



Agence RTM Alpes du Nord
Service RTM de la Savoie

Parc National de la Vanoise

135, rue du Dr Julliand
BP 705
73 305 CHAMBERY Cedex

Chambéry, le 27 août 2021



17, rue des Diables Bleus
CS 92628
73026 CHAMBERY Cedex
Tél. 04 79 69 96 05
rtm.chambery@onf.fr

N. Réf. : VILLAROGGER-PNV/SR/D21-39

Objet : Etude pour la prise en compte du risque d'avalanche dans le projet d'extension du refuge PNV de la Martin – commune de Villaroger (73).

V. Réf. : votre commande par mail du 02/08/2021, avec signature du devis RTM.

A) Présentation du projet d'extension du refuge de La Martin :

Le refuge de La Martin, propriété du Parc National de la Vanoise (PNV), est situé sur les parcelles n°2134 et 2136 – section E - du cadastre de la commune de Villaroger (superficie totale de 1029 m²), à une altitude de 2150 m, en limite interne de la zone cœur du PNV et le long du sentier du Tour du Mont Pourri. Il a une capacité de couchage de 21 personnes, est gardé l'été mais reste ouvert aux randonneurs à ski l'hiver.

Le bâtiment d'origine date de 1932. Il a été construit par la commune de Villaroger pour loger les alpagistes de la Gurraz et de la Savinaz et fabriquer le Beaufort d'alpage. Avant cela, il existait déjà un petit chalet d'alpage privé à cet emplacement. Le PNV a racheté le bâtiment en 1972 pour le transformer en refuge. Une extension en maçonnerie a été réalisée en façade ouest au début des années 80 pour créer un bûcher et un WC accessible par l'extérieur. Cette extension, dégradée, a été refaite en 2008 ou 2010 par l'entreprise locale Marmottan TP, avec des murs en béton banché et ferpillé.



Fig. 1 : le refuge de La Martin en août 2021, avec l'entrée visiteurs en façade ouest et l'extension rénovée.

En 2020, le PNV a commencé à étudier un aménagement du refuge en façade ouest, pour ajouter une douche et un espace de change avec lavabo, ainsi qu'un sas d'entrée et un vestiaire, permettant d'améliorer la fonctionnalité et le confort du refuge.

En 2021 est venue s'ajouter une demande de chambre pour l'aide gardien l'été, de local chauffe-eau et de local batteries. Ces aménagements ont été étudiés par le PNV et l'architecte DPLG Philippe Caire lors d'une visite du refuge le 16 août 2021, en même temps que la visite du service RTM pour la prise en compte des contraintes nivologiques. A ce jour le projet n'est pas encore totalement arrêté mais il pourrait s'agir d'un mixte entre ces deux propositions, qui présentent chacune des avantages :

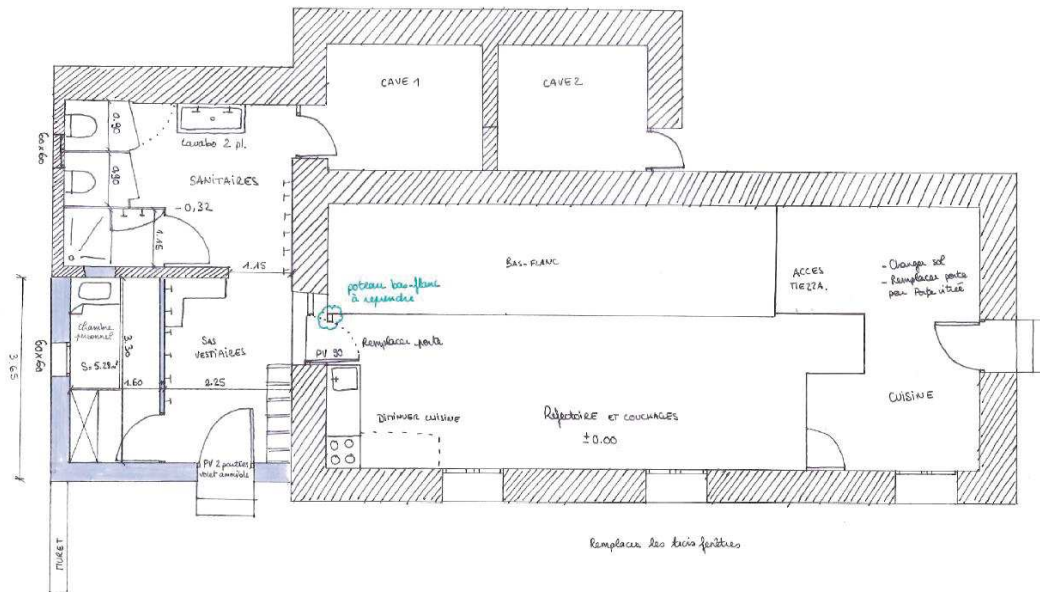


Fig. 2 : proposition A : sanitaires, chambre « personnel » et sas – vestiaire regroupés en façade ouest, fermant l'angle rentrant actuel (partie bleue), avec une porte d'entrée principale en façade sud.

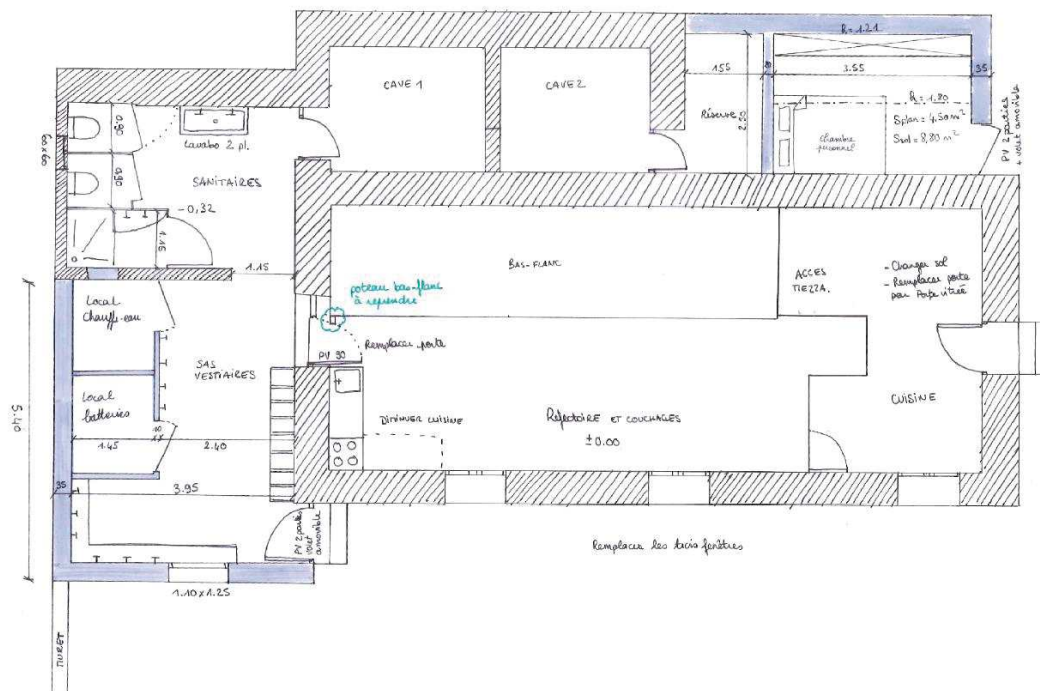


Fig. 3 : proposition B : chambre « personnel » en extension nord, permettant d'intégrer le local chauffe-eau et le local batterie dans le sas – vestiaire de l'extension en façade ouest. La porte d'entrée est orientée Est.

B) Objectif et périmètre d'étude :

L'objectif de la présente étude est de préciser le scénario d'avalanche « centennal » qui pourrait affecter le refuge de La Martin et son projet d'extension, d'en déduire les gammes de pressions d'impact que pourraient subir les façades et toiture exposées, d'évaluer la faisabilité du projet vis-à-vis de ce niveau d'exposition et de préconiser le cas échéant des adaptations constructives.

Le refuge de La Martin est dominé à l'ouest par l'imposant massif glaciaire du Dôme de la Sache (3588 m) et de la Grande Pareï (3352 m). Vues les pentes nettement supérieures à 30° au sommet du glacier de la Martin et en face Est de la Grande Pareï, des avalanches aérosol de grande ampleur s'y déclenchent naturellement, balayant une bonne partie du versant jusque dans le lit de l'Isère, voire parfois jusque sur le versant opposé. Bien qu'incomplète (mise à jour à venir, suite aux avalanches de 2021), la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches (CLPA), donne une assez bonne vision des emprises observées (en teinte rosée sur la figure 4 ci-dessous).

Pour mieux cerner les zones de départ d'avalanches potentiellement menaçantes pour le refuge, ainsi que les trajectoires et dynamiques d'écoulement à proximité du bâtiment, nous avons dû élargir notre analyse au périmètre jaune ci-dessous. Il intègre le couloir d'avalanche de la Savinaz – glacier de la Martin et celui du Nant Blanc, respectivement numérotés 22 et 112 sur la CLPA.

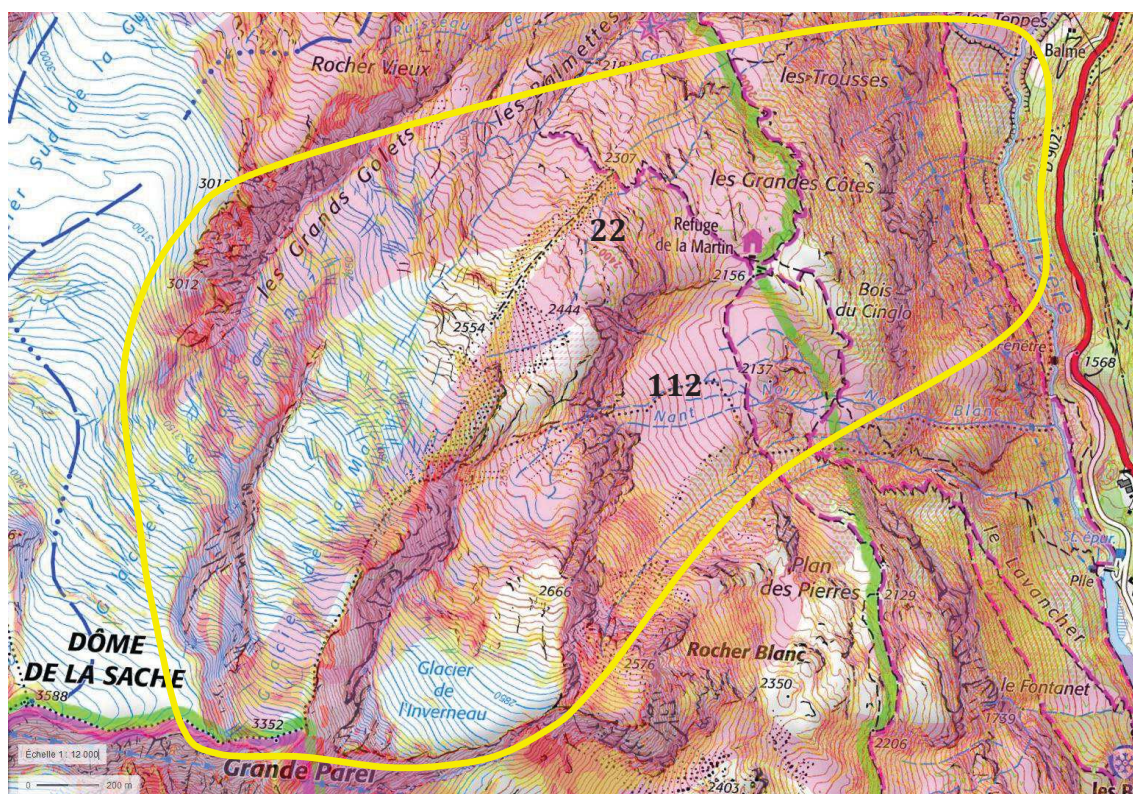


Fig. 4 : périmètre d'étude des aléas d'avalanches pour la mise en sécurité du projet d'extension du refuge de La Martin, sur fonds Scan25 de l'IGN, carte des pentes > 30° et emprises observées de la CLPA (source : géoportail de l'IGN).

C) Connaissance préalable des aléas d'avalanches sur le secteur :

1) Avalanches déjà observées, susceptibles d'avoir atteint/endommagé le refuge :

Les sources de données à notre disposition concernant les avalanches historiques du périmètre d'étude sont :

- La carte de la CLPA en vigueur (édition 2014) et les fiches d'enquête associées aux couloirs n°22 et 112 (enquête INRAE de 2006) ;
- L'enquête permanente sur les avalanches (EPA) et l'inventaire des observations ONF faites sur les sites n°4 et 211 depuis le début du XXème siècle (équivalent des couloirs CLPA n°22 et 112) ;
- Les photos d'avalanches prises par l'ONF-RTM sur ce versant en mars 2006 et janvier 2021 ;
- Le rapport ONF-RTM 2006 d'analyse des risques d'avalanches sur les RD87E et 902 vis-à-vis des avalanches n°111 et 112 de la CLPA, pour le CD73 ;
- Le Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles (PPRN) de la commune de Villaroger, approuvé par arrêté préfectoral le 29/11/2019, et notamment la note de présentation rédigée par l'ONF-RTM en 2018, avec présentation et cartographie des aléas à l'échelle communale ;
- Le rapport d'événement de l'avalanche du Nant Blanc du 28/01/2021, rédigé par l'ONF-RTM et transmis à la commune de Tignes pour information et à l'INRAE pour mise à jour de la CLPA.

Les observations d'avalanches sur ce versant se font le plus souvent depuis la RD 902, en fond de vallée, où la vision des zones de départ est partielle. De plus, les avalanches aérosols associées à ces zones de départ très élevées (> 3000 m) ne laissent pas beaucoup de traces, surtout s'il a neigé par-dessus. Les altitudes de départ et les trajectoires des avalanches consignées dans l'EPA et la CLPA sont donc pour certaines imprécises/douteuses sur ce versant.

On peut néanmoins noter dans l'EPA que **le 21 février 1937, une avalanche aérosol serait partie « vers le chalet de la Martin »** et qu'elle a causé un grand chablis sur le versant opposé, en rive droite de l'Isère. Vu les parcelles forestières communales déclarées impactées (n°5 et 12), il s'agirait plutôt du couloir du Nant Blanc (CLPA n°112). Néanmoins, l'évocation du chalet de la Martin peut aussi laisser penser à une avalanche issue du glacier de la Martin, dont le souffle serait passé sur l'actuel refuge (sans dommage) et les Grandes Côtes, pour venir mourir dans la vallée de l'Isère.

Une autre avalanche aérosol, bien plus récente et mieux documentée, est incontestablement passée sur l'emprise du refuge de la Martin. C'était le 9 ou 10 mars 2006. Les traces de cette avalanche ont été observées par M Balais (garde moniteur du PNV sur le secteur de Villaroger à l'époque) et par S. Roudnitska (chargé d'étude et nivologue de l'ONF-RTM Savoie). Sur les photos de l'ONF-RTM, on observe clairement deux épaisses cassures de plaques superposées vers 3300 m, sur le haut du glacier de la Martin (cf. fig. 5). Leurs longueurs respectives ont été évaluées à 100 et 250 m, pour 2 à 3 m d'épaisseur (cf. étude RTM 2006 pour le CD73). L'aérosol a balayé l'épaule entre les glaciers de la Martin et de l'Inverneau, jusqu'aux Teppes, avec un important dépôt dans le lit de l'Isère (traces de brassage/érosion de la surface du manteau bien visibles sur les photos ONF-RTM – cf. fig. 6 – et épais dépôts de neige et bois brisé dans l'Isère jusqu'en été). Le refuge de la Martin n'était pas visible depuis le point d'observation RTM. Toutefois la mairie de Villaroger a précisé courant 2006 que le bâtiment, enfoui sous la neige lors de l'avalanche, n'avait pas été endommagé. Aucun dépôt de neige notable n'aurait été repéré au sud du refuge lors de leur retour sur les lieux au printemps.

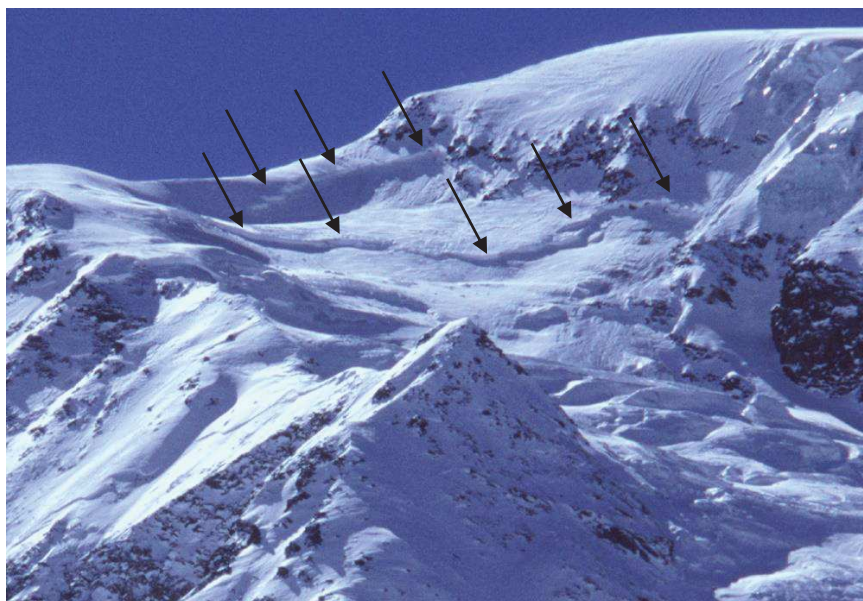


Fig. 5 : photo ONF-RTM (SR) de la double cassure de plaque à vent sur le haut du glacier de la Martin, prise le 14/03/2006, quelques jours après l'avalanche aérosol ayant atteint le refuge de la Martin et l'Isère (CLPA 22).

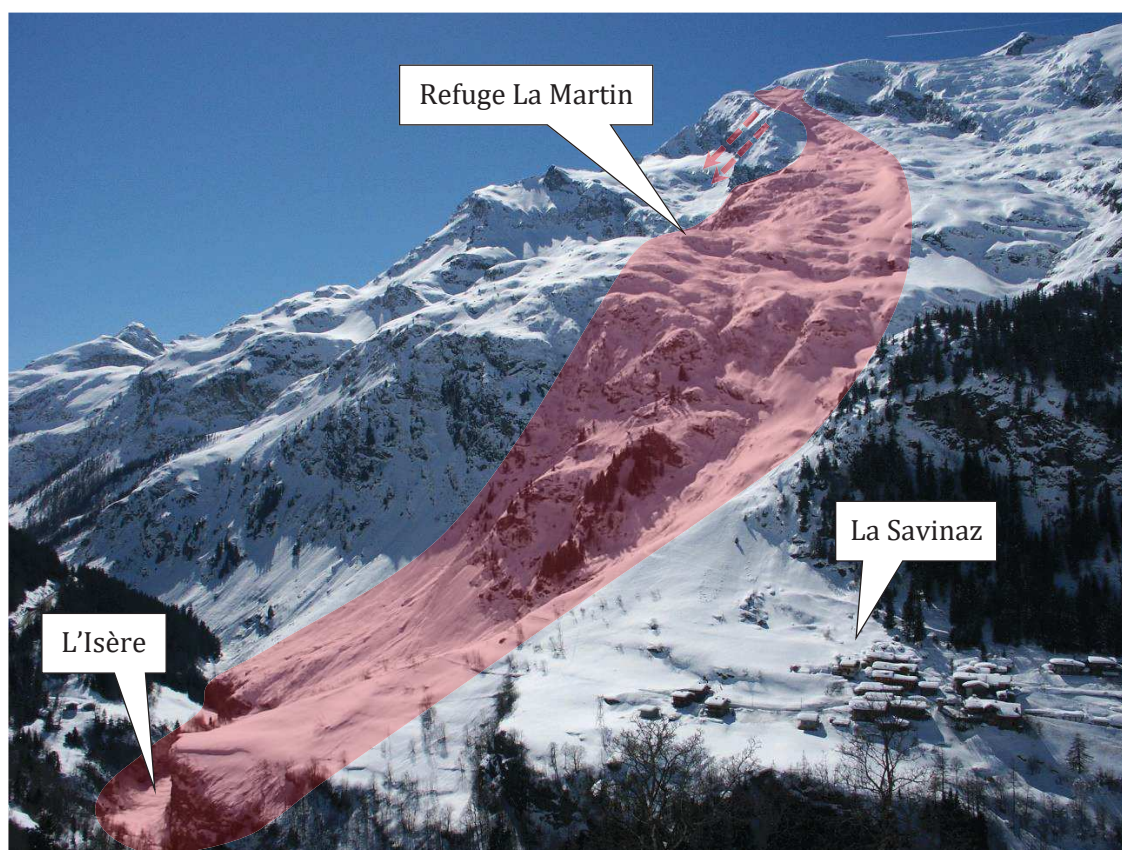


Fig. 6 : photo ONF-RTM (SR) du versant de La Martin, prise le 14/03/2006, quelques jours après l'avalanche aérosol ayant atteint le refuge de la Martin et l'Isère (CLPA 22). En rouge l'emprise visible.



Fig. 7 : photo ONF-RTM (SR) des traces d'aérosol encore observables le 14/03/2006 à hauteur du refuge de La Martin (à droite), comparée à une photo hélico de F. Bonnevie de la Régie des Pistes de Tignes, prise le 31 janvier 2021 (à gauche), où l'on voit cette fois le refuge. Grâce aux différents points de repères, on peut supposer que l'avalanche a été relativement intense jusqu'à proximité du refuge (phase dense de l'aérosol ayant laissé des traces – cf. limite en tirets rouge).

Cette trajectoire n'était pas connue ni affichée sur la CLPA. Le signalement RTM a donné lieu à une mise à jour de la CLPA en 2006 et à la création de l'emprise n°22 (cf. fig. 8). Le refuge, jusque-là en zone blanche, a été englobé dans le phénomène par l'INRAE (organisme de recherche en charge de la mise à jour de la CLPA), sans distinction entre phase dense et effet de souffle.

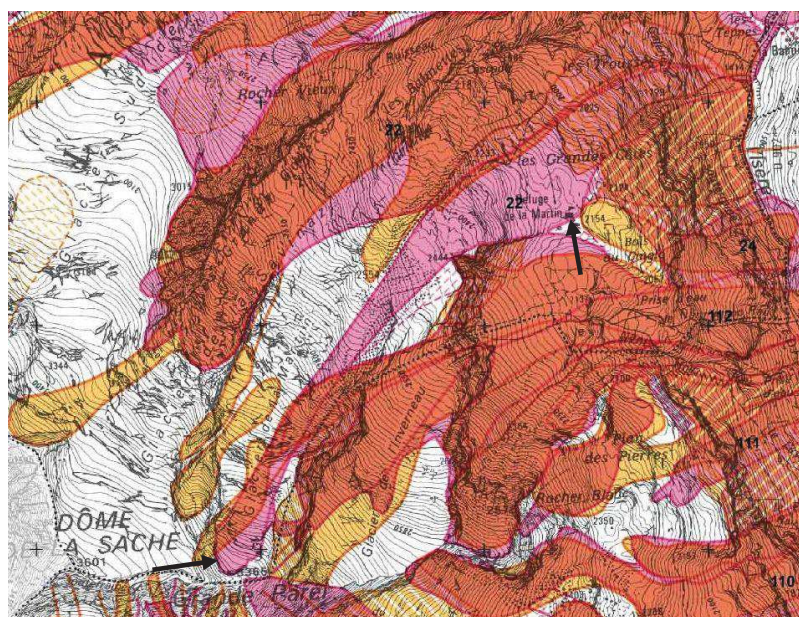


Fig. 8 : CLPA en vigueur sur le périmètre d'étude, avec l'emprise magenta ajoutée suite à l'observation et aux photos de l'avalanche de mars 2006.

Cette avalanche est la seule, en plus d'un siècle d'observation, dont on sait qu'elle est passée, au moins sous forme de nuage aérosol, sur l'emprise du refuge de La Martin.

Elle s'est produite suite à des conditions nivologiques particulières : le début d'hiver a été froid mais très peu enneigé (moins de 80 cm de neige mesurés au sol à 3000 m jusqu'à mi-février sur la balise Nivôse Météo-France de La Plagne - Bellecôte). Ces conditions ont favorisé une métamorphose de fort gradient dans le manteau neigeux et l'installation de couches fragiles généralisées (grains

A l'occasion de la présente étude, nous avons réalisé une enquête complémentaire sur les éventuels désordres qui auraient pu être constatés sur le refuge de La Martin et les deux bâtiments pastoraux voisins, liés à de probables avalanches au cours des dernières décennies.

Nous avons contacté S. Mélé, garde moniteur du PNV, référent du refuge de la Martin depuis 2005. Il nous a appris que durant l'hiver 2005 – 2006, les antennes radio-téléphoniques et radio-secours installées sur un mât fixé sur le toit du refuge, côté est, avaient été pliées par le souffle d'une avalanche. Il s'agit certainement de l'avalanche du 9 ou 10 mars 2006.

Nous avons aussi contacté L. Marmottan, habitant et entrepreneur à La Savinaz, qui avait déjà montré sa bonne connaissance des phénomènes naturels passés sur la commune de Villaroger lors de la révision du PPRN. Il nous a précisé que la toiture de l'ancienne extension du refuge en façade ouest (côté montagne), faite en hourdis, avait été soulevée de 8 à 10 cm par une avalanche, probablement en 2006. Cette déformation du débord de toiture (qui dépassait de 30 cm) est restée en l'état jusqu'à ce qu'il reconstruise l'extension pour le PNV en 2008 ou 2010. Conscient du risque d'avalanche sur cette façade amont, il avait alors pris le soin de reconstruire les murs en béton banché avec ferrailage, et de limiter le débord de toiture à 5 cm maximum (cf. fig. 10).



Fig. 10 : évolution de l'annexe « bûcher – WC » du refuge avant et après travaux de rénovation en 2008 ou 2010. Noter le débord de toit raccourci, pour éviter le soulèvement de toiture constaté en 2006.

Au-delà de ces quelques désordres relativement mineurs sur le refuge, qui pourraient avoir été causé par le souffle de l'avalanche de 2006, voir par une fin d'écoulement poudreux, ni L. Marmottan ni S. Mélé n'ont connaissance d'autres atteintes au refuge ni aux bâtiments voisins, ni même de dépôt d'avalanche à proximité. Ces personnes montent pourtant régulièrement l'hiver et au printemps sur les lieux. L. Marmottan nous a fait aussi remarquer que la porte en bois à deux battants de 140 cm de large de la façade amont de la bergerie, 30 m à l'aval du refuge, n'a jamais été endommagée alors qu'elle est très ancienne et peu résistante (cf. fig. 11).



Fig. 11 : porte de grange de la façade amont de la bergerie, 30 m sous le refuge.

Ces dégâts connus, rares et limités, s'expliquent sûrement par le caractère également rare du scénario d'avalanche de mars 2006, mais aussi, comme le fait remarquer S. Mélé, par le fait que le refuge est généralement bien recouvert de neige lors des périodes très avalancheuses.

Sur les photos suivantes, on constate effectivement que lors des hivers très enneigés, le refuge est totalement recouvert et nivelé par le manteau neigeux, permettant à l'avalanche de passer par-dessus sans faire de dégât (hormis une antenne qui dépasserait du toit...).



Fig. 12 : le refuge totalement enfoui le 25 mai 1970 (à gauche - IGN), mais aussi en avril 2018 (source : PNV).

Néanmoins, la plupart des hivers, une partie de la façade amont (ouest) et de la toiture du refuge restent apparentes (du fait de moindres accumulations ou de vents tourbillonnants érodant le manteau neigeux autour du bâtiment - cf. fig. 13). Une interaction est alors possible entre l'avalanche et la structure du bâtiment. Le soulèvement de toiture observé en 2006 semble indiquer qu'au moins le faitage émergerait du manteau neigeux en mars 2006.

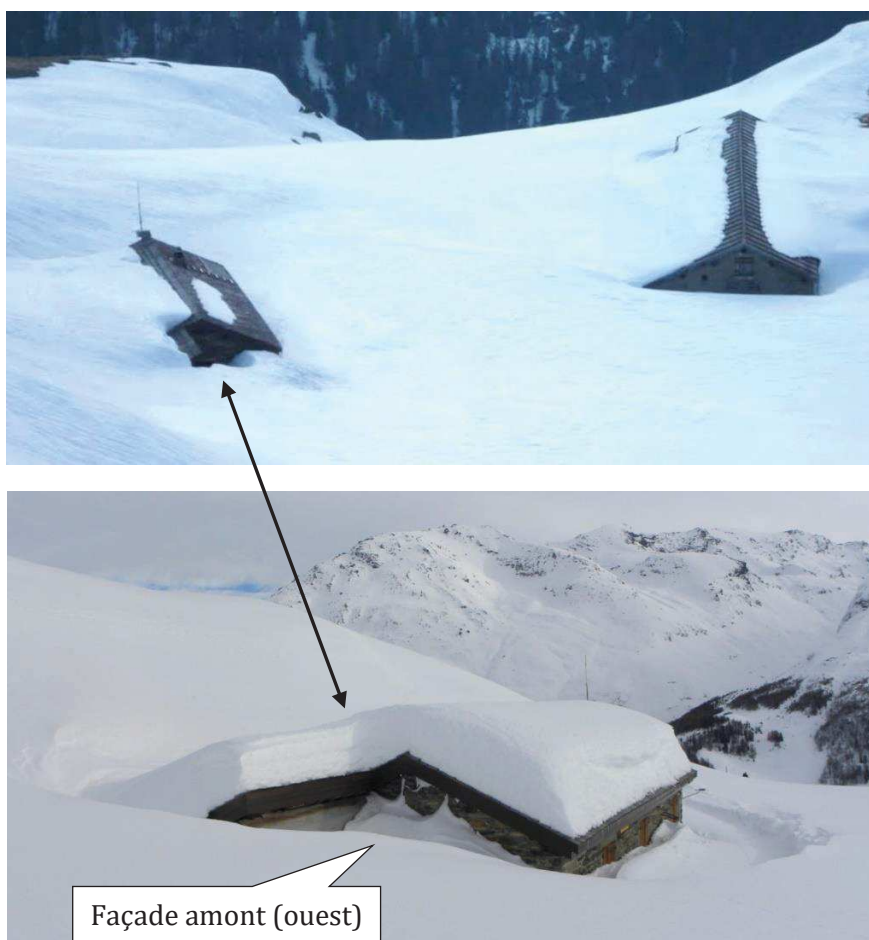


Fig. 13 : le refuge partiellement enfoui le 25 mars 2012 (source Skitour.fr) et le 14 janvier 2017 (source PNV).

2) Carte des aléas en vigueur autour du refuge de La Martin :

Dans le cadre de la révision du PPRN de Villaroger en 2018, la DDT 73 a missionné l'ONF-RTM pour réaliser une carte générale des aléas naturels sur l'ensemble du territoire communal. Hors des périmètres de prescriptions du PPRN, qui correspondent aux zones habitées de la commune, l'expertise a été réalisée sans investigation de terrain systématique et sans étude ni modélisation spécifique.

Sur le secteur du refuge de La Martin, la carte a été tracée essentiellement sur la base de la CLPA, des photos de l'avalanche de 2006 et d'une analyse morphologique du versant, mais l'incertitude sur les limites d'aléas est importante, notamment autour du refuge non visible depuis le fond de vallée. Elle constitue donc une base d'information qui peut assez logiquement être précisée dans le cadre d'une étude à la parcelle comme celle-ci.

Cette carte d'aléas avalanche de 2018 affiche le refuge de La Martin à la limite entre l'aléa fort et l'aléa moyen (cf. fig. 14). Dans ce cas précis, et conformément au tableau de caractérisation des niveaux d'aléas avalanche en page 20 de la note de présentation du PPRN, l'aléa fort correspond à la zone d'écoulement des avalanches coulantes et mixtes (couche de saltation à la base des aérosols), tandis que la zone d'aléa moyen correspond à un effet de souffle encore marqué.



Fig. 14 : extrait de la carte générale des aléas « avalanches » sur le secteur du refuge de La Martin (ONF-RTM 73 – 2018 - pour la DDT 73).

Mis à part l'avalanche, le seul autre aléa à avoir été identifié en 2018 sur le secteur du refuge est l'aléa chute de blocs. Il s'agit d'un aléa fort, justifié par la volumétrie et l'énergie cinétique développée par les blocs mobilisables, mais il n'atteint pas l'emplacement du bâtiment (cf. fig. 15 ci-après). La limite inférieure de l'aléa correspond à un angle de ligne d'énergie de 30° selon la méthode MEZAP, ce qui semble tout à fait justifié ici vue la configuration du terrain.



Fig. 15 : extrait de la carte générale des aléas « chutes de blocs » sur ce même secteur (ONF-RTM 73 - 2018).



Fig. 16 : localisation de la zone source des chutes de blocs en amont du refuge de La Martin.

D) Analyse géomorphologique et numérique des écoulements avalanches :

Compte-tenu des incertitudes assez importantes sur les limites d'aléas avalanche autour du refuge, nous avons complété notre travail bibliographique et de recueil de témoignages par une visite des abords du refuge (tranche ferme du devis) et par des simulations numériques permettant d'affiner les emprises des avalanches coulantes/mixtes de référence centennale, et de mieux quantifier les efforts (hauteurs/pressions) à prendre en compte sur le refuge (option prévue au devis).

La visite de terrain a été réalisée par voie pédestre le 16 août 2021, avec S. Martin, technicien bâtiment du PNV, Philippe Caire et Claire Fuchs, architectes du projet (Architecture Energie), en présence également des gardiens du refuge.

Les simulations numériques ont été conduites avec le logiciel RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation) - version 1.7.20 de 2020 (<http://ramms.slf.ch/ramms/>). Particulièrement adapté aux cas d'avalanches coulantes de neige sèche, et dans une moindre mesure à la couche de saltation des aérosols (partie basale la plus dense), ce logiciel 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 Modèle Numérique de Terrain (MNT) utilisé pour les simulations d'avalanches est la RGE ALTI® 1m de l'IGN (2020) dont la précision est excellente en dessous de 1900 m (issu d'un levé LIDAR) mais encore très bonne jusqu'aux sommets de Savoie (corrélation d'images aériennes). Les calculs ont été réalisés au pas de 3 m.

Les zones de départ retenues pour les simulations sont celles de l'avalanche de mars 2006 au sommet du glacier de la Martin (ZD 1), celles de l'avalanche de janvier 2021 en face est de la Grande Pareï (ZD 2) et une troisième zone > 30° en rive droite du glacier de la Martin (cf. fig. 17). Il s'agit des zones de départ les plus importantes et les plus probables en amont du refuge, au vu de la carte des pentes avalancheuses comprises entre 30 et 55°, de la rugosité et de l'historique des avalanches (CLPA...)

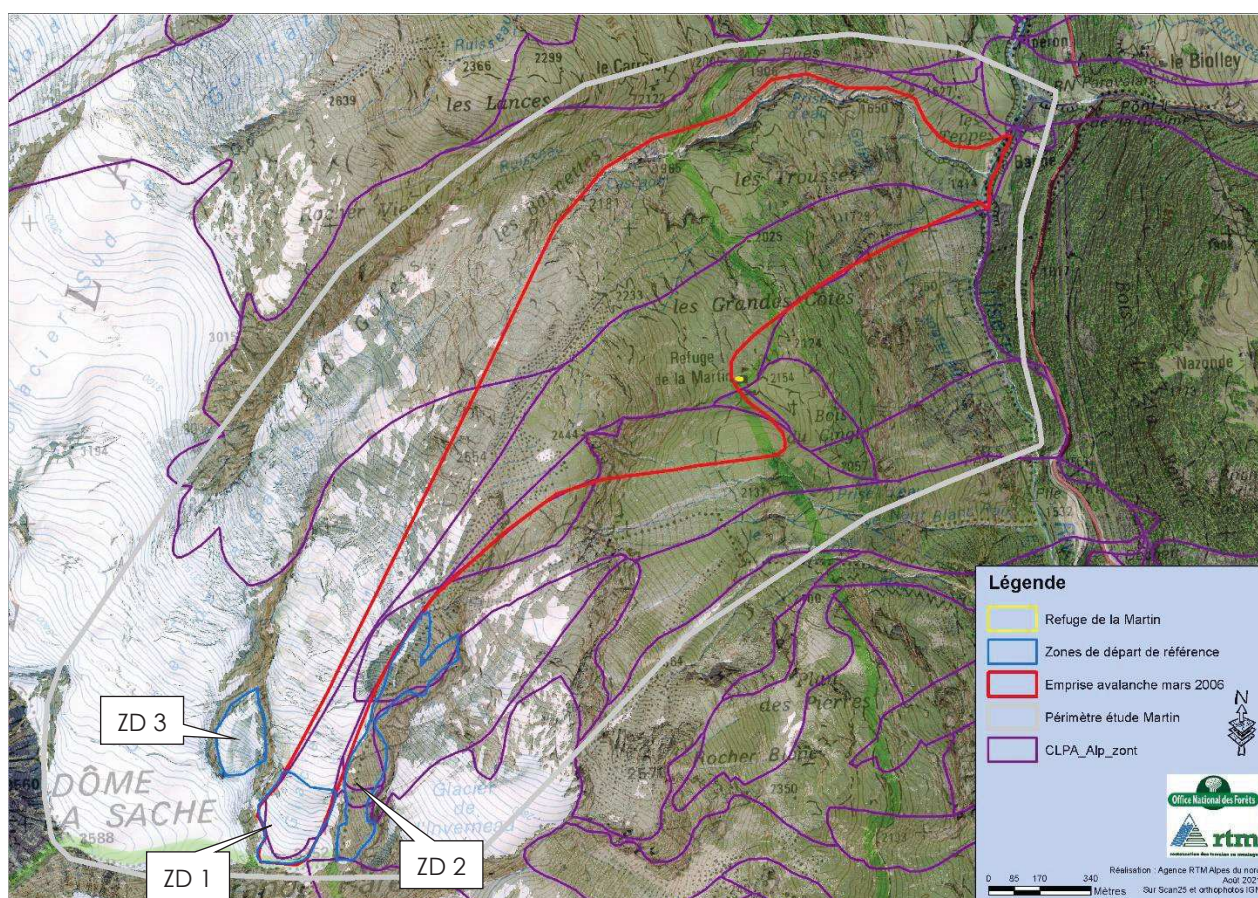


Fig. 17 : localisation des trois zones de départ (en bleu) potentiellement menaçantes en amont du refuge de La Martin, avec en violet les emprises d'avalanches observées de la CLPA et en rouge une proposition d'actualisation de l'emprise de l'avalanche du 9 ou 10 mars 2006, au vu des photos RTM.

- Simulation numérique d'une avalanche de type mars 2006

Sur la zone ZD 1, de pente moyenne égale à 34°, nous avons fait partir 3 m d'épaisseur de neige, pour reproduire au mieux l'événement observé en mars 2006. Ce « plus fort événement connu sur cette trajectoire » peut en effet être considéré comme le phénomène de référence pour le dimensionnement du bâti. Le volume de neige ainsi mobilisé atteindrait plus de 200 000 m³. En retenant les paramètres de frottement μ et ξ propres à une avalanche de catégorie « Large » (> 60 000 m³), de neige très froide/fluide vue l'altitude et d'occurrence rare, nous obtenons une

répartition des écoulements très proche de l'emprise rouge de l'événement tracée à partir des photos de mars 2006 (cf. fig. 18).

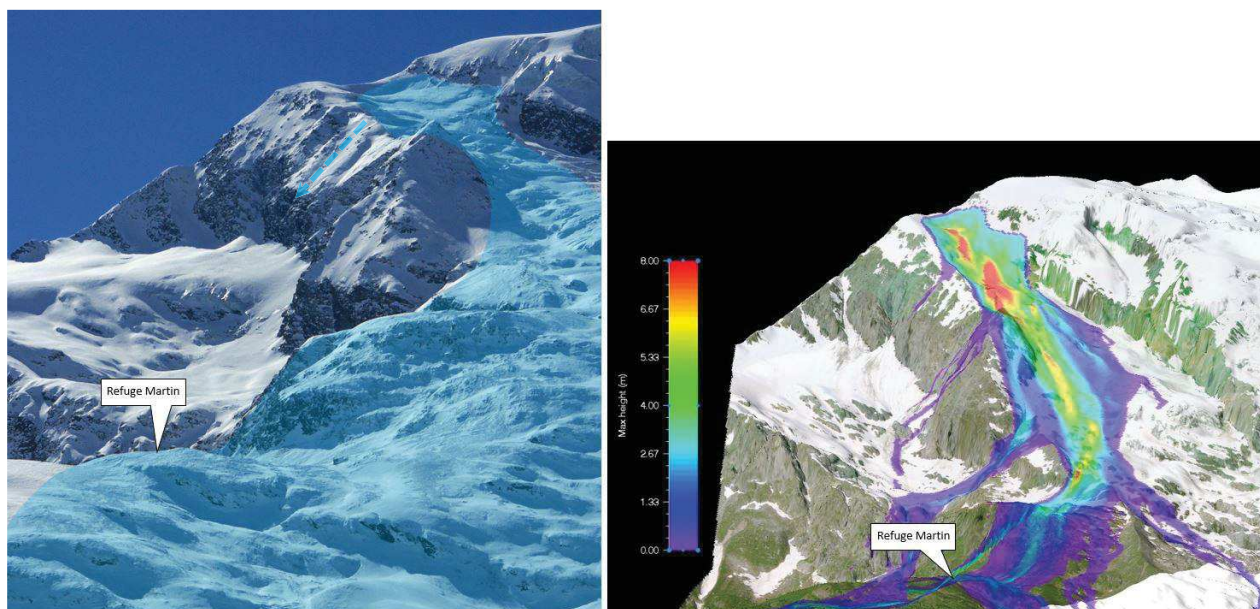
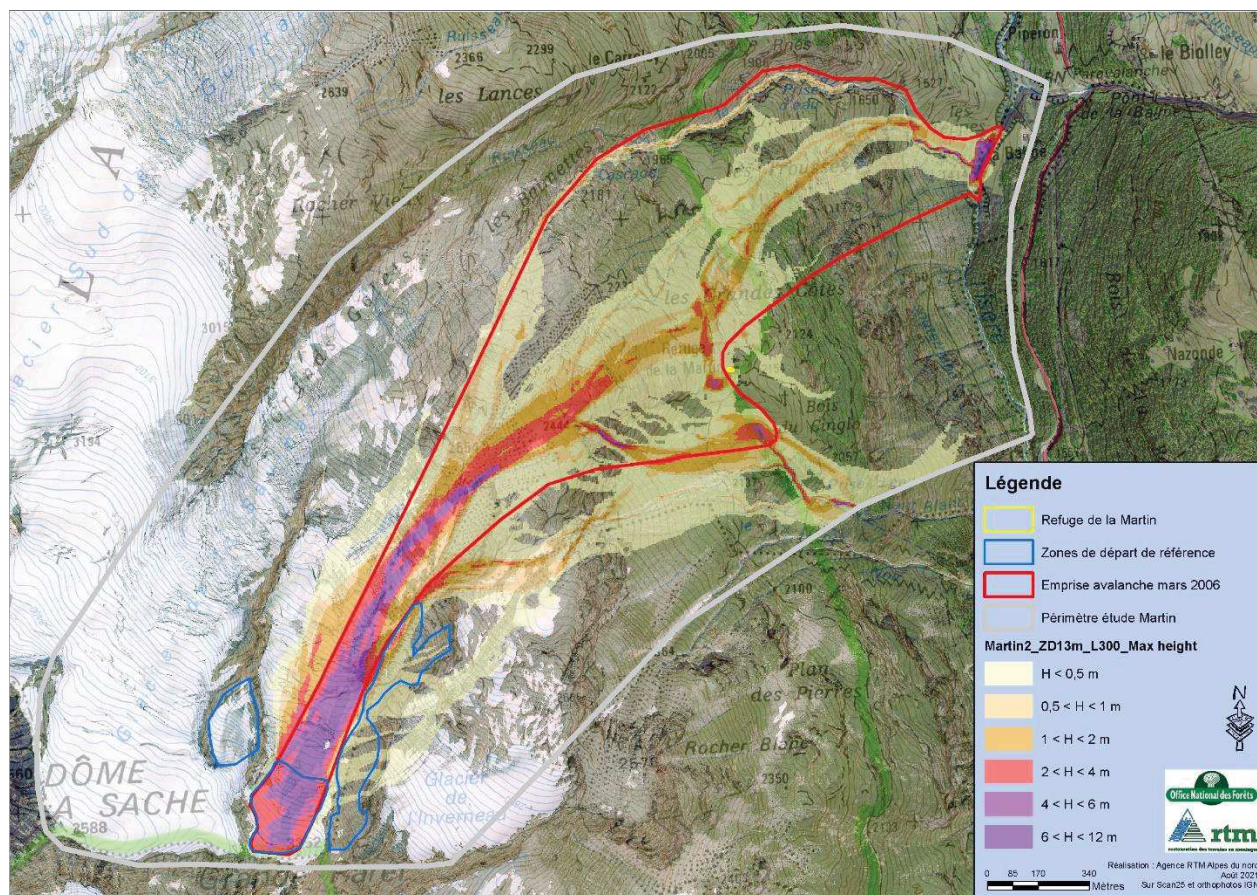


Fig. 18 : résultats de la simulation de l'avalanche de mars 2006 depuis le sommet du glacier de la Martin, en hauteurs maximales d'écoulement (à droite), comparés à l'emprise observée de l'événement.

On peut constater sur des vues rapprochées (cf. fig. 19) que l'écoulement virtuel bascule de manière très similaire au phénomène observé sur l'épaule rocheuse dominant le refuge et

qu'un dépôt se forme dans la petite cuvette au sud immédiat du refuge, sans atteindre le bâtiment. Ce résultat obtenu en suivant le paramétrage préconisé par la notice d'utilisateurs de RAMMS, permet de conforter notre analyse initiale à partir de la topographie et de l'historique. Il permet de réduire l'incertitude sur l'extension des dépôts autour du refuge. Rappelons que cette zone est non visible depuis le fond de vallée.

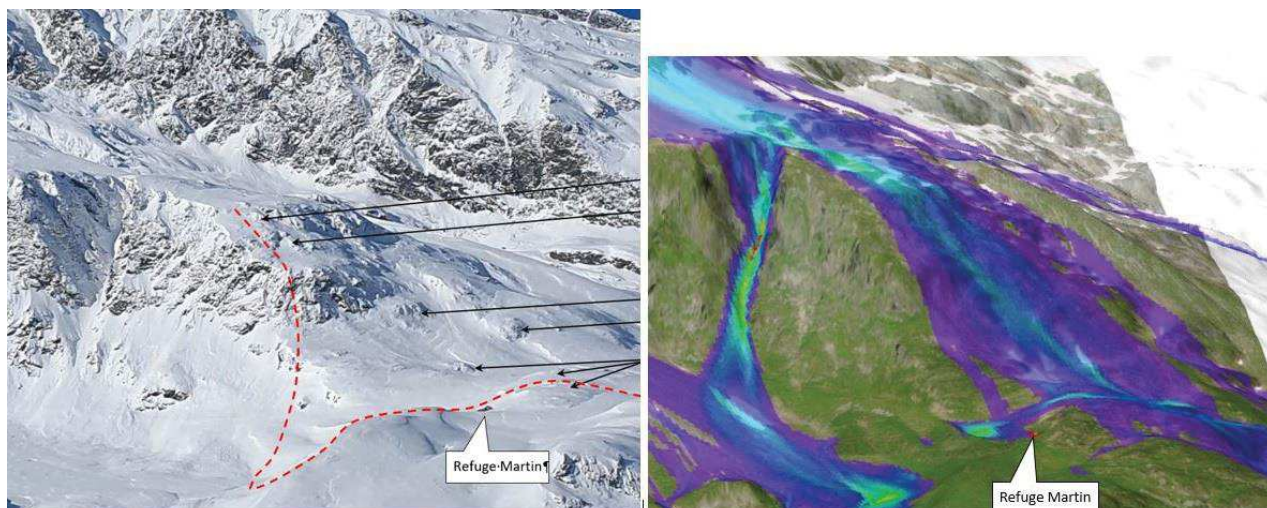


Fig. 19 : résultats de la simulation de l'avalanche de mars 2006 (en hauteurs maximales d'écoulement) comparés à l'emprise de l'événement délimitée à partir des photos, au niveau du refuge de La Martin.

Il semble donc que la phase coulante / couche de saltation dense de l'aérosol se dépose de part et d'autre de la butte dominant le refuge, laquelle joue le rôle d'étrave naturelle en divisant le flux. A l'amont immédiat du refuge et dans la cuvette temporairement inondée côté sud, on peut s'attendre à des dépôts poudreux de 2 – 3 m d'épaisseur (cf. fig. 20). Sur le refuge lui-même et la bergerie au sud-est, il est probable que seul un effet de souffle accompagnant le nuage aérosol se produise.

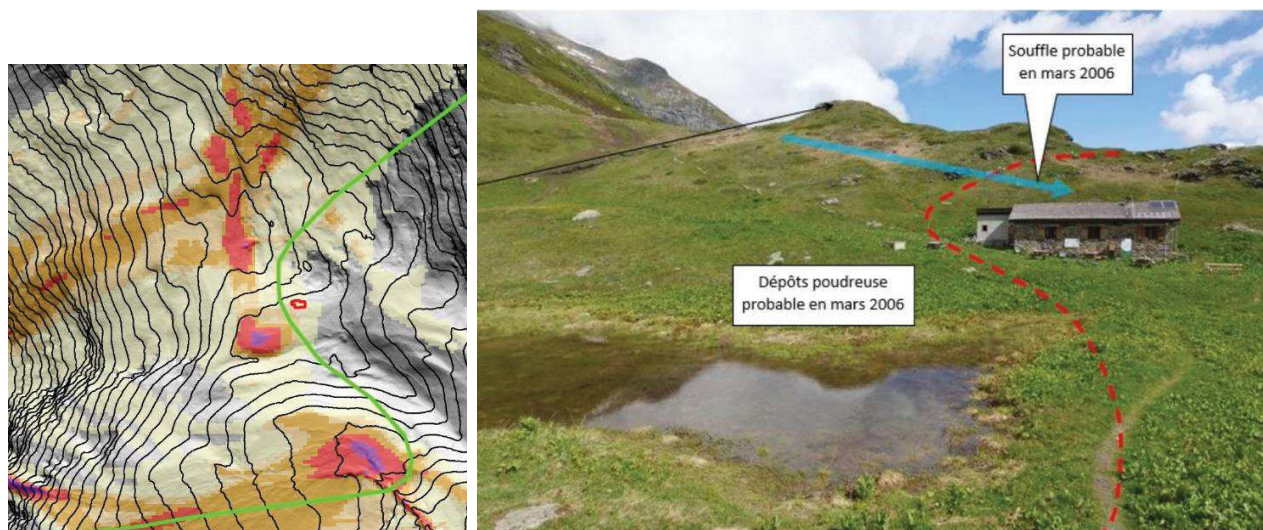


Fig. 20 : délimitation probable des dépôts de la phase coulante autour du refuge, après synthèse des approches historiques, morphologies et numériques.

La modélisation, qui prend en compte les microreliefs autour du refuge, permet d'aboutir à une qualification plus précise de l'aléa avalanche. Cela explique la différence de positionnement de la limite de l'aléa fort entre la présente étude et la carte générale des aléas de 2018.

La comparaison entre cette carte des aléas 2018 (en violacé sur la fig. 21 ci-après), l'emprise probable des dépôts et les résultats de simulation en pressions d'impact montre que le refuge est plus probablement hors de la zone d'aléa fort ($P_{\text{impact}} > 30 \text{ kPa}$), mais très proche tout de même.

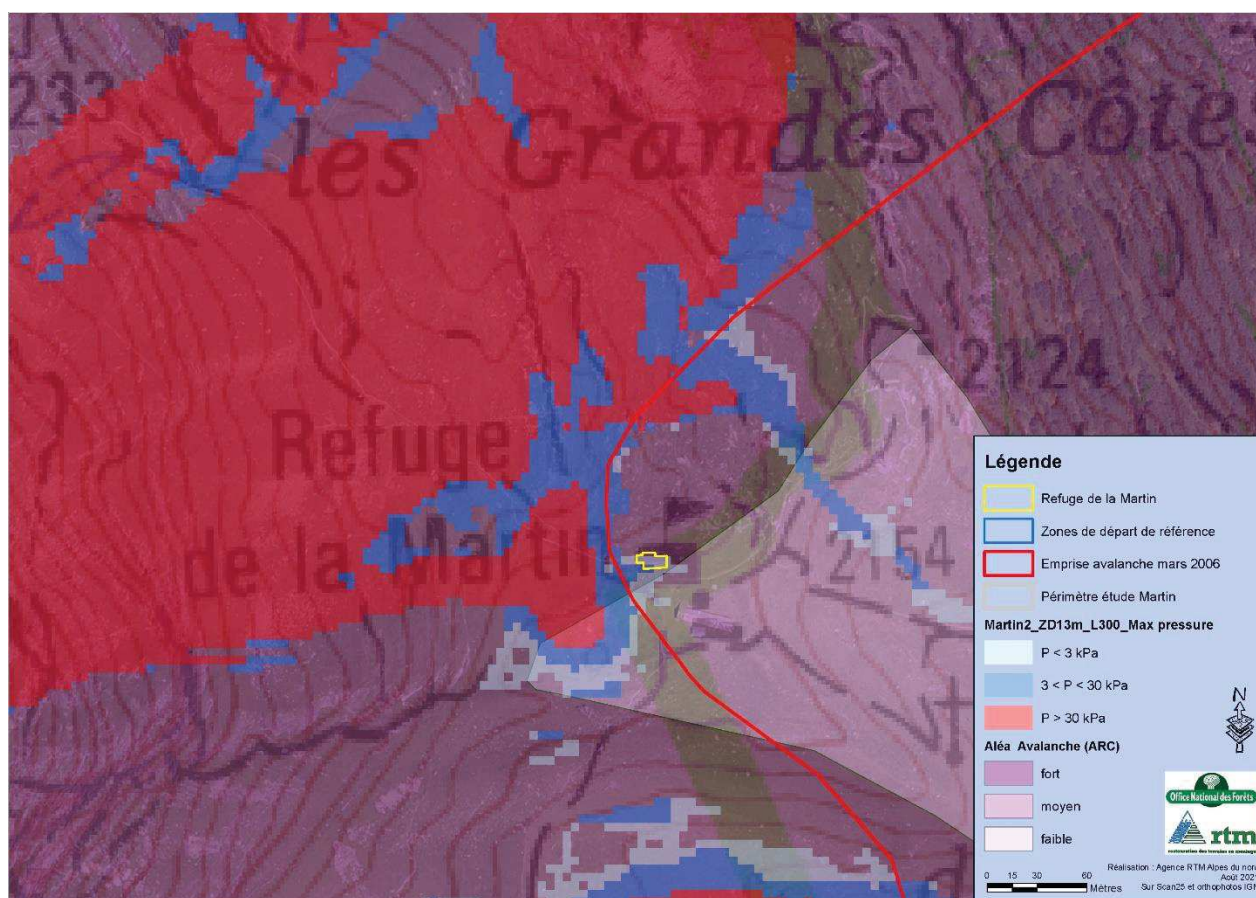


Fig. 21 : résultats de la simulation de l'avalanche de mars 2006 en pressions d'impact maximales (avec une densité de l'écoulement $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$), comparée à la carte générale des aléas du PPRN de Villaroger.

- Simulation de l'ensemble des avalanches de référence

Nous avons ensuite simulé la mobilisation des trois zones de départ en même temps, en retenant par précaution une épaisseur de 3 m sur ZD 1 (34°), de 2 m sur ZD 2 (45°) et de 3 m sur ZD 3 (41°). Les valeurs des paramètres de frottement n'ont pas été modifiées.

Un tel scénario combiné avec de telles épaisseurs de décrochement est très peu probable mais cela nous a permis d'identifier toutes les trajectoires menaçantes sur une même vue et de vérifier que le refuge n'était toujours pas dans une zone d'écoulement dense. Le résultat en figure 22 confirme que le refuge reste en marge des dépôts de l'avalanche issue du glacier de la Martin (CLPA n°22), mais également éloigné de l'avalanche issue de la Grande Pareï et du glacier de l'Inverneau (type janvier 2021).

A noter que ces simulations n'intègrent pas la phase aérosol et les pressions dues à l'effet de souffle. Nous n'avons pas accès à un logiciel qui simulerait cette phase aérosol sur MNT et permettrait d'afficher la distribution spatiale des pressions. Néanmoins, il ne s'agit pas de la phase « dimensionnante » pour le refuge, les pressions dues à l'effet de souffle seul ne devant guère dépasser les 5 kPa, tandis que les pressions d'un écoulement dense peuvent largement dépasser les 30 kPa.

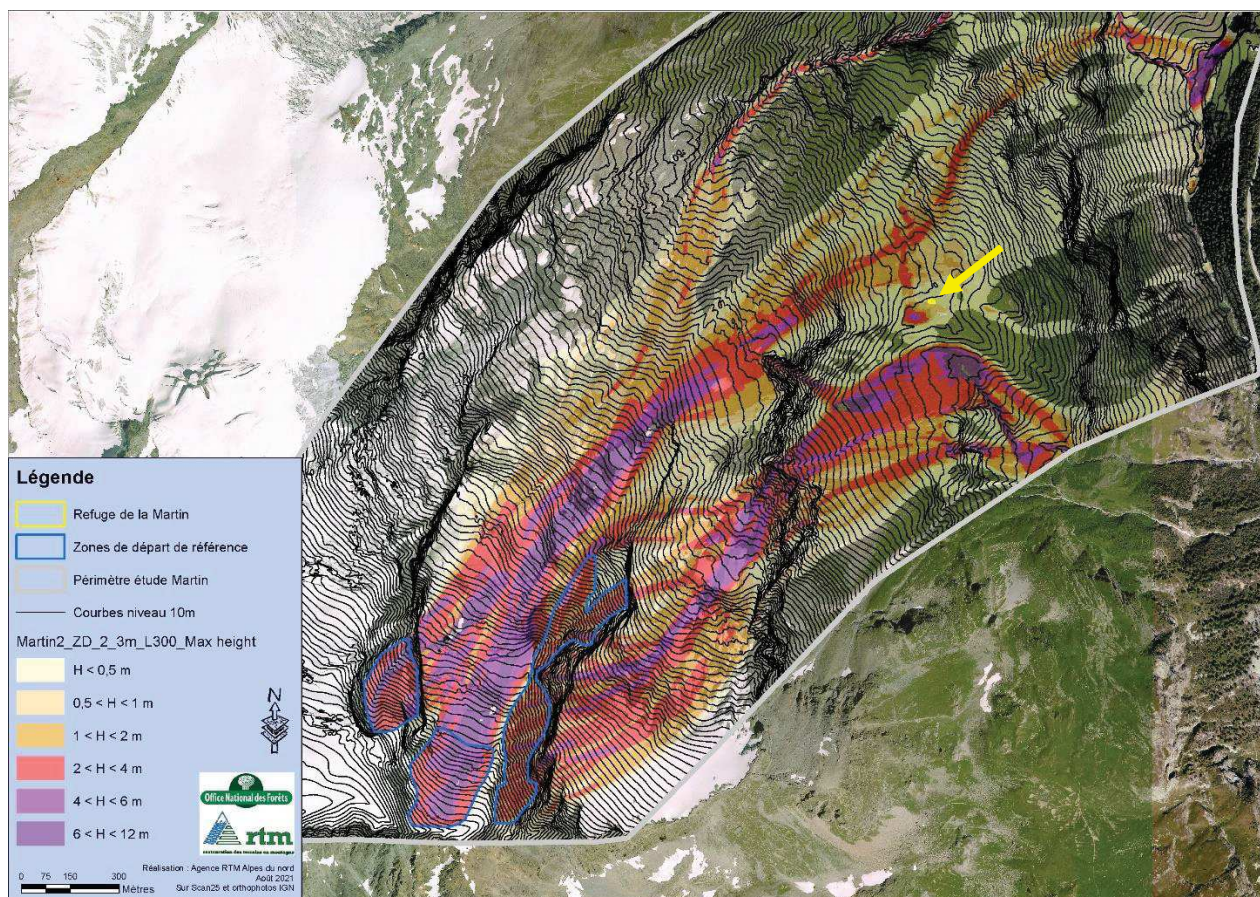


Fig. 22 : situation du refuge (en jaune) vis-à-vis des hauteurs maximales d'écoulement obtenues pour les avalanches issues des trois zones de départ ZD 1 à ZD 3.

E) Synthèse sur les aléas – mise à jour des connaissances :

Les quatre approches complémentaires retenues dans cette étude (recherche bibliographique, recueil de témoignages, simulations numériques et analyse morphologique sur site) nous permettent de mettre en évidence plusieurs points :

- Le refuge de la Martin n'est exposé qu'à un aléa avalanche (pas d'exposition aux chutes de blocs, glissements de terrain, inondation...) ;
- Le refuge a au moins une fois été atteint par une avalanche aérosol (mars 2006) mais les dommages sur le bâtiment sont restés mineurs (débord de toit soulevé de 8 – 10 cm sur l'annexe en façade amont, antennes arrachées sur le toit du bâtiment principal) ;
- Il existe plusieurs bâtiments en maçonnerie sur la zone du refuge depuis plus d'un siècle et aucun n'a subi de dommage significatif, de mémoire d'habitants ;
- Le refuge est partiellement à totalement protégé suivant les hivers par le manteau neigeux qui le recouvre (2150 m d'altitude) ;
- Au vu de la topographie locale et des résultats de simulations, la phase dense et les dépôts de l'avalanche aérosol de référence devraient se limiter en amont et au sud du refuge ;
- Compte-tenu de l'incertitude résiduelle sur la limite des dépôts (faute d'observation directe en 2006 et de représentativité des dommages observés sur le refuge), il est possible qu'une fin d'écoulement poudreux vienne impacter la façade amont (ouest) du refuge.

Nous en concluons donc que :

- Le refuge est exposé à un aléa moyen d'avalanche, non loin d'une zone d'aléa fort.
- Le refuge est exposé à un effet de souffle d'intensité faible à modéré, possiblement conjugué à une fin d'écoulement dense peu épaisse (< 1m) et peu véloce.

F) Quantification des contraintes liées aux avalanches sur le refuge :

Contraintes sur la façade ouest (amont) :

Vis-à-vis du scénario de fin d'écoulement dense de neige sèche pouvant venir directement impacter la façade amont du refuge, nous retenons un flux de vitesse < 5 m/s (proche de l'arrêt). Constitué d'agréats de neige sèche, sa masse volumique serait d'environ 200 kg/m³.

En considérant que la pression d'impact de référence (en Pascal) sur la façade perpendiculaire à l'écoulement $P_{réf.}$ se calcule ainsi pour une avalanche de neige sèche : **$P_{réf.} = \rho v^2$**

où ρ = masse volumique de la neige en écoulement (en kg/m³) et V = vitesse de l'écoulement (en m/s).

On obtient, avec les valeurs estimées, $P_{réf.} = 5$ kPa. Par sécurité, nous proposons de retenir, en valeur maximale : **$P_{réf.} = 10$ kPa.**

Cette queue d'écoulement pourrait atteindre une épaisseur de 50 à 100 cm maximum. La pression d'impact à prendre en compte est donc de 10 kPa sur une tranche d'épaisseur d'un mètre, à compter de la surface du manteau neigeux. Il est probable qu'elle s'exercera sur le sommet du pignon et sur le faîtage (face ouest), qui peuvent se situer au-dessus du manteau neigeux.

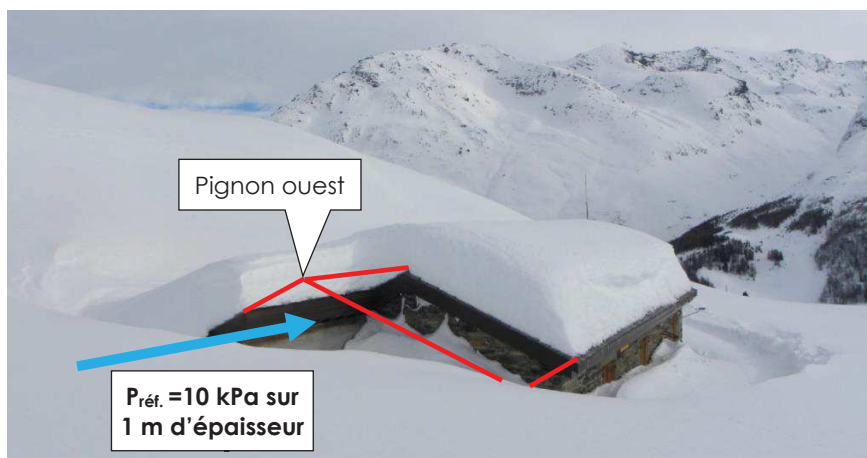


Fig. 23 : localisation et quantification des efforts sur la façade ouest du projet d'extension (en rouge).

Le choc contre la façade pourra provoquer une pression verticale dirigée vers le haut, qui pourra agir sur le débord de toit (le cas échéant). Il est admis que **$P_{verticale} = 0,4 P_{réf.} = 4$ kPa.**

Vis-à-vis du scénario d'aérosol pur (effet de souffle), la vitesse de propagation sera nettement supérieure mais la masse volumique très nettement inférieure (au moins d'un facteur 10). La pression d'impact due au souffle n'excédera pas celle prise en compte pour l'écoulement dense.

Contraintes sur la façade sud (latérale) :

L'extension prévue porte aussi sur la façade sud. Celle-ci sera dans le plan d'écoulement et la pression y sera nettement moindre. Cette pression normale à la façade latérale **$P_{latérale} = P_{réf.} \times \sin^2 \alpha$** , avec $\alpha = 20^\circ$ et non 0° , pour tenir compte d'une possible déviation locale du flux (cf. guide

ministériel « Construire en montagne – la prise en compte du risque d'avalanche » – 2004). On obtient donc $P_{latérale} = 1,2 \text{ kPa}$, **arrondi à 2 kPa par sécurité.**

G) Faisabilité technique du projet :

Les préconisations ci-dessous sont émises sous réserve de la faisabilité réglementaire du projet.

Les niveaux de pressions d'impact estimés sur les façades et toitures du projet d'extension sont conformes à un aléa moyen. Le projet présenté en page 2, quelle que soit l'option retenue, apparaît tout à fait compatible avec les contraintes définies ci-avant :

- Le mur ouest à créer ainsi que les petites ouvertures prévues (puits de lumière) devront atteindre dans leur ensemble une résistance à une pression de 10 kPa appliquée sur une tranche d'épaisseur d'un mètre ;
- La ou les petites ouvertures prévues en façade ouest pourront être protégées par la pose d'un volet qui devra être maintenu fermé en hiver (local non habité), ou directement par des verres de sécurité feuilletés ;
- Il conviendra de réduire le débord de toiture sur cette façade ouest au maximum, pour lui permettre de résister facilement à une pression verticale dirigée vers le haut de 4 kPa ;
- L'extension de mur en façade sud et ses ouvertures devront résister dans leur ensemble à une pression de 2 kPa appliquée sur toute la hauteur.

Plus globalement, ce projet d'extension participe au renforcement de la protection globale du refuge, en supprimant l'angle rentrant qui dans sa configuration actuelle peut créer une zone de plus forte contrainte, et en garantissant une résistance de la façade amont à la pression de référence de 10 kPa.

Moyennant les adaptations ci-dessus, le projet nous apparaît compatible avec l'aléa avalanche estimé dans la présente étude.

Le chargé d'étude



Stéphane ROUDNITSKA

Visa du responsable du pôle expertise RTM 73



Romain PAULHE