

Département des Pyrénées  
Atlantique

Commune de LARUNS

**solet** cité

Atelier d'Urbanisme  
et d'Architecture

Architecture  
et  
Urbanisme

SCOP ARL  
23 route de Blagnac  
31200 TOULOUSE

# PLAN LOCAL D'URBANISME

## 1<sup>ère</sup> MODIFICATION SIMPLIFIÉE

### 5 - ANNEXES

#### 5.5 - RISQUES

*5.5.2 - Diagnostic des risques avalancheux « Projet  
d'Urbanisation Les Chalets d'Artouste à Fabrèges »*

PLU approuvé le : 10 octobre 2018

1<sup>ère</sup> modification du PLU approuvée le : 28 mars 2022

1<sup>ère</sup> révision allégée du PLU approuvée le : 28 mars 2022

2<sup>ème</sup> modification du PLU approuvée le : 28 mars 2022

1<sup>ère</sup> modification simplifiée approuvée le : 6 décembre 2023



Agence Publique de Gestion Locale  
Service Intercommunal Territoires et Urbanisme  
Maison des Communes - rue Auguste Renoir  
B.P. 609 - 64006 PAU Cedex  
Tél 05.59.90.18.28 - Télécopie 05.59.84.59.47  
Courriel : service.urbanisme@apgl64.fr



5.5

# RAPPORT

## DIAGNOSTIC DES RISQUES AVALANCHEUX

### Projet d'Urbanisation Les Chalets d'Artouste à Fabrèges

vo du 18/07/2023



Rédigé par : Philippe BERTHET-RAMBAUD



+ 33 6 23 75 04 44



pbr@engk.fr

Visa :



Validé par : Fanny BOURJAILLAT



+ 33 6 23 75 06 42



fb@engk.fr

Visa :



Ce rapport contient 25 pages et constitue un tout indissociable; une utilisation partielle n’engage pas la responsabilité d’Engineerisk

Sauf mention contraire : crédits photos Engineerisk / figures en plan orientées nord vers le haut/ Fond orthophoto Géoportail

Référence : FRA601

Version 0 du 18/07/2023

## REFERENCES

- [1] Projet d’urbanisation “Les Chalets d’Artouste”, plan masse en pdf et dwg + éléments associés, 11/07/2023, cabinet Plan B, architecture et aménagement urbain
- [2] relevé LIDAR partie aval du versant, 2023, OPSIA,
- [3] [www.avalanches.fr](http://www.avalanches.fr)
- [4] Plan de Prévention des Risques, commune de Laruns, approuvé par arrêté préfectoral le 7 juin 1991, révisé le 14 novembre 2013
- [5] Plan d’Exposition aux Risques, Avalanches, Commune de Laruns, secteur de Fabrèges-Sagette, 1989
- [6] Reprofilage du couloir d’avalanche du Plan d’Aulière, RTM, 1997
- [7] Sécurité vis-à-vis des risques d’avalanches, rapport de synthèses, service RTM, 4 février 1999
- [8] Analyse du risque de l’avalanche du Pan d’Aulière sur Fabrèges, ASI – JF Meffre, généralités en 2006, phase 2bis contraintes architecturales sur le projet des résidences de tourisme en 2008

## SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION .....	4
II.	CONTEXTE NIVO-METEO .....	5
A.	Climatologie & manteau neigeux de référence .....	5
B.	Epaisseurs mobilisables .....	5
III.	LE PROJET .....	7
IV.	ETAT DES RISQUES CONNUS .....	8
A.	EPA-CLPA .....	8
B.	Etat actuel des protections .....	10
C.	Précédentes analyses .....	12
D.	Plan de Prévention des Risques [4] .....	15
V.	DESCRIPTION DU SITE .....	17
VI.	SCENARIOS DE REFERENCE ET QUANTIFICATION DES PHENOMENES .....	19
A.	Scénarios de référence .....	19
B.	Modélisation des avalanches coulantes : RAMMS .....	19
C.	Modélisation des avalanches aérosols : RAMMS ::Extended .....	20
D.	Résultats bruts .....	21
VII.	CONCLUSIONS .....	24

# I. INTRODUCTION

Plus de trente ans après la construction des dernières résidences, le projet des Chalets d’Artouste inclut la construction d’une vingtaine de chalets à Fabrèges dans les pentes juste à l’amont des bâtiments existants (Figure 2 & Figure 1).

Or, ce secteur est potentiellement dans la zone d’arrivée de l’avalanche de Pan d’Aulière : il s’agit donc ici d’actualiser l’état des risques correspondant pour le cas échéant, proposer les prescriptions nécessaires à l’adéquation du projet avec ce diagnostic avalancheux.



Figure 1 – Plan masse du projet “Les Chalets d’Artouste” [1] (nouveaux chalets sur les parcelles entourées en rouge)

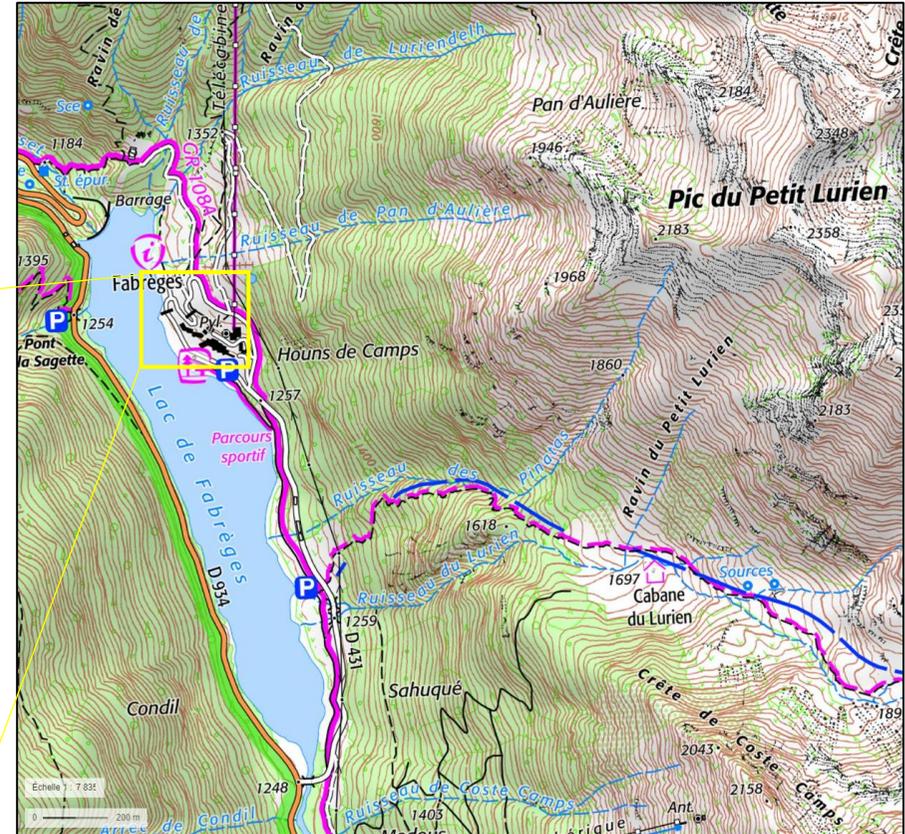


Figure 2 – Plan de situation (source IGN – Géoportail)

## II. CONTEXTE NIVO-METEO

### A. CLIMATOLOGIE & MANTEAU NEIGEUX DE REFERENCE

Le site d’étude est situé dans le massif météorologique d’Aspe-Ossau [3]. Ce massif, situé très à l’ouest au sein de la chaîne des Pyrénées, n’est séparé de l’océan Atlantique que par le Pays-Basque, massif aux altitudes sensiblement moins élevées. Il est par conséquent l’un des massifs les plus exposés aux vents et perturbations atlantiques et reçoit ainsi, à égalité avec le massif Pays Basque, les précipitations les plus importantes des Pyrénées : environ 1700 mm par an. L’enneigement est, à altitude égale, le plus abondant des Pyrénées, malgré une atmosphère souvent ventée, et parfois trop douce.

Les précipitations les plus importantes se produisent dans la très grande majorité des cas par flux de nord-ouest, d’ouest ou de sud-ouest :

- Flux de nord-ouest : bon nombre de chutes de neige se produisent par ce type de flux car il combine précipitations abondantes et températures relativement froides (mais de manière un peu moins favorable pour la crête frontière par rapport aux Piémonts).

- Flux d’ouest : les précipitations sont aussi abondantes, mais sont plus inégalement réparties, avec une différence également marquée entre piémont et crête frontière ; elles se produisent également dans une atmosphère plus douce, donc avec une limite pluie-neige moins basse que par flux de nord-ouest.
- Flux de sud-ouest perturbé : la crête frontière est fortement arrosée, tandis que le piémont, sous effet de fœhn, voit la neige fondre.

Parmi les épisodes hivernaux remarquables, on retiendra notamment fin janvier – début février 1986 avec des conditions nivologiques importantes et généralisées jusqu’à basse altitude mais aussi 2 à 3m de neige vers 1700m : L’avalanche de Pan d’Aulière (n°5) se produit et dépose des branchages jusqu’au milieu du lac gelé.

### B. EPAISSEURS MOBILISABLES

En vue d’analyses quantitatives des phénomènes et en partant de l’hypothèse qu’une avalanche d’une période de retour donnée est elle-même issue de l’épaisseur mobilisable correspondante<sup>1</sup>, il s’agit donc d’estimer ces épaisseurs mobilisables à partir de l’analyse statistique des précipitations.

Il faut cependant signaler l’aspect délicat (mais en même temps incontournable) de ce genre d’estimations :

- Les séries de données disponibles sont courtes (quelques décennies au mieux) et il est donc hasardeux de faire des extrapolations à (trop) long terme. Par ailleurs, les valeurs erronées ou manquantes ne sont pas rares dans les séries de données brutes (défaillance des appareils de mesure, impossibilité d’accéder).

---

<sup>1</sup> Burkard A., Salm B., Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit do zur Berechnung von Fliesslawinen/Estimation de l’épaisseur moyenne de

déclenchement do pour le calcul des avalanches coulantes, rapport interne n°668, IFENA, Davos 1992

- Les méthodes statistiques comportent toutes leurs biais et les valeurs des précipitations extrêmes sont définies avec une certaine imprécision (écarts possibles jusqu’à 75%).
- D’autres influences (transport de neige par le vent) peuvent contribuer de manière non négligeable aux épaisseurs présentes.

Il convient donc de garder une attitude prudente sur cette démarche en restant capable d’évaluer la vraisemblance des résultats et/ou le cas échéant d’en tester la sensibilité. Ici, la méthode IFENA 1992 fait toujours référence pour structurer la démarche. En termes de données, le CEMAGREF (désormais INRAe) a réalisé, en 2006-2007, une étude pour de nombreux postes du réseau pluviométrique de Météo-France et permettant de disposer de données « officielles » (disponibles sur [www.avalanches.fr](http://www.avalanches.fr)). La variable restituée est la hauteur des précipitations hivernales (sur la période du 15 novembre au 15 mai) exprimée en mm d’eau, cumulée sur 1 à 3 jours et pour des temps de retour de 2 à 100 ans. Ces lames d’eau sont à convertir en équivalent neigeux considérant une densité communément admise de 125 kg/m<sup>3</sup> pendant la chute. Le cas échéant, ces valeurs peuvent également être extrapolées jusqu’au tri-centennal en majorant le trentennal de 40% (en moyenne).

Une fois ces valeurs liées aux périodes de retour obtenues pour le site de mesure et sur un terrain plat, il convient donc de les corriger :

- Tout d’abord en intégrant le tassement naturel : pour 3 jours, une valeur conservatrice de 15% peut être admise, supposée indépendante de l’altitude. Le tassement est considéré négligeable en 24 heures et de 10% en 48 heures.
- En extrapolant les valeurs à l’altitude des zones de départ. Pour 3 jours, on trouve dans la littérature des valeurs de gradients nivométriques entre 3 et 7cm pour 100m. Faute de données plus précises, une valeur moyenne de 2cm/100m/jour est admise.
- Ensuite, en majorant le cas échéant à dire d’expert les valeurs pour tenir compte de la contribution (positive ou négative) du transport de neige par le vent.

Enfin, en tenant compte de la déclivité : jusqu’à 28° (valeur limite en-deçà de laquelle la stabilité du manteau est considérée comme acquise sauf exception), la conversion hauteur / épaisseur est triviale par application du Cosinus. Au-delà, la stabilité décroît avec une augmentation de la pente. Autrement dit, les accumulations mobilisables vont avoir de plus en plus de difficultés à se “construire” au cours de l’épisode de chute jusqu’à être considérées comme régulièrement purgées au-delà de 55°. La méthode évalue ainsi un facteur de pente selon les valeurs du tableau suivant qui est appliqué à l’épaisseur “stable” à 28°.

Au final, on obtient donc par périodes de retour, l’épaisseur  $d_0$  mobilisable en moyenne sur toute la surface potentielle de déclenchement (en notant qu’elle ne correspond pas en général à l’épaisseur moyenne mesurée le long de la ligne de rupture et qui peut être plus importante/spectaculaire).

$\varphi$	28	30	32.5	35	37.5	40	45	50
$f(\varphi)$	1	0.9	0.79	0.71	0.65	0.6	0.52	0.46

Tableau 1: Valeur du facteur de pentes en fonction de la déclivité ( $\psi$  en degrés <sup>2</sup>)

Ainsi ici à partir de la station Météo-France la plus proche de Laruns (réf. : 64320001 altitude : 1142 m), on obtient finalement les épaisseurs mobilisables par périodes de retour correspondantes. Elles sont déclinées par zone de départ selon ses caractéristiques (altitude et déclivité moyennes). Par exemple, le tableau ci-après fournit les valeurs pour 2000m et 35° :

		PERIODE DE RETOUR			
		10 ans	30 ans	100 ans	300 ans
Epaisseurs mobilisables	1 j	45 cm	49 cm	52 cm	68 cm
	2 j	68 cm	77 cm	86 cm	107 cm
	3 j	84 cm	97 cm	112 cm	135 cm

Tableau 2: Extrapolation à la zone du projet des épaisseurs de neige mobilisables à partir des données Météo France les plus représentatives pour une altitude de 2000 m et des pentes à 35°

### III. LE PROJET

Comme indiqué en introduction, le projet consiste donc en la création d’un lotissement d’une vingtaine de chalets selon 3 types de base (Figure 4) répartis comme indiqué sur la figure suivante. Les plus au nord-(ouest) sont à la limite bleue du PPR (cf. plus loin).



Figure 3 – Calage du projet [1] sur fond orthophoto avec limite de la zone bleue PPR et répartition des chalets projetés par numéro et type : B=Bergerie, G=Cîte, R=Refuge (Figure 4)

Ces trois types sont illustrés ci-dessous avec bien sûr les adaptations de niveau liées à leur position topographique et par rapport à la distribution des accès.

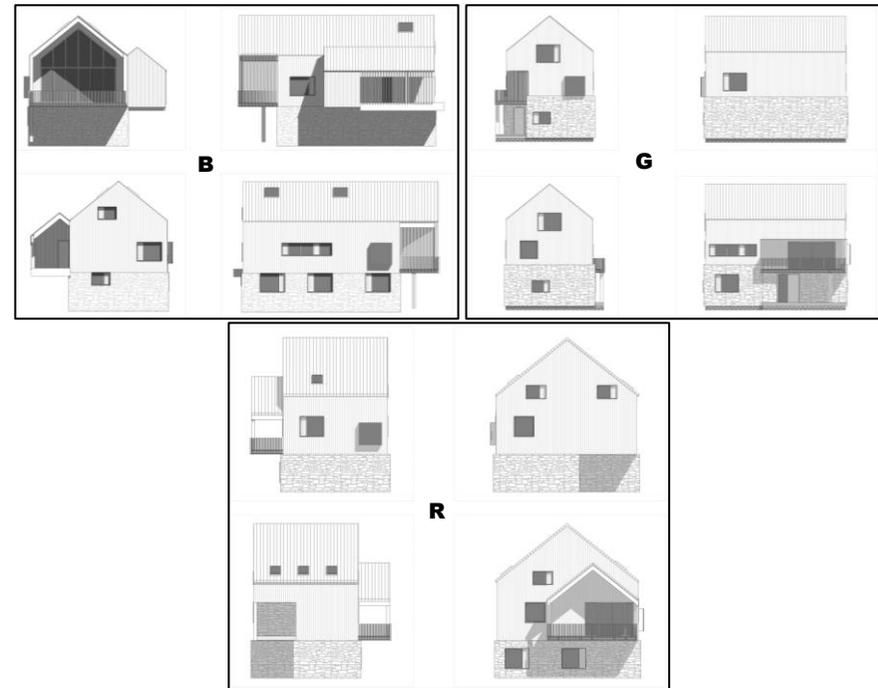


Figure 4 – Façade des chalets-types [1] : Bergerie = B (en haut à gauche), Gîte = G (en haut à droite), Refuge = R (en bas)

## IV. ETAT DES RISQUES CONNUS

### A. EPA-CLPA

L'avalanche de Pan d'Aulière, identifiée dans [3] au titre des sites remarquables est bien sûr reprise sur la Carte de Localisation des Phénomènes Avalancheux (CLPA), sous le numéro 5 dont on peut voir ci-contre l'emprise sur les versions successives de la carte : Hormis la restitution purement graphique et l'adjonction progressive des protections, on ne détecte pas d'évolution majeure des tracés au cours du temps.

A ce titre, il faut bien rappeler la caractéristique de la CLPA qui est un inventaire "cumulé" des plus grandes limites connues, soit témoignées (en magenta) soit photo-interprétées (en orange) : ici en plus de la trajectoire rectiligne jusqu'au lac, le possible déversement en rive gauche aval est plausible historiquement vu la topographie typiquement convexe d'un cône de déjection. En revanche, ce déversement dépend désormais clairement de l'efficacité de la digue (Cf. paragraphe suivant) qui a bien été ajoutée sur la carte mais qui par principe, n'efface pas l'historique cartographié. Un des enjeux ici est donc bien d'évaluer le risque résiduel dans la configuration actuelle.

D'ailleurs, la fiche signalétique correspondante stipule bien que l'avalanche "traverse le lac" et rapporte aussi "Le témoin a vu l'avalanche plusieurs fois sous différentes conditions. Selon lui, l'avalanche n'a jamais atteint le lac en condition de neige lourde et humide. Dans ce cas, des gros dépôts se sont formés et ils ont pu atteindre 10 mètres au maximum. Le culot de neige était resté au-dessus de la piste forestière et les digues paravalanches avaient bien fonctionné. Le témoin a vu l'avalanche plus importante en neige froide. En février 1986, elle est arrivée jusqu'au milieu du lac. L'avalanche n'avait alors pas touché le village. Le [un autre] témoin a vu l'avalanche dépasser la piste forestière mais elle s'est arrêtée avant d'atteindre le lac".

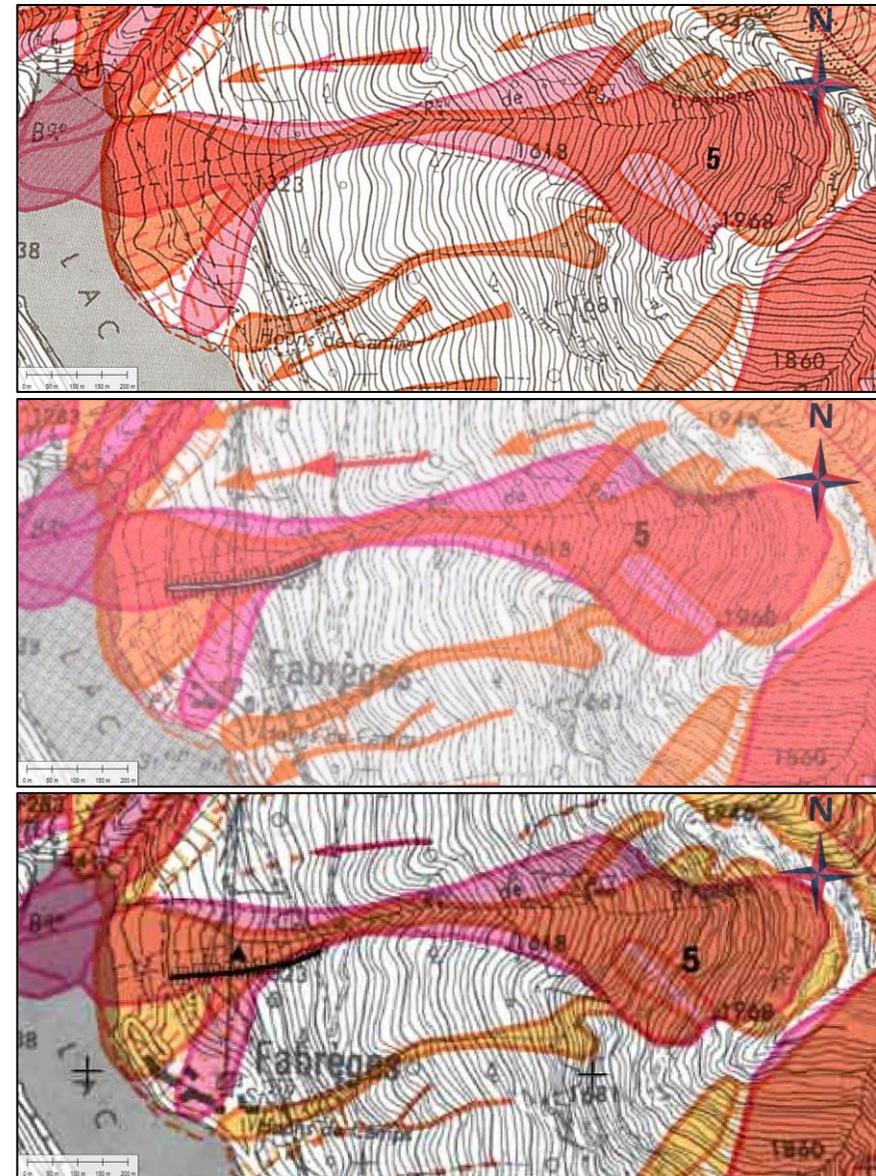


Figure 5 – Extrait des différentes éditions de la CLPA : 1974, 1993, actuelle

En parallèle, le site est également suivi dans le cadre de l’Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA) sous le n° 15 avec plus d’une soixantaine d’événements recensés. Si ce recensement ne commence qu’en 1970, il fournit une vision plus nuancée des zones d’arrivée (Figure 6): ainsi et à la précision près de ces relevés (parfois largement arrondis), l’atteinte de l’altitude du lac (1240m) représente moins de 10% des cas (mais 1986 n’est pas indiqué) alors que la sortie de l’étroiture du couloir (vers 1430m au niveau de la traversée la plus amont de la route forestière) est atteinte dans 58% des cas.

Surtout, la partie inférieure de la digue (sous 1280m) n’est atteinte que 12 fois soit 18% des cas, ce qui relativise déjà l’exposition du projet, sous cette même altitude mais bien sûr décalé en dehors du chenal principal.

A noter également que d’après ces sources, les bâtiments actuels n’ont jamais été touchés.

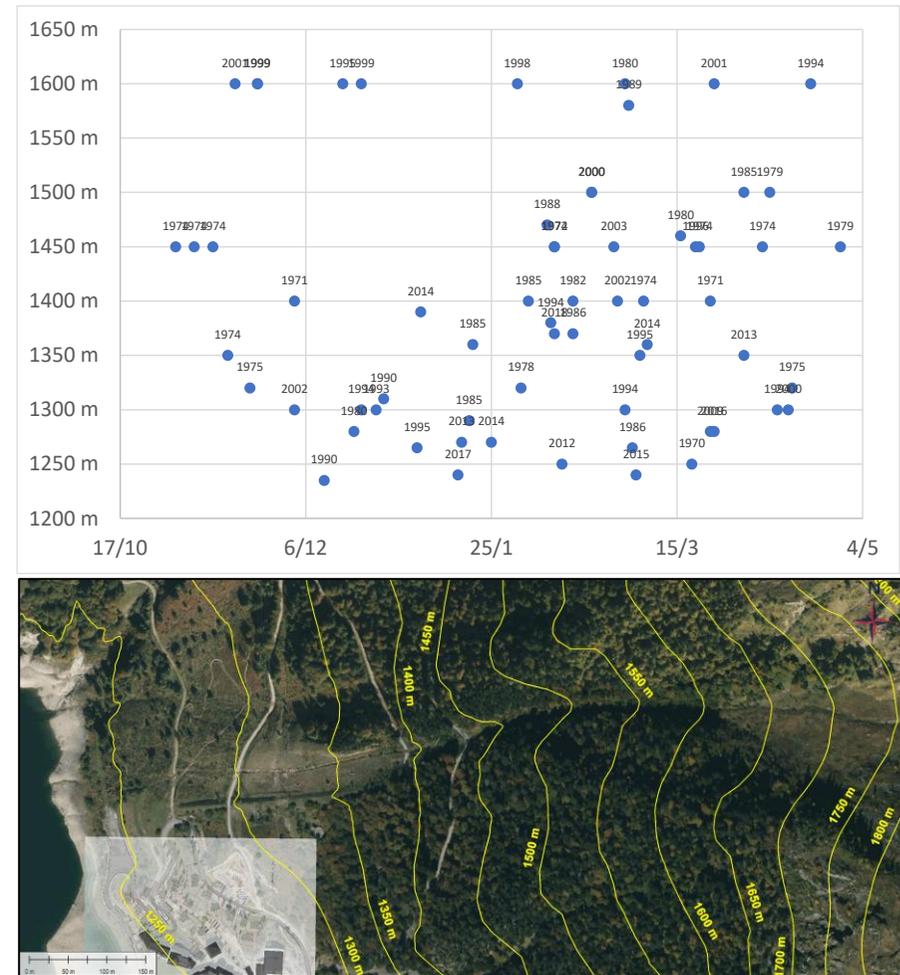


Figure 6 – Cote d’arrêt selon les données EPA [3] par rapport à la date saisonnière et repères sur le terrain par rapport au données LIDAR [2]

## B. ETAT ACTUEL DES PROTECTIONS

Comme figuré sur la dernière version de la CLPA (Figure 5), le site est “équipé” à la fois d’une étrave mais qui n’est que la protection ponctuelle d’un des pylônes de la télécabine (Figure 7) sans influence sur la trajectoire générale des phénomènes et surtout d’une digue en prolongement rive gauche de la trajectoire rectiligne de l’avalanche de Pan d’Aulière.



Figure 7 – Vue de l’étrave au niveau du pylône de la télécabine d’Artouste le plus proche de la trajectoire de l’avalanche de Pan d’Aulière (source : [www.remontees-mecaniques.net](http://www.remontees-mecaniques.net)) – au fond vue de la digue

Cette digue a connu plusieurs évolutions avec une première version “courte” (Figure 8) réalisée en même temps que la télécabine (construite en 1982, pour rationaliser l’accès au domaine skiable, jusque-là limité par les capacités du téléphérique “industriel” du site hydroélectrique). Par rapport à la connaissance du déversement possible indiqué sur la CLPA, cet ouvrage sera allongé dans les années suivantes notamment avec l’érection des bâtiments (Figure 9) puis le chenal d’écoulement sera terrassé à la fin des années 1990 [6] pour obtenir la configuration actuelle.



Figure 8 – Vue de la première version “courte” de la digue directement à la sortie de l’étranglement du couloir en septembre 1983 (source Géoportail “remonter le temps”)



Figure 9 – Vue du site en juillet 1989 y compris les résidences actuelles (source Géoportail “remonter le temps”)

Aujourd’hui et grâce au relevé LIDAR [2], l’ensemble digue – “chenal” d’écoulement présente la géométrie ci-contre avec donc une élévation en rive gauche en moyenne de 5m ±2m. Les pentes (Figure 10) sont quand même soutenues, de l’ordre de 25° longitudinalement s’amenuisant progressivement vers l’aval jusqu’à un peu moins de 20°. La pente des parements est entre 30 et 35° sans dispositif de raidissement supplémentaire. Le chenal a également été terrassé transversalement pour gommer la convexité naturelle initiale.

D’après l’analyse de vulnérabilité du PER [5] en 1989, “depuis [la] réalisation [assez récente de la digue], cet ouvrage a rempli son rôle par rapport aux avalanches habituelles à cet endroit. Cependant deux points négatifs ont été relevés :

- 1) Une hauteur insuffisante en certains points, notamment vers l’aval de l’ouvrage. La digue ne dépasse que rarement 5-6m de hauteur, des valeurs comprises entre 3 et 4m étant représentatives
- 2) L’ouvrage a globalement la même orientation que la génératrice du cône de déjection, N.265°, et converge vers cet axe au lieu d’en diverger afin d’accompagner et non de bloquer les avalanches. [ ].

Le tracé actuel de la digue rend souhaitable un rehaussement, d’amont en aval, de la hauteur de la digue jusqu’à un maximum de 10m”.

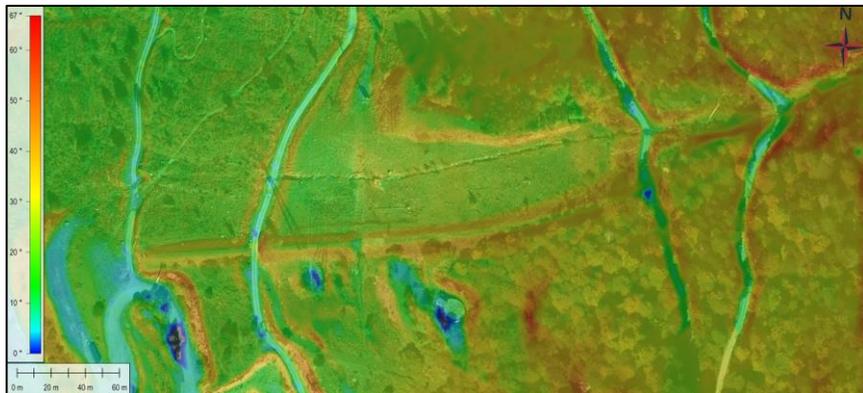


Figure 10 – Carte des pentes dans la zone de la digue et du chenal d’écoulement d’après le relevé LIDAR [2]

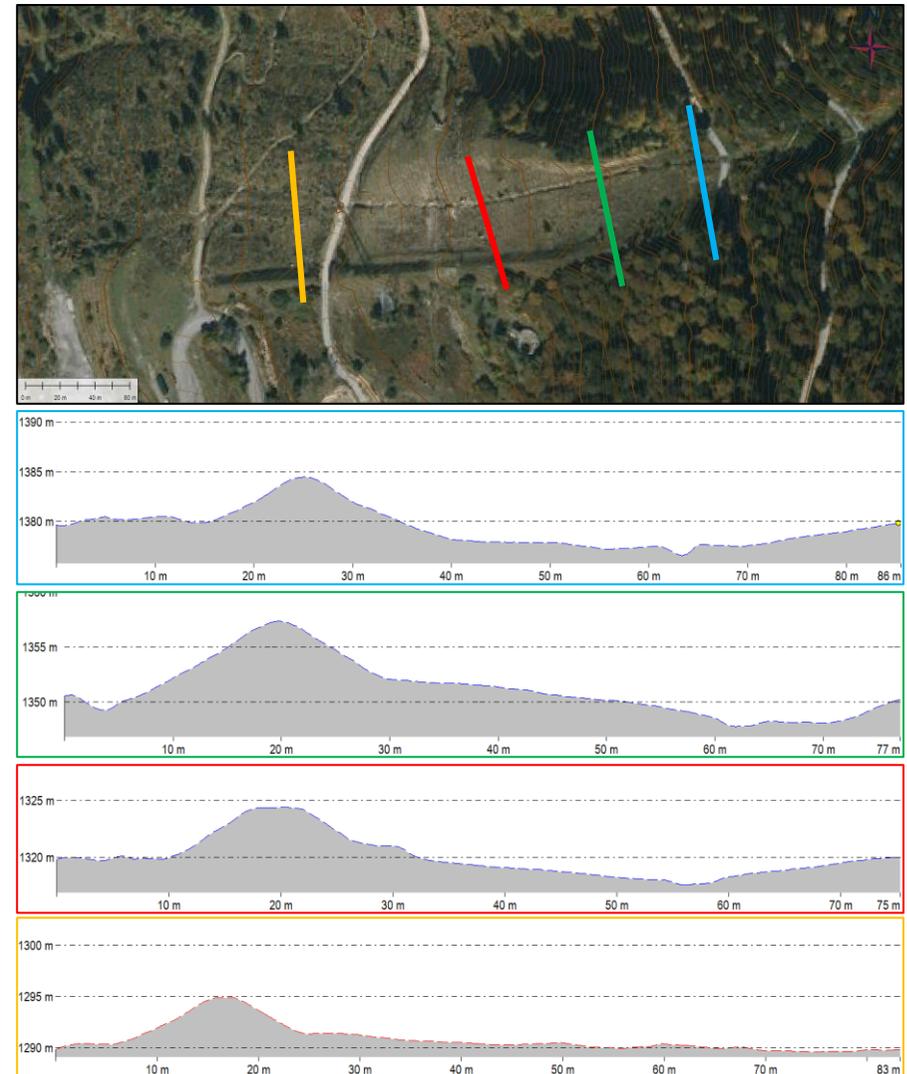


Figure 11 – Topographie de la digue et du chenal d’écoulement y compris différents profils en travers (par couleur)

## C. PRECEDENTES ANALYSES

Ce site a déjà donné lieu à plusieurs études, initialement en lien avec la création de la télécabine. A ce titre en 1984 alors que la première partie de la digue est réalisée (Figure 8), le Cemagref indique dans ce cadre : *“Destinée à rejeter les avalanches sur le secteur droit du cône de déjection, [la digue] doit impérativement prolonger la rive gauche du torrent – chenal d’écoulement – sans discontinuité. Ce n’est pas le cas actuellement et il n’est pas exclu qu’une part importante de l’avalanche puisse un jour s’engouffrer dans le thalweg formé par le bord gauche du cône de déjection et le versant en direction de la gare de départ”* et préconise des travaux complémentaires.

En 1985, les travaux complémentaires demandés ont été réalisés (Figure 9) et la sous-commission chargée du contrôle des ouvrages de protection considère que *“l’ouvrage [la digue] dans son état actuel assure la protection de la future ZAC”*.

Dans ces conditions, le PZEA établi alors par le Cemagref sous réserve de *“l’existence d’une digue “efficace” à la sortie du couloir du Pan d’Aulière”* classe en blanc (aléa nul ou négligeable) les terrains situés derrière la digue

Cependant en 1988 (étude Géodes), le règlement du PER [5] recommande à nouveau l’amélioration de la digue (accroissement de la hauteur jusqu’à un maximum de 10m...). Seul le reprofilage du chenal d’écoulement sera réalisé à la fin des années 1990 en lien avec [6] :



Figure 12 – Traces du terrassement du chenal d’écoulement à la fin des années 1990 (source : Géoportail, remonter le temps)

En parallèle, le PER revient sur la notion d’aérosol qui n’était pas prise en compte jusque-là (mais est pourtant bien mentionnée dans la chronique notamment EPA) et introduit une zone bleue dans le même secteur que celui du projet, subdivisée entre une partie amont avec des prescriptions correspondant à une avalanche *“mixte”* (20 kPa sur 4m et 10 kPa au-dessus) se poursuivant par une zone avec seulement l’aérosol à l’aval (10 kPa toute hauteur). On notera cependant une valeur de pression aérienne particulièrement élevée, sûrement due à l’état des connaissances à l’époque.

A ce sujet, le RTM constate dans sa synthèse de 1999 [7] :

- *“Nous ne trouvons pas dans le peuplement forestier bordant le couloir de traces d’aérosols importants alors que des traces sont bien visibles sur des couloirs voisins*
- *Compte-tenu des classes définies dans l’EPA réalisée par les forestiers, presque toutes les avalanches de neige fraîche et pulvérulente sont qualifiées de poudreuse sans pour autant correspondre à de gros aérosols destructeurs*
- *Un aérosol important sur ce couloir, s’il est possible, ne peut être que très rare*
- *Il nous paraît néanmoins difficile d’écarter définitivement cette hypothèse”*

Aujourd’hui, le PPR en vigueur [4] reste cohérent avec ces conclusions (cf. partie suivante). Dans la synthèse précitée [7], le service RTM indiquait également à propos de la digue :

- *“Depuis 1985, plusieurs avalanches sont arrivées sur ce site et n’ont pas débordé ce dispositif. Néanmoins le dépôt de l’avalanche de décembre 1993 a été important et a atteint le sommet de la digue*
- *Plusieurs avalanches peuvent arriver durant le même hiver et c’est donc en tenant compte d’avalanches successives qu’il faut aussi analyser les risques de débordement. Dans cette hypothèse, le cas le plus défavorable est celui*

*d'un culot arrêté à la première rupture de pente (sommet du cône de déjection) et d'une avalanche ultérieure obligée de passer par-dessus ou à côté du culot. Si le culot initial est assez important, le débordement de la deuxième avalanche par-dessus la digue apparaît facile. Il faut toutefois noter que lors de l'hiver 1993-94, 4 avalanches se sont produites sans que ce scénario ne se confirme"*

La dernière salve d'études [8] est liée à un projet d'urbanisation de type résidences dans les années 2000, exactement sur le site du projet actuel des Chalets d'Artouste [1]. Les documents correspondants restituent des témoignages plus détaillés, notamment celui de René Haget, alors directeur de la station d'Artouste, ancien chef des pistes, qui a commencé à travailler à la station dans les années 70 : *"L'avalanche descend après chaque grosse chute de neige. Elle part plutôt en plaques, et essentiellement en rive gauche, plus rarement au centre et presque jamais en rive droite, trop raide et trop rocheuse. L'écoulement s'arrête généralement sur la route qui monte à La Sagette, avant le sommet du cône de déjection, bien avant la télécabine. Une fois cependant (sans doute le 11 décembre 1990 d'après l'E.P.A.), l'avalanche est allée jusqu'au milieu du lac. Une autre fois, elle a déposé tellement de neige sous la télécabine, que les cabines passaient à 20 cm du dépôt: il a fallu déblayer la neige pour les faire passer. Initialement, le pylône électrique d'angle était plus petit et placé plus au centre de l'avalanche. Il fut détruit par une avalanche vers 1976, puis reconstruit à son emplacement actuel. Il n'a plus subi de dommage, malgré la digue. La télécabine a été construite durant l'été 1982 et la digue un ou deux ans plus tard. Les pylônes (P4 à l'aval de la digue et P5 avec une étrave) n'ont jamais été touchés par une avalanche, ni même "crépis" par les avalanches poudreuses. Il y a quelques années, on a pu voir les traces d'une avalanche poudreuse arrivée au milieu du lac gelé (branchages, etc ...). Elle était restée dans l'axe et ne s'était que peu élargie sur le cône. La trace sur le lac n'atteignait pas 70 m de largeur. Personne n'a vu descendre l'aérosol car c'était la nuit"*.

Là encore, ces analyses [8] concluaient à la nécessité de reprendre le dispositif de protection par :

- *"Rehaussement de la digue : si l'étude géotechnique le permet, la digue en rive gauche sera relevée avec les matériaux extraits sur l'autre rive ou dans la pente d'écoulement. [] Il serait dommage de se priver de ce renforcement s'il est réalisable, mais ce n'est pas l'ouvrage le plus important.*
- *Remodelage du cône de déjection : l'objectif serait de prolonger le terrassement réalisé par le RTM en 1999 jusqu'au bord droit du cône de déjection []. Le chenal s'élargirait ainsi de 50 m en amont à 150 m à l'aval []. Mais la partie la plus importante à traiter se situe encore en amont de la télécabine.*
- *Plage de dépôt : les matériaux en surplus seront déposés au pied de la pente pour former une plate-forme la plus large possible pour finir d'arrêter l'avalanche et la stocker [].*
- *Tourne-étrave du pylône 5 : en enlevant la butte élevée en rive droite lors de l'aménagement de la digue en 99, le pylône 5 se retrouve de nouveau exposé comme initialement (durant 18 ans). Il serait cependant assez facile de terrasser une protection en forme de tourne renvoyant l'avalanche vers la rive droite [].*
- *Lissage de la rive droite du couloir : le bas du couloir renvoie l'avalanche vers la rive gauche (c'est-à-dire la digue et les bâtiments). Il est trop tard pour ouvrir un canal dans l'axe du couloir supérieur (trop de travaux ont déjà été réalisés). En revanche, il est encore possible de gommer quelques proéminences de la rive droite. Juste après la dernière traversée du couloir par la route de la Sagette, on remarque en amont sur la rive droite, un gros rognon rocheux qu'il faudrait araser.*
- *Petite digue amont : les blocs issus du minage précédent permettrait de construire une petite tourne en rive gauche, entre les deux routes, pour éviter tout risque de débordement vers le sud de la digue existante. Mais, en raison de la pente entre les deux routes (65%), cette tourne devrait être en gabions, en maçonnerie ou en pneu-sol par exemple. L'ouvrage ferait 60 m au sol et 4m de haut []."*



## D. PLAN DE PREVENTION DES RISQUES [4]

Finalement, le Plan de Prévention des Risques [4] en vigueur place donc tout le secteur en zone bleue “constructible sous conditions” avec une triple subdivision A22, A23 et A24 (Figure 14). Cette classification fait référence aux fiches

correspondantes qui recourent des points communs (Figure 15) et des points spécifiques (Figure 16). Ces derniers sont notamment liés à la gradation et au type (coulant, aérosol) de phénomène.

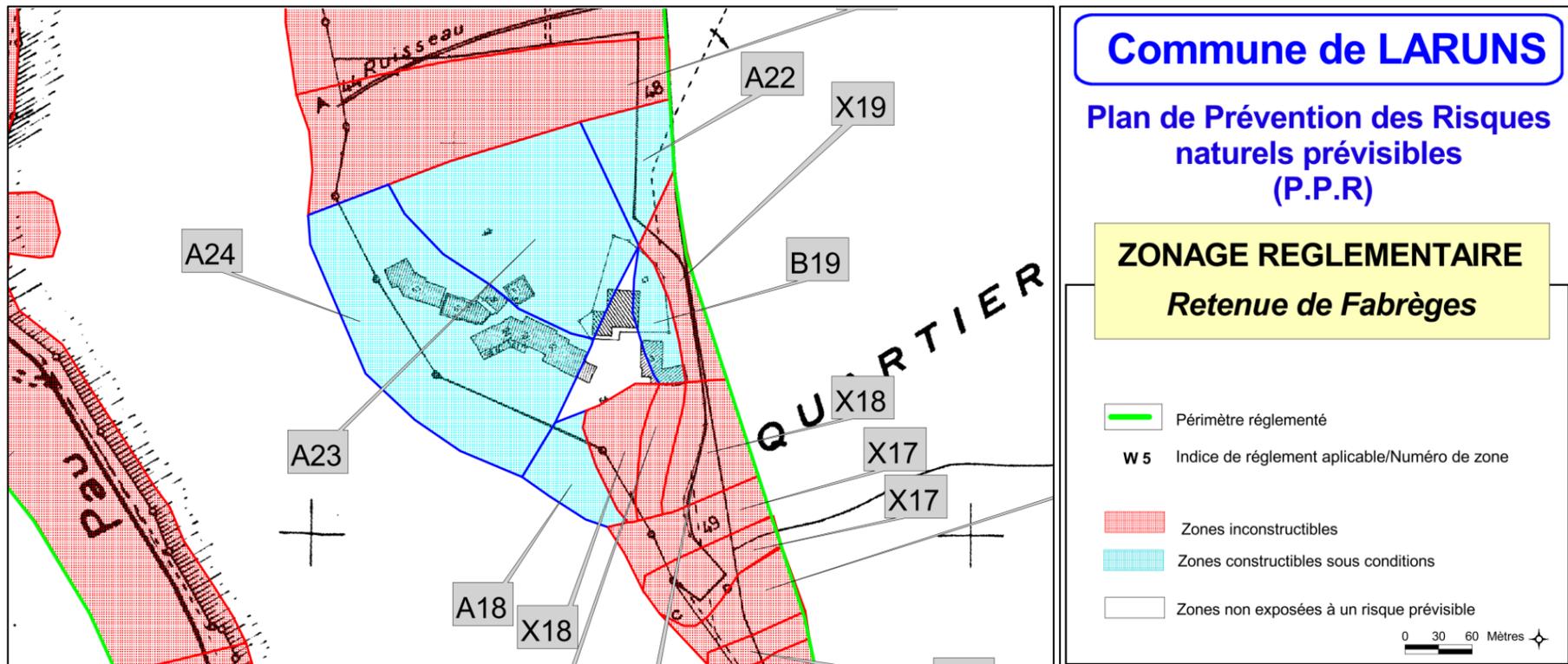


Figure 14 – Carte réglementaire du PPR dans le secteur de Fabrèges [4]

Une première analyse de ces éléments montre :

- Tout d’abord, que le PPR n’est pas à jour des derniers éléments de doctrine<sup>2</sup>, en particulier concernant la prise en compte des Avalanches de Référence Exceptionnelle (ARE<sup>3</sup>) même si elles n’influencent a priori pas le type de projet prévu ici.
- Paradoxalement, que les fiches spécifiques aux zones A22, A23, A24, ne mentionnent pas la possibilité d’une étude particulière (en considérant sûrement que [8] constituait cette étude) contrairement à d’autres qui stipulent *“Pour toute construction, une étude préalable définira les conditions particulières permettant d’adapter le projet au site (détermination des contraintes que l’avalanche de référence -avalanche centennale ou plus forte avalanche connue par le passé- peut exercer sur le projet, implantation précise, ...)”*
- Or, [8] est une étude à dire d’expert, certes fouillée mais ancienne et qui à ce titre ne bénéficie pas des derniers développements désormais disponibles (et mis en œuvre dans la suite) notamment pour la prise en compte effective de l’effet de la digue ou quant à la pression d’un aérosol (10 kPa s’avérant particulièrement élevé par rapport aux référentiels actuels : 3kPa par exemple dans <sup>2</sup>). Dans l’historique présenté précédemment, on peut d’ailleurs voir que le site a fait l’objet d’interprétations éventuellement différentes au cours du temps.

Ainsi, il paraît donc important de reprendre l’analyse selon la doctrine et les approches actuelles pour garantir une définition et une prise en compte cohérentes des risques.

<sup>2</sup> Ministère de l’Ecologie, du Développement durable et de l’Energie, Guide méthodologique, Plan de Prévention des risques naturels, Avalanches, 2015

<sup>3</sup> Direction Générale de la Prévention des Risques, Note Méthodologique,

<b>1 Occupations et utilisations du sol</b>
1-2 Le stockage de produits polluants ou dangereux n’est autorisé qu’à l’abri d’enceintes résistant aux efforts annoncés
<b>3 Etablissements recevant du public du 1er groupe</b>
3-1 Pour les bâtiments et leurs annexes ou abords, une étude de risque définira les conditions de mise en sécurité des occupants et usagers, et, s’il s’agit d’un service public lié à la sécurité, les modalités de continuité de celui-ci.
3-2 Réalisation des protections définies par l’étude.
3-3 Application des mesures définies par l’étude.
<b>4 Mesures de prévention, de protection ou de sauvegarde</b>
4.1 Pour ce site, un plan d’information, de surveillance et d’alerte sera élaboré et tenu à jour, afin : 1 - de permettre de déceler les conditions nivométrologiques susceptibles de générer des avalanches d’ampleur exceptionnelle (personnes chargées du suivi, moyens mis à leur disposition, critères d’alerte, ...) 2 - de définir les mesures de police appropriées pour les parcelles correspondantes (restrictions de circulation ou de stationnement, évacuations, ...) 3 - d’assurer l’information préventive des résidents sur ces mesures
4.2 La digue de protection de Pan d’Aulière sera entretenue et maintenue en état de fonctionnement ; chaque dépôt de neige pouvant favoriser des débordements d’avalanches par dessus la digue sera réglé dans les meilleurs délais
<b>5 Camping / Caravanage</b>
5-1 Interdit du 1er novembre au 1er juin

Figure 15 – Points règlementaires du PPR communs aux zones A22, A23 et A24 [4]

Prescriptions		Recommandations		Zone Bleue indicée A	
Programme d’affichage	Modalités de construction	Autres règles	Recommandations	Avalanche du Pan d’Aulière - CLPA n°5 / EPA n°15 Règlement applicable à la zone n°22	
X				3	Constructions
				3.1	L’implantation, la forme et l’orientation des bâtiments ne doivent pas aggraver les risques pour les propriétés voisines. Les regroupements de bâtiments se protégeant mutuellement et protégeant les zones de circulation ou de stationnement seront privilégiés.
X				3.2	Les accès seront aménagés sur les façades situées à l’opposé de l’avalanche.
	X			3.3	Les façades directement exposées ne doivent pas avoir de rebords ou d’angles rentrant pouvant augmenter localement les surpressions.
		X		3.4	Sur toute leur hauteur, les façades et toitures directement exposées (y compris leurs ouvertures) doivent résister à des surpressions ou à des dépressions de 30 kPa (~30m <sup>2</sup> ), dirigées dans le sens d’exposition moyen de l’avalanche.
		X		3.5	Sur toute leur hauteur, les autres façades et toitures (y compris leurs ouvertures) doivent résister à des surpressions ou à des dépressions de 10 kPa (~ 1 km <sup>2</sup> )
		X		3.6	Les débords de toitures, s’ils ne peuvent être supprimés sur les façades latérales ou directement exposées, seront soit “habillés” (isolés du reste de la toiture par une ligne de rupture ménagée au droit des façades), soit de préférence renforcés pour rés.
			X	3.7	Les regroupements de bâtiments se protégeant mutuellement et protégeant les zones de circulation ou de stationnement seront privilégiés.
Prescriptions		Recommandations		Zone Bleue indicée A	
Programme d’affichage	Modalités de construction	Autres règles	Recommandations	Avalanche du Pan d’Aulière - CLPA n°5 / EPA n°15 Règlement applicable à la zone n°23	
X				3	Constructions
				3.1	L’implantation, la forme et l’orientation des bâtiments ne doivent pas aggraver les risques pour les propriétés voisines. Les regroupements de bâtiments se protégeant mutuellement et protégeant les zones de circulation ou de stationnement seront privilégiés.
X				3.2	Les entrées seront aménagées sur les façades situées à l’opposé de l’avalanche ; en cas d’impossibilité, au moins un accès sera protégé par un mur ou un sas couvert (porche), résistant comme la façade de même exposition.
	X			3.3	Les façades et toitures directement exposées (y compris leurs ouvertures) doivent prendre en compte les deux cas suivants : soit une pression dynamique de 30 kPa (~30m <sup>2</sup> ) jusqu’à 4 m, soit une “pression-dépression” de 12 kPa sur toute leur hauteur, l’une
		X		3.4	Les façades latérales (parallèles à la direction de l’avalanche à + ou - 20°), y compris leurs ouvertures, doivent résister à une surpression-dépression de 6 kPa jusqu’à 4 m et 3 kPa au-dessus.
		X		3.5	Les débords de toitures, s’ils ne peuvent être supprimés sur les façades latérales ou directement exposées, seront soit “habillés” (isolés du reste de la toiture par une ligne de rupture ménagée au droit des façades), soit de préférence renforcés pour rés.
		X		3.6	Les éventuels ballons, en façades latérales ou directement exposées, ne peuvent pas être fusibles ; ils seront renforcés pour résister à la pression accrosionnelle de 10 kPa.
			X	3.7	Les façades “abritées” (c’est-à-dire faisant un angle rentrant supérieur à 20° avec la direction la plus défavorable de l’avalanche) doivent résister à une surpression-dépression de 2 kPa sur toute leur hauteur ( y compris leurs ouvertures).
			X	3.8	Les regroupements de bâtiments se protégeant mutuellement et protégeant les zones de circulation ou de stationnement seront privilégiés.
Prescriptions		Recommandations		Zone Bleue indicée A	
Programme d’affichage	Modalités de construction	Autres règles	Recommandations	Avalanche du Pan d’Aulière - CLPA n°5 / EPA n°15 Règlement applicable à la zone bleue n°24	
X				3	Constructions
				3.1	L’implantation, la forme et l’orientation des bâtiments ne doivent pas aggraver les risques pour les propriétés voisines. Les regroupements de bâtiments se protégeant mutuellement et protégeant les zones de circulation ou de stationnement seront privilégiés.
X				3.2	Les entrées seront aménagées sur les façades situées à l’opposé de l’avalanche ; en cas d’impossibilité, au moins un accès sera protégé par un mur ou un sas couvert (porche), résistant comme la façade de même exposition.
	X			3.3	Les façades et toitures directement exposées (sur toute leur hauteur y compris leurs ouvertures) doivent prendre en compte un phénomène dynamique “pression-dépression” de 10 kPa, dirigée dans le sens moyen de l’avalanche.
		X		3.4	Les façades latérales (parallèles à la direction de l’avalanche à + ou - 20°), y compris leurs ouvertures, doivent résister sur toute leur hauteur à une surpression-dépression de 2 kPa.
		X		3.5	Les débords de toitures, s’ils ne peuvent être supprimés sur les façades latérales ou directement exposées, seront soit “habillés” (c’est-à-dire isolés du reste de la toiture par une ligne de rupture ménagée au droit des façades), soit de préférence renforcés.
		X		3.6	Les éventuels ballons, en façades latérales ou directement exposées, ne peuvent pas être fusibles ; ils seront renforcés pour résister à la pression accrosionnelle de 8 kPa (ou à celle indiquée, en fonction du niveau du balcon et de l’orientation).
			X	3.7	Les façades “abritées” (c’est-à-dire faisant un angle rentrant supérieur à 20° avec la direction la plus défavorable de l’avalanche) doivent résister à une surpression-dépression de 2 kPa sur toute leur hauteur ( y compris leurs ouvertures).

Figure 16 – Points règlementaires du PPR spécifiques aux zones A22, A23 et A24 [4]

Qualification et cartographie des avalanches de référence exceptionnelles dans les plans de prévention des risques naturels (PPRN), janvier 2022

## V. DESCRIPTION DU SITE

La zone de départ culmine à 2100m au pied de la barre rocheuse sommitale (l’antécime du Petit Lurien est à 2.183 m - Figure 2) et couvre une quinzaine d’hectares au sol sur une largeur moyenne de 200m. Elle est orientée globalement à l’Ouest mais l’essentiel des zones de départ est orientée Ouest, Nord-Ouest. En effet, le rocher est affleurant sur plus de la moitié de la superficie (rive droite), le reste est couvert de pelouses et d’une végétation arbustive basse. La pente est plutôt prononcée avec de larges zones à 40° (Figure 22).

La partie de couloir débute à 1600m et débouche sur le cône de déjection à environ 1400m (Figure 6). Dans la forêt, le couloir ne fait que 30 à 60m de large et sa pente moyenne est encore de 30°. Le couloir suit une légère courbe qui ramène l’avalanche vers le Sud à la sortie aval.



Figure 17 – Vue du couloir depuis le haut

A ce titre et alors que le LIDAR disponible [2] ne couvre que la partie aval sous 1450m, la couverture RGE alti de l’IGN montre en revanche un décalage majeur de l’axe du couloir (Figure 20) par rapport à la réalité illustrée par l’orthophoto. Cette représentation numérique reviendrait de fait à occulter une grande partie de la problématique en sur-dirigeant de manière trop optimiste l’avalanche vers le nord.

Pour disposer d’un Modèle Numérique de Terrain représentatif et faute de mieux, une grille topographique a donc été combinée et ajustée entre le relevé LIDAR [2] à l’aval, la RGE alti à l’amont et une zone intermédiaire de transition travaillée manuellement au milieu (Figure 21). Cette grille a été assemblée à une résolution de 2m pour disposer d’une représentation suffisante du microrelief (digue y compris) tout en pouvant l’émousser avec un pas de calcul plus important.

Comme évoqué précédemment, la pente du cône à l’aval s’adoucit progressivement jusqu’à moins de 20°. En rive droite, l’avalanche est contenue par un petit bois puis une butte artificielle et s’étale librement après le passage sous la télécabine. En rive gauche l’écoulement est maintenu par la digue. La première photo IGN disponible datant de 1948 (Figure 18) est intéressante au sens où elle montre l’orientation de petits chenaux torrentiels qui restent bien alignés vers l’ouest : le déversement possible d’une avalanche comme le montre la divergence de la CLPA ne pourrait être du qu’au virage induit par la courbe centrale du couloir.



Figure 18 – Vue du couloir et notamment de chenaux d’écoulement torrentiels sur son cône aval sur le premier cliché aérien disponible de l’IGN en 1948 (source Géoportail “remonter le temps”)

Sur les différentes photos historiques disponibles, on ne distingue pas non plus de traces évidentes d’aérosol dans le couvert forestier.

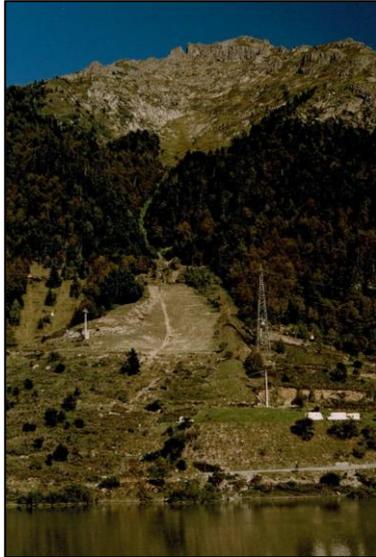


Figure 19 – Vue du couloir de face



Figure 20 – Couverture topographique de la RGE alti avec courbes de niveau native et zone erronée évidente



Figure 21 – Courbes de niveau de la grille topographique combinée (Lidar [2] à l’aval, RGE alti à l’amont, ajustement manuel au centre)

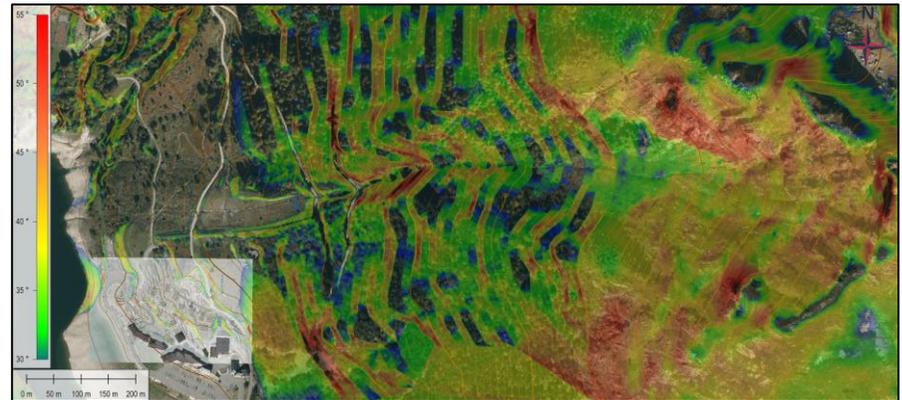


Figure 22 – Carte des pentes issues de la grille topographique combinée modifiée dans la gamme de valeurs propices aux départ d’avalanche (i.e. entre 30 et 55°)

## VI. SCENARIOS DE REFERENCE ET QUANTIFICATION DES PHENOMENES

### A. SCENARIOS DE REFERENCE

Dans le cadre d'un enjeu de type bâtiment non ERP et conformément à la doctrine PPR<sup>2</sup>, le scénario de référence retenu est l'avalanche issue d'un cumul de neige centennal sur 3 jours.

### B. MODELISATION DES AVALANCHES COULANTES : RAMMS

Le scénario précédent est alimenté et interprété en particulier à l'aide du logiciel 2D de référence internationale RAMMS (v 1.8.0 - <http://ramms.slf.ch/ramms/>) de l'Institut Fédéral Suisse d'Etudes des Avalanches à Davos. Ce logiciel reste basé sur le modèle de Voellmy (1955) qui utilise une loi d'écoulement moyennée sur l'épaisseur : La masse de l'avalanche est entraînée par la gravité tout en subissant la résistance au sol d'un frottement combiné de type Coulomb  $\mu$  et visqueux  $\xi$  associé au carré de la vitesse d'écoulement.

Les hypothèses suivantes sont utilisées :

- Jeu complet de paramètres correspondant à la période de retour du scénario considéré : l'ensemble des préconisations quant au choix des paramètres du SLF sont respectées sans ajustement ou modification, en particulier concernant les coefficients de frottement. A noter que s'agissant d'un site Pyrénéen, les valeurs limite d'altitude séparant la table de référence de ces coefficients sont ajustées respectivement à 1700 et 1200m conformément au manuel utilisateur.
- Zones de départ définies de manière experte et exhaustive par combinaison de la pente (entre 30 et 55°, valeur au-delà de laquelle la neige se purge naturellement) et de la courbure (concavité).
- Chacune des zones ainsi définies est affectée d'une épaisseur mobilisable correspondant à son altitude et sa pente moyennes selon le même processus que celui ayant conduit au Tableau 2.

- Densité : 300 kg/m<sup>3</sup>. Cette densité est celle de l'écoulement qui ne correspond pas à celle du manteau neigeux dans la zone de départ.
- Modèle de terrain : comme évoqué, les calculs sont réalisés sur une grille combinée initialement au pas de 2m.

Un des paramètres prépondérants pour ces modélisations est le choix de la catégorie de volume qui va gouverner le comportement de l'avalanche. Ce volume doit s'entendre comme celui qui va "interagir avec lui-même" au sein des lignes d'écoulements et pour cela, Ramms permet le choix entre "tiny" (<5000m<sup>3</sup>=T), "small" (<25000m<sup>3</sup>=S), "medium" (<60000m<sup>3</sup>=M) et "large" (>60000m<sup>3</sup>=L).

A noter que le paramètre de cohésion disponible dans les dernières versions du logiciel est utilisé le cas échéant dans la gamme des neiges froides / sèches (valeur jusqu'à 100Pa) pour privilégier les trajectoires les plus importantes et rapides tout en permettant d'affiner les résultats.

A notre connaissance et par rapport à la revue bibliographique présentée précédemment, ces modélisations seraient les premières réalisées sur le site.

## C. MODELISATION DES AVALANCHES AEROSOLS : RAMMS ::EXTENDED

Par rapport à cette phénoménologie “possible”, l’avancement de la version étendue (désormais 2.7.95) de RAMMS<sup>4</sup> a donné l’opportunité des calculs présentés ci-après, au titre d’une utilisation de testeur en partenariat avec le SLF de Davos. Si cet outil fait encore l’objet de développements, avec donc l’attention correspondante quant aux interprétations et calages, il bénéficie d’un recul de plus en plus important sur de multiples cas et configurations pour pouvoir l’utiliser “pour ce qu’il perçoit du fonctionnement du site étudié”.

Au-delà de la possible prise en compte et restitution des aérosols, cette version étendue (que nous nommerons RAMMS ::aérosol par commodité pour son usage ici mais qui couvre un spectre bien plus large) présente aussi des différences majeures avec la version traditionnelle de RAMMS présentée ci-avant: en particulier, il ne s’agit plus de gérer simplement le glissement d’un volume de neige sur un terrain en affectant l’interface d’un comportement frottant plus ou moins complexe.

En effet, à partir d’une zone de départ définie de manière analogue à précédemment, RAMMS ::aérosol intègre les équations de reprise de neige tout au long de la trajectoire gouvernée par la gravité mais donc aussi par l’interaction avec le manteau neigeux en place, l’évolution du volume et de la densité du core/cœur de l’écoulement et le cas échéant, la mise en suspension dans le nuage aérosol.

D’une part, le phénomène est alimenté au fur et à mesure de sa descente (sans donc avoir à définir des zones de départ additionnelles en cours de route pour “constituer” le volume représentatif total) mais d’autre part, nécessite d’introduire de nouveaux paramètres. Par exemple, la reprise ou la génération d’un aérosol sont très fortement dépendantes de la “qualité” de la neige qui

dépend elle-même (notamment) de la température et de la teneur en eau. Il convient d’ajouter à cela un certain nombre de coefficients de “transfert” entre les différentes phases du phénomène.

A ce stade, le paramétrage des calculs a encore progressé avec désormais la possibilité de choisir une période de retour, elle-même croisée avec le volume mobilisé au départ pour définir les valeurs maximums des coefficients  $\mu$ ,  $\xi$  et de la cohésion C (Figure 23).

Cette évolution simplifie la situation pour pouvoir désormais considérer un processus de référence basé sur la zone de départ (définie de manière analogue à celle de la version classique de RAMMS y compris donc son épaisseur mobilisable, ici par rapport à un cumul de 3 jours centennal selon les mêmes étapes que celles pour l’obtention du tableau 2) et une couche érosive distribuée: à partir d’une valeur à une altitude donnée, le logiciel calcul sa distribution sur le domaine de calcul tenant compte du facteur de pente (tableau 1) et d’un gradient nivométrique (entre 3 et 5cm/100m).

Le dernier paramètre modifiable est la température de la neige représentative à la fois dans la zone de départ puis là aussi redistribuée automatiquement dans la couche érosive en fonction de l’altitude selon un gradient de température entre 0.3 et 0.5° par 100m. Pour les Alpes, le SLF a pu définir quelques grandes valeurs typiques : entre -4° vers 2000m jusqu’à -6° vers 2500m et -7° au-delà de 2600m.

Les autres coefficients sont utilisés tels quels<sup>5</sup>, seul le cloud drag, d’une valeur standard de 4, peut permettre d’ajuster le calcul à une particularité du site (3 pour une falaise induisant une mise en suspension importante, 5 pour une avalanche avec un faible développement aérosol).

---

<sup>4</sup> Bartelt P, Buser O, Vera Valero O and Bühler Y (2016) Configurational energy and the formation of mixed flowing powder snow ice avalanches. Ann. Glaciol., 57(71), 179–187.

<sup>5</sup> P. Bartelt, L. Stoffel, RAMMS Extended input parameters, Draft version 7 juillet 2021

	Return Period			
Release Volume	10Y	30Y	100Y	300Y
< 5'000	A	A	AB	AB
5'000 – 50'000	A	AB	B	B
50'000 – 100'000	AB	B	B	C
> 100'000	B	B	C	D

Parameters	A	B	C	D
Mu ( )	0.55	0.42	0.38	0.32
Xi (m/s <sup>2</sup> )	1800	1900	1900	2000
Cohesion (Pa)	200	100	75	50

Figure 23 – matrice de choix du jeu de paramètres en fonction de la période de retour et du volume (source SLF)

## D. RESULTATS BRUTS

Tout d’abord, le Modèle Numérique de Terrain est modifié pour gommer l’essentiel de la digue. Certes, cela ne restitue pas la convexité initiale mais permet d’approcher le comportement “historique” du site (Figure 24): on retrouve en effet une divergence mais qui d’une part est moins oblique et d’autre part plus en continuité avec la ligne d’écoulement principale.

Or, cette divergence de la CLPA est assez étonnante autant par comparaison avec la trajectoire des chenaux torrentiels “historiques” dirigés vers l’ouest (Figure 18) que par référence à l’angle très prononcé qui est figuré: soit l’avalanche est lente et pourrait éventuellement déverser selon une direction très différente mais encore faudrait il que le terrain corresponde ce qui n’est pas/plus (?) le cas. Soit elle est rapide et ce n’est plus un effet de déversement mais d’orientation par la courbe du couloir plus à l’amont. De tous ces points de vue, le tracé CLPA paraît donc particulièrement pessimiste voire erroné (en termes de direction au moins) au niveau de la zone du projet.

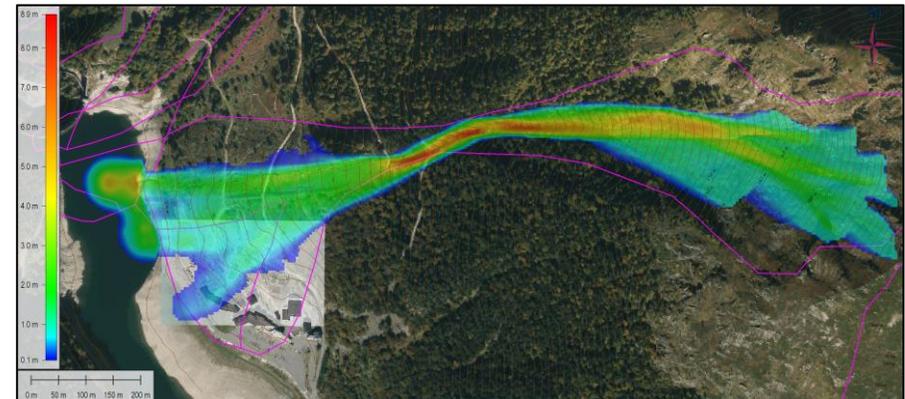


Figure 24 – Résultat brut d’une avalanche dense coulante dans les conditions de référence sur le MNT avec digue gommée – catégorie de volume = Médium, échelle de couleur = hauteur max filtrée à 10cm

Ensuite, les calculs coulants qui suivent sont réalisés en tenant compte de la présence plus ou moins éoussée de la digue (en jouant sur la résolution du modèle de terrain, initialement de 2m et le cas échéant dégradée jusqu’à 10m) tout en notant que RAMMS fournit des résultats plutôt conservatifs vis-à-vis de tels microreliefs.

Dans ces conditions et toujours selon une approche conservative, la catégorie de volume principale est calée initialement par rapport au volume mobilisé soit Médium, sans tenir compte de l’effet de l’étranglement du couloir : l’objectif est de “privilégier” la possibilité de débordement vers le sud et donc vers le projet. En revanche, ce débordement, s’il se produit, représentera un volume moindre qui correspond plutôt à une catégorie de volume Small : les surfaces au sud de la digue se voient donc attribuées les valeurs correspondantes de  $\mu$  et  $\xi$ .

Les résultats obtenus (Figure 25) confirment la tendance à la divergence, notamment par la non-liaison entre le versant et la digue à son extrémité amont. Cependant, cette divergence est bien plus réduite que sans digue (Figure 24) même en éoussant numériquement le relief de l’ouvrage. D’ailleurs, la canalisation majoritaire de la digue conduit aussi à privilégier la trajectoire principale et donc indirectement à l’allonger.

Au final et selon les conditions possibles qui pourraient favoriser ce débordement au niveau de la digue (chenal d’écoulement partiellement rempli par un précédent dépôt, important manteau neigeux au sol même si l’altitude du site reste modeste...) dont on rappelle aussi qu’il ne s’est jamais produit depuis près de 40 ans, seule une partie des parcelles du projet pourrait être touchée mais sans non plus converger avec les sous-limites du PPR [4], encore plus pessimiste.

Pour illustrer cela, un calcul double est réalisé (Figure 26): avalanche dense coulante s’arrêtant dans le chenal d’écoulement (via une cohésion à 300Pa) dont le dépôt est ajouté au MNT avant un calcul analogue au résultat de référence ci-contre en haut. La différence n’est pas flagrante au sens où la première avalanche, forcément lente, va surtout combler le fond du thalweg alors que celle de référence a une trajectoire plus centrifuge.

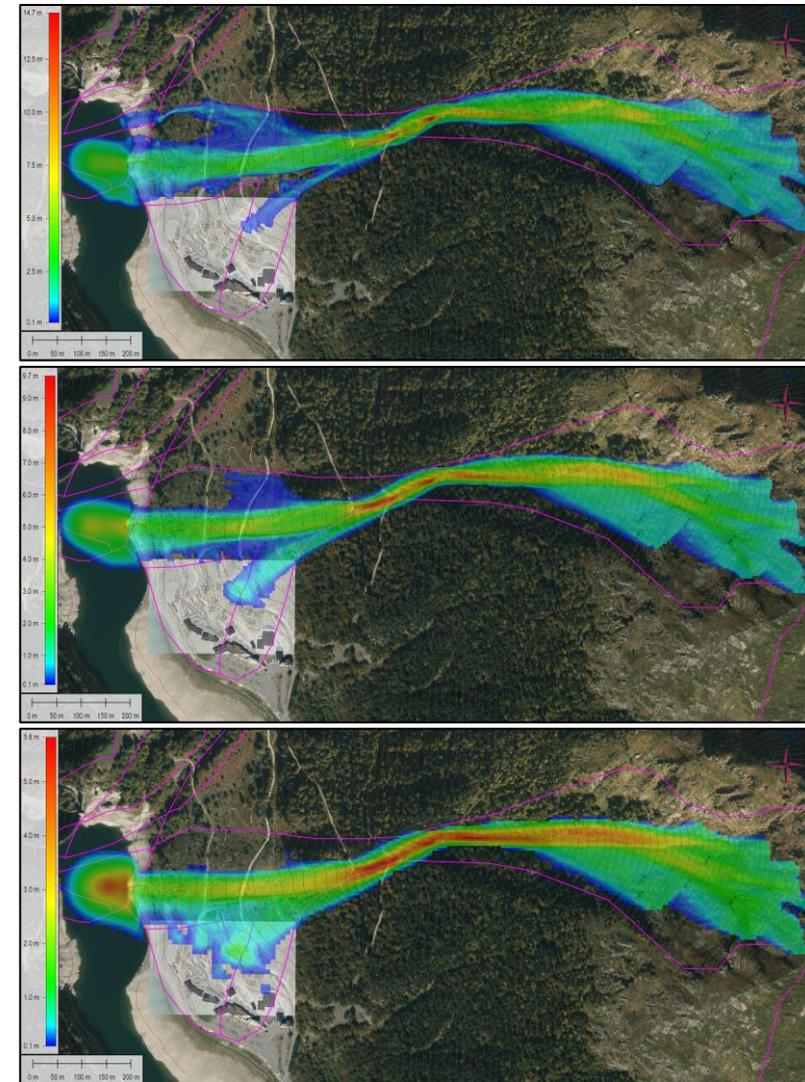


Figure 25 – Résultat brut d’une avalanche dense coulante dans les conditions de référence sur le MNT avec digue plus ou moins éoussée : résolution 2m (en haut), 5m (au centre), 10m (en bas) – catégorie de volume : trajectoire principale en médium, divergence aval en small - échelle de couleur = hauteur max filtrée à 10cm

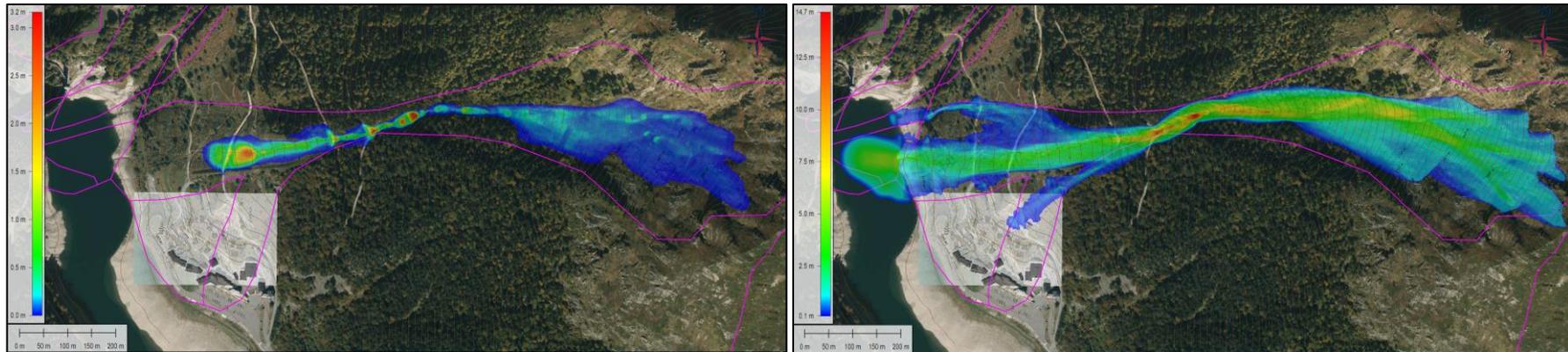


Figure 26 – Résultat brut d’une séquence d’avalanches denses coulantes : petit événement qui comble et lisse le chenal (à gauche – échelle de couleur = dépôt post avalanche) avant l’avalanche de référence type (à droite) calculée de manière analogue à précédemment sur la résolution de 2m - échelle de couleur = hauteur max filtrée à 10cm

Dans tous les cas vis-à-vis des avalanches coulantes, toute la zone du projet “ne” serait “que” dans une zone d’arrêt de l’avalanche avec donc des pressions maxi parfaitement cohérentes avec les limites de la zone bleue du PPR (Figure 14 [4]).

Enfin et pour compléter la vision, le calcul aérosol est fourni sur la figure suivante et confirme :

- A la fois les résultats précédents avec une analogie dans l’extension du core/cœur du phénomène qui en est la couche (la plus) dense (et ce via une approche numérique différente)
- L’étendue du nuage dont la pression maximum ne dépasse pas 3kPa (trait plein rouge) même pour les parcelles du projet les plus exposées:

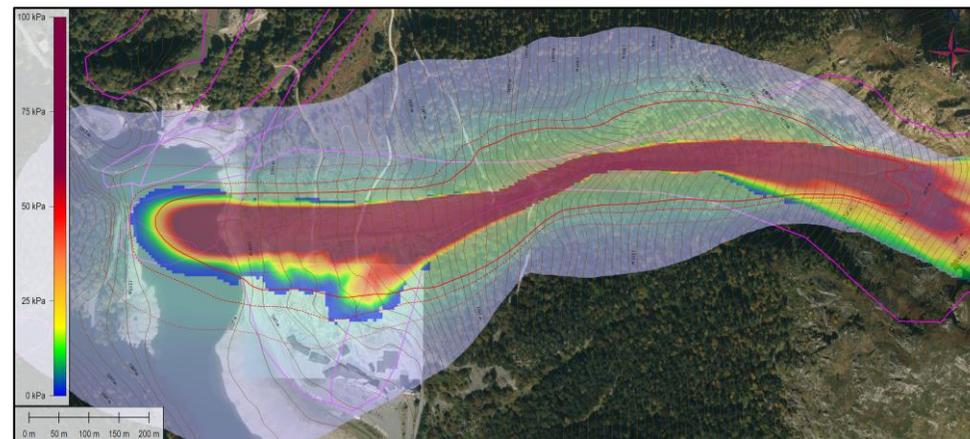


Figure 27 – Résultat brut d’une avalanche aérosol dans les conditions de référence sur le MNT avec digue – Zone blanchie = étendue du nuage avec isocontours à 3kPa (trait plein rouge), 2kPa (pointillés), 1kPa (points) – Echelle de couleur = pression du core/cœur du phénomène

## VII. CONCLUSIONS

Si les résultats qui précèdent ne contredisent/dépassent pas les prescriptions de référence du PPR [4], ils permettent au contraire de largement moduler les résistances nécessaires via une évaluation actualisée largement moins menaçante que les études précédentes. Ceci est notamment obtenu grâce à l’efficacité avérée de la digue actuelle dans de multiples situations (comme d’ailleurs démontré depuis au moins 40 ans depuis l’existence de cette ouvrage).

Ainsi, même en considérant le résultat dense coulant sur grille topographique émoussée (vue centrale voire inférieure de la Figure 25), seuls les 3 chalets sommitaux (n°18, 19 et 20) sont soumis à des sollicitations potentiellement préjudiciables : les autres sont face à des risques résiduels inférieurs à la résistance intrinsèque de bâtiments de ce type, même non dimensionnés spécifiquement, a fortiori en présence de chalets dominants.

Du point de vue de l’aérosol, l’influence du cœur/core du phénomène est couverte par la phénoménologie précédente sans nécessiter de prescriptions supplémentaires. Quant au nuage, il développerait le cas échéant des pressions bien inférieures aux 10 kPa. Sur ce point, il s’agit aussi:

- D’une part de signaler une évolution drastique à la baisse du nombre d’aérosol en lien avec les évolutions climatiques, a fortiori à ces altitudes relativement réduites et dans le massif des Pyrénées avec des neiges (rapidement) plus humides.
- D’autre part de faire le lien avec les charges règlementaires de vent, qui sont de l’ordre de 1kPa (et normalement prises en compte par les matériaux de construction) mais pondérées comme des charges “variables” au sens des Eurocodes donc mécaniquement équivalentes à l’effet d’un aérosol “accidentel” à 1.5 kPa. **Autrement dit, les chalets 1, 7, 8, 15 et 17 ne sont soumis à aucune sollicitation dimensionnante.**

<sup>6</sup> Sans augurer et indépendamment des autres charges par exemple d’épaisseur

Pour les autres bâtiments et en résumé, il s’agit de prendre en compte a minima vis-à-vis des avalanches<sup>6</sup> :

- Pour les 3 chalets sommitaux :
  - o Une pression incidente :
    - Pour le chalet 19 : 30 kPa s’appliquant sur une épaisseur de 2m (y compris effet de refoulement)
    - Pour les chalets 18 et 20 : 20 kPa s’appliquant sur une épaisseur de 1m50 (idem)
  - o Cette bande de pression s’applique au-dessus du manteau neigeux en place dont l’épaisseur peut varier entre zéro et 1m au maximum ici.
  - o Cette charge est à considérer comme accidentelle au sens des Eurocodes
  - o Elle s’applique pleinement sur les parties de façades directement exposées (par référence à l’azimut Nord 225°) selon les règles habituelles du PPR [4]. Dans l’état actuel des orientations (Figure 1 [1]), les autres (parties de) façades sont trop tangentes pour subir une sollicitation effectivement préjudiciable.
  - o Si trop proches du sol, la partie de toiture exposée devra être dimensionnée en conséquence, y compris par rapport à un effort de soulèvement.
  - o Les autres règles de “bonne construction” du règlement du PPR [4] doivent s’appliquer notamment quant à la localisation des entrées/accès. De même et sauf à démontrer leur résistance en situation sous les pressions précitées, les menuiseries et autres composants secondaires sont à proscrire.

de neige sur les toits.

- Pour tous les chalets sauf 1, 7, 8, 15 et 17 :
  - o La pression du nuage aérosol qui revient à une valeur normale de :
    - 3 kPa toute hauteur pour les chalets 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20
    - 2 kPa toute hauteur pour les chalets 2, 3, 6, 14 et 16
  - o Cette charge est à considérer comme accidentelle au sens des Eurocodes
  - o Elle s'applique par référence à la direction principale du phénomène qu'on doit cette fois considérer alignée avec la digue (Nord 260°)
  - o Elle s'applique aussi bien en suppression qu'en dépression sur toutes les parties directement exposées (sans application d'une quelconque projection)
  - o Les autres parties non directement exposées subissent une charge moitié mais qui de fait est normalement couverte par les hypothèses réglementaires de vent comme expliqué précédemment.
  - o Vu la probabilité d'occurrence d'un tel phénomène, il n'est pas nécessaire de dimensionner les menuiseries exposées spécifiquement pour les valeurs précitées mais simplement possible de prévoir des systèmes occultants de résistance adaptée.
  - o Par mesure de sécurité supplémentaire, il est recommandé de prévoir un accès si possible sur une partie de façade non exposée.

En parallèle mais comme déjà stipulé dans le PPR [4] qui doit rester le cadre de référence, il est important que ce nouveau lotissement soit clairement intégré au PCS communal avec toutes les mesures adéquates. Parmi ces mesures, il convient également d'intégrer la purge des dépôts derrière la digue si ceux-ci se produisent à une période de la saison hivernale qui pourrait connaître des événements ultérieurs.