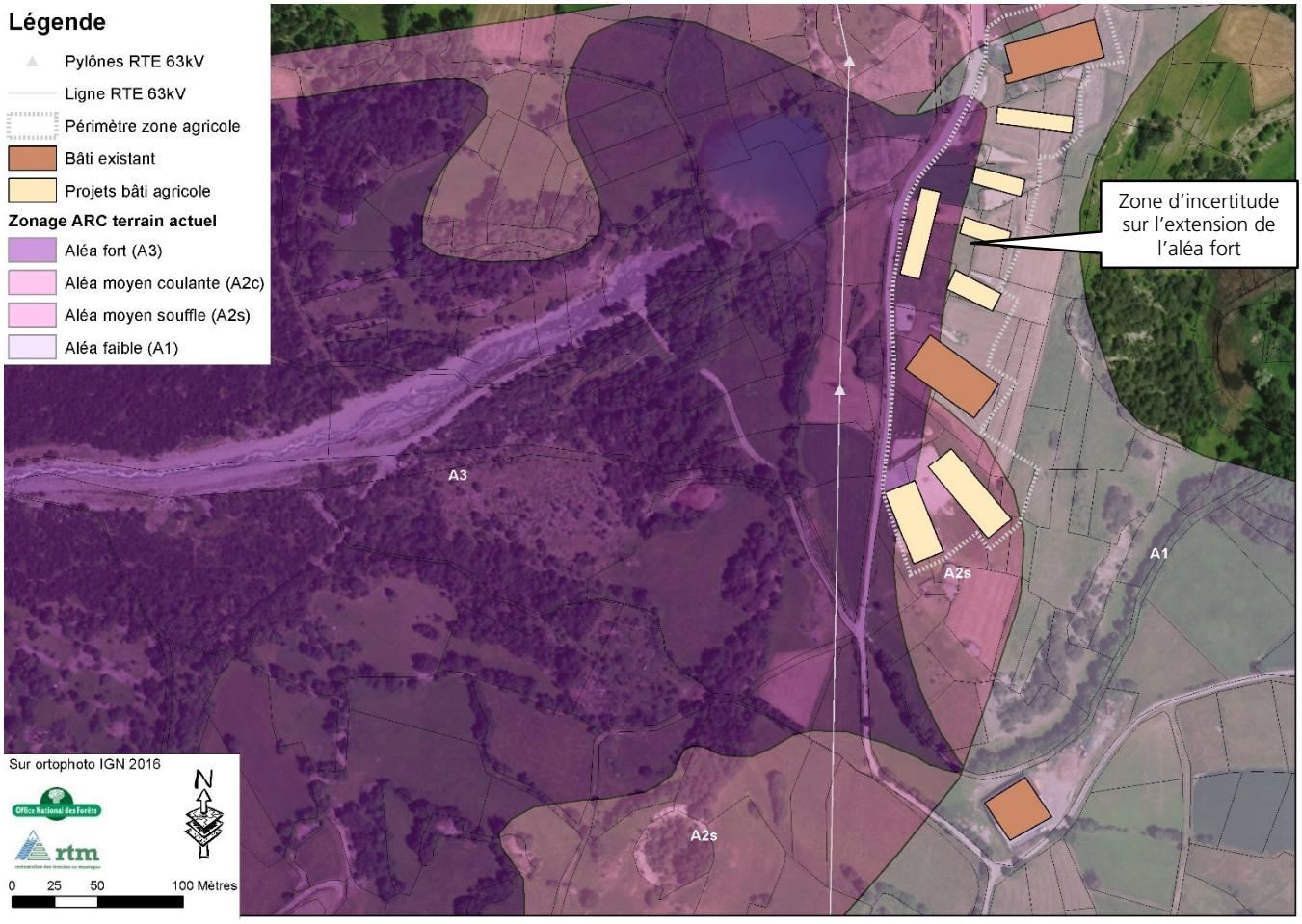


Fig. V.1 : carte des aléas avalanche (ARC) zoomée sur le périmètre de la zone agricole, avec les projets de bâtiments d'élevage pré-positionnés dans le dossier de demande de permis d'aménager.

Concernant le projet d'étable n°7 en extrémité sud-est de la ZA, il reste possible mais ses façades SO et NO devront résister à une pression d'impact de 5 kPa sur toute leur hauteur (conformément au PPRN en vigueur – voir fiche 1.1 du règlement pour l'ensemble des prescriptions). Les projets d'étables des lots n°3,

4 et 5, en limite de zone d'aléa fort, restent a priori réalisables. Toutefois, compte-tenu d'une incertitude importante sur cette limite de l'aléa fort (cf. fig. V.1), il est préférable de réaliser les travaux de protection déportés avant d'accorder les permis de construire correspondant. Concernant les contraintes liées à l'aérosol, tant que le PPRN n'est pas révisé, les prescriptions de la fiche 1.1 sont maintenues (à terme la pression maximale de référence pourra baisser de 5 à 3 kPa).

Le projet d'étable n°2 n'est plus concerné par un aléa centennal d'avalanche mais reste soumis aux prescriptions de la fiche 1.1 du PPRN en vigueur, tant que celui-ci n'est pas révisé.

V.2 *Conséquences pour les étables déjà existantes*

Concernant les étables déjà construites, le bâtiment de R. BANTIN en extrémité nord est toujours concerné par un aléa centennal d'aérosol, même seulement d'intensité faible. En revanche l'étable de G. BURDIN, qui a été légèrement impactée en 2019, se retrouve aujourd'hui partiellement en aléa fort. Les efforts très importants qui peuvent s'appliquer sur sa façade nord-ouest et sa toiture (cf. fig. V.2) justifient pleinement la réalisation d'une protection déportée.

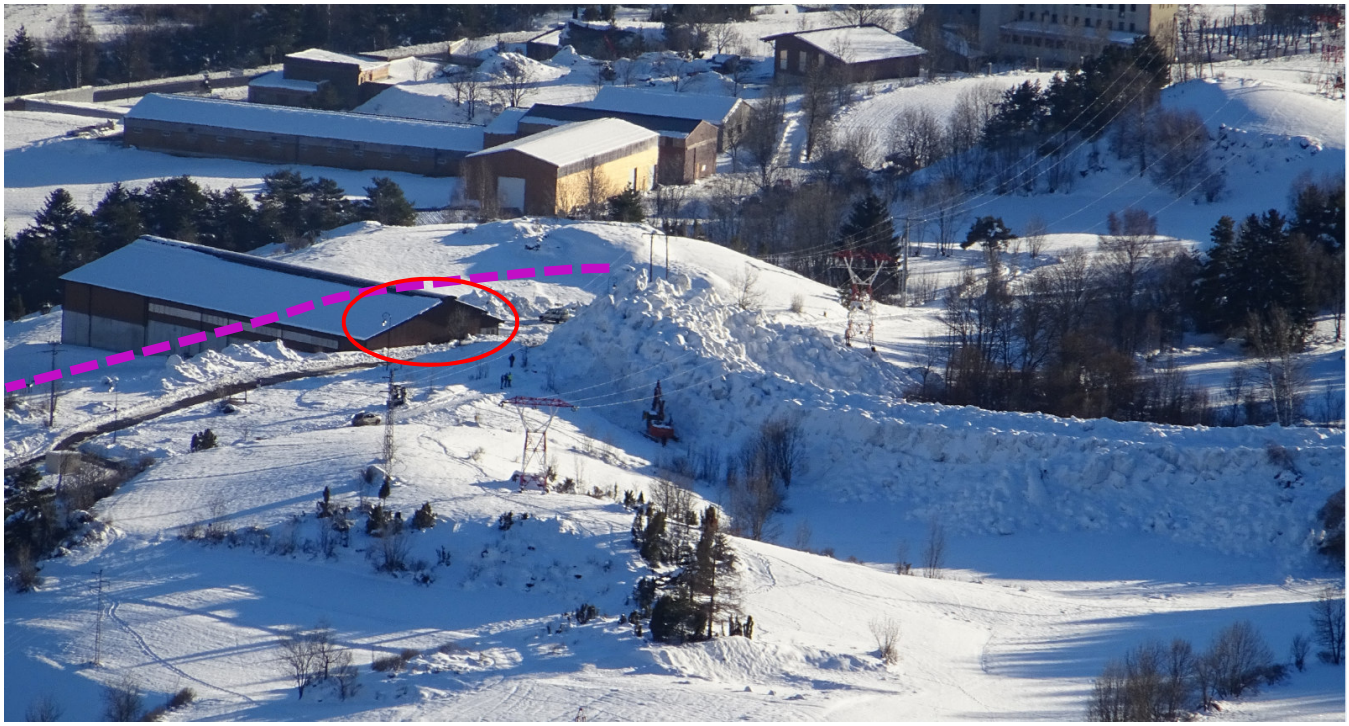


Fig. V.2 : façade nord-ouest de l'étable de G. BURDIN, quelques jours après l'avalanche du 23/12/2019, vis-à-vis de la limite retenue pour un dépôt d'occurrence centennale (en violet).

V.3 *Et vis-à-vis du risque exceptionnel ?*

Il convient de signaler qu'en l'état actuel du terrain, l'ensemble des bâtiments d'élevage existants ou projetés sont, d'après notre expertise, partiellement ou totalement exposés à un dépôt d'avalanche exceptionnelle (d'occurrence environ tri-centennale). Cela n'a pas d'incidence sur ces permis de construire qui ne relèvent ni d'ERP ni de bâtiments nécessaires à la gestion de crise (cf. guide méthodologique PPR avalanche) mais cela signifie que le personnel travaillant dans ces étables devra être écarté / évacué temporairement de la zone agricole lorsque les conditions nivologiques seront jugées propices à la survenance d'une telle avalanche exceptionnelle, vis-à-vis de laquelle les bâtiments ne seront pas conçus. Ces mesures de mise en sécurité des occupants devront être intégrées au Plan Communal de Sauvergarde (PCS).

ANNEXE :

Rapport d'événement RTM sur les avalanches de Bonnenuit (CLPA n°7 / EPA n°6) descendues les 23 et 24 décembre 2019

ONF / Agence RTM des Alpes du Nord
Service départemental de la Savoie
17, rue des Diables Bleus
CS 92628
73026 CHAMBERY Cedex

PEFC 10-4-4 / Promouvoir la gestion durable de la forêt / pefc-france.org

Office National des Forêts

www.onf.fr



AOUT 2020

PROJET

Protection de la Zone Agricole de Termignon contre les avalanches de Bonnenuit

HMV
Val Cenis

rtm
restauration des terrains en montagne

Service RTM de la Savoie
17, rue des Diables Bleus
73026 Chambéry Cédex

Office National des Forêts

Etabli par :

Agence RTM Alpes du Nord
Service de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) de la Savoie
17 rue des Diables Bleus
CS 92628
73026 Chambéry Cedex
Tel : 04.79.69.96.05
Mail : rtm.chambery@onf.fr

Date du dernier enregistrement	Désignation du document
20/08/2020	

	Nom Prénom	Fonction
Auteurs	Romain Paulhe / Stéphane Roudnitska	Ingénieur Travaux RTM Expert Avalanche
Relu par	Jérôme Lievois	Responsable Pôle Expertise RTM 73
Validé par	David Binet	Chef du Service RTM de Savoie

Suivi des versions :

Version	Date	Observations
V1	20/08/2020	

Sommaire

SOMMAIRE 3

TABLE DES FIGURES 5

I PREAMBULE 6

I.1 Contexte 6

I.2 Rappel des études avalanches RTM et Engineerisk 6
I.2.1 Le scénario de référence retenu 6
I.2.2 Aléa avalanche actuel au droit de la ZA de Termignon 7
I.2.3 Solution de protection retenue par la collectivité 8

II DIMENSIONNEMENT DE LA TOURNE 9

II.1 Dimensionnement fonctionnel de la tourne 9
II.1.1 Axe d'écoulement 9
II.1.2 Hauteur et fruit de la tourne 10
II.1.3 Aléa résiduel au niveau de la ZA de Termignon 11

II.2 Techniques possibles pour le parement interne de la tourne 13
II.2.1 Le parement « treillis soudé végétalisable » 13
II.2.2 Le parement en gabion 14
II.2.3 Le parement en « pneusols / pneutex » 14
II.2.4 Le parement en « enrochements bétonnés » 15
II.2.5 Comparaison des solutions pour le cas de Bonnenuit 16

II.3 Dimensionnement structurel de la tourne 17
II.3.1 Prolongement de la tourne en enrochements bétonnés 17
II.3.2 Rehausse de la tourne existante par du remblais 17

III ORGANISATION DU CHANTIER 18

III.1 Présence de réseaux 18

III.2 Période de réalisation de la tourne 18

III.3 Accès à la zone de travaux 18

III.4 Réglementation en lien avec le code de l'environnement 18
III.4.1 Dossier R214-1 du code de l'environnement (loi sur l'eau) 19
III.4.2 Défrichement 19
III.4.3 Evaluation environnementale 20
III.4.4 Zone à réglementation environnementale spécifique 20
III.4.5 Règlementation relatives aux espèces protégées 22

III.5 Code de l'urbanisme 22

IV ENTRETIEN ET SUIVI DE L'OUVRAGE 23

IV.1 Entretien et suivi en phase hivernale 23

IV.2 Entretien et suivi courant de l'ouvrage 23

V ESTIMATION DU MONTANT DE L'OPERATION 23

V.1 Cubatures des travaux 23

V.2 Estimation du montant des travaux liés au merlon 24

ANNEXE 1 – Plan des ouvrages

ANNEXE 2 – Calcul de stabilité de la tourne - Géomur©

Table des figures

Figure 1 : Plan de situation (source : Scan25 et BDortho ©IGN) 6
Figure 2 - localisation des principaux dépôts récents (depuis 2007) de l'avalanche de Bonnenuit à proximité de la zone agricole, avec en bleu clair la langue du 23/12/2019 (source RTM). 7
Figure 3 -vue AVP des déblais et des remblais minimaux proposés pour la réorientation du chenal (source : Engineerisk). 8
Figure 4 - plan masse du projet de réorientation du chenal, sur orthophoto IGN 2016 et sur courbes de niveaux issues du levé topo 2020, avec en flèche blanche le nouvel axe d'écoulement (source RTM). 10
Figure 5 -vue 3D du projet de réorientation du chenal, avec en jaune les courbes de niveaux métriques du terrain initial, issues du levé topo 2020 (source RTM). 11
Figure 6 -projet d'axe de tourne (en marron) sur une vue drone de l'avalanche du 23/12/2019 (source www.data-avalanche.org) et emprise probable des dépôts de l'avalanche ainsi déviée (en jaune). 11
Figure 7 -carte des aléas avalanche (ARC) zoomée sur le périmètre de la zone agricole, en l'état actuel du terrain, issue de l'étude RTM de phase 1 12
Figure 8 -même carte après réalisation du projet de rechenalisation, tel que présenté ci-avant. 12
Figure 9 - Schéma de principe du parement en treillis 13
Figure 10 -St Rambert en Bugey – Merlon Parement raidi treillis + Géotextile 14
Figure 11 - Merlon en gabion Terramesh Sytem® 14
Figure 12 - Merlon pneusol à Saint-Julien Montdenis (73) 15
Figure 13 - Bonneval sur Arc – Merlon Tralenta – H=7m et longueur 230m 15
Figure 14 - Extrait carte géologique du BRGM 17
Figure 15 -Principe de rehausse de la tourne avec épaisseur « sacrificielle » 18
Figure 16 - Position du projet par rapport au site N2000 - Formations forestières et herbacées des Alpes internes - Directive Habitats - Identifiant : FR8201779 21
Figure 17 - Position du projet par rapport au site N2000 - La Vanoise - Directive oiseaux - Identifiant : FR8210032 21
Figure 18 - Position du projet par rapport aux ZNIEFF I 21
Figure 19 - Position du projet par rapport à la ZNIEFF de type 2 – Adrets de la Maurienne 22
Figure 20 -Exemple de profil en travers 24

Sauf mention contraire, les illustrations du présent rapport sont toutes issues du service RTM de la Savoie.

I Préambule

I.1 Contexte

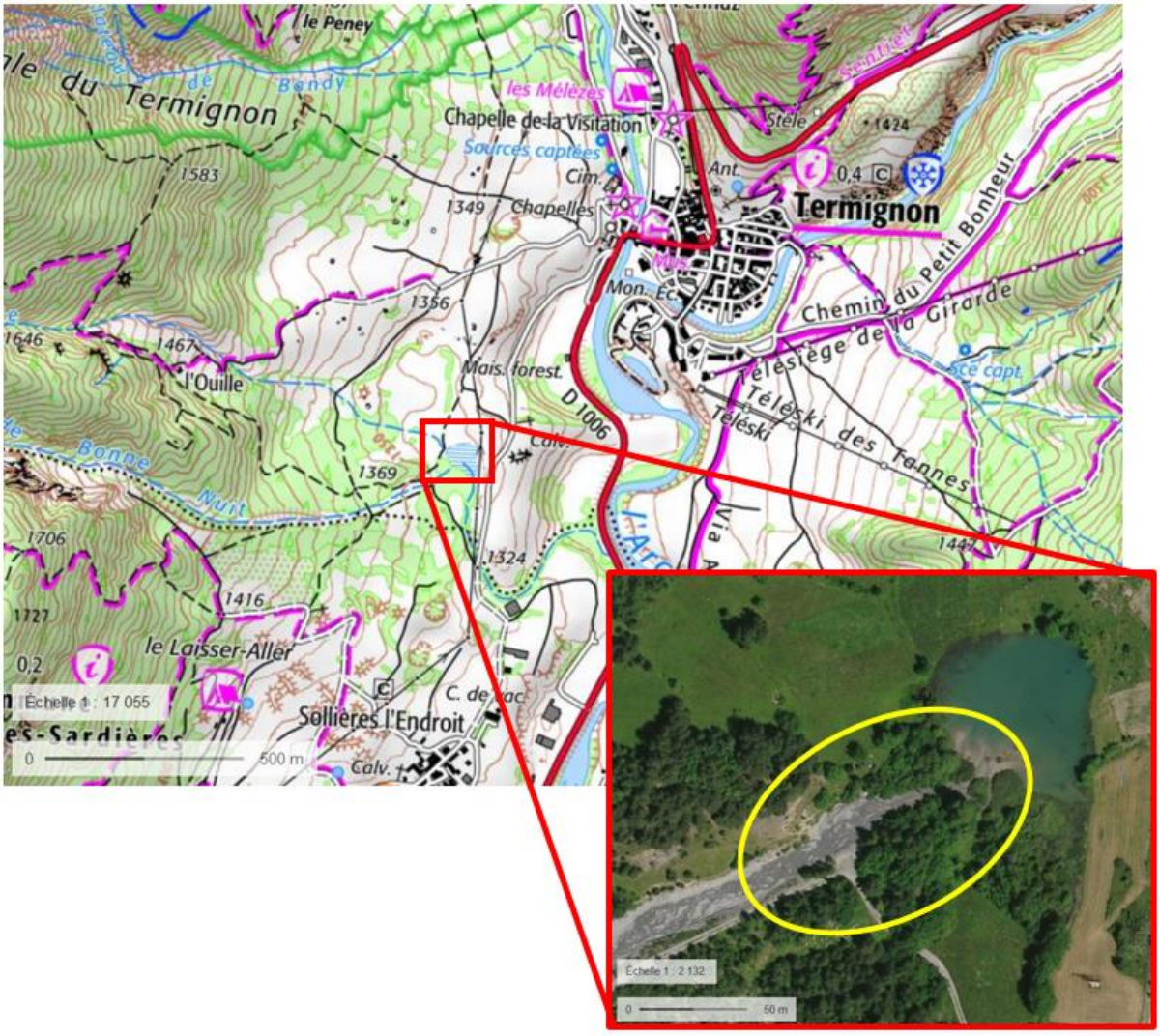


Figure 1 : Plan de situation (source : Scan25 et BDortho ©IGN)

I.2 Rappel des études avalanches RTM et Engineerisk

I.2.1 Le scénario de référence retenu

Suite à l'avalanche de Bonnenuit du 23 décembre 2019 qui est venue mourir contre l'angle ouest de l'étable du lot n°6 de la zone agricole de Termignon, sans faire toutefois de dégât, le RTM a réalisé une étude pour l'actualisation des aléas d'avalanche sur cette zone agricole.

Il ressort de cette analyse qu'une avalanche centennale issue de la Dent Parrachée, du Col des Hauts ou de la crête de Belle Place pourrait générer une épaisse langue de neige humide d'extension légèrement supérieure à celle observée en 2019. La phase dense de l'écoulement est compactée dans les gorges, déviée par la tourne puis canalisée dans le lit chenalisé du torrent de Bonnenuit, notamment s'il n'a pas déjà été rempli par les dépôts d'une première avalanche. Cette configuration topographique favorise l'extension des avalanches vers la

mare de Termignon et vers la butte de Pierres Grosses sur laquelle se développe la zone agricole.

En considérant un volume de neige centennal environ 30% supérieur au volume estimé pour l'avalanche du 23 décembre 2019, on augmente la durée de l'écoulement à la sortie des gorges. Une poussée plus durable dans le chenal (effet « tube de dentifrice » ou « warm plug regime » décrit par Engineerisk) doit permettre à la langue de neige se déplaçant de manière quasi « monolithique » de remonter au-delà de la limite atteinte en 2019, et ainsi de pénétrer d'environ 20 à 30 m au sein du périmètre de la zone agricole.

L'étable existante du lot n°6 ainsi que plusieurs bâtiments projetés dans la zone agricole pourraient alors être atteints par une masse de neige très compacte et haute d'une dizaine de mètres, en phase d'arrêt (vitesse ≤ 1m/s).

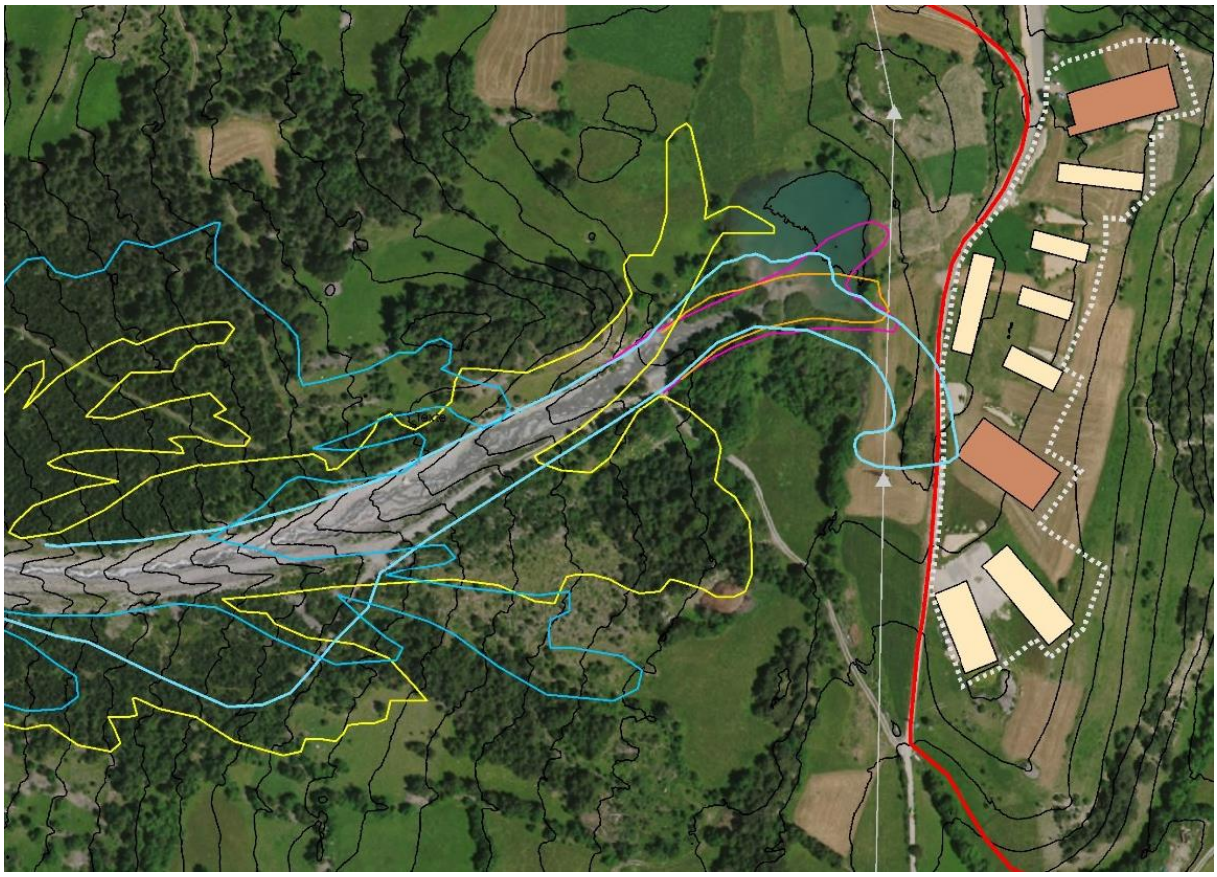


Figure 2 - localisation des principaux dépôts récents (depuis 2007) de l'avalanche de Bonnenuit à proximité de la zone agricole, avec en bleu clair la langue du 23/12/2019 (source RTM).

I.2.2 Aléa avalanche actuel au droit de la ZA de Termignon

Au sein de la zone potentiellement exposée au dépôt de l'avalanche centennale, la gamme de pressions d'impact sur les façades faisant obstacle à l'écoulement est clairement supérieure au seuil des 30 kPa. Associée à une hauteur d'application elle aussi très élevée, l'aléa résultat est fort.

Au-delà de la bordure ouest de la zone agricole concernée par la phase coulante et dense de l'avalanche, le reste de la zone agricole est concerné par un effet de souffle résiduel d'ampleur limitée, ne justifiant qu'un aléa faible (voir modéré en extrémité sud).

I.2.3 Solution de protection retenue par la collectivité

La commune a commandé à Engineerisk une seconde étude (phase 2) pour définir des solutions de protection vis à vis de l'avalanche de référence centennale. Cette étude distingue bien la phase aérosol (effet de souffle), gérable par des mesures de sauvegarde temporaires, de la phase dense (épaisse langue de neige) nécessitant un ouvrage de protection permanent.

Parmi les deux options avancées pour l'ouvrage de protection contre la phase dense (merlon d'arrêt ou réorientation du chenal), la collectivité a retenu la seconde option . En effet, la réorientation du chenal est moins onéreuse, sans contrainte pour la zone agricole et ses accès, la citerne incendie et la ligne HT et bien plus discrète que le merlon prévu sur la butte de Pierres Grosses. Il s'agit d'une solution assez naturelle vue la dynamique de l'écoulement, consistant à prolonger l'effet de canalisation du chenal torrentiel pour guider la langue de neige à l'écart de la zone agricole. Engineerisk a proposé de réorienter le chenal vers la bordure nord de la mare plutôt que vers le sud de la butte de Pierres Grosses, pour profiter de la zone de stockage offerte par la mare tout en n'aggravant pas le risque torrentiel sur les bâtiments agricoles situés au sud, à proximité du ruisseau.

Le principe des terrassements prédéfinis par Engineerisk consiste, en rive droite du chenal, à prolonger la digue torrentielle existante par une tourne progressivement raidie et renforcée de gros blocs jusqu'à proximité de la mare, ainsi qu'à aménager un léger dévers vers le nord, pour faire virer la langue graduellement en la contraignant le moins possible. En rive gauche, l'effet recherché est inverse, à savoir réduire au mieux les micro-reliefs pouvant contraindre l'écoulement, pour l'inciter à se déposer davantage vers le nord de la mare. Il est ainsi prévu de rogner le flanc convexe de la bosse à 1350 m et d'arraser les levées de terre entre cette bosse et la mare.

Le schéma d'AVP des déblais (en violet) et des remblais (en vert – jaune) proposé par Engineerisk (cf. fig. 3) a servi de base de travail pour la conception de l'ouvrage au stade PRO.

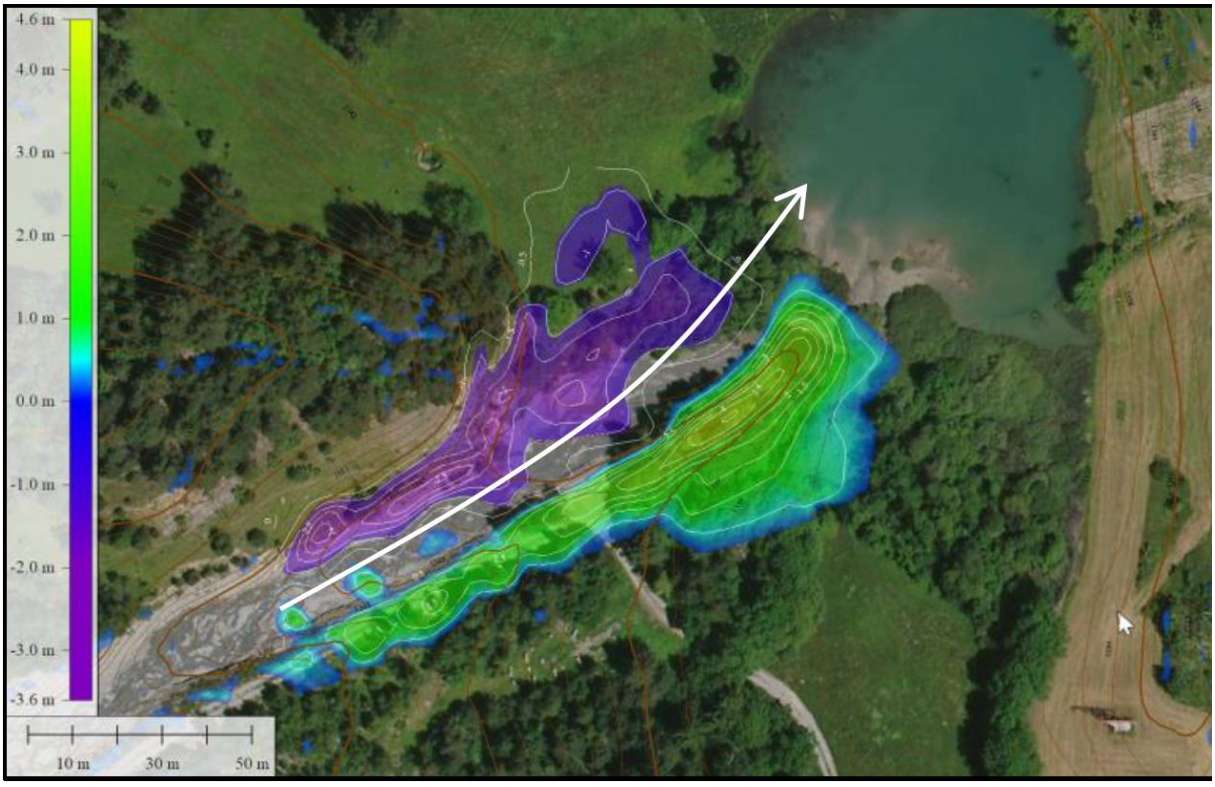


Figure 3 -vue AVP des déblais et des remblais minimaux proposés pour la réorientation du chenal (source : Engineerisk).

II Dimensionnement de la tourne

II.1 Dimensionnement fonctionnel de la tourne

II.1.1 Axe d'écoulement

Vis-à-vis de l'étude AVP d'Engineerisk, la présente étude de niveau PROjet RTM propose une réorientation de l'axe d'écoulement un peu plus marquée vers le nord, pour guider la langue d'avalanche véritablement vers la rive nord de la mare. L'exutoire du chenal est néanmoins maintenu dans la mare, pour conserver le déversement actuel du torrent dans la mare (cf. fig. 4).

En rive droite, à partir de la cote 1350 m, l'actuelle digue en produits de curage, haute de 5 m, sera progressivement rehaussée pour lui maintenir cette hauteur minimale jusqu'à la marre, sans en changer l'axe. A partir de la cote 1344 m, cette digue rehaussée sera également raidie par un parement coté chenal en enrochements bétonnés (voir justifications ci-après en II.2), pour en améliorer l'effet de contention, au moment où elle s'infléchira vers le nord-est pour réorienter l'avalanche vers le nord de la mare (déviation d'environ 20°). L'actuel lit actif du torrent est fermé par cette tourne à la cote 1339 m, pour éviter que l'avalanche n'emprunte à nouveau l'axe de ce lit et ne menace à nouveau la zone agricole. La tourne est prolongée le plus bas possible pour un accompagnement maximal. Elle est arrêtée en bordure externe de la marre relevée sur le terrain en 2020 (extrémité raidie en enrochements maçonnés).

La fosse du chenal est aplanie, en supprimant l'actuel talus de berge en rive gauche, à la cote 1339 m, et la petite butte boisée de quelques mètres de haut plus au nord. Sa pente en long est maintenue la plus régulière possible, similaire à la pente actuelle (7-8°), pour favoriser le transit jusqu'à la mare. Un léger dévers (3%) vers le centre du chenal sera aménagé, pour guider les eaux de ruissellement et éviter qu'elles n'affouillent la base des enrochements.

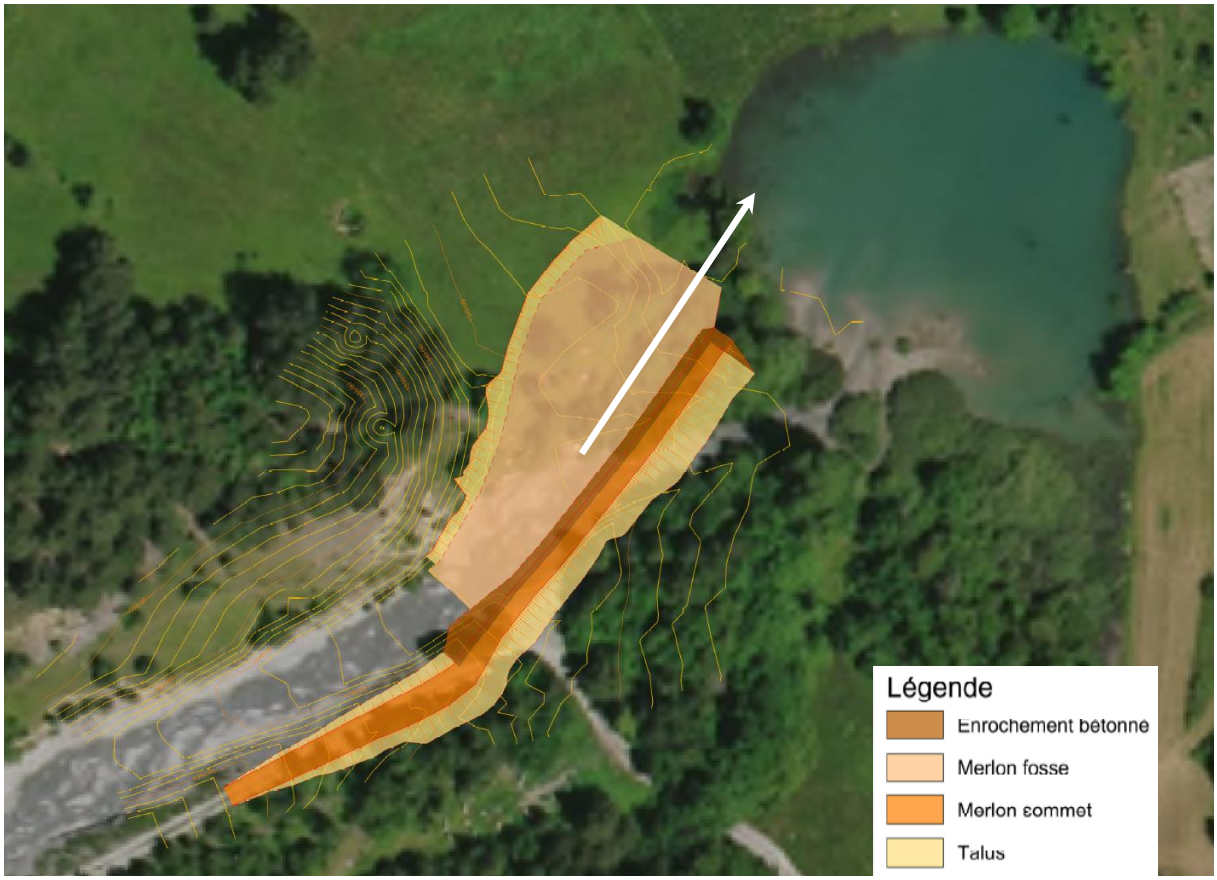


Figure 4 - plan masse du projet de réorientation du chenal, sur orthophoto IGN 2016 et sur courbes de niveaux issues du levé topo 2020, avec en flèche blanche le nouvel axe d'écoulement (source RTM).

II.1.2 Hauteur et fruit de la tourne

Les formules de calcul de la hauteur des digues et tournes paravalanches issues du guide européen pour la conception des digues de protection paravalanche (Johannesson et al., 2009) sont surtout adaptées aux avalanches de neige sèche où la vitesse d'écoulement est prépondérante, ce qui n'est pas le cas ici.

Si l'on fait néanmoins l'exercice en retenant :

- une vitesse incidente de l'écoulement d'environ 3 m/s au niveau du futur ouvrage (vitesse estimée à partir d'une vidéo de l'écoulement de l'avalanche de Bonnenuit d'avril 2018 dans le chenal torrentiel),
- une hauteur incidente de l'écoulement de 10 m,
- un angle de pente de 8° dans le chenal,
- une déviation de la tourne de 20°
- une hauteur de neige en place d'un mètre,

il faudrait théoriquement une hauteur de tourne de 11 m selon la méthode de calcul traditionnelle. A noter qu'il s'agit d'une avalanche de neige humide et que l'ouvrage créé se situe dans le prolongement d'un chenal existant de même dimension, il n'a donc pas été fait de calcul avec la méthode d'un débordement supercritique.

Cela dit, lors des principales avalanches de ces deux dernières décennies, et notamment lors de l'avalanche du 23 décembre 2019, la berge de rive droite du torrent de Bonnenuit a été capable de contenir et guider la langue d'avalanche sans débordement significatif, alors que sa hauteur n'est que de 5 m, soit deux fois inférieure à l'épaisseur de la langue de neige observée.

Ce comportement spécifique au « warm plug regime » est bien décrit par Engineerisk dans son étude de phase 2 : « *Dans cet écoulement granulaire, les plus gros agglomérats sont transportés vers le front avant d'être éjectés et de se déposer latéralement pour former des digues latérales.* » Ainsi l'écoulement s'auto-chenalise naturellement, limitant son étalement latéral mais augmentant son extension longitudinale. Lorsque la langue de neige est guidée par un chenal torrentiel, comme ici à l'amont de la mare, les amas de neige se forment systématiquement par-dessus les digues torrentielles existantes et en augmentent d'autant la hauteur utile.

L'objectif est donc ici de bien guider la langue d'avalanche par un chenal régulier d'une hauteur au moins égale à celle des digues existantes (5 m), l'auto-chenalisation faisant le reste pour éviter les débordements majeurs et les changements de trajectoire. A noter que des débordements limités depuis la rive droite de l'ouvrage sont tolérables, aucun enjeu ne se situant à proximité (zone de pré et friche).

Nous avons ainsi choisi de maintenir la hauteur de digue en rive droite à une hauteur comprise entre 5 et 5,5 m, et ce jusqu'à proximité de la mare. Pour compenser la force centrifuge dans le virage de la tourne, la pente du parement interne a été raidi à 300 % (71°), contre 66 % (33°) à l'amont. C'est ce qui explique le passage d'un talus en remblais compactés à un parement en enrochements maçonnés (cf. fig. 5 ci-après).

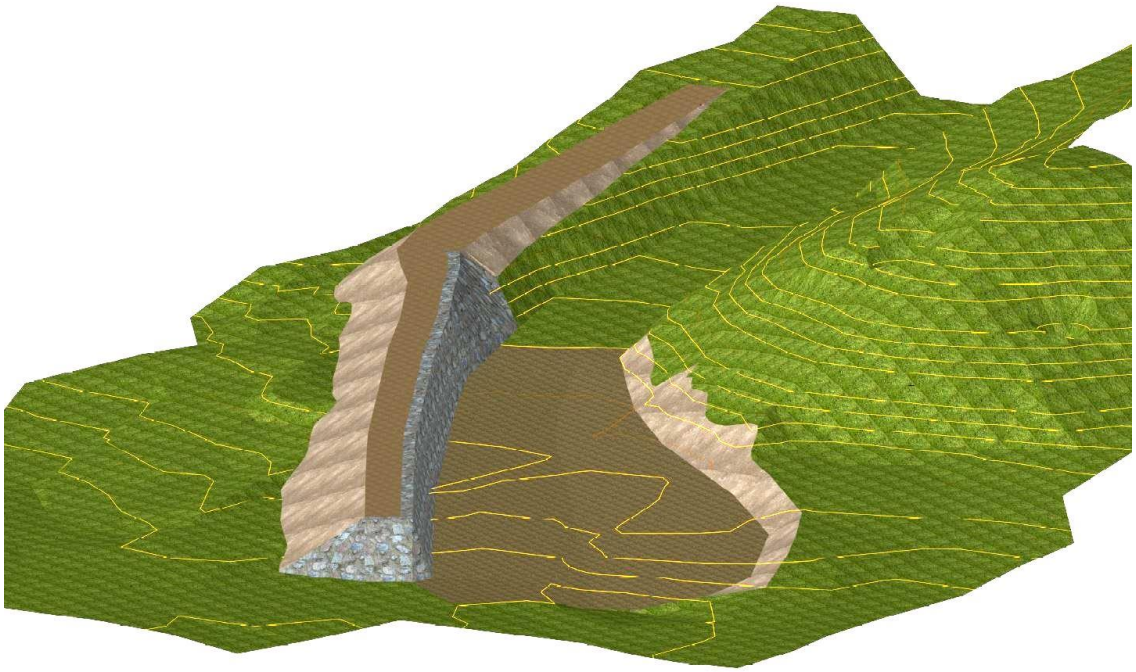


Figure 5 -vue 3D du projet de réorientation du chenal, avec en jaune les courbes de niveaux métriques du terrain initial, issues du levé topo 2020 (source RTM).

II.1.3 Aléa résiduel au niveau de la ZA de Termignon

Ainsi déviée, la langue du scénario de référence centennale viendra faire la « moustache » dans la cuvette formée par la mare, au pied de la butte de Pierres Grosses (cf. fig. 6). Elle n'aura pas l'énergie de remonter jusqu'au pylône P41 de la ligne HT situé dans l'axe mais 13 m au-dessus du fond de la mare, ni l'énergie de tourner à angle droit pour ensuite remonter 5 à 8 m de contre-pente et parcourir une distance de 130 à 160 m jusqu'aux premiers bâtiments de la zone agricole.

Ainsi, au vu de notre connaissance de la dynamique du phénomène de référence, l'ouvrage ainsi dimensionné permettra de rendre négligeable l'aléa « avalanche dense » sur la zone agricole (au-delà de la route en bordure ouest). Comme évoqué par Engineerisk, la limite de l'aléa fort pourra, après travaux, revenir se positionner en limite extérieure de la ZA, comme sur le PPR en vigueur (cf. trait rouge en fig. 8 ci-après).

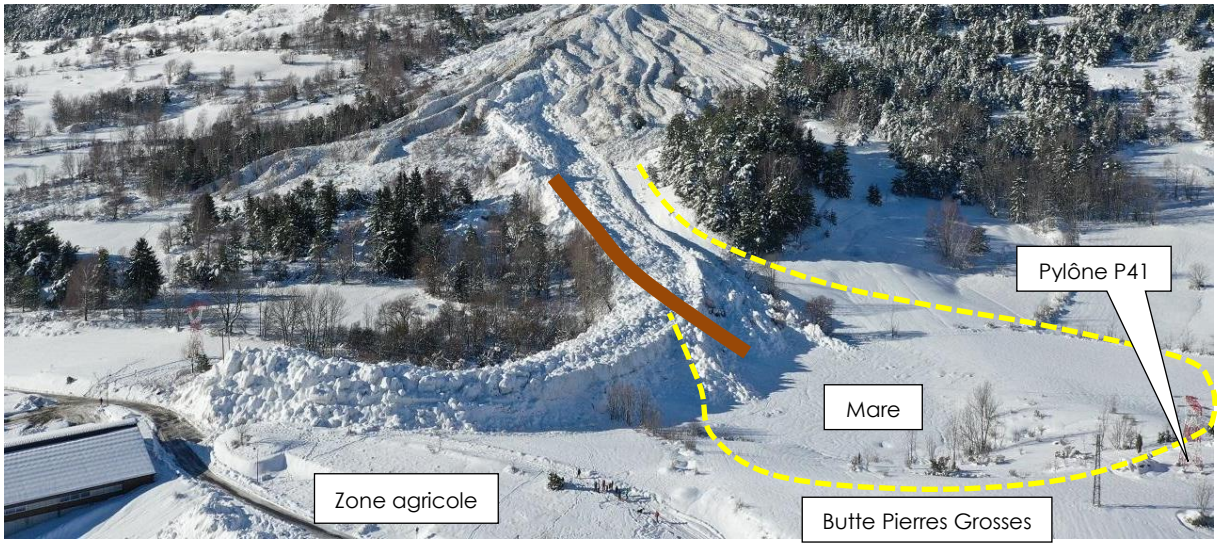


Figure 6 -projet d'axe de tourne (en marron) sur une vue drone de l'avalanche du 23/12/2019 (source www.data-avalanche.org) et emprise probable des dépôts de l'avalanche ainsi déviée (en jaune).

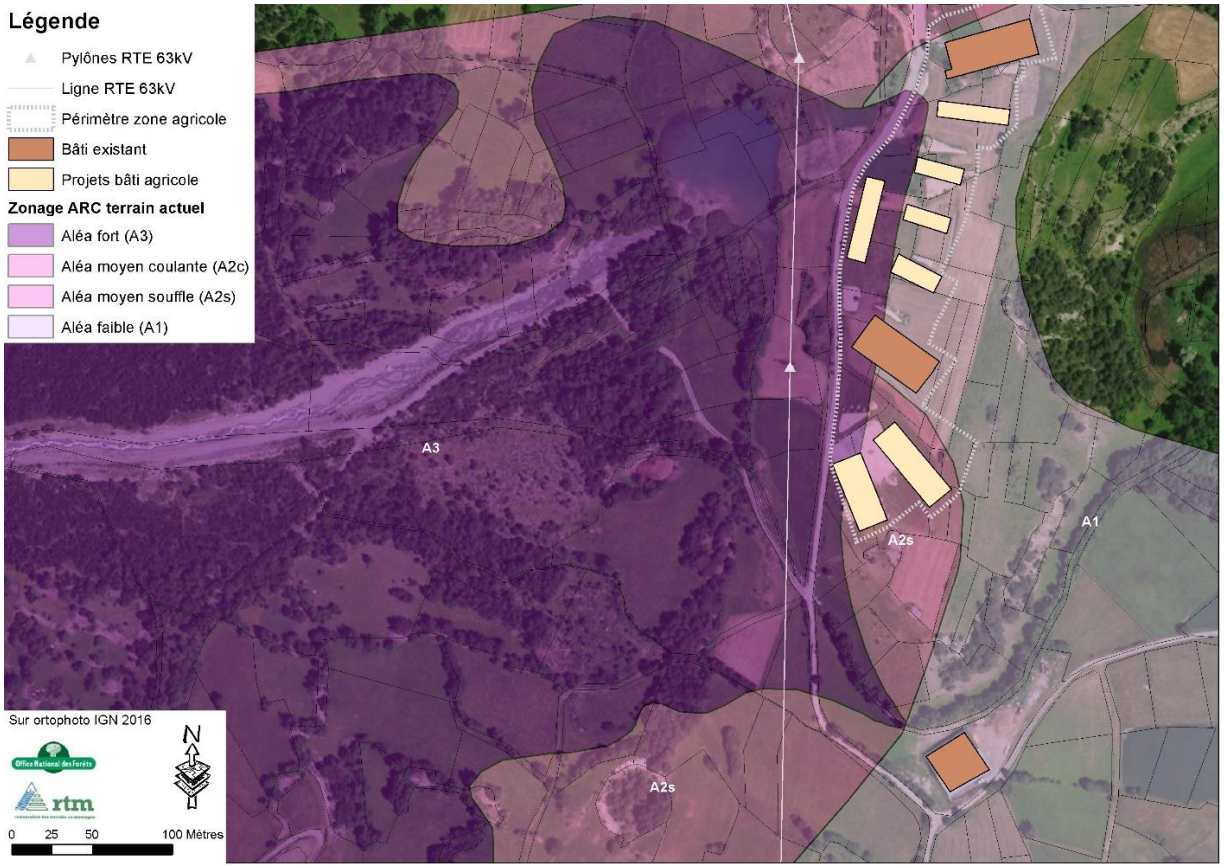


Figure 7 -carte des aléas avalanche (ARC) zoomée sur le périmètre de la zone agricole, en l'état actuel du terrain, issue de l'étude RTM de phase 1.



Figure 8 -même carte après réalisation du projet de rechenalisation, tel que présenté ci-avant.

Pour être le plus explicite possible, voici à titre informatif comment pourra évoluer la carte des aléas d'avalanche sur le secteur de la zone agricole (cf. fig. 7 et 8 ci-dessus), une fois l'ouvrage réalisé conformément aux plans ci-dessus.

La limite de l'aléa fort associé à la limite d'extension des langues de neige dense avec prise en compte de la tourne ne dépassera plus la limite de zone rouge du PPRN approuvé en 2013. L'ensemble du périmètre de la zone agricole avec la prise en compte de la tourne sera exposé à un aléa moyen souffle ou aléa faible

Concernant l'aléa torrentiel, il n'y aura aucune évolution de cet aléa suite aux aménagements projetés. La marre restera l'exutoire des crues torrentielles jouant un rôle de « plage de dépôts ».

II.2 Techniques possibles pour le parement interne de la tourne

II.2.1 Le parement « treillis soudé végétalisable »

Le parement en treillis consiste à mettre en place un treillis métallique en forme de L qui est relié à un système de renforcement des remblais. Il existe plusieurs solutions techniques pour le renforcement du remblai :

- Lamelles métalliques ou composites
- Géogrilles
- Géocomposite

Cette technique présente l'avantage de ne nécessiter aucun apport de matériaux, le remblaiement se fait avec les matériaux du site. Les seules fournitures nécessaires sont le treillis et le système de renforcement du remblai. Cette solution permet ainsi de limiter les approvisionnements et les circulations de poids lourds.
Cette technique est avantageuse dans le cas où le parement devra être raidi sur les deux faces car les nappes de renforcement de la face amont pourront être prolongées pour renforcer la face aval.

Le coût au mètre carré de parement est de l'ordre de 100 € à 130 € H.T

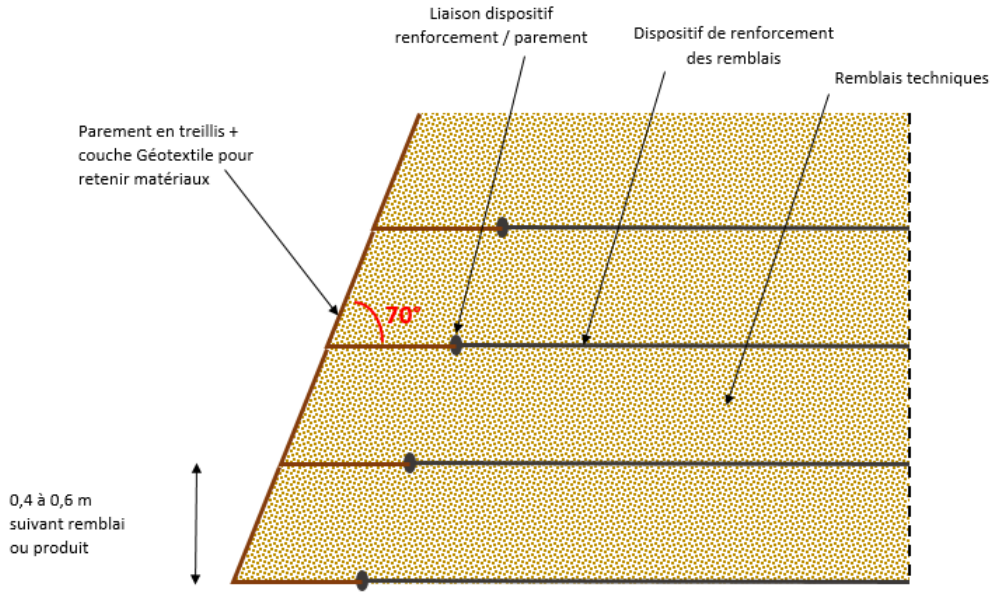


Figure 9 - Schéma de principe du parement en treillis



Figure 10 -St Rambert en Bugey – Merlon Parement raidi treillis + Géotextile

II.2.2 Le parement en gabion

La technique consiste à mettre en parement des cages de gabion et remblayer l'arrière du gabion avec du remblai. Comme pour la technique du treillis ou du pneusol, le gabion est relié à une nappe de treillis ou de géocomposite de renforcement. Les gabions que nous proposons d'utiliser sont des gabions en grillage double torsion et non pas des gabions de type treillis electrosoudés. En effet, il est aisé de réparer les gabions en grillage après un impact alors qu'il est très compliqué de réparer un gabion en treillis soudé.
Les gabions sont remplis avec des matériaux de granulométrie 100/250. Dans le cas de la tourne de Bonnenuit, les matériaux ne pourront pas être prélevés sur site, il faudra donc prévoir l'approvisionnement en matériaux pour le remplissage.

Cette technique est bien adaptée en cas de double parement raidi.

Le coût au mètre carré de parement en technique gabion est de l'ordre de 90 à 130 €/m²



Figure 11 - Merlon en gabion Terramesh Sytem®

II.2.3 Le parement en « pneusols / pneutex »

La technique consiste à utiliser des pneus poids lourds usagés entier ou partiellement découpés pour les disposer horizontalement et longitudinalement en parement. Les pneus sont remplis de terre. Selon l'application (Pneutex ou Pneusol®), des nappes de géotextile ou de treillis soudés sont disposées horizontalement en renfort des couches de pneus pour atteindre des pentes de parement allant jusqu'à 75°.
Développée depuis les années 1980, plusieurs centaines d'ouvrages ont été construits avec cette technique.

Si cette technique permet de recycler des pneus usagés, elle souffre d'une mauvaise acceptation sociale et environnementale du fait de son impact paysager et car elle introduit dans le milieu naturel des produits dérivés d'hydrocarbures.
Le coût au mètre carré de parement en technique pneusol est de l'ordre de 80 à 110 €/m²



Figure 12 - Merlon pneusol à Saint-Julien Montdenis (73)

II.2.4 Le parement en « enrochements bétonnés »

Une des solutions techniques envisageables est la mise en place d'un mur poids en enrochements bétonnés. Le parement en enrochements bétonnés a deux fonctions : raidir le parement amont et soutenir les matériaux à l'arrière. Avec l'emploi d'un parement en enrochements bétonnés, il n'est pas nécessaire d'utiliser des remblais renforcés à l'arrière. Dans le cas de mise en œuvre d'enrochement bétonné, le parement amont pourra avoir un fruit de 1H / 3V soit 71° comme proposé ici, et tenir jusqu'à 1H / 5V (80°).
La technique de parement en enrochements bétonnés est économique dans les cas où l'éboulis contient de nombreux gros blocs et qu'aucun apport de gros blocs est nécessaire. Dans le cas de la tourne de Bonnenuit, le terrain est constitué de dépôts alluvionnaires et la récupération de blocs issus des terrassements ne sera pas possible. Il est donc nécessaire de prévoir un approvisionnement complet en gros blocs.



Figure 13 - Bonneval sur Arc – Merlon Tralenta – H=7m et longueur 230m

Avec un prix de 150 €/m^3 d'enrochement bétonné, pour un merlon de 5 m de haut, il faudra compter un coût de l'ordre de 225 €/m² de parement.

II.2.5 Comparaison des solutions pour le cas de Bonnenuit

Technique	Avantages	Inconvénients
Parement treillis soudés		- Remblais déficitaire, il faudra de toute manière apporter des matériaux de l'extérieur - Frottements latéraux de l'avalanche susceptibles de déformer les treillis du parement - Sensible à la qualité des remblais
Parement en gabion		- Apport de matériaux nécessaires pour remplir les gabions - Frottements latéraux de l'avalanche susceptibles de déchirer les cages en gabions
Pneusol ou Pneutex	- technique à priori la moins couteuse	- Caoutchouc naturel et synthétique (pétrochimie) dans le milieu naturel - Réparation un peu complexe si déformation - Remblais déficitaire, il faudra de toute manière apporter des matériaux de l'extérieur - Sensible à la qualité des remblais
Enrochements bétonnés	- Très résistant aux frottements latéraux liés à l'écoulement de l'avalanche - Adapté pour parement raidi sur une seule face - peu sensible à la qualité des remblais - excellente longévité, sans entretien ou réparation	- Pas de gros blocs sur le site, nécessité d'apport

Même si le coût au mètre carré semble plus important, la solution qui parait la plus adaptée au projet est la création d'un soutènement en enrochements bétonnés avec un remblais « simple » à l'arrière.

II.3 Dimensionnement structurel de la tourne

II.3.1 Prolongement de la tourne en enrochements bétonnés

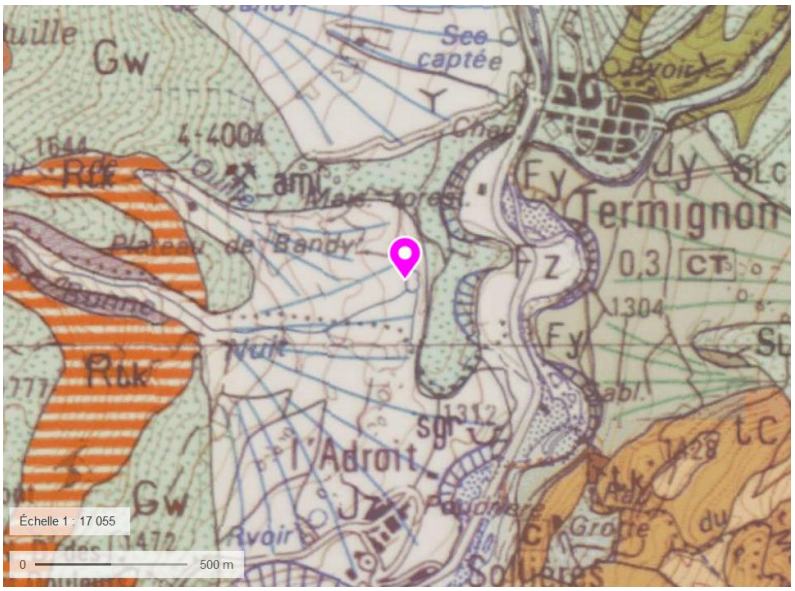


Figure 14 - Extrait carte géologique du BRGM

Une fois la technique de parement retenue, nous pouvons dimensionner structurellement le merlon. Il n'a pas été réalisé d'étude géotechnique pour caractériser précisément les sols en place. La technique de l'enrochement bétonné pour la création d'une tourne est peu sensible à la nature des matériaux, son dimensionnement (épaisseur) dépend modérément des caractéristiques mécaniques des matériaux à l'arrière.
Les observations des matériaux en surface montrent un matériau en place stable à 45° (pente des berges du chenal de Bonnenuit) avec très localement des déstabilisations de peau probablement liées à une perte de cohésion. A partir de cela nous avons retenu les hypothèses suivantes pour vérifier la stabilité de l'ouvrage :
Matériaux pour remblais :

- Masse volumique : 1900 kg/m3
- Cohésion = 3 kPa
- Angle de cohésion interne = 32°

Terrains en place non remanié :

- Masse volumique : 2000 kg/m3
- Cohésion = 5 kPa
- Angle de cohésion interne = 40°

Les calculs de stabilité ont été réalisés avec le logiciel Géomur©, les résultats sont présentés en annexe 2.

II.3.2 Rehausse de la tourne existante par du remblais

Là où le chenal est bien marqué mais d'une hauteur insuffisante, nous allons simplement le rehausser par un merlon en remblais d'une hauteur comprise entre 0 et 2,0 m.
Ce merlon est monté en sommet d'une berge qui présente une pente de 45° et qui pourrait être sensible aux phénomènes d'érosions. La solution technique retenue est de prévoir un merlon suffisamment large pour qu'en cas d'érosion, l'épaisseur de la crête du merlon soit

supérieure à 4,00 m. Les 4,0m d'épaisseur de merlon ont été calés à partir du fond du lit avec une pente de 35° (3H/2H) (voir figure ci-dessous).

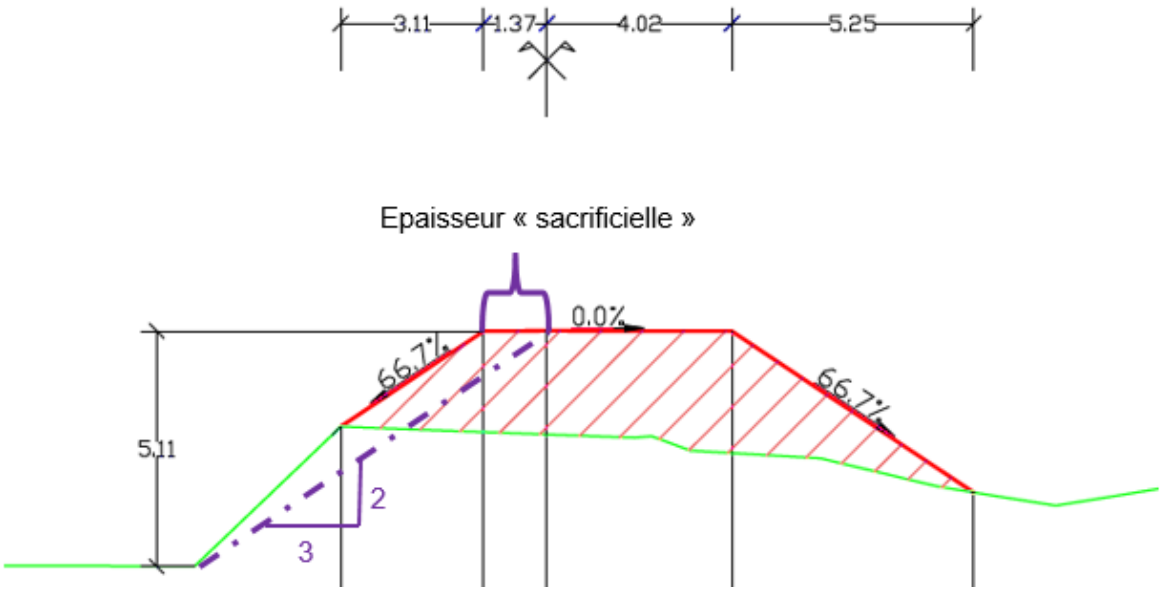


Figure 15 -Principe de rehausse de la tourne avec épaisseur « sacrificielle »

III Organisation du chantier

III.1 Présence de réseaux

Dans le cadre du projet, la DT 2020080303963DEC a été réalisée pour connaitre la liste des réseaux présents dans l'emprise du projet.

Aucun réseau n'est recensé dans l'emprise des travaux.

III.2 Période de réalisation de la tourne

Les travaux se situent dans le lit du torrent de Bonnenuit. A la fin de la fonte nivale, le lit du torrent est généralement à sec. Les quelques écoulements présents s'infiltrent dans le lit. Lors de notre visite le 21 Juillet 2020, l'eau s'infiltrait une centaine de mètres à l'amont du chantier. Le lit du torrent au droit de la zone de travaux était à sec.
La période la plus adaptée pour réaliser les travaux semble se situer entre 1er Juillet et le 15 Octobre.
La durée prévisible des travaux est de 6 à 8 semaines.

III.3 Accès à la zone de travaux

Voir avec la commune si l'accès depuis la Zone d'Activité est préférable ?
Cadre réglementaires

III.4 Réglementation en lien avec le code de l'environnement

Ce paragraphe constitue une première analyse des dispositions réglementaires susceptibles d'être concernées par le projet. Une fois le projet final retenu, il conviendra de consulter la DDT/SEEF pour confirmation de la nature et du contenu du dossier à établir.

III.4.1 Dossier R214-1 du code de l'environnement (loi sur l'eau)

L'avalanche de Bonnenuit suit le lit du Ruisseau de Bonnenuit. La déviation de l'avalanche par la tourne entraine une déviation du lit du ruisseau et une artificialisation de la berge rive droite. Le linéaire de Ruisseau modifié est de 70 m. Le ruisseau de Bonnenuit est considéré comme un cours d'eau au sens réglementaire dans la cartographie des cours d'eau. *(http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.gouv.fr/468/identification_cours_d_eau_savoie.map)*

L'Article R214-1 du code de l'environnement fixe les procédures à réaliser en fonction des travaux prévus sur les milieux aquatiques. Le projet de la tourne de Bonnenuit est concerné par les rubriques suivante :

Num			
3.1.2	Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau : • Longueur >100 m = Autorisation • 10 m < longeur < 100 m = Déclaration	70 ml	Déclaration
3.1.4	Consolidation ou protection des berges, à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales vivantes : • Longueur > 200 m = Autorisation • 20 m < longeur < 200 m = Déclaration	70 ml	Déclaration
3.1.5	Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens, ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet : • Sup à 200 m2 : autorisation • Dans les autres cas ; Déclaration	Inf à 200 m²	Déclaration

Le projet sera donc soumis à déclaration au titre l'article R214-1 du Code de l'environnement. Les délais réglementaire d'instruction pour un dossier de déclaration est de 2 mois.

III.4.2 Défrichement

L'article L341-3 du Code Forestier, instaure la nécessité d'obtenir une autorisation avant de procéder à un défrichement.

Le défrichement est défini comme la destruction totale des arbres et des souches (coupe rase), avec un changement d'affectation des sols ou le maintien temporaire de l'état boisé, avec suppression de la destination forestière du terrain (installation d'un camping ou d'un golf par exemple).

La caractérisation de l'état boisé et de la destination forestière d'un terrain résulte d'une constatation et d'une appréciation de fait et non de droit, ce ne sont pas les différents

classements (cadastre ou documents d'urbanisme) qui l'établissent. Cette appréciation est laissée à l'administration en charge des forêts sous le contrôle du juge.

Dans le présent cas, le projet se situe en dehors de terrains relevant du régime forestier et n'impactera qu'une surface très limitée (voir figures 5 et 6), au sein d'un massif boisé très éparse et d'une surface de 1,5ha..
Aucune demande d'autorisation de défrichement ne sera à priori nécessaire pour le projet.

III.4.3 Evaluation environnementale

L'article R122-2 du Code de l'Environnement et son annexe fixent la liste des projets soumis à évaluation environnementale et les projets soumis au cas par cas. Le projet tourne de Bonnenuit correspond à la rubrique 10 - Canalisation et régularisation des cours d'eau. Cette rubrique ne prévoit pas d'évaluation environnementale mais seulement un cas par cas pour les projets suivants :

Ouvrages de canalisation, de reprofilage et de régularisation des cours d'eau s'ils entraînent une artificialisation du milieu sous les conditions de respecter les critères et seuils suivants ::

- Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m ;
- Consolidation ou protection des berges, par des techniques autres que végétales vivantes sur une longueur supérieure ou égale à 200 m ;
- Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens, ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet pour la destruction de plus de 200 m 2 de frayères ;
- Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à la dérivation d'un cours d'eau sur une longueur supérieure ou égale à 100 m.

Le projet sera donc soumis ni à évaluation environnementale ni à un dossier cas par cas au titre l'article R122-2 du Code de l'environnement.

III.4.4 Zone à réglementation environnementale spécifique

Le projet se situe en dehors de toute zone Natura 2000. La plus proche se situe à plus de 1 km du projet et celui-ci n'aura pas d'incidence sur les site Natura 2000.

Le projet se situe dans le Znieff de type 2 – Adrets de la Maurienne

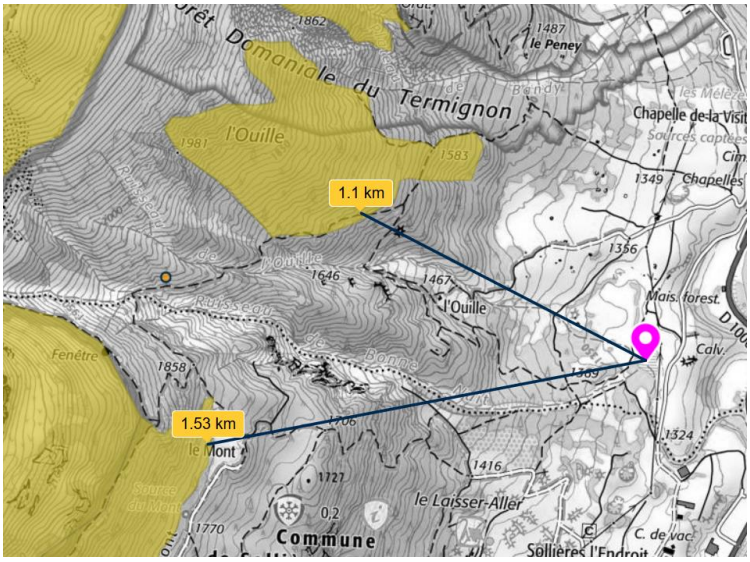


Figure 16 - Position du projet par rapport au site N2000 - Formations forestières et herbacées des Alpes internes - Directive Habitats - Identifiant : FR8201779

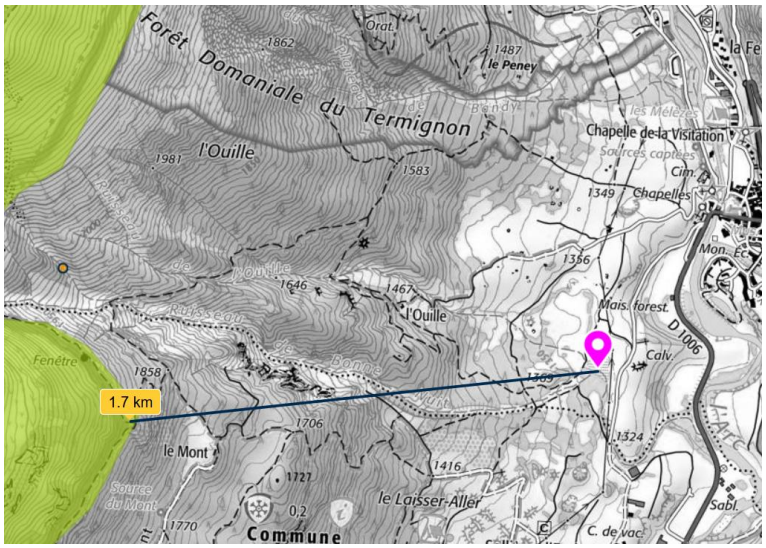


Figure 17 - Position du projet par rapport au site N2000 - La Vanoise - Directive oiseaux - Identifiant : FR8210032

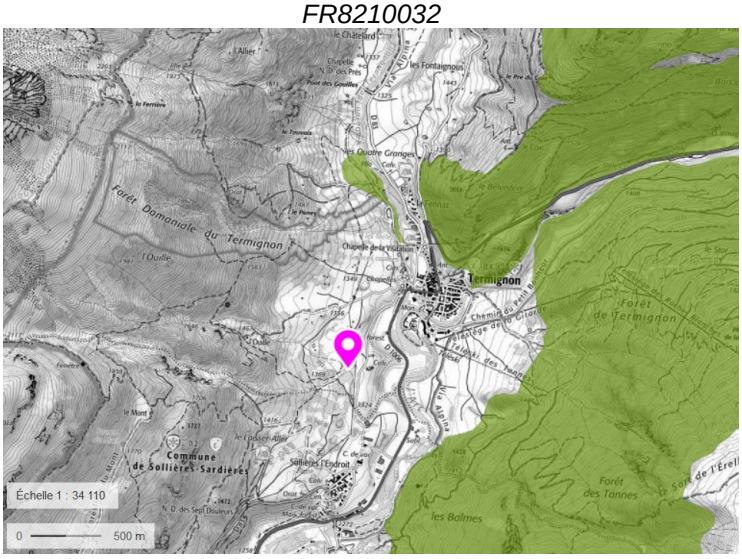


Figure 18 - Position du projet par rapport aux ZNIEFF I



Figure 19 - Position du projet par rapport à la ZNIEFF de type 2 – Adrets de la Maurienne

III.4.5 Règlementation relatives aux espèces protégées

L'article L411-1 du code de l'environnement prévoit un système de protection stricte des espèces de faune et de flore sauvages dont les listes sont fixées par arrêté ministériel.

Il est notamment interdit de les détruire, capturer, transporter, perturber intentionnellement ou de les commercialiser. Ces interdictions peuvent concerner également les habitats des espèces protégées pour lesquels la réglementation peut prévoir des interdictions de destruction, de dégradation et d'altération.

Les interdictions prévues à l'article L411-1 du code de l'environnement doivent être respectées dans la conduite du projet faisant l'objet de procédures environnementales. Ce projet doit être conçu et mené à bien sans porter atteinte aux espèces de faune et de flore sauvages protégées.

Une dérogation à ces interdictions est obligatoire lorsqu'un projet impacte des spécimens d'espèces protégées, ou des habitats nécessaires au bon accomplissement du cycle biologique de ces espèces. Cette dérogation doit respecter les conditions prévues à l'article L411-2 du code de l'environnement.

Au regard de la situation du projet, la présence d'espèces protégées ne peut pas être exclue. Il revient au maitre d'ouvrage de s'assurer de l'absence d'espèces protégées dans l'emprise des travaux.

III.5 Code de l'urbanisme

L'article R421-19 du Code de l'Urbanisme, impose la délivrance d'un permis d'aménager pour les travaux d'affouillement et exhaussement du sol dont la hauteur, s'il s'agit d'un exhaussement, ou la profondeur dans le cas d'un affouillement, excède deux mètres et qui portent sur une superficie supérieure ou égale à deux hectares.

Dans le cas présent les exhaussements et les affouillements dépassent largement la hauteur de 2m toutefois la superficie de terrain impacté concernée par les terrassements est de 0,35 ha. Le projet n'est donc pas soumis à permis d'aménager.

Le projet devra toutefois faire l'objet d'une déclaration préalable au titre de l'article R421-23 du code de l'Urbanisme car les affouillements et les exhaussements dépassent les 2 m et concernant une superficie supérieure à 100 m².

IV Entretien et suivi de l'ouvrage

IV.1 Entretien et suivi en phase hivernale

L'objectif de l'ouvrage est de chenaliser et guider la première grosse avalanche de la saison, lorsqu'elle atteint cette cote, vers la berge nord de la mare, pour éviter toute orientation vers la zone agricole. L'étude RTM de phase 1 a souligné que les avalanches suivantes n'étaient pas menaçantes pour la zone agricole, dans la mesure où le chenal était déjà rempli par les dépôts de la première. En effet, sur un chenal déjà rempli, les avalanches ultérieures débordent beaucoup plus haut sur le cône de déjection et s'étalent en de multiples langues de part et d'autre du lit torrentiel, sans possibilité d'extension sur la butte de Pierres Grosses. Ainsi, il n'est pas nécessaire de curer le chenal ni l'ouvrage. Au contraire, son remplissage est plutôt un facteur de sécurité pour la ZA. Aucune intervention sur l'ouvrage et sur le tronçon concerné ne devrait être nécessaire en période hivernale. Un curage plus en amont, en haut du cône de déjection, ne peut être exclus mais n'a jamais été nécessaire jusqu'à présent et reste indépendant de la réalisation du présent projet.

IV.2 Entretien et suivi courant de l'ouvrage

Au regard de la constitution de l'ouvrage, aucun entretien spécifique n'est à prévoir. Les recommandations sont :

- Réaliser une inspection visuelle de l'ouvrage tous les ans en période hors neige.
- Réaliser une inspection visuelle après chaque crue torrentielle importante.
- S'assurer du maintien d'une hauteur minimale de 5,0 m entre le fond du chenal et le sommet de la tourne. En cas de dépôts torrentiels ou d'avalanches au droit de la tourne, il sera nécessaire de curer. A l'issue des curages, la pente du fond du lit devra être comprise entre 7 et 8%.

V Estimation du montant de l'opération

V.1 Cubatures des travaux

Le calcul des cubatures est basé sur les plans projets datés d'Aout 2020
Les volumes ci-dessous sont obtenus à partir des surfaces calculées en CAO-DAO sur les profils annexés au présent mémoire. Il est à noter que :

	Cubature plan Pro V1- 08/2020
Déblais à terrasser	1 700 m^3
Remblais à mettre en œuvre	2 540 m^3
Volume d'enrochements bétonnés	690 m^3

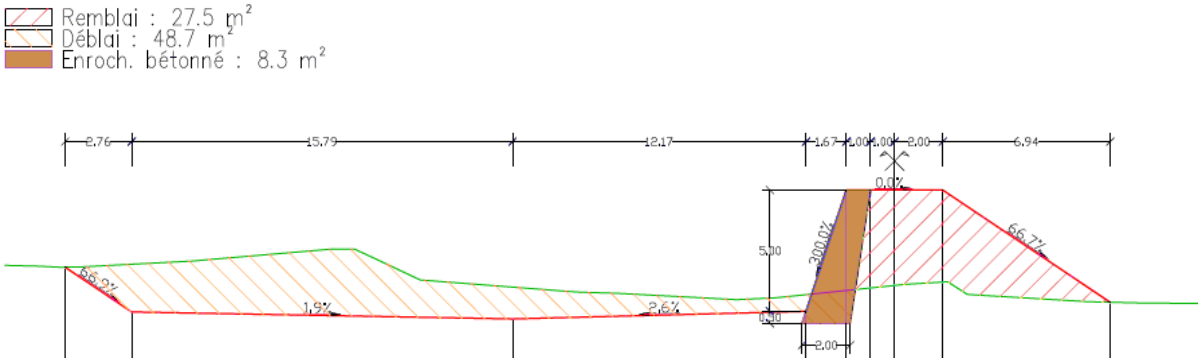


Figure 20 -Exemple de profil en travers

V.2 Estimation du montant des travaux liés au merlon

TRAVAUX					
N°	**Nature des travaux**	**Unité**	**Prix unit. HT (en chiffres)**	**Quantité**	**Sous-Total**
	Préparation et installation du chantier				
1.1	Plan Qualité (PQ)	ft	500,00 €	1	500,00 €
1.2	Plan de prévention	ft	500,00 €	1	500,00 €
1.3	Installation de chantier	ft	8 000,00 €	1	8 000,00 €
1.4	Dérivation et gestion des eaux pendant le chantier	ft	3 000,00 €	1	3 000,00 €
1.5	Implantation et piquetage des ouvrages	ft	1 500,00 €	1	1 500,00 €
1.6	Essai à la plaque	u	300,00 €	6	1 800,00 €
1.7	Classement GTR	u	200,00 €	4	800,00 €
1.8	Etude géotechnique - G3	ft	3 000,00 €	1	3 000,00 €
	Création de la tourne				
2.1	Terrassement en déblais/remblais	m3	6,00 €	2 000	12 000,00 €
2.2	Remblais pour ouvrages avec fourniture des matériaux	m3	20,00 €	1 000	20 000,00 €
3.1	Enrochements bétonnés	m3	170,00 €	720	122 400,00 €
	Réception				
4.1	Etudes d'exécution et dossier de recollement	ft	1 500,00 €	1	1 500,00 €
			TOTAL Travaux H.T		**175 000,00 €**
			TOTAL Travaux T.T.C		**210 000,00 €**