



Avis sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire

-

Bassin versant de l'Arcelle d'en Haut Commune de Val d'Isère

Plan d'actions pour la prévention des risques d'origines glaciaire et périglaciaire



Historique de la diffusion

Version	Date	Commentaires
V1	06/02/2026	Version initiale pour diffusion

Rédacteur(s) et validation

Rédacteur principal du rapport	Vérification - Approbation
Cimelière François-Luc, chef de projet risques naturels, service RTM de la Savoie	GEAY Thomas, responsable du pôle expertise, service RTM de la Savoie.

Avant-propos

Cette étude a été réalisée dans le cadre du plan d'actions et de prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire à l'initiative du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, DGPR/SRNH/BRNT (Direction Générale de la Prévention des Risques, Service des Risques Naturels et Hydrauliques, Bureau des Risques Naturels Terrestres) qui en a confié la rédaction aux services RTM de l'ONF.

Photo en couverture : Pointe de Méan Martin – Val d'Isère © www.altituderando.com



Sommaire

Table des matières

1. Contexte Général	4
1.1. Analyse automatique grande échelle	4
1.1.1. Objectif et méthode	4
1.1.2. Résultats	5
1.1.3. Limites	5
1.2. Suite du travail	6
2. Présentation du bassin versant	7
2.1.1. Les enjeux du bassin versant	8
2.1.2. Historique des événements sur le bassin versant	8
3. Inventaire des formes géomorphologiques (péri)glaciaire et scénarios	8
3.1. Les glaciers blancs	9
3.2. Les glaciers rocheux	10
3.2.1. Glacier rocheux du Col de la Calabourdane	10
3.2.1.1. Activité du glacier rocheux et disponibilités en matériaux	10
3.2.1.2. Propagation d'une lave torrentielle et éloignement des enjeux	11
3.2.2. Autres glaciers rocheux du bassin versant	12
3.3. Les lacs	12
3.3.1. Lac de l'Ouillette et retenue collinaire	12
3.3.2. Lacs « anciens » (antérieurs au PAG ?)	13
3.3.3. Lacs dans le secteur du glacier des Fours	14
3.3.4. Lacs dans le secteur du glacier des Barmes de l'Ours	18
3.4. Les parois à permafrost	18
4. Conclusion	19
Références	20

1. Contexte Général

Le Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT) est investi depuis plusieurs années pour la prévention des Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire (ROGP). En 2021, sur commande du MTECT, l'ONF a conduit une analyse de la sensibilité des territoires aux risques glaciaires sur les Alpes Françaises. L'objectif de ce travail était d'évaluer les potentiels ROGP sur ce massif et d'identifier les sites prioritaires à expertiser.

1.1. Analyse automatique grande échelle

1.1.1. Objectif et méthode

L'analyse de la sensibilité des territoires réalisée en 2021 a été menée via un travail de modélisation à partir de données cartographiques homogènes à l'échelle des Alpes. L'objectif était de définir des emprises indicatives pouvant être atteintes par des aléas d'origine glaciaire ou périglaciaire. Ce travail a consisté à :

- Regrouper les données d'inventaires sur les différentes formes géomorphologiques : glaciers blancs/ glaciers rocheux/ lacs/ parois à permafrost. Les poches d'eau n'ont pas été traitées dans cette analyse faute de donnée (phénomène non décelable à grande échelle).
- Identifier, par des critères simples et automatisables à grande échelle, les zones sources au sein de ces différentes formes géomorphologiques pouvant générer un aléa.
- Modéliser, simplement et sans quantification de l'aléa, les emprises possibles d'atteinte liées à ces phénomènes : avalanche de glace, lave torrentielle, débâcle glaciaire, effondrement de paroi. Le choix des paramètres de modélisation a été volontairement plutôt maximaliste. Ces modélisations reposent sur un principe simple de ligne d'énergie (une pente minimale est fixée entre la zone de départ et la zone d'arrivée).
- Générer une couche d'enjeux, à partir de la BD Topo, pour permettre un croisement avec les emprises d'atteintes produites.
- Agréger l'ensemble des enjeux potentiellement atteints par des phénomènes issus du bassin versant pour attribuer une note de sensibilité et hiérarchiser les bassins versants entre eux. **Cette note de sensibilité représente donc le potentiel d'un bassin versant à générer des risques (péri)glaciaires.**

Les principaux critères de choix retenus dans la méthode automatique grande échelle sont exposés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Forme géomorphologique	Inventaire	Zone source	Angle d'énergie retenu pour la propagation (modèle MSF)
Glaciers blancs	Antoine Rabatel, 2020	Pente > 45° OU pente > 25° et indice de permafrost < 1	Avalanche de glace : 17 °
Glaciers rocheux	ONF- RTM, 2021	Analyse experte RTM	Reprise de matériaux lors d'un phénomène torrentiel : 17°
Lacs glaciaires	Charlie Serrano et Al, 2019	Lacs au-dessus de la végétation et superficie > 2500m ²	Phénomène torrentiel : 11°
Parois à permafrost	Maeva Cathala et Al, 2019	Pente > 25° et température annuelle de paroi [-6 et 4°]	Ecroulement : 26°

Tableau 1: Source des inventaires et critères retenus dans l'analyse grande échelle

1.1.2. Résultats

L'analyse automatique, à l'échelle des Alpes, a permis de faire émerger 360 bassins de risques possiblement concernés par des risques glaciaires sur les 604 bassins initialement identifiés dans les Alpes françaises. Par ailleurs cette hiérarchisation fait ressortir 70 bassins de risques ayant une sensibilité plus forte. La Figure 1 illustre cette susceptibilité des bassins versants aux risques d'origine glaciaire et périglaciaire.

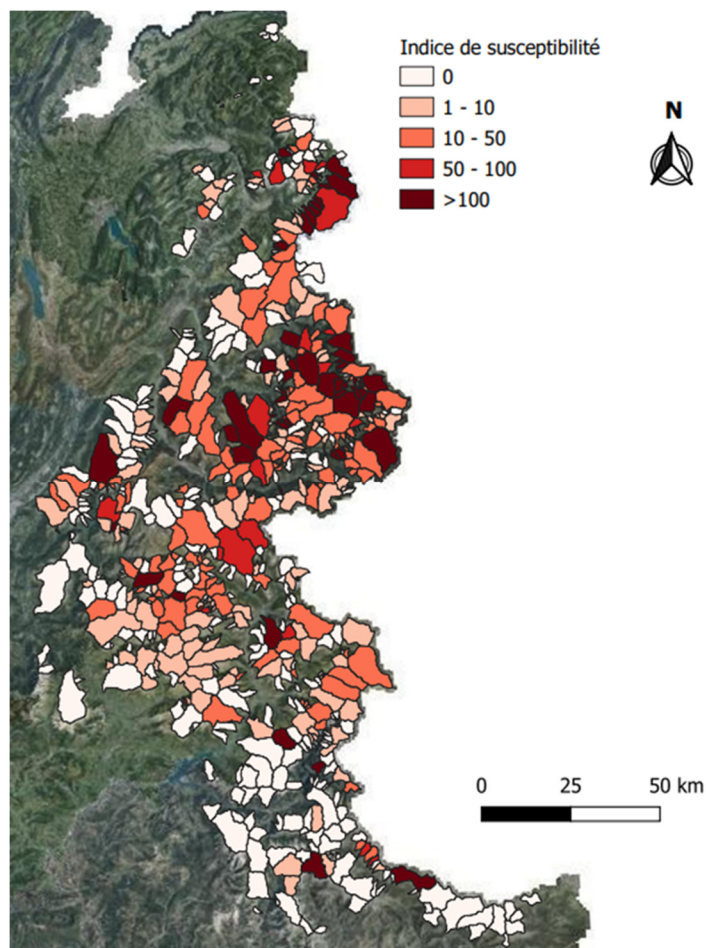


Figure 1: Cartographie des susceptibilités des bassins de risques aux Risques d'Origines Glaciaires et Périglaciaires selon la méthode automatique grande échelle menée en 2021

1.1.3. Limites

Les résultats obtenus par cette analyse, à grande échelle et automatique, doivent être pris avec précautions. En particulier :

- L'analyse des zones sources est peu sélective et basée uniquement sur des critères de « données disponibles ». Aucune visite de terrain n'a été réalisée. Par exemple tous les lacs sont considérés comme pouvant générer des débâcles, ce qui n'est naturellement pas le cas ;
- L'analyse n'inclut pas de notion de volume pour les zones sources. Ainsi une faible surface de paroi rocheuse identifiée comme zone source potentielle peut engendrer avec cette modélisation une emprise très grande, qui correspondrait à un éboulement massif ;
- L'analyse a été faite avec une donnée topographique de qualité moyenne. Ainsi

certaines zones sources situées en crête sont modélisées comme impactant deux vallées au lieu d'une ;

- Les emprises de propagation modélisées sont très larges et ont tendance à surestimer les phénomènes (approche maximaliste).

1.2. Suite du travail

Sur la base de cette hiérarchisation, les services RTM réalisent une confrontation à dire d'expert de l'analyse automatique (sans visite de terrain dans un premier temps). Si cette confrontation permet d'exclure facilement des risques glaciaires, un avis synthétique est rédigé pour motiver cette décision. Dans le cas contraire, un avis plus approfondi, à dire d'expert, mobilisant en particulier une visite terrain, est rédigé, qui aboutit à l'estimation d'un niveau de sensibilité du bassin versant aux ROGP (très faible, faible, moyen, fort) et doit conclure sur la nécessité ou non de mener des actions complémentaires pour la prévention des ROGP sur ce bassin. Cette démarche devrait se dérouler sur la période 2022-2025 et conduire à la rédaction d'avis qui seront diffusés aux services déconcentrés de l'État à la fin de chaque année.

Les enjeux considérés dans l'estimation du niveau de sensibilité d'un bassin versant sont les enjeux bâtis et les lieux associés à une occupation humaine permanente et/ou importante. Au regard du classement des enjeux réalisé dans l'analyse grande échelle, ils correspondent à des :

- enjeux critiques : lieux à occupation humaine permanente et importante (lieu d'enseignement, hôpital, camping, maison de retraite, hébergement de loisirs, etc.) et bâtiments associés à l'intervention des secours (caserne de pompiers, police, gendarmerie, etc.) ;
- enjeux humains : cette catégorie inclut les enjeux critiques, mais aussi les bâtiments associés à une occupation humaine non permanente : lieux de travail, centres de loisirs, centres commerciaux, gares, refuges de moyenne et haute-montagne, etc.

Les enjeux indirects ou économiques (routes, lignes électriques, pylônes de remontées mécaniques, etc.) n'ont pas été considérés dans la hiérarchisation des bassins versants et ne sont pas considérés dans l'estimation du niveau de sensibilité. Néanmoins, une information est faite en conclusion de l'avis si l'analyse des scénarios met en avant l'exposition potentielle de l'un de ces enjeux.

Le bassin versant de l'Arcelle d'en Haut est ressorti comme prioritaire dans l'analyse grande échelle étant donné le nombre d'enjeux potentiellement touché par un écoulement rocheux issu d'une paroi contenant du permafrost. Le présent avis est un avis détaillé dans le sens où la confrontation à dire d'expert de l'analyse automatique a permis de retenir un/des scénario(s) pouvant mener à des risques d'origine (péri)glaciaire.

2. Présentation du bassin versant

Le bassin versant de l'Arcelle d'en Haut est un grand bassin versant de 39km² qui regroupe 2 sous bassins versants principaux (Figure 2 et Figure 3).

Au sud-ouest du bassin versant, le Ruisseau du Pisset est alimenté par plusieurs torrents ainsi que par les eaux de fonte du Glacier des Barmes de l'Ours, au pied de la Pointe de la Sana (3411m) qui constitue le point culminant du bassin versant.

Au sud-est, le Ruisseau des Fours est également alimenté à la fois par de nombreux torrents et les par les eaux de fonte du glacier des Fours, dans la face nord de la Pointe de Méan Martin (3330m) qui constitue le deuxième sommet du bassin versant.

Les ruisseaux du Pisset et des Fours confluent au niveau du Hameau du Manchet vers 1950m d'altitude pour former le Ruisseau de la Calabourdane qui rejoint l'Isère dans Val d'Isère.

Le territoire étudié ici ne correspond donc pas à l'ensemble du bassin versant du Ruisseau de Calabourdane, puisque l'exutoire considéré dans cet avis est situé à proximité des terrains de sport du hameau du Gorray à 1900m d'altitude, environ 2km avant la confluence avec l'Isère.

Avec une altitude moyenne de plus de 2600m, il s'agit donc d'un territoire situé principalement en haute montagne.

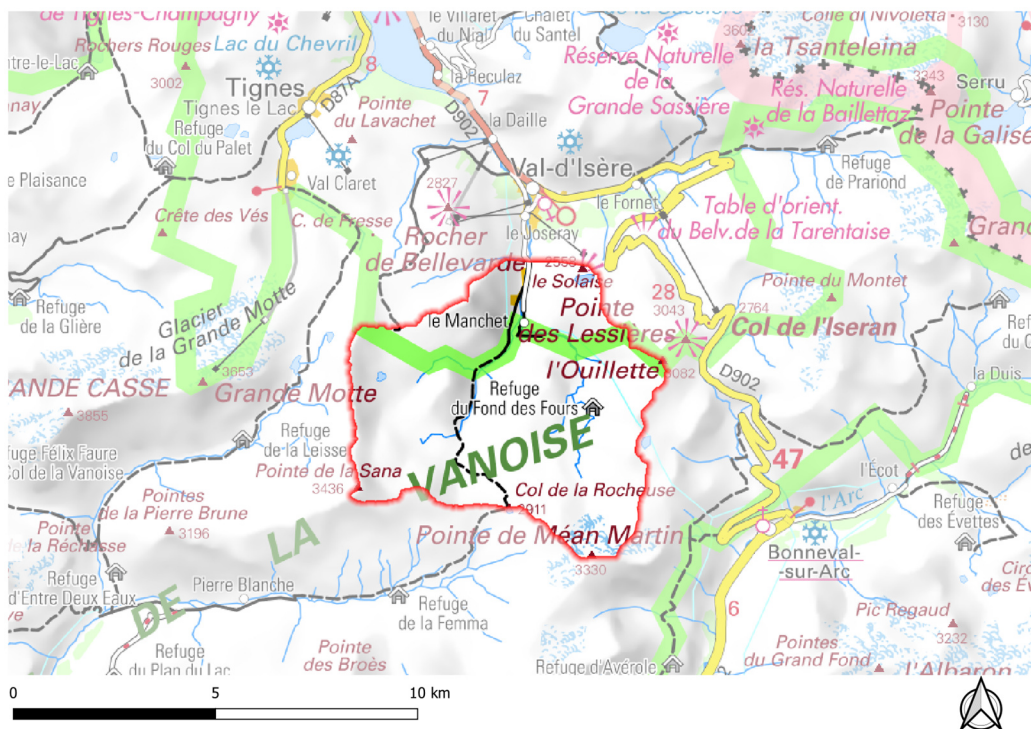


Figure 2 : Carte de situation du bassin versant du l'Arcelle d'en Haut

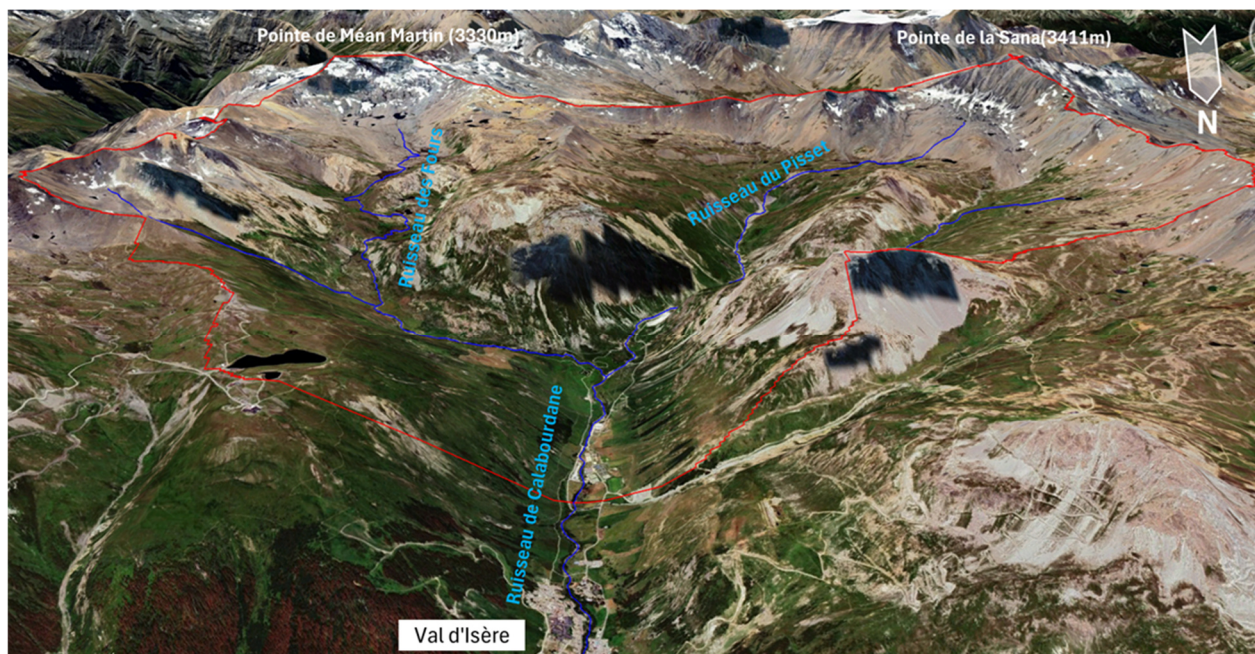


Figure 3: Vue en 3 dimensions du bassin versant de l'Arcelle d'en Haut @GoogleEarth

2.1.1. Les enjeux du bassin versant

Les principaux enjeux sont localisés au nord du bassin versant dans un versant orienté vers l'ouest à l'aval de la Tête de Solaise et de la Crête de l'Arselle. Cette zone regroupe à la fois des infrastructures liées à la station de ski de Val d'Isère (télésièges de la Madeleine et du Manchet) ainsi que des hameaux de montagne le long du Ruisseau des Fours (Plan de l'Arselle, l'Adroit, le Manchet). A l'aval on note le lieudit de la Rosière et les terrains de sport du Gorray.

En dehors de cette zone, on trouve le Refuge du Fond des Fours, établissement recevant du public, vers 2550m d'altitude ainsi que quelques chalets d'alpage.

Dans l'ensemble, il s'agit d'un territoire très peu anthropisé en particulier dans le sud du bassin versant où sont regroupées la plupart des formes géomorphologiques glaciaires et périglaciaires (Figure 4).

2.1.2. Historique des événements sur le bassin versant

Il y a peu d'événements d'aléas naturels recensés sur le territoire étudié. Le PPRn de la commune de Val d'Isère ne traite pas de ce secteur qui ne comporte que peu d'enjeux bâtis. La base de données RTM recense uniquement des avalanches issues de couloirs dominants le ruisseau de Calabourdane (1 couloir en rive droite côté Arcelle, 2 couloirs en rive gauche depuis le Rocher du Charvet).

Le ruisseau de Calabourdane, n'est pas particulièrement identifié comme source d'aléas torrentiels.

Il n'y a pas d'événement d'origine glaciaire ou périglaciaire recensé jusqu'à présent.

3. Inventaire des formes géomorphologiques (péri)glaciaire et scénarios

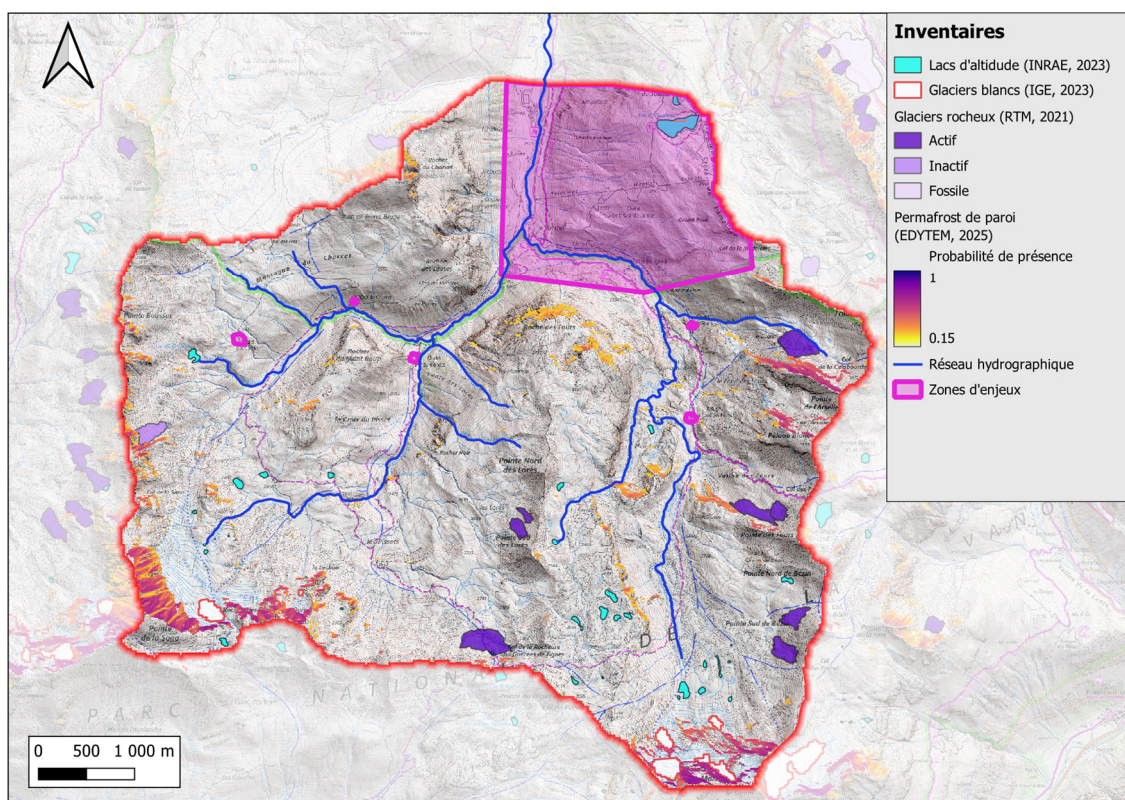


Figure 4: Inventaire des formes géomorphologiques d'origine glaciaire et périglaciaire

Les formes géomorphologiques inventoriées dans le cadre du PAPROG concernent (1) les glaciers blancs, (2) les glaciers rocheux, (3) les lacs glaciaires et (4) les parois à permafrost. La Figure 4 illustre les formes glaciaires et périglaciaires présentes sur le bassin versant de l'Arcelle d'en Haut

3.1. Les glaciers blancs

Les glaciers blancs sont situés dans les faces nord-est et nord des deux principaux sommets la Pointe de la Sana et la Pointe de Méan Martin au sud du bassin versant (Figure 4).

- Le glacier des Barmes de l'Ours est situé au pied de la face nord-est de la Pointe de la Sana. Dans l'inventaire des glaciers de l'IGE de 2023 (Rabatel et al., 2023) sa surface ne représente plus que 0,04km², une relique par rapport aux 1,91km² de son extension possible à la fin du petit âge glaciaire (Gardent, 2014). Les zones restant englacées sont peu raides (pentes moyennes 12°). La configuration topographique ne correspond à aucune configuration identifiée comme à risque vis-à-vis des avalanches de glace (ONF-RTM, 2023).
- Le glacier des Fours est situé dans la face nord de la Pointe de Méan Martin. Dans l'inventaire des glaciers, il apparaît scindé en plusieurs secteurs aujourd'hui déconnectés les uns des autres. La surface totale représente 0,12km² à comparer aux 4km² d'extension possible à la fin du petit âge glaciaire. Il s'agit ici encore d'une relique qui est amenée à disparaître dans les années à venir comme le montre les photos de la Figure 5. Aucun scénario d'avalanche de glace n'est associé au glacier des Fours.



Figure 5: A gauche le glacier des Fours en 1990 (Photo Philippe Benoit). A droite en 2022 (Photo Mylène Herrmann). Source images ©Parc National de la Vanoise

3.2. Les glaciers rocheux

Le bassin versant de l'Arcelle d'en Haut contient neuf glaciers rocheux (Figure 4). Huit d'entre eux sont considérés comme « actifs », c'est-à-dire qu'ils contiennent une part de glace en leur sein et que celle-ci provoque un mouvement de fluage du glacier rocheux vers l'aval.

3.2.1. Glacier rocheux du Col de la Calabourdane

Le glacier rocheux situé sous le col de Calabourdane (entre 2850 et 2700m d'altitude) a été classé dans une première analyse comme glacier rocheux « à risques » (ONF - Service RTM 2021) dans le sens où celui-ci aurait pu fournir des matériaux rocheux susceptibles d'initier et/ou d'alimenter un aléa de type lave torrentielle dans le Ruisseau de Calabourdane.

Plusieurs arguments viennent toutefois nuancer cette analyse.

3.2.1.1. Activité du glacier rocheux et disponibilités en matériaux

L'analyse des photos aériennes du secteur montre que le déplacement vers l'aval du front du glacier rocheux est très limité (Figure 6). Cela correspond d'ailleurs au fait que cette zone n'est pas identifiée comme « zone en mouvement » dans l'inventaire des zones en mouvements détectées par interférométrie radar (Bodin et al., 2023).

Ces très faibles mouvements du front du glacier rocheux, font que l'apport de matériaux rocheux issu de celui-ci ne peut être que limité et doit être mis en regard de l'apport sédimentaire disponible de l'ensemble du bassin versant du Ruisseau du Cugnai (affluent du Ruisseau de Calabourdane issu du Col de la Calabourdane).

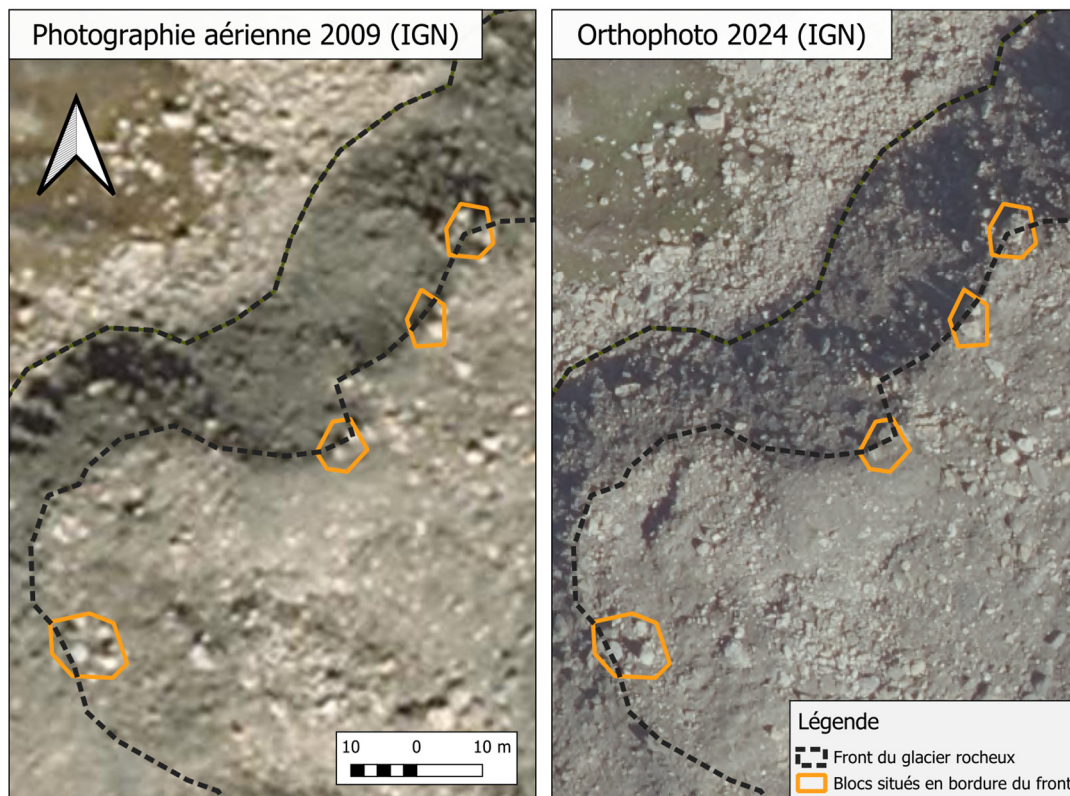


Figure 6: Analyse diachronique du glacier rocheux du Col de la Calabourdane. L'identification de blocs rocheux reconnaissables à 15 ans d'intervalle montre que le déplacement vers l'aval du front du glacier rocheux a été très faible voire inexistant.

3.2.1.2. Propagation d'une lave torrentielle et éloignement des enjeux

Un autre élément à prendre en compte est la capacité d'une éventuelle lave torrentielle à se propager jusqu'aux premiers enjeux identifiés. Ceux-ci sont peu nombreux à proximité du talweg du Ruisseau de Cugnai. On note le Plan de l'Arcelle situé à 2km du front du glacier rocheux puis le pont du Manchet à 3km, juste avant la confluence avec la branche du Ruisseau du Pisset. Les bâtiments de ces 2 secteurs ne sont pas réellement exposés car surélevés d'une dizaine de mètres par rapport au talweg. On note toutefois un pont au niveau de chacun d'eux qui pourrait subir des dommages en cas de lave torrentielle. Les enjeux des terrains de sport du hameau du Gorry, sont encore beaucoup plus loin.

Une estimation par la méthode empirique de Rickenmann (Rickenmann, 1999) est utilisée pour estimer les propagations de matériaux issus d'une lave torrentielle dont l'origine serait située au niveau du front du glacier rocheux. Le volume choisi pour paramétrer la méthode est de 20 000m³, ce qui est une hypothèse maximaliste étant donné l'apport de matériau potentiel (voir §ci-dessus)

La zone d'arrêt proposée (Figure 7) par la méthode est une zone de faible pente (< 10°) légèrement en amont du Plan de l'Arcelle.

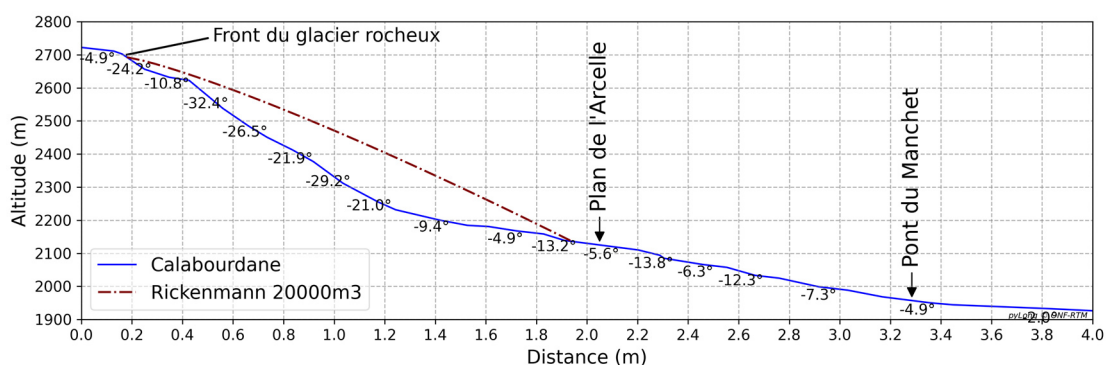


Figure 7: Profil topographique du Ruisseau de Cugnai (Calabourdane) à l'aval du glacier rocheux. Représentation empirique de Rickenmann des propagations d'une lave torrentielle de 20 000m³

La suite du profil, constituée de faibles pentes, et l'éloignement des enjeux font que nous ne considérons pas de scénario de risque particulier en lien avec le glacier rocheux du Col de la Calabourdane.

3.2.2. Autres glaciers rocheux du bassin versant

Aucun autre glacier rocheux du bassin versant n'a été classé en première analyse comme glacier rocheux « à risques » (ONF - Service RTM 2021).

Les arguments en faveur de cette analyse sont **notamment** (voir Figure 4) :

- Ceux-ci ne sont pas connectés au réseau hydrographique principal
- Les quelques enjeux présents au cœur du bassin versant ne sont pas situés à proximité des talwegs des torrents
- Pour l'aval du bassin versant :
 - L'apport de matériaux que ces glaciers rocheux seraient susceptibles d'ajouter semble faible par rapport à l'apport sédimentaire global d'un bassin versant de cette taille
 - Les enjeux présents à l'aval sont très éloignés des glaciers rocheux

Au final, nous ne considérons aucun scénario de risque pour l'ensemble des glaciers rocheux du bassin versant.

3.3. Les lacs

Le bassin versant de l'Arcelle d'en Haut comptabilise 34 lacs recensés dans l'inventaire 2022 de l'INRAE. Malgré ce nombre important, aucun d'entre eux n'a été identifié dans l'inventaire des lacs à risques (ONF - Service RTM 2023e) comme ayant une sensibilité particulière à engendrer un aléa torrentiel en lien avec une débâcle.

3.3.1. Lac de l'Ouilette et retenue collinaire

Avec une superficie de 5,5ha, le lac de l'Ouilette à 2513m d'altitude est de loin le plus grand du bassin versant. Toutefois, c'est avec ses berges totalement végétalisées, cet environnement ne fait plus partie du domaine périglaciaire et le secteur n'est exposé à aucun événement gravitaire susceptible de générer une surverse (Figure 8). Aucun scénario de risque n'est donc associé à ce lac, ni à la retenue collinaire située à proximité.



Figure 8 : Lac de l'Ouillette, dans le secteur de la Tête de Solaise.

3.3.2. Lacs « anciens » (antérieurs au PAG¹ ?)

Hormis les 2 lacs cités ci-dessus, tous les lacs sont situés dans la partie amont du bassin versant. Afin de faciliter l'inspection de ces nombreux lacs, nous les classons dans 2 catégories (Figure 9) :

- Les lacs situés en dehors de l'emprise des glaciers de la fin du PAG, dont on peut supposer qu'ils sont les plus « anciens »
- Les lacs situés dans l'emprise des glaciers de la fin du PAG qui sont a priori plus récents.

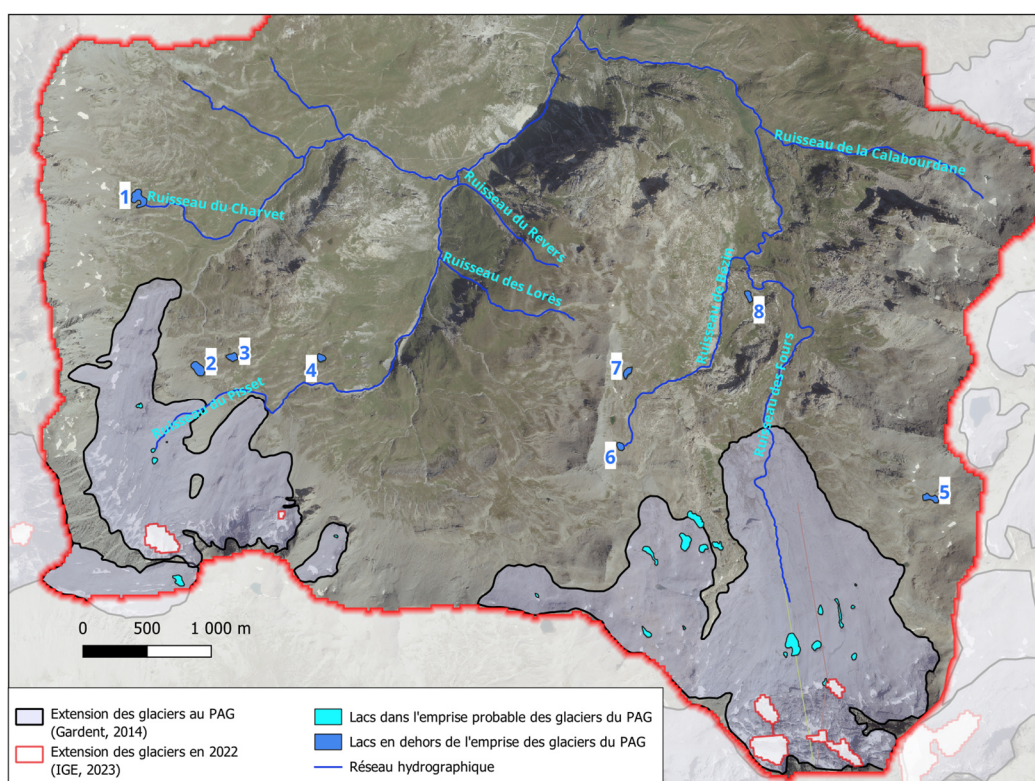


Figure 9: Situation des lacs dans le bassin versant par rapport à l'extension glaciaire probable au petit âge glaciaire.

¹ Petit âge glaciaire

On dénombre 8 lacs en dehors de l'emprise des glaciers de PAG (Figure 9 et Tableau 2). Nous listons les caractéristiques communes suivantes pour ces lacs :

- Surface plutôt faible (< 5000m² sauf 7000m² et 10000m²)
- Lacs anciens (a minima < 1950) déconnecté des glaciers, non évolutifs
- Situés dans des zones de faibles pentes, avec des barrages très peu marqués peu susceptibles de subir une érosion forte
- Pas ou peu exposés à des aléas gravitaires (par exemple : paroi permafrost situées en amont)

Tableau 2 : Liste des lacs en dehors de l'emprise des glaciers à la fin du PAG

ID	Surface (m ²)	Altitude (m)	Evolutif	Rives végétalisées
1	10246	2661	non	Oui
2	7711	2694	non	Non
3	4121	2671	non	Oui
4	2987	2613	non	Oui
5	5161	2838	non	Non
6	2786	2816	non	Non
7	3556	2762	non	Partiellement
8	3532	2499	non	Oui

Nous ne retenons donc aucun scénario de risque associé à ces 8 lacs.

3.3.3. Lacs dans le secteur du glacier des Fours

17 lacs sont situés dans l'emprise probable du glacier des Fours à la fin du PAG (Figure 10). Nous séparons le traitement de ces lacs en 2 étapes :

- Les lacs du secteur de la Rocheure situés à l'ouest (Zone 1 sur la Figure 10)
- Les lacs directement au pied de la face nord de la Pointe de Méan Martin (Zone 2 sur la Figure 10)

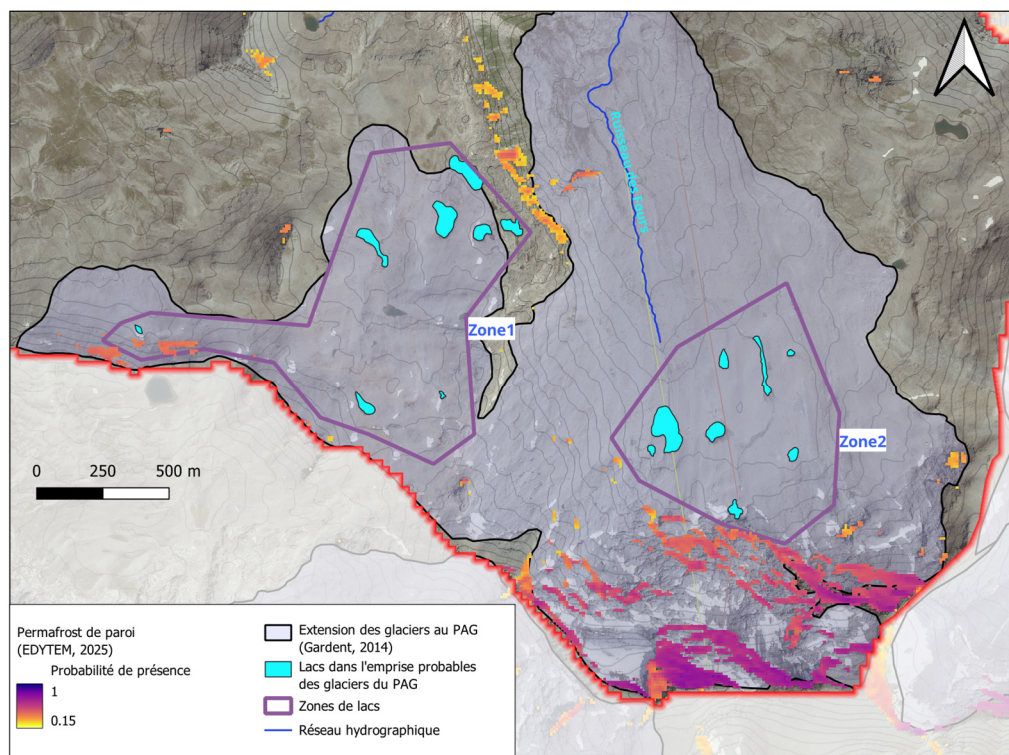


Figure 10: Lacs situés dans l'emprise du glacier des Fours au PAG

Les 8 lacs de la Rocheure (zone 1) partagent les caractéristiques suivantes :

- Lacs situés sur un plateau entre 2800 et 2900m d'altitude
- Surface faible (maximum 7800 m²)
- Lacs anciens (à minima < 1950) déconnecté des glaciers, non évolutifs
- Situés dans des zones de faibles pentes, avec des barrages très peu marqués peu susceptibles de subir une érosion forte
- Pas ou peu exposés à des aléas gravitaires (par exemple : paroi permafrost situées en amont)

Nous ne retenons donc aucun scénario de risque associé à ces 8 lacs.

Les 9 lacs situés au pied de la face nord de la Pointe de Méan Martin (zone 2) sont situés entre 2750 et 2800m d'altitude. Bien qu'ils soient plus bas que les lacs de la zone 1, ils sont situés plus près du glacier des Fours actuel et des parois rocheuses qui le surplombent et sont d'apparition plus récente (depuis 1990). Toutefois, comme pour les lacs de la zone 1, ils sont pour la plupart peu étendus, sur une zone de faible pente avec des barrages peu marqués.

Nous traitons le cas particulier de 2 de ces lacs :

- L'un parce qu'il est le plus vaste du secteur (12000m²)
- L'autre parce qu'il est d'apparition très récente (2024) et potentiellement encore évolutif

Ces 2 lacs sont exposés aux parois rocheuses de la face nord de la Pointe de Méan Martin (Figure 10 et Figure 11). Nous évaluons les possibilités d'atteinte de ces lacs par un écroulement rocheux à l'aide des méthodes d'angle de ligne d'énergie et des aires adimensionnées.

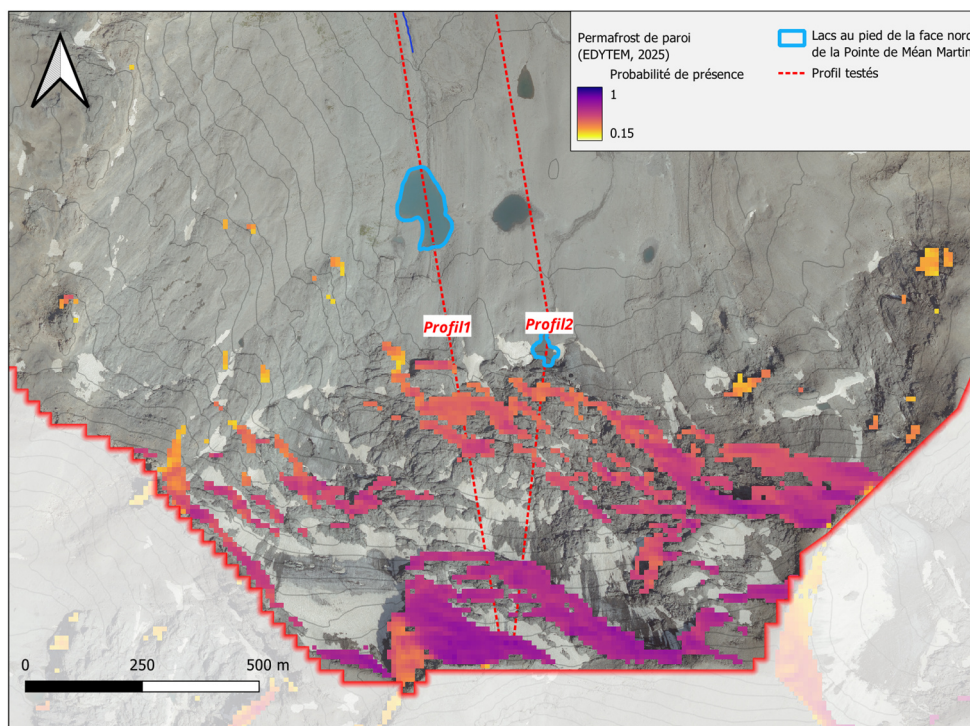


Figure 11 : Parois rocheuses de la face nord de la Pointe de Méan Martin. Les méthodes d'angle de ligne d'énergie et d'aire adimensionnée sont utilisées le long des 2 profils en pointillés rouge qui rejoignent les 2 lacs potentiellement exposés aux écroulements.

Le profil 1 permet de tester l'atteinte du plus grand des 2 lacs. Deux zones potentielles de départ sont testées, l'une en haut de versant (~3250m) la seconde au niveau d'un escarpement intermédiaire vers 2950m d'altitude (Figure 12). L'angle de ligne d'énergie d'atteinte du lac est de 23° pour l'escarpement intermédiaire et de 28,5° depuis la paroi sommitale. Les probabilités

d'atteinte du lac sont très faible depuis la paroi intermédiaire, elles sont faibles à moyenne pour la paroi sommitale selon la méthode empirique des aires normalisées (Groupe de travail MEZAP, 2022). On note toutefois près de 200m linéaire de faibles pentes à l'amont immédiat du lac. Nous considérons donc que la probabilité d'une atteinte massive du lac par des matériaux issus d'un écoulement depuis les parois de la face nord de la Pointe de Méan Martin entraînant une vidange rapide du lac est très faible.

Au final, nous ne retenons pas de scénario de risque associé à ce lac.

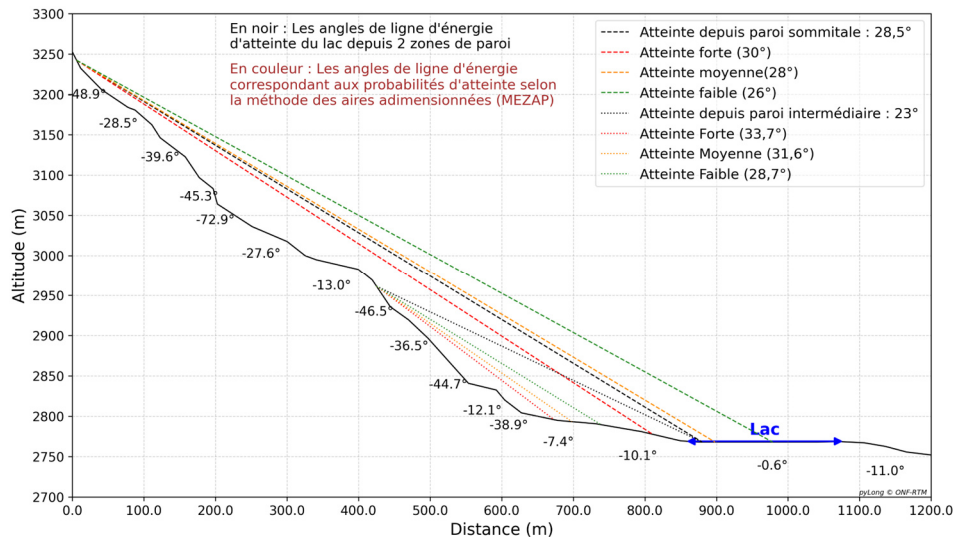


Figure 12 : Profil topographique n°1 depuis les parois de la face nord de la Pointe de Méan Martin jusqu'au plus grand des 2 lacs. Représentation des angles de ligne d'énergie depuis 2 escarpements de la paroi jusqu'au lac.

Le second lac apparaît clairement sur l'orthophoto 2024 de l'IGN (Figure 13 en bas). En 2022, on devine sur l'orthophoto de l'eau liquide présente au fond d'un trou circulaire formé au travers du glacier des Fours qui continue de perdre en épaisseur (Figure 13 en haut). Sur les mêmes images, on devine à droite (en rive gauche) une seconde dépression qui n'est pas encore totalement libre de glace, en dessous de laquelle il est possible qu'un autre lac se forme.



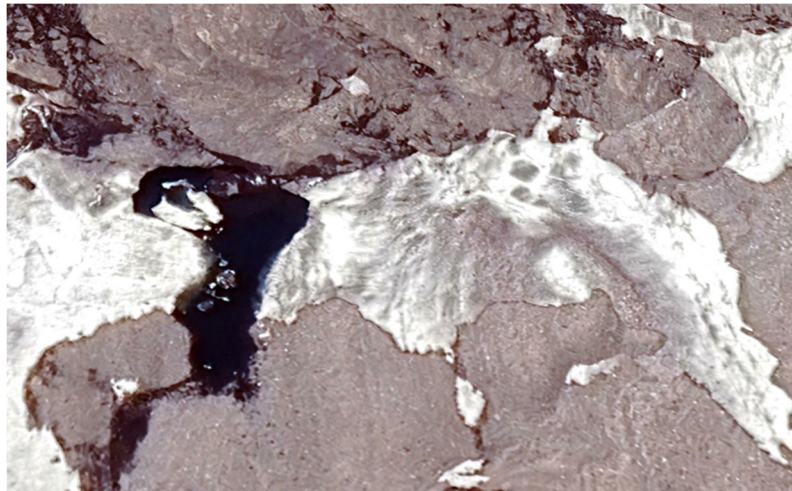


Figure 13 : Lac d'apparition récente (2024?) au pied de la face nord de la Pointe de Méan Martin suite au retrait du glacier des Fours. En haut en 2022, en bas en 2025. Images ©Google Earth

Le profil 2 permet de tester l'atteinte de ce lac. La zone potentielle de départ testée, est située en haut de versant (~3250m). L'angle de ligne d'énergie d'atteinte du lac est de 35°. Les probabilités d'atteinte du lac sont fortes (Figure 14) selon la méthode empirique des aires normalisées (Groupe de travail MEZAP, 2022).

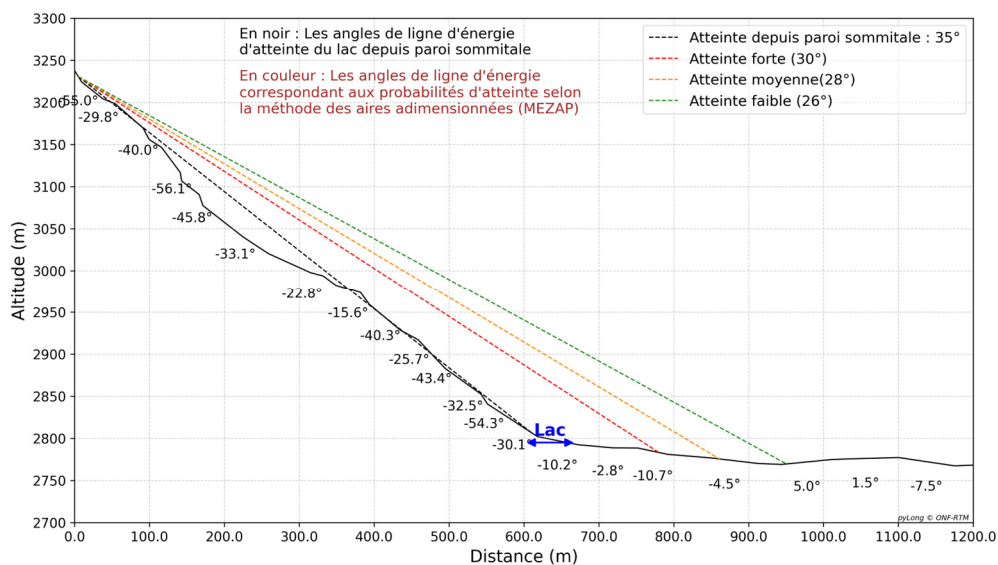


Figure 14 : Profil topographique n°2 depuis les parois de la face nord de la Pointe de Méan Martin jusqu'au plus récent des 2 lacs. Représentation des angles de ligne d'énergie depuis la paroi sommitale jusqu'au lac.

On ne peut donc pas écarter l'hypothèse que le lac soit atteint par des matériaux issus d'un écoulement depuis les parois de la face nord de la Pointe de Méan Martin entraînant une vidange rapide du lac. Etant donné la superficie actuelle du lac de 2000m², le volume du lac pourrait être de l'ordre de 5000m³ selon une formule empirique liant la superficie au volume (Huggel et al. , 2002). Compte tenu de ce faible volume et de l'éloignement de tout enjeu, nous ne retenons pas de scénario de risque associé à ce lac même en cas de vidange rapide.

Toutefois, ce lac est encore évolutif. Il est possible que la superficie de celui-ci augmente si la seconde dépression visible sur les images en rive gauche du lac donne naissance à un autre lac et que celui-ci se connecte au premier. En revanche, une extension vers l'amont n'est pas possible puisque le bedrock est clairement visible sur les images. Nous n'anticipons donc pas d'augmentation de taille et de volume de nature à remettre en cause cette analyse, toutefois

il sera utile de vérifier l'évolution de ce lac d'ici 2 ou 3 ans afin de le confirmer.

3.3.4. Lacs dans le secteur du glacier des Barmes de l'Ours

On dénombre 7 lacs dans l'emprise de la fin du PAG du glacier des Barmes de l'Ours (Figure 15). Nous listons les caractéristiques communes suivantes pour ces lacs :

- Surface faible (< 2000m² sauf 1 lac à 4500m²)
- Lacs déconnectés du glacier, non évolutifs
- Situés dans des zones de faibles pentes, avec des barrages très peu marqués peu susceptibles de subir une érosion forte

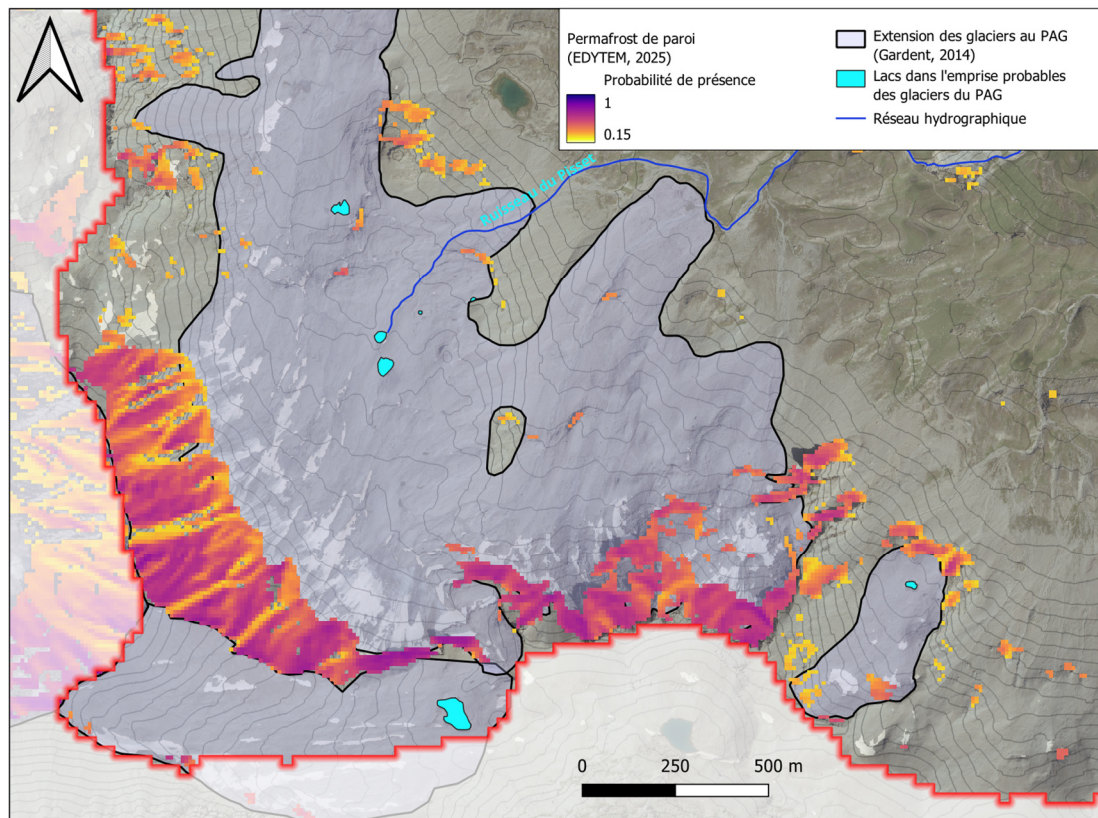


Figure 15 : Lacs situés dans l'emprise du glacier des Barmes de l'Ours au PAG

Le seul de ces lacs ayant une surface significative (4500m²) est situé sur un « plateau » non exposé aux aléas gravitaires. Tous les autres lacs de ce secteur ne représentent pas un volume d'eau significatif même en cas d'atteinte pas un événement gravitaire.

Nous ne retenons donc aucun scénario de risque associé à ces 7 lacs.

3.4. Les parois à permafrost

Le bassin versant présente de nombreuses zones de parois rocheuses susceptibles de contenir du permafrost (Figure 4). Les deux principales sont situées dans les faces nord et nord-est des deux sommets principaux, la Pointe de Méan Martin, et la Pointe de la Sana.

La zone principale contenant les enjeux est située tout au nord du bassin versant et n'est exposée à aucune de ces parois. Parmi les quelques autres enjeux, situés au cœur du bassin, aucun n'est réellement exposé à ces parois. Par ailleurs, le cas d'écroulement rocheux atteignant un lac et provoquant la vidange de celui-ci par surverse a été traité précédemment (voir §3.3.3), ces scénarios en cascade ont également été écartés.

Par conséquent, nous ne retenons aucun scénario de risque en lien avec un écroulement rocheux issu d'une paroi contenant du permafrost.

4. Conclusion

Le bassin versant l'Arcelle d'en Haut est caractérisée par la présence de nombreuses formes géomorphologiques (péri)glaciaires :

- Les glaciers blancs sont présents sous forme de « reliques » et ne peuvent pas être à l'origine d'avalanche de glace.
- Les glaciers rocheux et les parois contenant du permafrost sont éloignés des premiers enjeux
- Un grand nombre de lacs, principalement de petite taille, au sein de reliefs peu marqués et également éloignés des enjeux

Seul le lac apparu récemment au pied de la face nord de la Pointe de Méan Martin pourrait mériter un suivi de son évolution dans les quelques années à venir avant sa déconnection totale du glacier des Fours.

Ce bassin versant est donc considéré comme étant à faible susceptibilité vis-à-vis des risques d'origine (péri)glaciaire sur les enjeux bâtis.

Références

- Bodin X., Cusicanqui D. (2023), Apports de la télédétection pour l'étude des mouvements de terrain supports d'infrastructures situées en contexte de permafrost riche en glace dans les Alpes Françaises. EDYTEM CNRS. 28p
- Boeckli, L., Brenning, A., Gruber, S., & Noetzli, J. (2012). Permafrost distribution in the European Alps: calculation and evaluation of an index map and summary statistics. The Cryosphere, 6(4), 807-820. <https://biblio.onf.fr/notice/84356.html>
- Cathala M., Magnin F. (2019). Cartographie du permafrost de paroi et des parois à permafrost les plus actives des Alpes françaises. EDYTEM Environnements dynamiques et territoires de montagne. 16 p. <https://biblio.onf.fr/notice/84207.html>
- Gardent M. (2014), Inventaire et retrait des glaciers dans les alpes françaises depuis la fin du Petit Age Glaciaire. Géographie. Université de Grenoble. Français. <https://theses.hal.science/tel-01062226>
- Groupe de travail MEZAP (2022), Guide technique MEZAP : Caractérisation de l'aléa rocheux dans le cadre d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRn) ou d'un Porter a connaissance (PAC). Collection scientifique et technique. ISBN : 978-2-7159-2760-5
- Huggel, C., Kääb, A., Haeberli, W., Teyssie, P., and Paul, F. (2002). Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps. Canadian Geotechnical Journal. 39(2): 316-330. <https://doi.org/10.1139/t01-099>
- ONF – Service RTM de Savoie (2020), Les glaciers rocheux de Savoie, 8 p. <https://biblio.onf.fr/notice/84503.html>
- ONF - Service RTM (2021), Hiérarchisation des Bassins de Risques., 45 p. <https://biblio.onf.fr/notice/84433.html>
- ONF - Service RTM (2021b), Méthodologie « à dire d'expert » pour délimiter sur SIG les zones de départ probables au droit des GR « à risque » et les emprises d'aléas résultants. 19 p. <https://biblio.onf.fr/notice/86507.html>
- ONF - Service RTM (2023), Note générale concernant la production d'avis sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire dans les Alpes françaises. 37 p. <https://biblio.onf.fr/notice/86924.html>
- ONF – Service RTM (2023b), Cartographie des aléas d'avalanche de glace dans les Alpes françaises et risques induits, 25 p. <https://biblio.onf.fr/notice/86998.html>
- ONF – Service RTM (2023c), Stabilité des barrages morainiques : Etude de site du lac de la Patinoire à Pralognan la Vanoise. 36 p. <https://biblio.onf.fr/notice/86933.html>
- ONF – Service RTM (2023d), Rétroanalyse d'évènements de débâcles de lacs glaciaires. 33 p. <https://biblio.onf.fr/notice/86934.html>
- ONF - Service RTM (2023e), Inventaire des lacs glaciaires – analyse de la sensibilité des lacs à engendrer des crues torrentielles liées à des débâcles. 42p. <https://biblio.onf.fr/notice/94824.html>
- Rabatel A. (2020), IGE, Action : Mise à jour de l'inventaire des glaciers des Alpes françaises. <https://biblio.onf.fr/notice/84187.html>
- Rabatel A., Klee X., (2023), IGE, Mise à jour de l'inventaire des glaciers des Alpes françaises, <https://biblio.onf.fr/notice/89793.html>
- Serrano, C., Gardent, M., Bonnefoy-Demongeot, M., Thibert, E., Richard, D. (2019). Evaluation de l'aléa de lave torrentielle et du risque engendré liés aux ruptures de lacs glaciaires et périglaciaires. Saint-Martin-d'Hères : Irstea. Unité de recherche ETNA Erosion torrentielle, neige et avalanches. 25 p. <https://biblio.onf.fr/notice/84195.html>



Direction Forêts et des Risques
Naturels - Pôle RTM
9 quai Créqui
38000 Grenoble