



**PRÉFET
DU CANTAL**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Caractérisation de l'aléa avalancheux sur le massif Cantalien

Annexe 3 Note de calcul sur les simulations numériques des avalanches

**Commune de Laveissière
et de Saint-Projet-de-Salers**

Version 1-0

10/10/2023



GÉOTECHNIQUE - RISQUES NATURELS

Siret 41377549500026

117 chemin de la Seta, St-Philibert 38380 St-Pierre-d'Entremont/ Tel 0476886425 /postmaster@alpesgeoconseil.com

Identification du document

Nom de l'étude	Caractérisation de l'aléa avalancheux sur le massif Cantalien	
Rapport	Annexe 3 - Note de calculs sur les simulations numériques des avalanches - Commune de Laveissière et de Saint-Projet-de-Salers	
Référence	3907 22	
Version	1-0 du 10/10/2023 édité le 24/10/23	
Maître d'ouvrage	Direction Départementale des Territoires du Cantal	22 rue du 139° RI 15004 Aurillac Cedex
Réalisation	Alpes-Géo-Conseil 117 chemin de la Seta - Saint-Philibert 38380 Saint-Pierre-d'Entremont Tel. 04.76.88.64.25	

Suivi des versions

Version	Date	Auteur	Validation	Modifications
1-0	05/09/2023	VD	LL	

Table des matières

1. PRÉLIMINAIRE ET AVERTISSEMENT	5
1.1. CADRE DE CETTE NOTE TECHNIQUE	5
1.1.1. Note intégrée dans l'élaboration de la cartographie des aléas Avalanche	5
1.1.2. Contenu et usage de cette note de calcul	5
1.1.3. Périmètre de cette note de calcul	5
1.2. LE LOGICIEL RAMMS	5
1.2.1. Développement	5
1.2.2. Principe et limites	5
1.2.3. Modèle Numérique de Terrain	6
Lidar HD IGN	6
Traitement des données brutes	6
Résolution retenue pour les simulations sous Ramms	7
1.3. CALCUL DES HAUTEURS DE NEIGE DE DÉPART	7
1.3.1. Très forte incertitude sur les quantiles centennaux	7
1.3.2. Estimation pour une période de retour trentennale	7
1.3.3. Estimation pour une période de retour centennale	8
1.3.4. Estimation pour une période de retour tricentennale	8
2. LAVEISSIÈRE – FONT D'ALAGNON	9
2.1. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ TRENTENNALE	9
2.1.1. Hauteur de neige de départ	9
Hauteur de neige sur terrain plat	9
Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente	9
Accumulations par le vent	9
Comparaison avec des zones de départ observées dans le Mont Dore	9
Boisements, haies, arbres	9
2.1.2. Zones de départ mobilisées	9
Zones de départ potentielles pour une période de retour trentennale	9
Conditions de neige pour une période trentennale	10
Synthèse des volumes mobilisés pour une période trentennale	10
2.1.3. Coefficients de friction	10
2.1.4. Résolution de calcul	11
2.2. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ TRENTENNALE	11
MOD 1 : Hauteurs maximales des écoulements denses - T30	11
2.3. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ CENTENNALE	12
2.3.1. Hauteur de neige de départ	12
Hauteur de neige sur terrain plat	12
Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente	12
Accumulations par le vent	12
Boisements, haies, arbres	12
2.3.2. Zones de départ mobilisées	12
Zones de départ potentielles pour une période de retour centennale	12
Conditions de neige pour une période trentennale	12
2.3.3. Coefficients de friction	12
2.3.4. Résolution de calcul	13
2.4. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ CENTENNALE	13
MOD 2 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige humidifiée	13
MOD 3 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige froide	14
MOD 4 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige humidifiée	15

MOD 5 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige froide.....	16
MOD 6 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige humidifiée.....	17
MOD 7 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige froide.....	18
2.5. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ TRICENTENNALE.....	19
2.5.1. Hauteur de neige de départ.....	19
Hauteur de neige sur terrain plat.....	19
Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente.....	19
Accumulations par le vent.....	19
Boisements, haies, arbres.....	19
2.5.2. Zones de départ mobilisées.....	19
Zones de départ potentielles pour une période de retour tricentennale.....	19
Conditions de neige pour une période tricentennale.....	19
Synthèse des volumes mobilisés pour une période tricentennale.....	19
2.5.3. Coefficients de friction.....	19
2.5.4. Résolution de calcul.....	19
2.6. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ TRICENTENNALE.....	20
Hauteurs maximales des écoulements denses – T300 – Neige humidifiée.....	20
Hauteurs maximales des écoulements denses – T300 – Neige froide.....	21
2.7. Conclusion sur le site du Font d'Alagnon.....	22
3. SAINT-PROJET-DE-SALERS.....	23
3.1. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ CENTENNALE.....	23
3.1.1. Hauteur de neige de départ.....	23
Hauteur de neige sur terrain plat.....	23
Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente.....	23
Accumulations par le vent.....	23
Boisements, haies, arbres.....	23
3.1.2. Zones de départ mobilisées.....	24
Zones de départ potentielles pour une période de retour centennale.....	24
Conditions de neige pour une période centennale.....	24
Synthèse des volumes mobilisés pour une période trentennale.....	24
3.1.3. Coefficients de friction.....	24
3.1.4. Résolution de calcul.....	24
3.2. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ « CENTENNALE ».....	25
Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige frittée.....	25
Pressions dynamiques maximales des écoulements denses – T100 – Neige frittée.....	26
3.3. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ TRICENTENNALE.....	27
3.3.1. Hauteur de neige de départ.....	27
Hauteur de neige sur terrain plat.....	27
Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente.....	27
Accumulations par le vent.....	27
Boisements, haies, arbres.....	27
3.3.2. Coefficients de friction.....	27
3.3.3. Résolution de calcul.....	27
3.4. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ « TRICENTENNALE ».....	28
Hauteurs maximales des écoulements denses – T300 – Neige frittée.....	28
3.5. Conclusion sur le site de Saint-Projet-de-Salers.....	29

1. PRÉLIMINAIRE ET AVERTISSEMENT

1.1. CADRE DE CETTE NOTE TECHNIQUE

1.1.1. Note intégrée dans l'élaboration de la cartographie des aléas Avalanche

La présente note de calcul est réalisée dans le cadre de l'élaboration de la cartographie des aléas des avalanches du massif Cantalien. Deux sites ont été retenus en concertation avec le service des risques de la DDT en fonction des risques et des enjeux exposés :

- un couloir dans la station du Lioran sur la commune de Laveissière dans le secteur du Font d'Alagnon, au pied duquel se sont établies des résidences touristiques et qui pourrait faire l'objet d'une extension de l'urbanisation à moyen ou long terme, l'objectif est donc de vérifier la zone potentiellement atteinte en centennal et en aléa exceptionnel (période de retour > 100 ans) ;
- de petits couloirs sur des pentes raides dominant des constructions existantes à Saint-Projet-de-Salers (habitations principales ou secondaires, bâtiments d'exploitation agricole), pour lesquels il s'agit notamment de connaître plus précisément les énergies dynamiques potentielles.

1.1.2. Contenu et usage de cette note de calcul

Ces simulations numériques sont réalisées pour aider au classement dans le cadre de la réalisation de la cartographie des aléas avalanches sur ces secteurs.

Cette note n'est pas destinée à définir des mesures de protection pour un projet d'aménagement spécifique, et ne peut se substituer à une étude de vulnérabilité.

Par ailleurs, cette note de calcul, le rapport de présentation des aléas, la carte des phénomènes historiques et la carte des aléas, constituent un ensemble indissociable. **La mauvaise utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle sans l'accord écrit du bureau d'étude ne saurait engager la responsabilité de celui-ci.**

1.1.3. Périmètre de cette note de calcul

Cette note de calcul ne concerne que les couloirs pour lesquels une simulation numérique des avalanches a été souhaitée.

1.2. LE LOGICIEL RAMMS

1.2.1. Développement

Le logiciel Ramms est développé et régulièrement mis à jour en fonction des recherches par le WSL/SLF, institut fédéral de recherche suisse sur les avalanches.

Il est couramment utilisé dans les massifs montagneux d'Europe, voire sur d'autres continents (Amérique du Sud, Asie Centrale, etc.) et recommandé par les services de l'État et l'ONF-RTM en France.

1.2.2. Principe et limites

Il s'agit d'un modèle de propagation déterministe s'appuyant sur des équations dérivées du modèle Aval-1D, dérivé lui-même de la méthode Voellmy-Salm-Gubler (IFENA-SLF, 1992). Celle-ci « *reste à ce jour la référence des praticiens pour proposer une épaisseur moyenne mobilisable à partir du cumul de neige fraîche retenu, et donc un volume d'écoulement initial suivant la surface de départ retenue. Ce volume catégorise la puissance de l'avalanche et influence le paramétrage et les résultats des modèles déterministes* » (Note méthodologique – Qualification et cartographie des

avalanches de référence exceptionnelle dans les plans de prévention des risques naturels - version janvier 2022).

La hauteur de neige de départ constitue la principale composante probabiliste du modèle RAMMS. Mais selon la surface de la zone de départ, cette dernière peut s'avérer plus déterminante dans le volume de neige mobilisé que la variation de hauteur de neige de départ.

Par ailleurs, l'effet de suraccumulation par le vent (effet windhill), peut considérablement faire varier la hauteur de neige de départ. Ce paramètre est particulièrement pris en compte lorsque les surfaces de départ sont faibles, ce qui est le cas dans ces couloirs étudiés du Cantal.

Mais il est très difficile à quantifier.

Les coefficients de friction ξ et μ ont aussi une forte influence sur les résultats.

Le logiciel propose des valeurs d'entrées par défaut en fonction du volume de l'avalanche, de l'altitude, de la qualité de la neige, et de la période de retour choisie.

Ces paramètres sont principalement calés sur les Alpes du Nord, et particulièrement sur le territoire helvétique. Leur validité sur le Massif central peut prêter à discussion.

Dans les modélisations réalisées, SEULS LES ÉCOULEMENTS DENSES sont simulés. Les aérosols ne sont pas modélisés.

Les équations du logiciel RAMMS sont plus particulièrement adaptées aux écoulements de neige froide et sèche, qui présentent une certaine « fluidité » dans le mode de propagation de leurs écoulements denses. Elles peuvent accentuer la vitesse des écoulements et leur étalement par rapport aux phénomènes observés en réalité. Les avalanches de neige humide ou de neige humidifiée (slush), sont assez mal appréhendées par ces équations, notamment au niveau de leur semi-viscosité. Il faut donc avoir à l'esprit que les écoulements pourraient moins s'étaler, ou se propager moins loin dans un chenal, mais présenter des hauteurs plus élevées, et qu'ils pourraient donc par exemple déborder d'un chenal, ou qu'une langue de neige humide peut suivre des trajectoires plus aléatoires.

Toute modélisation numérique doit être réinterprétée par une analyse à dire d'expert, par les spécialistes ayant effectué les investigations de terrain. Aucun résultat ne peut être directement transcrit en termes d'aléas. La cartographie des aléas doit couvrir différents types de phénomènes que les modélisations ne sont pas toutes à même de reproduire.

Seuls les ingénieurs ayant réalisé les calculs sont à même d'apprécier l'incertitude et la marge de précaution à considérer sur les résultats obtenus par les modélisations.

1.2.3. Modèle Numérique de Terrain

■ Lidar HD IGN

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) utilisé est le LIDAR HD fournie par l'IGN en données brutes (nuages de points). Sa résolution nominale est d'environ 10 points par m².

■ Traitement des données brutes

Les données brutes ont été traitées (outil LAStools) par Alpes-Géo-Conseil afin de supprimer les points correspondant à la végétation, aux bâtiments, aux remontées mécaniques, etc. et de ne conserver ainsi que les points du sol.

Ce traitement implique nécessairement une certaine imprécision quant aux reliefs, notamment dans le lit des torrents et les zones boisés par la densité plus faible d'impulsions atteignant le sol.

■ Résolution retenue pour les simulations sous Ramms

Pour les simulations numériques des avalanches, contrairement aux modélisations hydrauliques, il est généralement préférable de ne pas utiliser un MNT trop fin, afin de ne pas trop amplifier les effets de rugosité du terrain (ralentissant les écoulements), et de correspondre un peu plus à une situation de couverture neigeuse lissant les reliefs (notamment sur les zones exposées aux accumulations par le vent ou pouvant faire l'objet de dépôts de petites coulées précédentes). Il a été choisi de produire un raster au pas de 1 mètre pour l'ensemble des zones d'étude.

1.3. CALCUL DES HAUTEURS DE NEIGE DE DÉPART

1.3.1. Très forte incertitude sur les quantiles centennaux

Les quantiles moyens de précipitations hivernales mis à disposition par Météofrance et INRAE sur les autres massifs français pour différentes périodes de retour ne concernent pas le Massif central.

Les relevés du service des pistes du Lioran qui nous ont été communiqués constituent une série trop courte pour être représentative et exploitée pour une période de retour centennale.

Sur Laveissière (Lioran), l'approche retenue est donc très empirique et sommaire, se basant sur divers relevés et témoignages pour estimer grossièrement la hauteur trentennale de précipitations neigeuses sur 3 jours. Un rapport de 1,2 est appliqué pour la hauteur de neige centennale par rapport à la trentennale, et de 1,4 pour la tricentennale.

Cette hauteur est ensuite réduite pour prendre en compte l'effet de tassement sur 3 jours (abattement de 20%).

La hauteur d'accumulation supplémentaire par le vent est appréciée à dire d'expert, en s'appuyant sur les témoignages, les photographies dans les environs, et la position des zones de départ par rapport aux crêtes.

L'incertitude qui caractérise la hauteur de neige de départ, donnée d'entrée essentielle dans le modèle, affecte donc aussi les résultats des simulations numériques.

1.3.2. Estimation pour une période de retour trentennale

D'après les données - non statistiques - dont nous disposons, il semble que les précipitations neigeuses apportées par la tempête Bella du 27 au 29 décembre 2020 (ou du 28 au 31 hormis le 30, selon les relevés) puissent être considérées actuellement comme une période de retour grossièrement de l'ordre de 20-30 ans.

Il semble qu'il faille remonter à février 2003 pour obtenir des valeurs équivalentes en termes de chutes de neige sur 72h environ.

Hauteurs de neige relevées sur la station du Lioran - alt.1250 (données du service des pistes)	
Date	Hauteur (cm)
28/12/2020	45
29/12/2020	60
31/12/2020	20
Total sur 72 h	125
01/01/2021	23
Total sur 96 h	148

Attention : cette estimation de la période de retour tient compte de la réduction des précipitations neigeuses avec le changement climatique observé ces dernières décennies. D'après les témoignages et les archives, un tel épisode neigeux était beaucoup plus fréquent dans la 1^{re} moitié du XX^e siècle ou au XIX^e siècle.

1.3.3. Estimation pour une période de retour centennale

L'application d'une loi de probabilité de type GEV n'ayant pas de sens au vu de l'incertitude du quantile trentennal, il est retenu sommairement un rapport de 1,2 entre la hauteur de neige trentennale et centennale, sachant que la trentennale semble valable pour le climat de ces dernières décennies, mais est probablement sous-estimée si l'on tient compte du climat de la 1^{re} moitié du XX^e siècle, beaucoup plus froid. Un rapport légèrement supérieur à ce qui est souvent calculé dans les quantiles alpins par la loi de GEV sur des séries statistiques plus longues paraît donc cohérent.

1.3.4. Estimation pour une période de retour tricentennale

En l'absence de données nivométéorologiques suffisantes, il est retenu le gradient sécuritaire des instructions suisses (Burkard et Salm, 1992) : soit un rapport de 1,4 entre la hauteur trentennale et tricentennale.

Au Lioran, la hauteur de neige sur 72h serait donc de 1,75 m à 1250 m d'altitude. En considérant un abattement par tassement de 20 %, elle n'est plus que de 1,4 m.

2. LAVEISSIÈRE – FONT D'ALAGNON

2.1. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ TRENTENNALE

2.1.1. Hauteur de neige de départ

■ Hauteur de neige sur terrain plat

En retenant une hauteur de neige de 125 cm à 1250 m d'altitude comme valeur trentennale présumée pour 3 jours de précipitations neigeuses (chutes de 28 au 30/12/2020 comme référence), on obtient, avec un gradient altitudinal de 3 cm/100 m, une hauteur de 137,6 cm à 1670 m d'altitude (altitude moyenne de la zone de départ supérieure).

En tenant compte d'un abattement de 20 % par tassement sur 72h, la hauteur est de 110 cm à 1670 m d'altitude.

■ Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente

La hauteur de neige est ensuite corrigée en tenant compte de la pente moyenne de chaque zone de départ. Pour une pente de 37,5° comme celle de la zone de départ supérieure, la hauteur de neige n'est donc plus que de 0,7 m.

■ Accumulations par le vent

Un supplément d'apport de neige par le vent est compté uniquement sur les zones de départ supérieures, situées sous la crête, donc assez sensibles.

En trentennial, +50 cm ont été ajoutés.

■ Comparaison avec des zones de départ observées dans le Mont Dore

À titre de comparaison, l'avalanche du Val d'Enfer sur la face Nord du Puy de Sancy (Mont-Dore) le 04/03/2006, qui s'est déclenchée à 1780 m d'altitude (altitude de la rupture) sur une pente entre 35 et 40°, présentait une cassure de 1 m d'épaisseur en moyenne, s'élevant à 2 m d'épaisseur par endroit d'après les données du service des pistes et leurs photographies (data-avalanche.org). Il s'agissait d'une avalanche de neige mouillée (pluie après une semaine de chutes de neige).

■ Boisements, haies, arbres

Les boisements, haies et arbres isolés ne sont pas pris en compte dans les simulations numériques.

2.1.2. Zones de départ mobilisées

■ Zones de départ potentielles pour une période de retour trentennale

Les pentes comprises entre 30 et 50° sont considérées favorables au déclenchement des avalanches, en sachant que celles entre 33 et 43° présentent les plus fortes probabilités.

Les panneaux constitués par des reliefs relativement homogènes sont nombreux, mais de faibles surfaces. En revanche, leur mobilisation peut entraîner les panneaux des pentes inférieures, parfois plus étendus que les « lanceurs ».

Pour la période de retour trentennale, on ne retient donc pas le scénario d'une très longue corniche dont la rupture intégrale pourrait déclencher plusieurs couloirs, mais la purge d'un couloir qui entraînerait le manteau neigeux des pentes en aval.

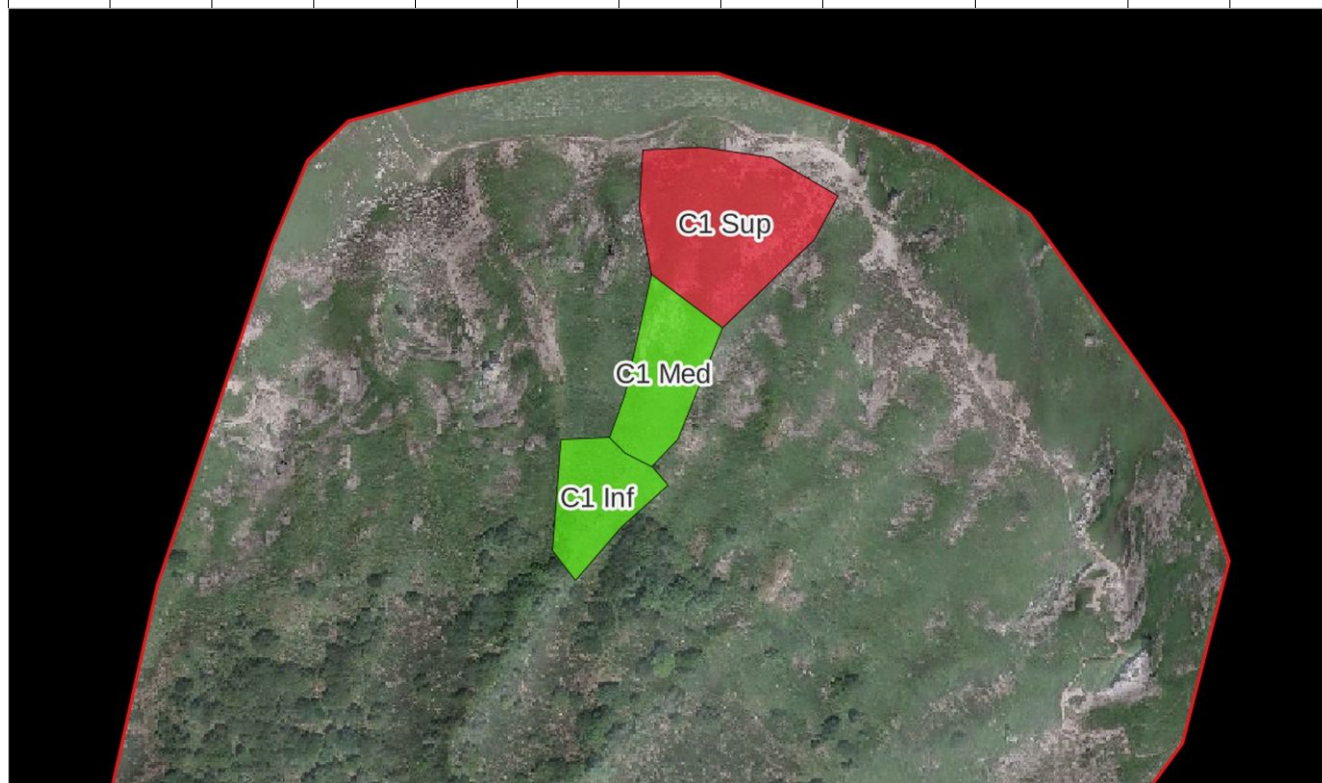
■ Conditions de neige pour une période trentennale

Le scénario retenu correspond à un phénomène de plus en plus probable en tenant compte du changement climatique : une avalanche de neige humidifiée (cohésion 250 Pa), déclenchée par des précipitations pluvieuses après 3 jours de chutes de neige.

■ Synthèse des volumes mobilisés pour une période trentennale

On obtient donc, pour le couloir N°1, un volume mobilisé de 8516 m³, ce qui correspond à une avalanche de petit volume.

Couloir N°1 – période de retour trentennale											
Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	Facteur correctif pente	Tassement (%)	Accuvent	d(0)	Vol (m ³)	Délai
ZD sup	30	37,5	1673	3653	4659	0,65	20	0,50	1,21	5638	0
ZD med	30	39,1	1624	1745	2285	0,62	20	0	0,67	1530	2
ZD inf	30	36,4	1585	1467	1846	0,68	20	0	0,73	1348	3
Total	30									8516	



2.1.3. Coefficients de friction

Les coefficients de friction retenus sont ceux proposés par le logiciel Ramms pour une période de retour trentennale. Ils tiennent compte du faible volume de l'avalanche, de l'altitude assez basse des zones de départ, de la semi-canalisation des écoulements sur certaines parties de la trajectoire, et de leur encaissement profond dans une gorge encaissée (forte rugosité du chenal).

2.1.4. Résolution de calcul

La résolution de calcul a été conservée à 1 m, comme le MNT, pour tenir compte assez finement des effets de rugosité du terrain (thalweg semi-ouvert puis relativement tortueux, encaissement relatif sur le cône de déjection) .

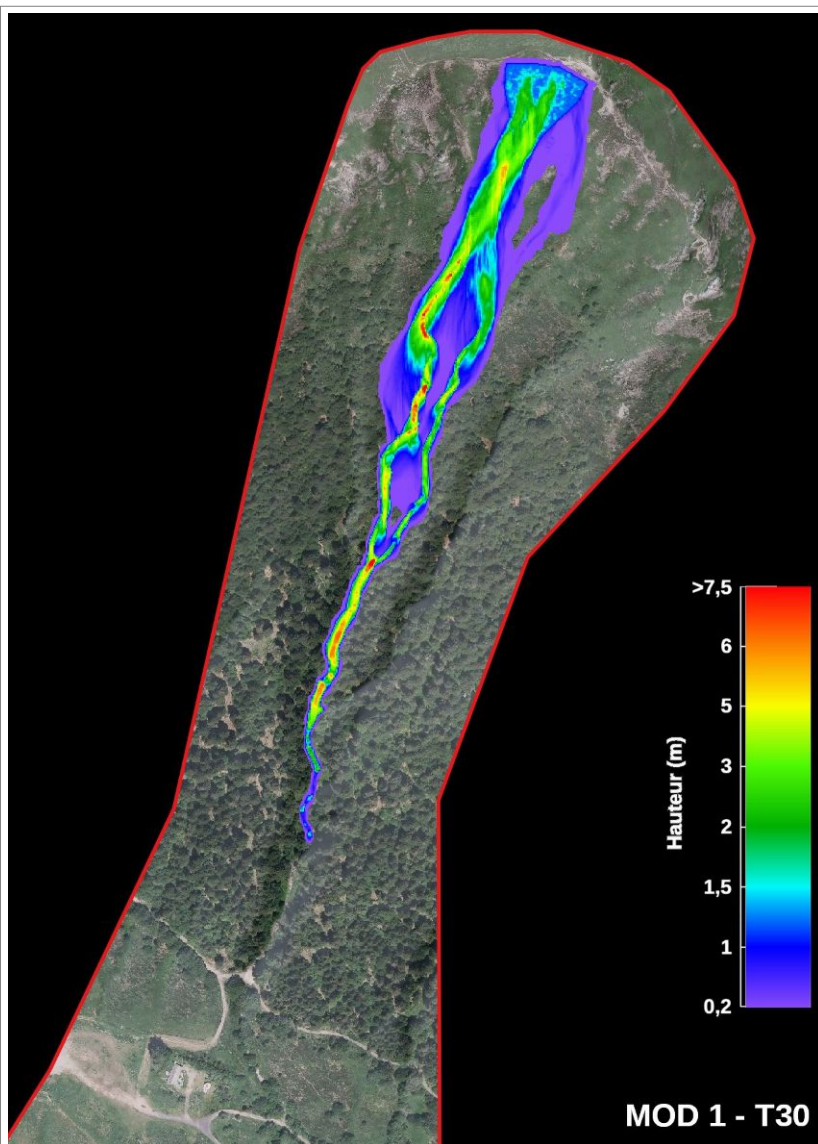
2.2. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ TRENTENNALE

■ MOD 1 : Hauteurs maximales des écoulements denses - T30

La vue graphique des hauteurs maximales atteintes par les écoulements denses montre que les dépôts s'arrêtent dans la gorge, sans atteindre la piste forestière utilisée comme piste de ski de fond.

Les résultats des simulations numériques sont donc assez cohérents avec les témoignages recueillis sur ce couloir et les traces visibles sur photographies aériennes, pour des conditions d'enneigement qui paraissent assez vraisemblables en trentennal dans les conditions climatiques actuelles.

Les coefficients de friction proposés par le logiciel Ramms, bien que calés sur les Alpes du Nord, paraissent donc valables sur ce territoire , où les conditions de relief et parfois d'enneigement peuvent être assez proches de celles rencontrées dans les Alpes à des altitudes un peu supérieures.



2.3. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ CENTENNALE

2.3.1. Hauteur de neige de départ

■ Hauteur de neige sur terrain plat

En appliquant sommairement un rapport de 1,2 à la valeur trentennale, la hauteur centennale présumée pour 3 jours de précipitations neigeuses atteint 150 cm à 1250 m d'altitude. Avec un gradient altitudinal de 3cm/100m, la hauteur est de 162,6 cm à 1670 m d'altitude.

En tenant compte d'un abattement par tassement de 20 % sur 3 jours, la hauteur centennale est réduite à 130 cm sur terrain plat à 1670 m d'altitude. Cela ne paraît pas excessif.

■ Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente

La hauteur de neige est ensuite corrigée en tenant compte de la pente moyenne de chaque zone de départ. Pour une pente de 37,5° comme celle de la zone de départ supérieure de la 1re simulation, la hauteur de neige n'est donc plus que de 0,85 m.

■ Accumulations par le vent

Un supplément d'apport de neige par le vent est compté uniquement sur les zones de départ supérieures, situées sous la crête, donc assez sensibles. Le transport de neige par le vent étant particulièrement important et reconnu dans le Cantal, en centennal, +80 cm ont été ajoutés.

■ Boisements, haies, arbres

Les boisements, haies et arbres isolés ne sont pas pris en compte dans les simulations numériques.

2.3.2. Zones de départ mobilisées

■ Zones de départ potentielles pour une période de retour centennale

Six scénarios différents (« MOD ») ont été simulés pour une période de retour centennale, de façon à ce que les responsables du domaine skiable de ski de fond et de la sécurité des installations sur le cône puissent surveiller les situations « à risques » en fonction des accumulations par le vent observées :

- MOD 2 : comme en trentennal (MOD 1), le « couloir N°1 » retenu avec les mêmes zones de départ que pour la simulation trentennale, mais des hauteurs de neige amplifiées (H100 + accumulations de neige par le vent de 80 cm au lieu de 50 cm), neige humidifiée ;
- MOD 3 : idem que MOD 2 en neige froide et sèche ;
- MOD 4 : ajout du déclenchement du couloir N°2 au couloir N°1, neige humidifiée ;
- MOD 5 : idem que MOD 5 en neige froide ;
- MOD 6 : déclenchement du couloir N°3 uniquement, neige humidifiée ;
- MOD 7 : idem que MOD 6 en neige froide.

■ Conditions de neige pour une période trentennale

Il est systématiquement pris en compte pour chaque ensemble de zones de départ testées un scénario en neige froide et sèche (cohésion 100 Pa) et un scénario en neige humidifiée (250 Pa). Ce dernier semble devenir de plus en plus probable en tenant compte du changement climatique : une avalanche de neige humidifiée, déclenchée par des précipitations pluvieuses après 3 jours de chutes de neige.

2.3.3. Coefficients de friction

Les coefficients de friction retenus sont ceux proposés par le logiciel Ramms pour une période de retour centennale. Ils tiennent compte du petit volume de l'avalanche, de l'altitude assez basse des

zones de départ, et de la semi-canalisation des écoulements sur certaines parties de la trajectoire, et de leur encaissement profond dans une gorge encaissée (forte rugosité du chenal).

2.3.4. Résolution de calcul

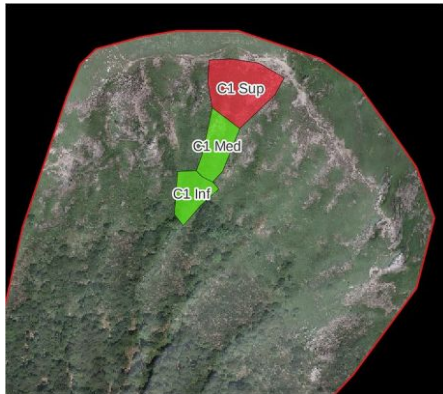
La résolution de calcul (SIM) a été conservée à 1 m, comme le MNT, pour tenir compte assez finement des effets de rugosité.

2.4. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ CENTENNALE

■ MOD 2 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige humidifiée

La vue graphique des hauteurs maximales atteintes par les écoulements denses montre que les dépôts atteignent la piste forestière utilisée comme piste de ski de fond.

Période de retour : T100
 Type : Small
 Cohésion de la neige : 250Pa
 (Neige humidifiée)
 Mobilisation des 3 ZD du couloir 1
 résolution de simulation : pas de 1m



Les 3 zones de départ mobilisées sur le couloir 1

Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correctif pente	Tassement (%)	Accu vent	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
ZD sup	100	37,5	1673	3653	4659	1,63	0,65	20	0,80	1,65	7688	0
ZD med	100	39,1	1624	1745	2285	1,6	0,62	20	0	0,79	1805	2
ZD inf	100	36,4	1585	1467	1846	1,6	0,68	20	0	0,87	1606	3
Total	100									0	11 099	

■ MOD 3 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige froide

La vue graphique des hauteurs maximales atteintes par les écoulements denses montre que les dépôts atteignent la piste forestière utilisée comme piste de ski de fond.

Période de retour : T100

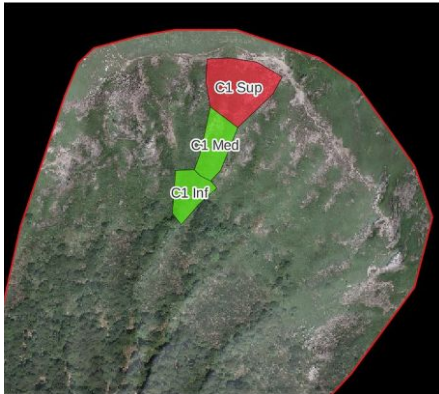
Type : Small

Cohésion de la neige : 100Pa

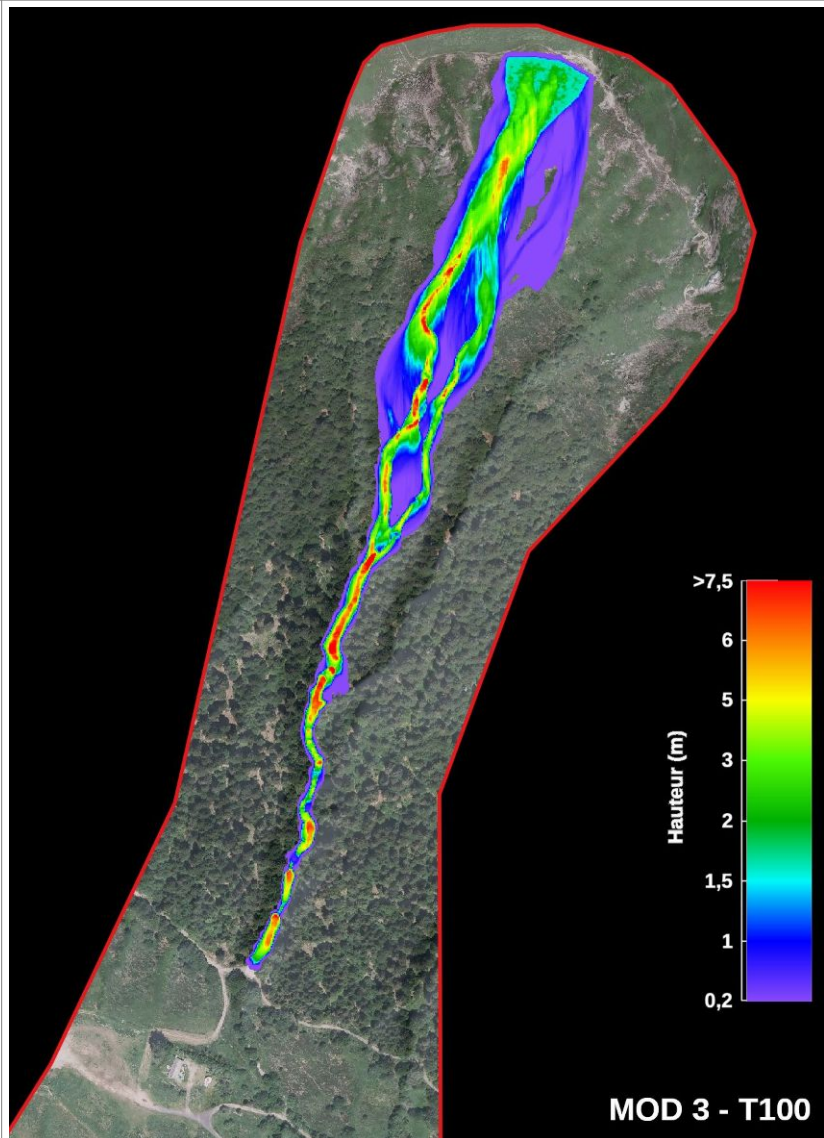
(Neige froide et sèche)

Mobilisation des 3 ZD du couloir 1

résolution de simulation : pas de 1m



Les 3 zones de départ mobilisées sur le couloir 1



MOD 3 - T100

Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correctif pente	Tassement (%)	Accuvent	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
ZD sup	100	37,5	1673	3653	4659	1,63	0,65	20	0,80	1,65	7688	0
ZD med	100	39,1	1624	1745	2285	1,6	0,62	20	0	0,79	1805	2
ZD inf	100	36,4	1585	1467	1846	1,6	0,68	20	0	0,87	1606	3
Total	100									0	11 099	

■ MOD 4 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige humidifiée

La vue graphique des hauteurs maximales atteintes par les écoulements denses montre que les dépôts atteignent la piste forestière utilisée comme piste de ski de fond.

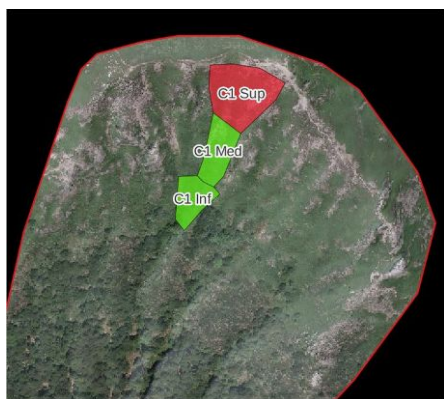
Période de retour : T100

Type : Small

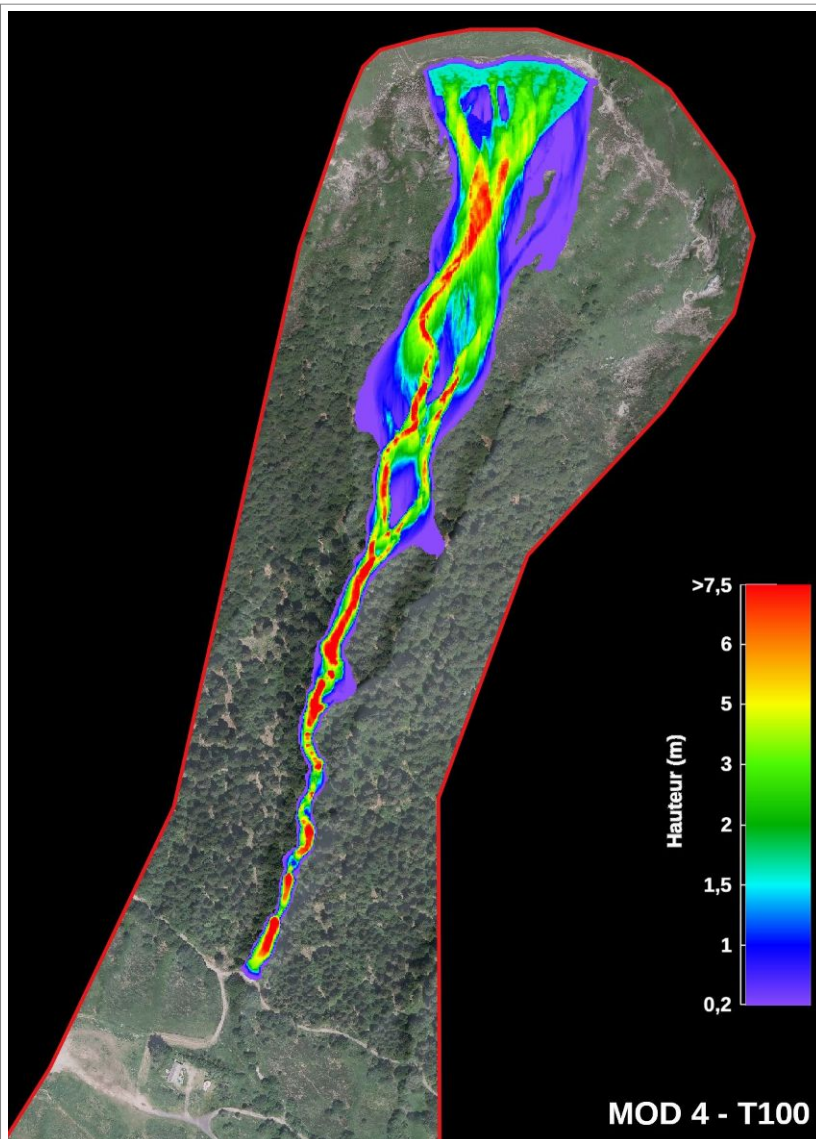
Cohésion de la neige : 250Pa
(Neige humidifiée)

Mobilisation des 3 ZD du couloir 1
et 3 ZD du couloir 2

résolution de simulation : pas de 1m



Les 3 zones de départ mobilisées sur le couloir 1 et les 3 autres sur le couloir 2. En rouge, celles concernées par des accumulations de vent.



Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correc tif pente	Tasse ment (%)	Accu vent	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
Coul1 ZD sup	100	37,5	1673	3653	4659	1,63	0,65	20	0,80	1,65	7688	0
Coul1 ZD med	100	39,1	1624	1745	2285	1,6	0,62	20	0	0,79	1805	2
Coul1 ZD inf	100	36,4	1585	1467	1846	1,6	0,68	20	0	0,87	1606	3
Coul2 ZD sup	100	39,6	1680	1560	2050	1,63	0,61	20	0,80	1,6	3281	0
Coul2 ZD med	100	38	1631	2336	3012	1,6	0,64	20	0	0,82	2470	2
Coul3 ZD med	100	38,8	1568	1310	1707	1,6	0,62	20	0	0,79	1349	3
Total	100									0	18199	

■ MOD 5 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige froide

La vue graphique des hauteurs maximales atteintes par les écoulements denses montre que les dépôts franchissent la piste forestière utilisée comme piste de ski de fond.

Période de retour : T100

Type : Small

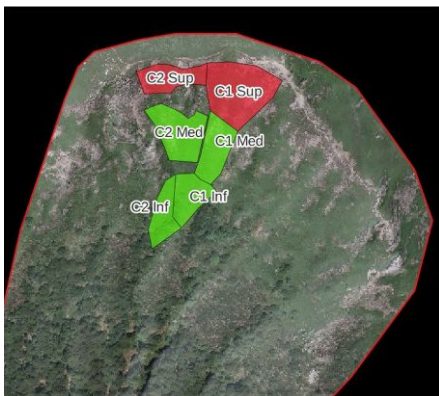
Cohésion de la neige : 100Pa

(Neige froide et sèche)

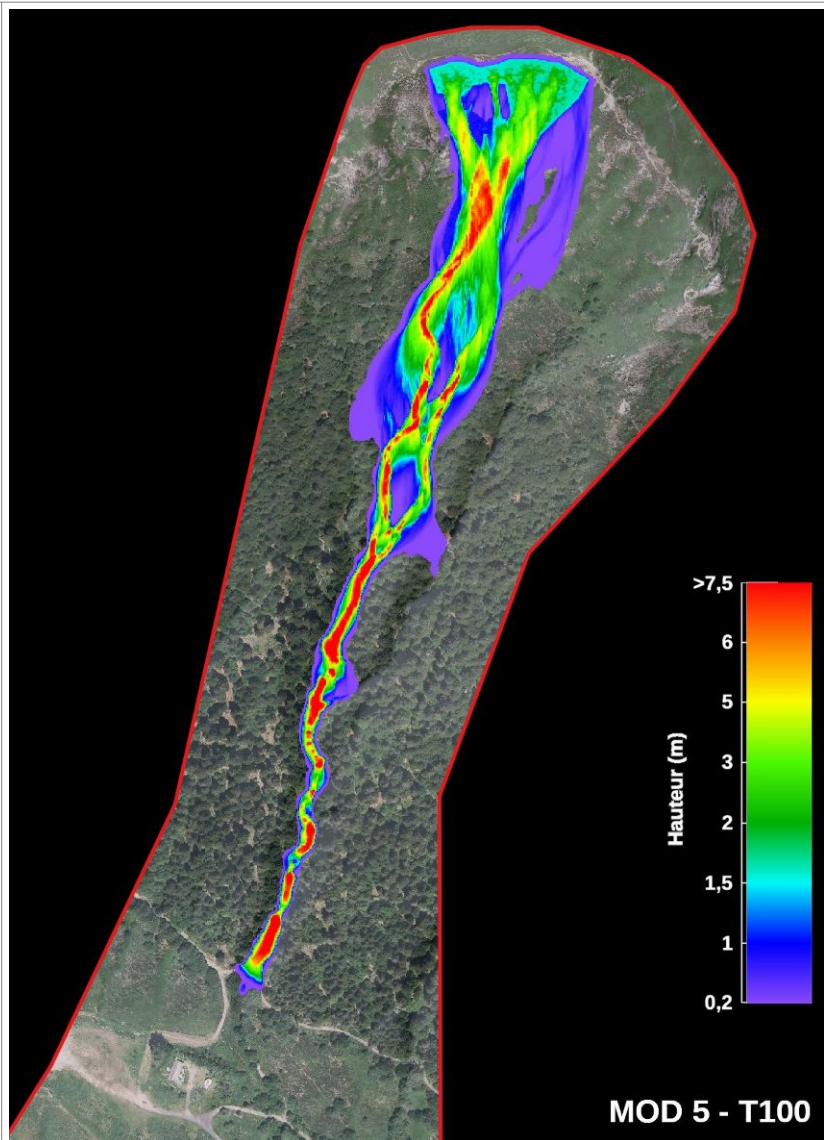
Mobilisation des 3 ZD du couloir 1

et 3 ZD du couloir 2

résolution de simulation : pas de 1m



Les 3 zones de départ mobilisées sur le couloir 1 et les 3 autres sur le couloir 2. En rouge, celles concernées par des accumulations de vent.



MOD 5 - T100

Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m²)	Surf. incl. (m²)	H horiz (m)	Correc tif pente	Tasse ment (%)	Accu vent	d(0)	Vol (m³)	Délai (s)
Coul1 ZD sup	100	37,5	1673	3653	4659	1,63	0,65	20	0,80	1,65	7688	0
Coul1 ZD med	100	39,1	1624	1745	2285	1,6	0,62	20	0	0,79	1805	2
Coul1 ZD inf	100	36,4	1585	1467	1846	1,6	0,68	20	0	0,87	1606	3
Coul2 ZD sup	100	39,6	1680	1560	2050	1,63	0,61	20	0,80	1,6	3281	0
Coul2 ZD med	100	38	1631	2336	3012	1,6	0,64	20	0	0,82	2470	2
Coul3 ZD med	100	38,8	1568	1310	1707	1,6	0,62	20	0	0,79	1349	3
Total	100									0	18199	

■ MOD 6 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige humidifiée

La vue graphique des hauteurs maximales atteintes par les écoulements denses montre que les dépôts franchissent la piste forestière utilisée comme piste de ski de fond, se poursuivent dans le chenal et le remplissent en amont du buron.

Période de retour : T100

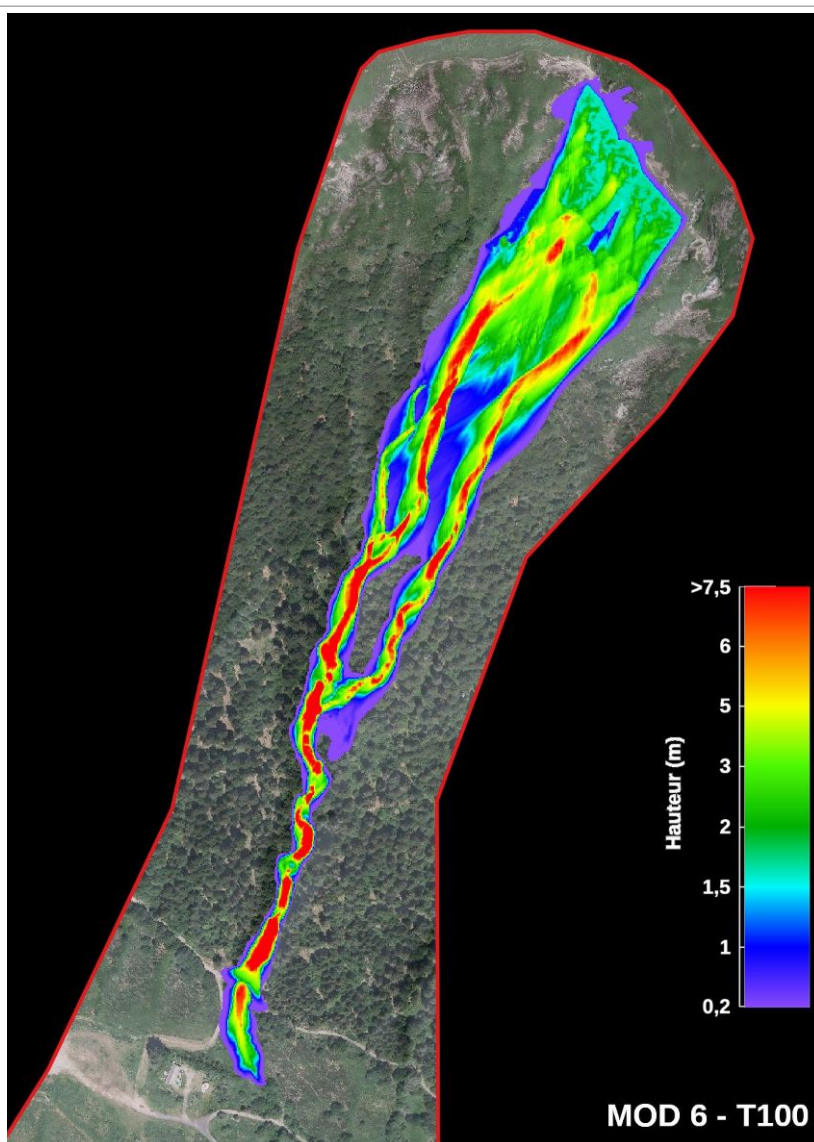
Type : Medium

Cohésion de la neige : 250Pa
(Neige humidifiée)

Mobilisation des 5 ZD des couloirs 3
résolution de simulation : pas de 1m



Les 5 zones de départs de la face Est constituant le couloir 3



MOD 6 - T100

Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correc tif pente	Tasse ment (%)	Accu vent	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
ZD supN	100	38,3	1651	3686	4783	1,62	0,63	20	0,80	1,62	7748	0
ZD supC	100	37	1638	2698	3424	1,6	0,66	20	0,80	1,64	5615	0
ZD supS	100	35,9	1624	3859	4811	1,6	0,69	20	0,80	1,68	8083	0
ZD inf N	100	36,2	1584	6138	7755	1,6	0,69	20	0	0,88	6825	3
ZD inf S	100	34,9	1582	1621	1996	1,6	0,71	20	0	0,91	1797	3
Total	100									0	30 068	

■ MOD 7 : Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige froide

La vue graphique des hauteurs maximales atteintes par les écoulements denses montre que les dépôts franchissent la piste de ski de fond et s'étalent auprès du buron, remplissent le chenal, approchent la ruine en cours de réhabilitation, et pourraient atteindre le buron voûté actuellement ± en ruine.

Période de retour : T100

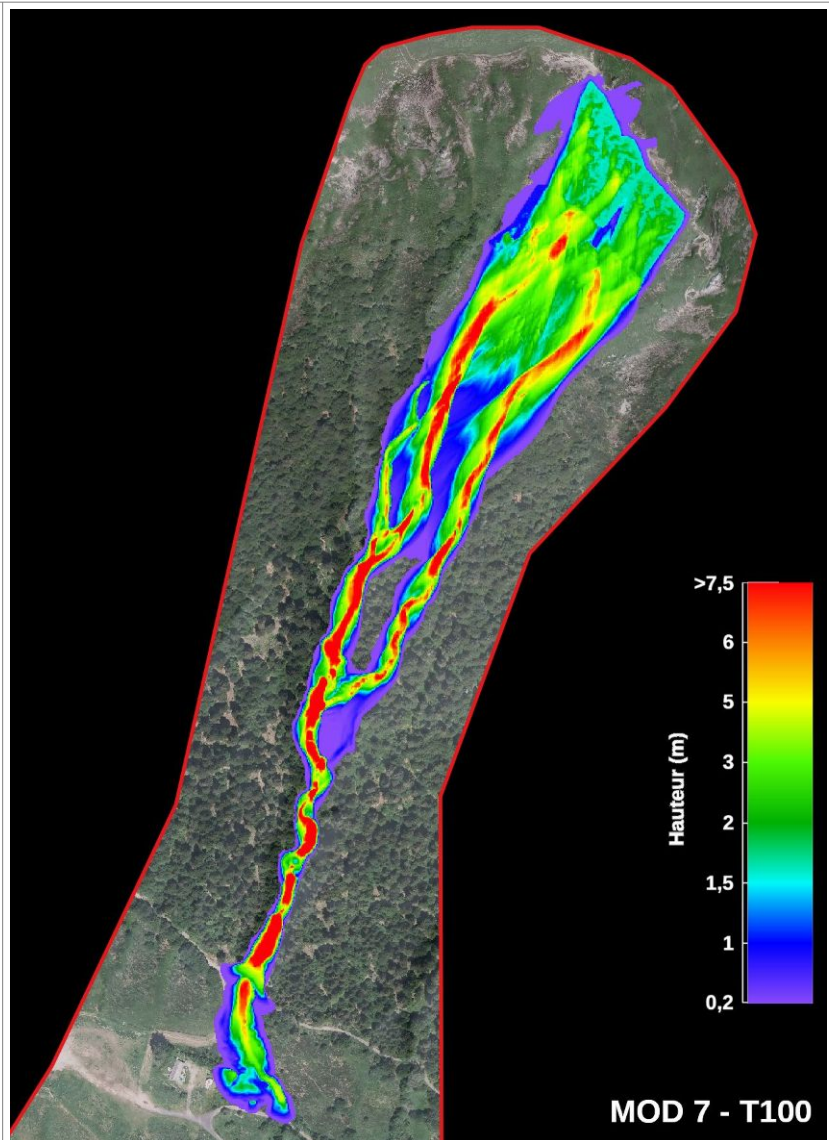
Type : Medium

Cohésion de la neige : 100Pa
(Neige froide)

Mobilisation des 5 ZD des couloirs 3
résolution de simulation : pas de 1m



Les 5 zones de départs de la face Est constituant le couloir 3



Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correctif pente	Tassement (%)	Accuvent	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
ZD supN	100	38,3	1651	3686	4783	1,62	0,63	20	0,80	1,62	7748	0
ZD supC	100	37	1638	2698	3424	1,6	0,66	20	0,80	1,64	5615	0
ZD supS	100	35,9	1624	3859	4811	1,6	0,69	20	0,80	1,68	8083	0
ZD inf N	100	36,2	1584	6138	7755	1,6	0,69	20	0	0,88	6825	3
ZD inf S	100	34,9	1582	1621	1996	1,6	0,71	20	0	0,91	1797	3
Total	100									0	30 068	

2.5. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ TRICENTENNALE

2.5.1. Hauteur de neige de départ

■ Hauteur de neige sur terrain plat

En retenant un rapport de 1,4 par rapport à la hauteur de neige considérée trentennale pour 3 jours de précipitations neigeuses à 1250 m d'altitude (soit 1,4x125 cm), on obtient une hauteur de 1,75 m. En considérant un gradient altitudinal de 3 cm/100 m, cette hauteur atteint 1,87 m à 1650 m d'altitude. En considérant un abattement par tassement de 20 % sur 72h, elle n'est plus que de 1,5 m sur terrain plat à 1650 m d'altitude, soit 20 cm environ de plus qu'en centennal.

■ Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente

La hauteur de neige est ensuite corrigée en tenant compte de la pente moyenne de chaque zone de départ. Pour une pente de 38,3° comme celle de la zone de départ supérieure, la hauteur de neige n'est donc plus que de 1 m.

■ Accumulations par le vent

Un supplément d'apport de neige par le vent est compté uniquement sur les zones de départ supérieures, situées sous la crête, donc assez sensibles.

En tricentennal, +80 cm ont été ajoutés (comme en centennal).

Pour la zone de départ supérieure, la hauteur de neige atteint donc 1,76 m. À titre de comparaison, rappelons que la cassure de la zone de départ du Puy Sancy en 2006, pour des pentes équivalentes et des altitudes assez voisines, se situait entre 1 et 2 m d'épaisseur.

■ Boisements, haies, arbres

Les boisements, haies et arbres isolés ne sont pas pris en compte dans les simulations numériques.

2.5.2. Zones de départ mobilisées

■ Zones de départ potentielles pour une période de retour tricentennale

Le scénario des MOD 6 & MOD 7 sont retenus (déclenchement de la face Est), dans la mesure où ils paraissent les plus menaçants.

■ Conditions de neige pour une période tricentennale

Les simulations testent les conditions de neige humide et de neige froide.

■ Synthèse des volumes mobilisés pour une période tricentennale

On obtient donc un volume mobilisé de 32 907 m³, ce qui correspond à une avalanche de volume moyen.

2.5.3. Coefficients de friction

Les coefficients de friction retenus sont ceux proposés par le logiciel Ramms pour une période de retour tricentennale. Ils tiennent compte du volume moyen de l'avalanche, de l'altitude assez basse des zones de départ, et de la semi-canalisation des écoulements sur certaines parties de la trajectoire, et de leur encaissement profond dans une gorge encaissée (forte rugosité du chenal).

2.5.4. Résolution de calcul

La résolution de calcul a été conservée à 1 m, comme le MNT.

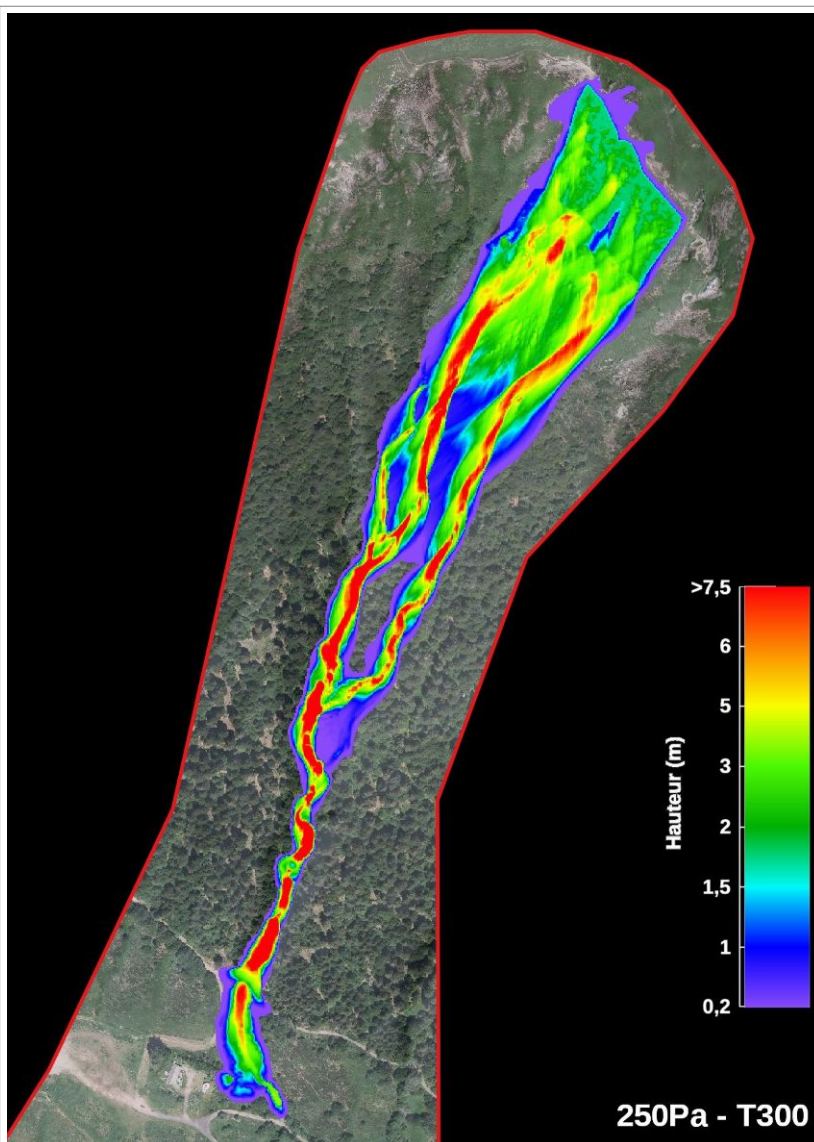
2.6. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ TRICENTENNALE

■ Hauteurs maximales des écoulements denses – T300 – Neige humidifiée

Période de retour : T300
 Type : Medium
 Cohésion de la neige : 250Pa
 (Neige humidifiée)
 Mobilisation des 5 ZD des couloirs 3
 résolution de simulation : pas de 1m



Les 5 zones de départs de la face Est constituant le couloir 3



Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correct if pente	Tasse ment (%)	Accu vent	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
ZD supN	300	38,3	1651	3686	4783	1,9	0,63	20	0,80	1,76	8418	0
ZD supC	300	37	1638	2698	3424	1,9	0,66	20	0,80	1,8	6163	0
ZD supS	300	35,9	1624	3859	4811	1,8	0,69	20	0,80	1,79	8612	0
ZD inf N	300	36,2	1584	6138	7755	1,8	0,69	20	0	0,99	7678	3
ZD inf S	300	34,9	1582	1621	1996	1,8	0,71	20	0	1,02	2036	3
Total	300									0	32 907	

■ Hauteurs maximales des écoulements denses – T300 – Neige froide

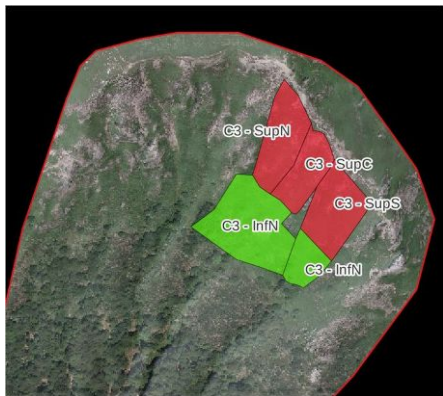
Les dépôts n'atteignent pas le bâtiment du buron, mais ensevelissent celui qui est en voûte semi-enterrée et +/- en ruine. Ils n'atteignent pas les résidences en aval, mais sont suffisamment près pour les menacer.

Période de retour : T300

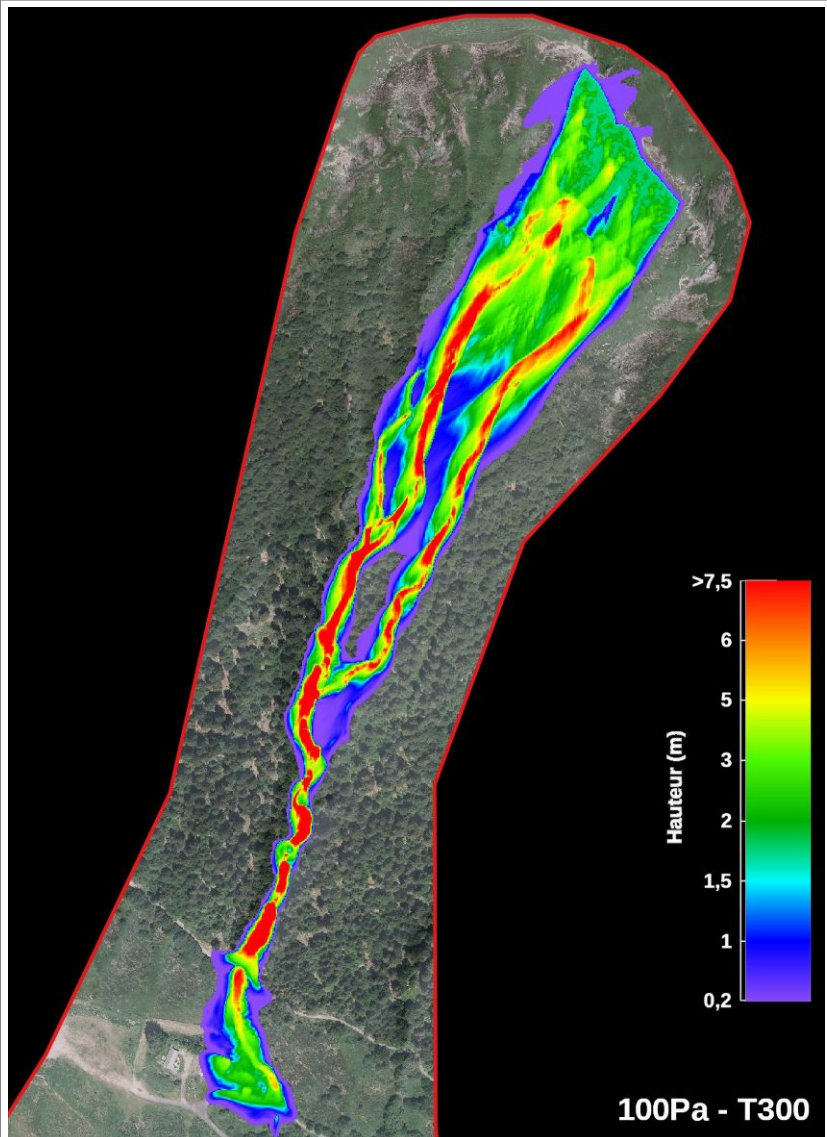
Type : Medium

Cohésion de la neige : 100Pa
(Neige froide)

Mobilisation des 5 ZD des couloirs 3
résolution de simulation : pas de 1m



Les 5 zones de départs de la face Est constituant le couloir 3



Nom	T	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m²)	Surf. incl. (m²)	H horiz (m)	Correctif pente	Tassement (%)	Accuvent	d(0)	Vol (m³)	Délai (s)
ZD supN	300	38,3	1651	3686	4783	1,9	0,63	20	0,80	1,76	8418	0
ZD supC	300	37	1638	2698	3424	1,9	0,66	20	0,80	1,8	6163	0
ZD supS	300	35,9	1624	3859	4811	1,8	0,69	20	0,80	1,79	8612	0
ZD inf N	300	36,2	1584	6138	7755	1,8	0,69	20	0	0,99	7678	3
ZD inf S	300	34,9	1582	1621	1996	1,8	0,71	20	0	1,02	2036	3
Total	300									0	32 907	

2.7. Conclusion sur le site du Font d'Alagnon

Pour les phénomènes les plus courants, dits « trentennaux », aucun enjeu n'est a priori menacé par ce couloir d'avalanche et semble cohérent avec les observations de terrain.

Pour des phénomènes plus rares, dits « centenaux », la piste forestière utilisée comme piste de ski nordique peut-être franchie, quelle que soit l'orientation des plaques à vent. D'importantes accumulations sur le Nord-Est du bassin, donc plutôt par régime de Nord-Est, présentent le risque a priori le plus élevé. Les dépôts pourraient se propager jusqu'à hauteur du buron semi-enterré, voire déborder un peu en amont, à la faveur du coude, et l'atteindre. Ce risque est aggravé en cas de réduction du gabarit du chenal (dépôts torrentiels, troncs, etc.).

Des phénomènes exceptionnels, dits « tricentenaux », pourraient menacer les premières résidences en aval, dans le cas où les hauteurs de neige accumulées sur la face Est seraient encore plus élevées. Des dépôts d'avalanches précédentes, subsistant dans les thalwegs, pourraient aussi faciliter l'atteinte de ces zones d'arrêts extrêmes en favorisant une progression plus rapide des écoulements par réduction du frottement.

3. SAINT-PROJET-DE-SALERS

3.1. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ CENTENNALE

3.1.1. Hauteur de neige de départ

■ Hauteur de neige sur terrain plat

Les données quant aux hauteurs de neige et leurs fréquences sont encore moins nombreuses que pour Laveissière. Il est impossible d'établir un traitement statistique.

Les cumuls sur 3 jours ne sont pas forcément les plus pertinents, dans la mesure où les hauteurs de neige importantes observées sont dues à des accumulations par le vent sur de longues périodes froides.

Sachant qu'en décembre 2020, il est tombé sur la région de l'ordre de 80 cm en 2 jours d'après les témoignages, nous faisons le choix arbitraire de ne retenir qu'une hauteur de 0,8 m en centennal à 1000 m d'altitude, ce qui est nettement inférieur au Lioran.

En tenant compte d'un abattement de 20 % par tassement/transport par le vent, la hauteur est de 64 cm à 1000 m d'altitude. Cette altitude référence a été retenue pour toutes les zones de départ, les différences étant négligeables.

■ Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente

La hauteur de neige est ensuite corrigée en tenant compte de la pente moyenne de chaque zone de départ. Pour une pente de $35,7^\circ$ comme celle de la plus vaste zone de départ supérieure, la hauteur de neige n'est donc plus que de 0,45 m.

■ Accumulations par le vent

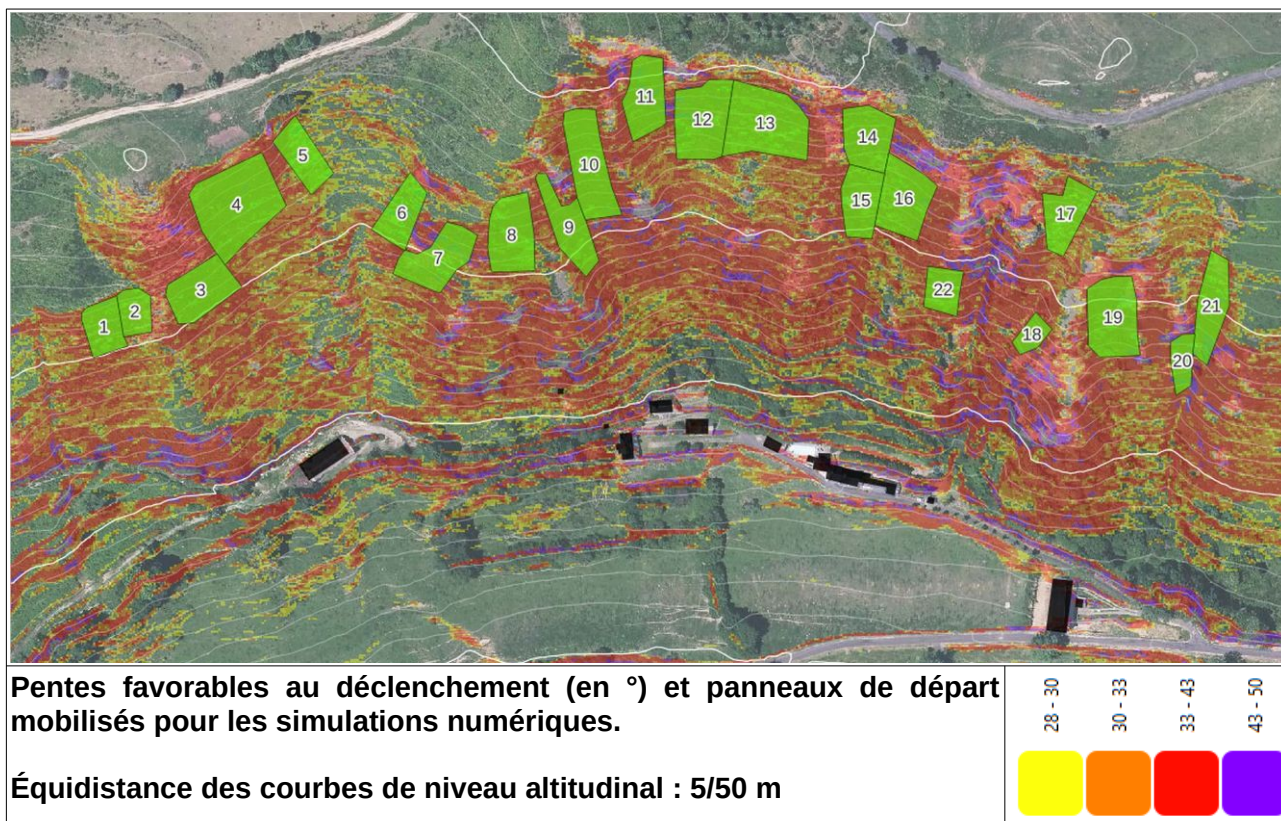
Un supplément d'apport de neige par le vent de + 20 cm est ajouté sur les zones de départ les plus hautes (aval de la crête), tandis que des accumulations de +10 cm voir nulle sont retenues pour les panneaux plus bas dans le versant.

■ Boisements, haies, arbres

Les boisements, haies et arbres isolés ne sont pas pris en compte dans les simulations numériques.

3.1.2. Zones de départ mobilisées

■ Zones de départ potentielles pour une période de retour centennale



Les pentes comprises entre 30 et 50° sont considérées favorables au déclenchement des avalanches, en sachant que celles entre 33 et 43° présentent les plus fortes probabilités.

Les panneaux potentiels sont nombreux, mais de très faibles surfaces. Ils n'interagissent généralement pas entre eux.

■ Conditions de neige pour une période centennale

Le scénario retenu correspond à un épisode neigeux proche de celui de 2020 (80 cm de neige), mais avec un redoux moins rapide et des rafales de vent ayant accumulé de petites plaques à vent sur les pentes (+20 cm). La neige est donc frittée (cohésion 350 Pa).

■ Synthèse des volumes mobilisés pour une période trentennale

Les volumes mobilisés se situent entre quelques centaines et 1400 m³ environ.

3.1.3. Coefficients de friction

Les coefficients de friction retenus sont ceux proposés par le logiciel Ramms pour une période de retour trentennale. Nous avons considéré en effet que des conditions centennales à cette altitude dans cette région du Cantal, pourraient se rapprocher des conditions trentennales dans les Alpes.

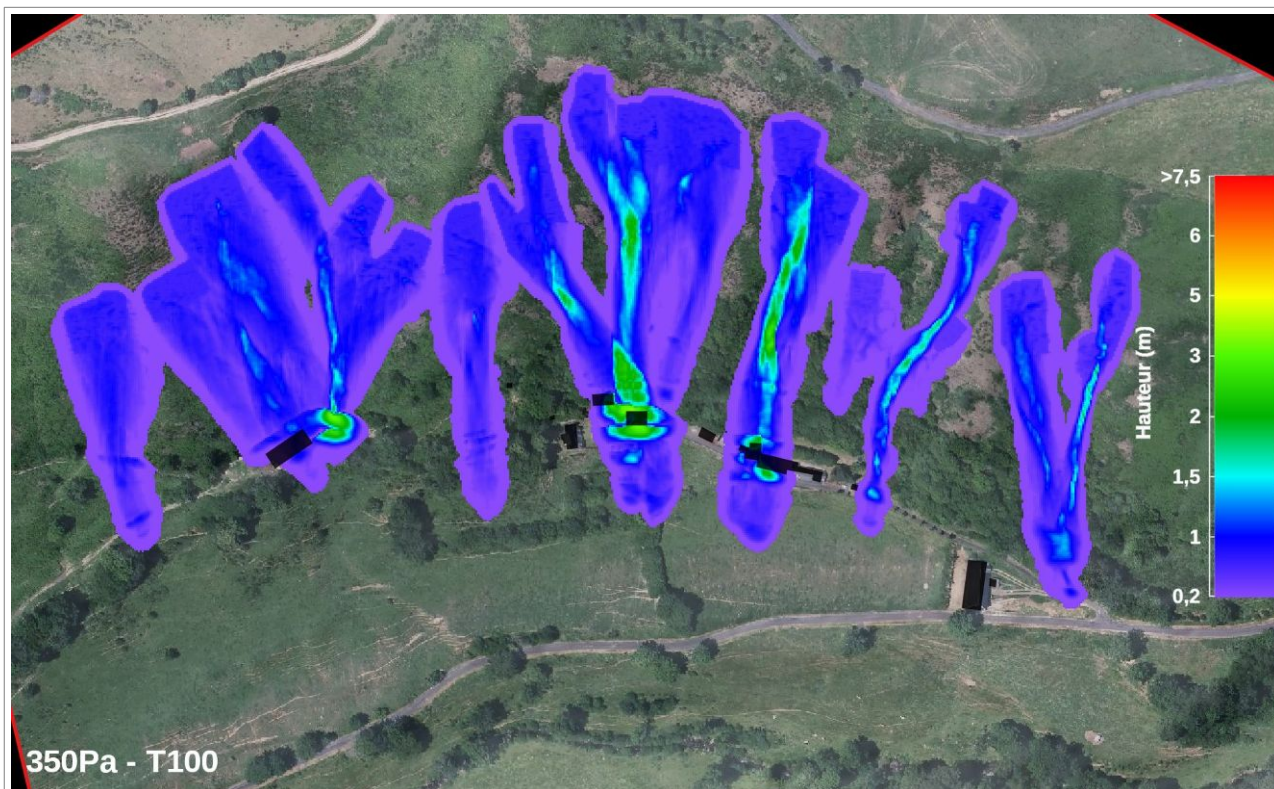
Ces coefficients tiennent compte du faible volume des avalanches (calcul forcé en « tiny »), de l'altitude assez basse des zones de départ, et de la semi-canalisation des écoulements sur certaines parties de la trajectoire.

3.1.4. Résolution de calcul

La résolution de calcul a été conservée à 1 m, comme le MNT, pour tenir compte assez finement des effets de rugosité du terrain .

3.2. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ « CENTENNALE »

■ Hauteurs maximales des écoulements denses – T100 – Neige frittée



SAINT-PROJET-DE-SALERS

Période de retour : T100

Type : Tiny

Cohésion de la neige : 350Pa
(Neige frittée)

Mobilisation de tous les panneaux
résolution de simulation : pas de 1m

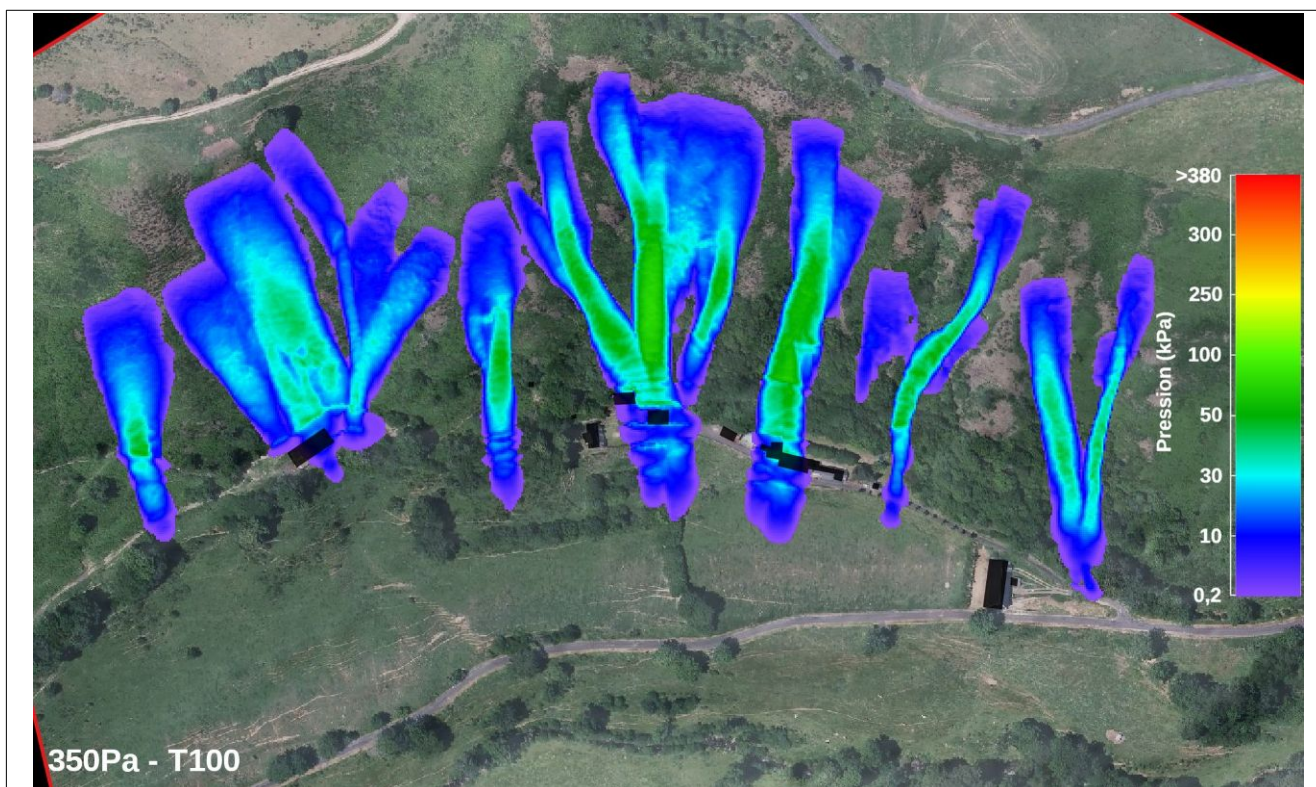
Les dépôts des différents couloirs atteignent systématiquement le chemin de desserte des constructions. Ainsi que celles-ci. Sur les 2 couloirs au centre (panneaux 9 à 16), les propagations sont longues et continues dans le versant au-delà des habitations, celles-ci étant considérées comme transparentes. Au niveau du couloir central (9 à 13), les hauteurs sont surestimées par le déclenchement simultané des différents couloirs. Elles devraient toutefois restées importantes (entre 1 et 1,5 m), même prises individuellement.

Mu & Xi Ramms pour T30

Nom	T MuXi	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correctif pente	Tassem ent (%)	Accu vent (m)	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
1	30	35,1	958	449	552	0,8	0,71	20	0,20	0,65	359	0
2	30	34,4	961	337	411	0,8	0,73	20	0,20	0,67	275	0
3	30	35,5	957	719	885	0,8	0,7	20	0,20	0,65	575	0
4	30	35,9	975	1459	1807	0,8	0,69	20	0,20	0,64	1157	0
5	30	31,3	975	524	615	0,8	0,83	20	0,20	0,73	449	0
6	30	32,6	960	507	610	0,8	0,79	20	0,20	0,71	433	0
7	30	37,5	951	748	952	0,8	0,65	20	0,20	0,62	591	0
8	30	34	964	758	919	0,8	0,74	20	0,20	0,67	616	0
9	30	35,6	958	638	789	0,8	0,7	20	0,20	0,65	513	0
10	30	35,6	975	929	1146	0,8	0,7	20	0,20	0,65	745	0
11	30	38,5	992	668	992	0,8	0,63	20	0,20	0,6	516	0
12	30	37	982	930	1174	0,8	0,66	20	0,20	0,62	728	0
13	30	34,3	983	1225	1490	0,8	0,73	20	0,20	0,67	999	0
14	30	35,8	981	665	824	0,8	0,69	20	0,20	0,64	527	0
15	30	34,5	960	581	708	0,8	0,73	20	0,10	0,57	332	1

16	30	35,6	964	803	994	0,8	0,7	20	0,20	0,65	646	0
17	30	33,9	972	580	704	0,8	0,74	20	0,20	0,67	472	0
18	30	36,0	936	203	252	0,8	0,69	20	0,00	0,44	111	3
19	30	36,1	944	901	1122	0,8	0,69	20	0,10	0,54	606	0
20	30	37,6	929	262	336	0,8	0,65	20	0,00	0,42	141	2
21	30	36,5	950	621	781	0,8	0,67	20	0,20	0,53	572	0
22	30	34,8	938	353	432	0,8	0,71	20	0,00	0,45	195	0

■ Pressions dynamiques maximales des écoulements denses – T100 – Neige frittée



Les pressions modélisées approchent les 30 kPa au niveau des différentes constructions, particulièrement au droit des panneaux 14 à 16 où le bâti est atteint par des pressions supérieures, entre 30 et 40 kPa. Au niveau des panneaux 9 à 12, les pressions dépassent les 30 kPa à l'amont immédiat des habitations. Le bâtiment agricole sous les panneaux 3 et 4 est atteint par des pressions moindres (entre 10 et 20 kPa) du panneau 4, les écoulements étant freinés par le replat à l'amont du bâti. Dans des conditions de neige modélisée (80 cm au sol hors accumulation par le vent), le relief pourrait être toutefois moins marqué et la rugosité diminuée, diminuant l'effet de freinage.

3.3. ENTRÉES POUR UNE PROBABILITÉ TRICENTENNALE

3.3.1. Hauteur de neige de départ

■ Hauteur de neige sur terrain plat

Les données quant aux hauteurs de neige et leurs fréquences sont encore moins nombreuses que pour Laveissière. Il est impossible d'établir un traitement statistique.

Les cumuls sur 3 jours ne sont pas forcément les plus pertinents, dans la mesure où les hauteurs de neige importantes observées sont dues à des accumulations par le vent sur de longues périodes froides.

Nous faisons le choix arbitraire de ne retenir qu'une hauteur de 1 m en tricentennal à 1000 m d'altitude, ce qui est très nettement inférieur au Lioran.

En tenant compte d'un abattement de 20 % par tassement/transport par le vent, la hauteur est de 80 cm à 1000 m d'altitude. Cette altitude référence a été retenue pour toutes les zones de départ, les différences étant négligeables.

■ Hauteur de neige corrigée en fonction de la pente

La hauteur de neige est ensuite corrigée en tenant compte de la pente moyenne de chaque zone de départ. Pour une pente de $35,7^\circ$ comme celle de la plus vaste zone de départ supérieure, la hauteur de neige n'est donc plus que de 0,56 m.

■ Accumulations par le vent

Un supplément d'apport de neige par le vent de + 50 cm est ajouté sur les zones de départ les plus hautes (aval de la crête), tandis que des accumulations de +40 cm à +20 cm sont retenues pour les panneaux plus bas dans le versant.

■ Boissements, haies, arbres

Les boissements, haies et arbres isolés ne sont pas pris en compte dans les simulations numériques.

3.3.2. Coefficients de friction

Les coefficients de friction retenus sont ceux proposés par le logiciel Ramms pour une période de retour centennale. Nous avons considéré en effet que des conditions d'enneigement exceptionnelles, avec un manteau neigeux qui aurait persisté durant l'hiver donc en place, pourraient se rapprocher des conditions centennales dans les Alpes.

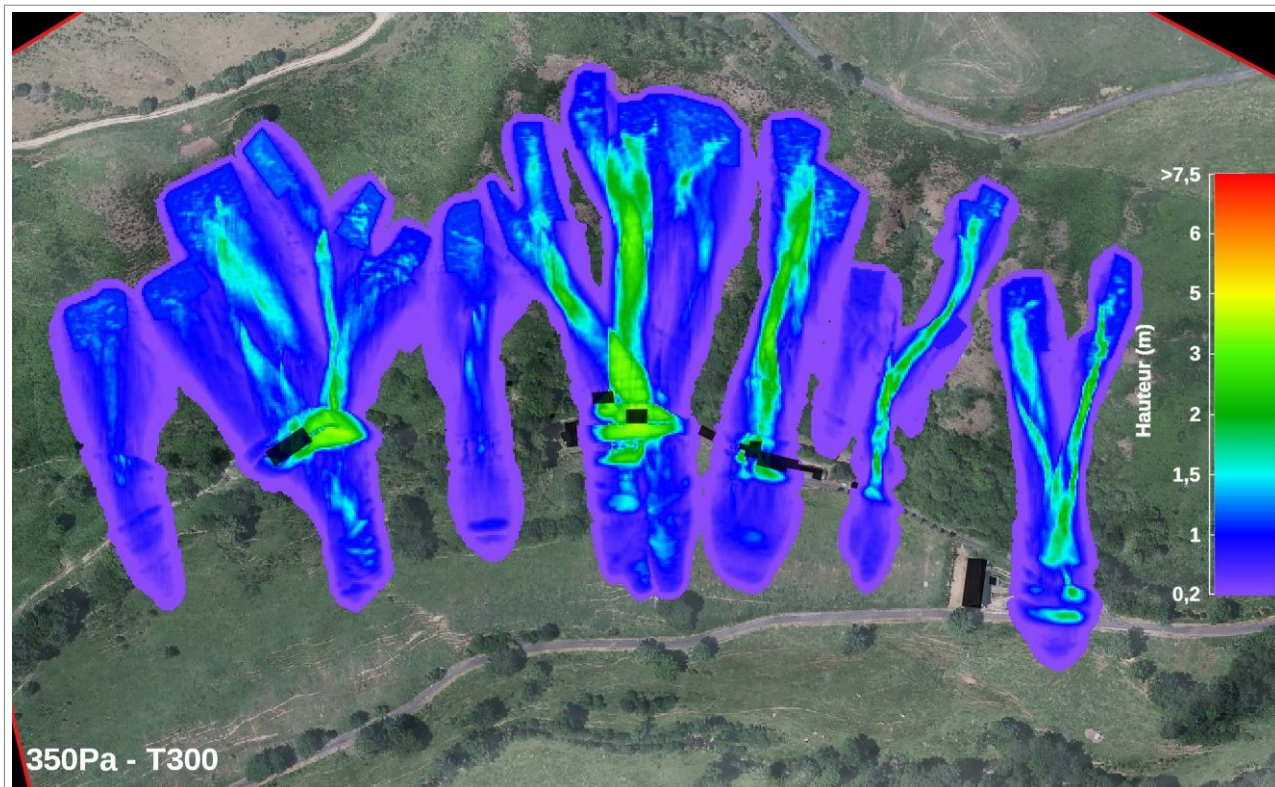
Ces coefficients tiennent néanmoins compte du faible volume des avalanches (calcul forcé en « tiny »), de l'altitude assez basse des zones de départ, et de la semi-canalisation des écoulements sur certaines parties de la trajectoire.

3.3.3. Résolution de calcul

La résolution de calcul a été conservée à 1 m, comme le MNT, pour tenir compte assez finement des effets de rugosité du terrain .

3.4. RÉSULTATS POUR UNE PROBABILITÉ « TRICENTENNALE »

■ Hauteurs maximales des écoulements denses – T300 – Neige frittée



ST-PROJET-DE-SALERS
 Période de retour : T300
 Type : Tiny
 Cohésion de la neige : 350Pa
 (Neige frittée)
 Mobilisation de tous les panneaux
 résolution de simulation : pas de 1m

Les coulées balayent l'ensemble du versant et les constructions dans l'axe des panneaux. Les dépôts atteignent les pentes plus douces du bas de versant et s'approchent de la route départementale.

Mu & Xi Ramms pour T100

Nom	T MuXi	Pente moy (°)	Alt. moy (m)	Surf. Proj. (m ²)	Surf. incl. (m ²)	H horiz (m)	Correctif pente	Tassement (%)	Accu vent (m)	d(0)	Vol (m ³)	Délai (s)
1	30	35,1	958	449	552	1	0,71	20	0,50	1,07	591	0
2	30	34,4	961	337	411	1	0,73	20	0,50	1,08	444	0
3	30	35,5	957	719	885	1	0,7	20	0,50	1,06	938	0
4	30	35,9	975	1459	1807	1	0,69	20	0,50	1,05	1898	0
5	30	31,3	975	524	615	1	0,83	20	0,50	1,16	714	0
6	30	32,6	960	507	610	1	0,79	20	0,50	1,13	690	0
7	30	37,5	951	748	952	1	0,65	20	0,50	1,02	972	0
8	30	34	964	758	919	1	0,74	20	0,50	1,09	1002	0
9	30	35,6	958	638	789	1	0,7	20	0,50	1,06	836	0
10	30	35,6	975	929	1146	1	0,7	20	0,50	1,06	1215	0

11	30	38,5	992	668	992	1	0,63	20	0,50	1	860	0
12	30	37	982	930	1174	1	0,66	20	0,50	1,03	1209	0
13	30	34,3	983	1225	1490	1	0,73	20	0,50	1,08	1610	0
14	30	35,8	981	665	824	1	0,69	20	0,50	1,05	865	0
15	30	34,5	960	581	708	1	0,73	20	0,40	0,98	403	1
16	30	35,6	964	803	994	1	0,7	20	0,50	1,06	1053	0
17	30	33,9	972	580	704	1	0,74	20	0,50	1,09	767	0
18	30	36,0	936	203	252	1	0,69	20	0,20	0,75	189	3
19	30	36,1	944	901	1122	1	0,69	20	0,40	0,95	1066	0
20	30	37,6	929	262	336	1	0,65	20	0,20	0,72	241	2
21	30	36,5	950	621	781	1	0,67	20	0,50	1,04	812	0
22	30	34,8	938	353	432	1	0,71	20	0,20	0,77	333	0

3.5. Conclusion sur le site de Saint-Projet-de-Salers

Les avalanches modélisées pour des phénomènes rares, dits « centenaux », atteignent la piste d'accès aux différentes constructions du versant ainsi que celles-ci. Les hauteurs de départ semblent plausibles au vu des précipitations rencontrées et des régimes de vents (du nord). L'exposition du versant permet la formation de corniches en tête des thalwegs pour des phénomènes rares, qui pourraient venir aggraver les valeurs de la modélisation, notamment au niveau des pressions dynamiques.

Les phénomènes exceptionnels, dits « tricentenaux », ne menacent pas de bâtis supplémentaires, seuls la RD et le côté aval des maisons sont atteints en plus.