



**Pôle Alpin Risques Naturels**

# **Symposium : les ouvrages de protections contre les risques naturels : évolutions et perspectives**

**8 Juillet 2022**



## **Impacts du changement climatique sur les risques naturels**

**Simon GERARD - PARN**



IPCC = **GIEC : Groupe d'experts  
Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat**

« **policy relevant but not  
policy perspective** »

**Son rôle :**

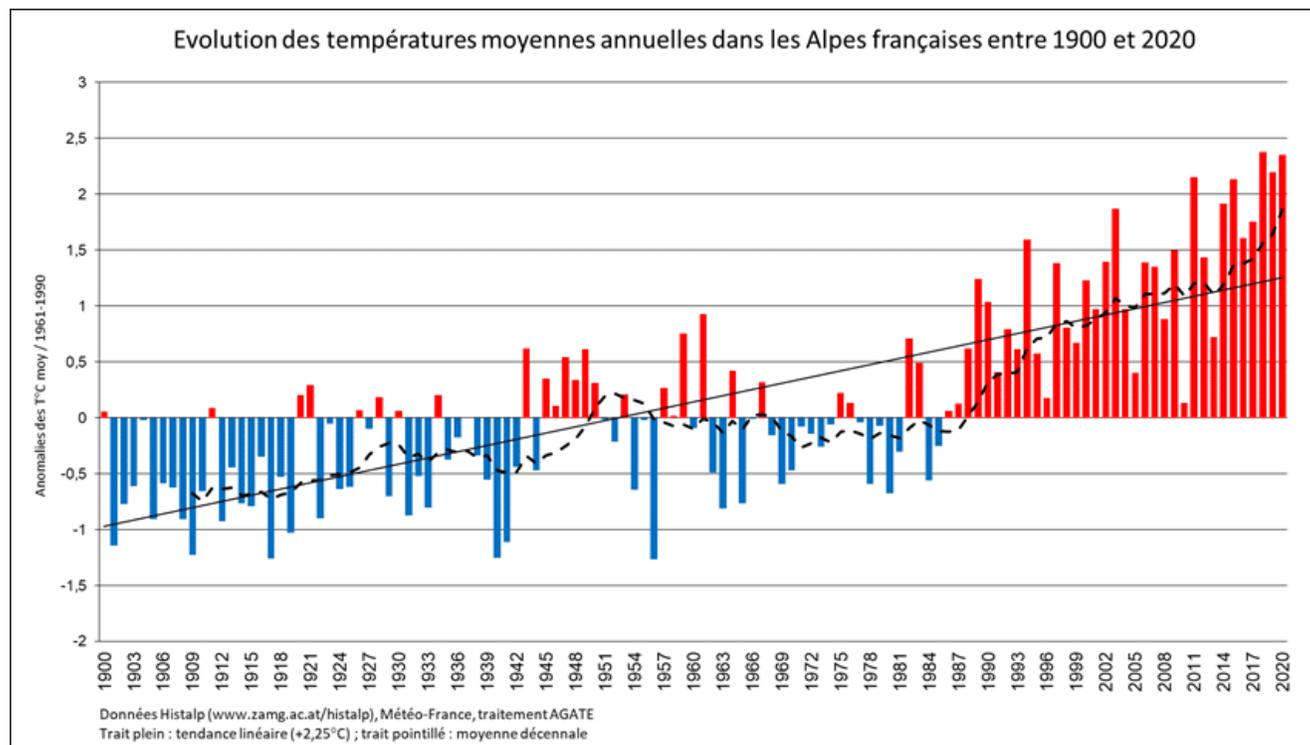
- Etudier l'ensemble des publications scientifiques sur la question climatique, d'analyser leur méthodologie, ainsi que leurs conclusions,
- Fournir un état de l'art et un niveau de confiance sur les connaissances scientifiques au niveau mondial
- Etablir un consensus scientifique mondial utile au développement des politiques climatiques

Le 6<sup>ème</sup> rapport divisé en 3 parties :

- **Les éléments scientifiques sur l'évolution du climat.**
- **Les conséquences des évolutions climatiques, les mesures d'adaptation possibles et la vulnérabilité de nos sociétés**
- **Les différentes mesures d'atténuation possibles**



# Le changement climatique dans les Alpes, qu'en savons nous exactement ?



A l'échelle des Alpes françaises : réchauffement de **+ 2,25 °C**,  
**entre 1900 et 2020** (Alpes françaises du nord : +2.4°C et Alpes  
françaises du sud : +2.1°C).

**Année 2020** : 2<sup>nd</sup> position des années les plus chaudes (après  
2018) jamais enregistrées, avec +2,2°C par rapport à la moyenne  
1961-1990, et plus de **+3,3°C par rapport à 1900**.

Depuis la révolution industrielle  
(XVIII<sup>ème</sup>), le monde est entré dans  
une période que certains  
appellent l'**anthropocène**

« Epoque sans précédent où l'influence de  
l'homme sur l'écorce terrestre, les  
écosystèmes qu'elle abrite, et l'atmosphère  
est devenue elle-même une **force  
géologique**. Cette force apparaît désormais  
capable de supplanter les facteurs naturels  
par la rapidité et l'intensité du  
développement des activités humaines... »  
(Aux racines de l'anthropocène, M. Magny)



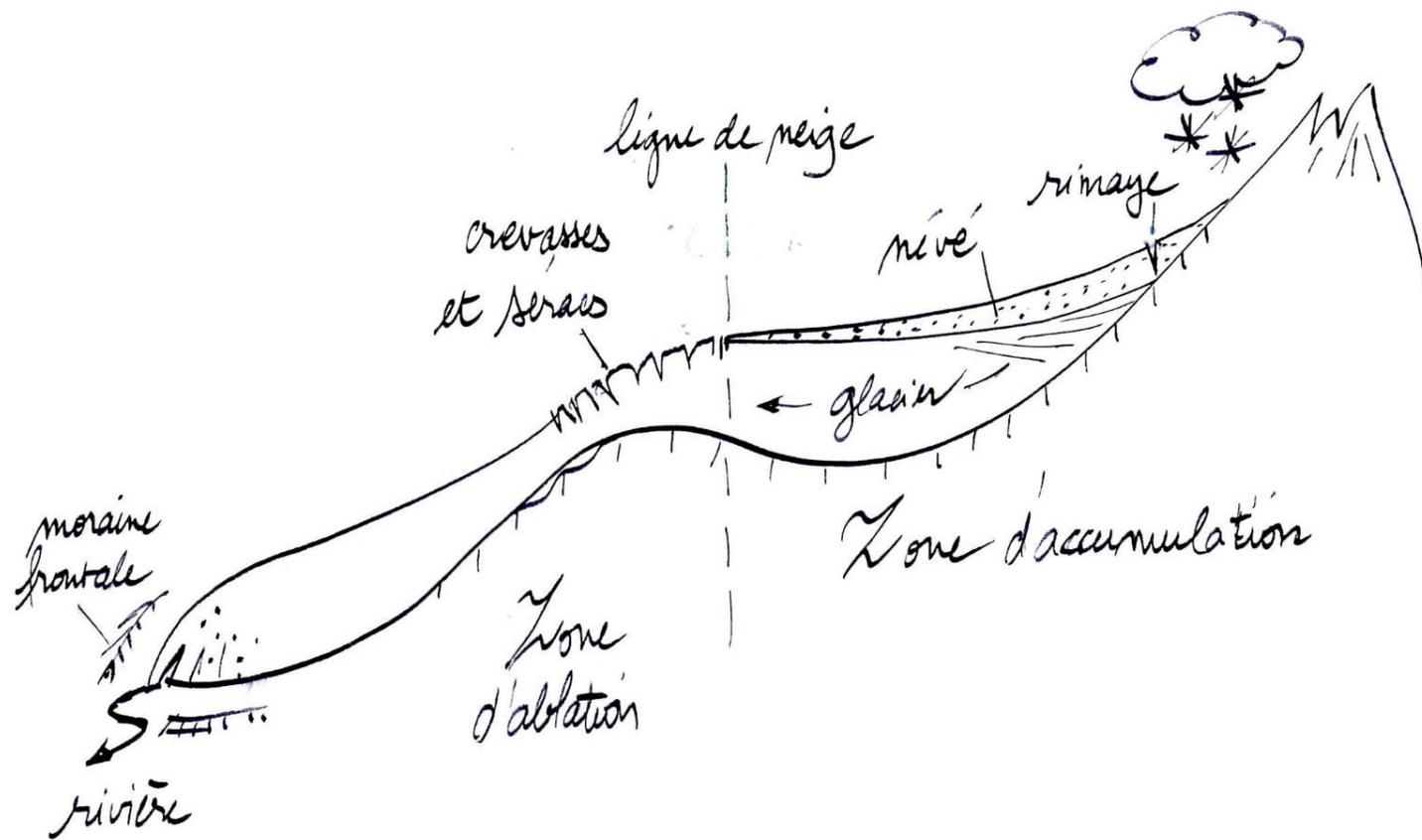
# Glaciers et cryosphère



Petit Âge de Glace (PAG)  
= période de crue des  
glaciers, qui se termine  
milieu XIX<sup>ème</sup>.

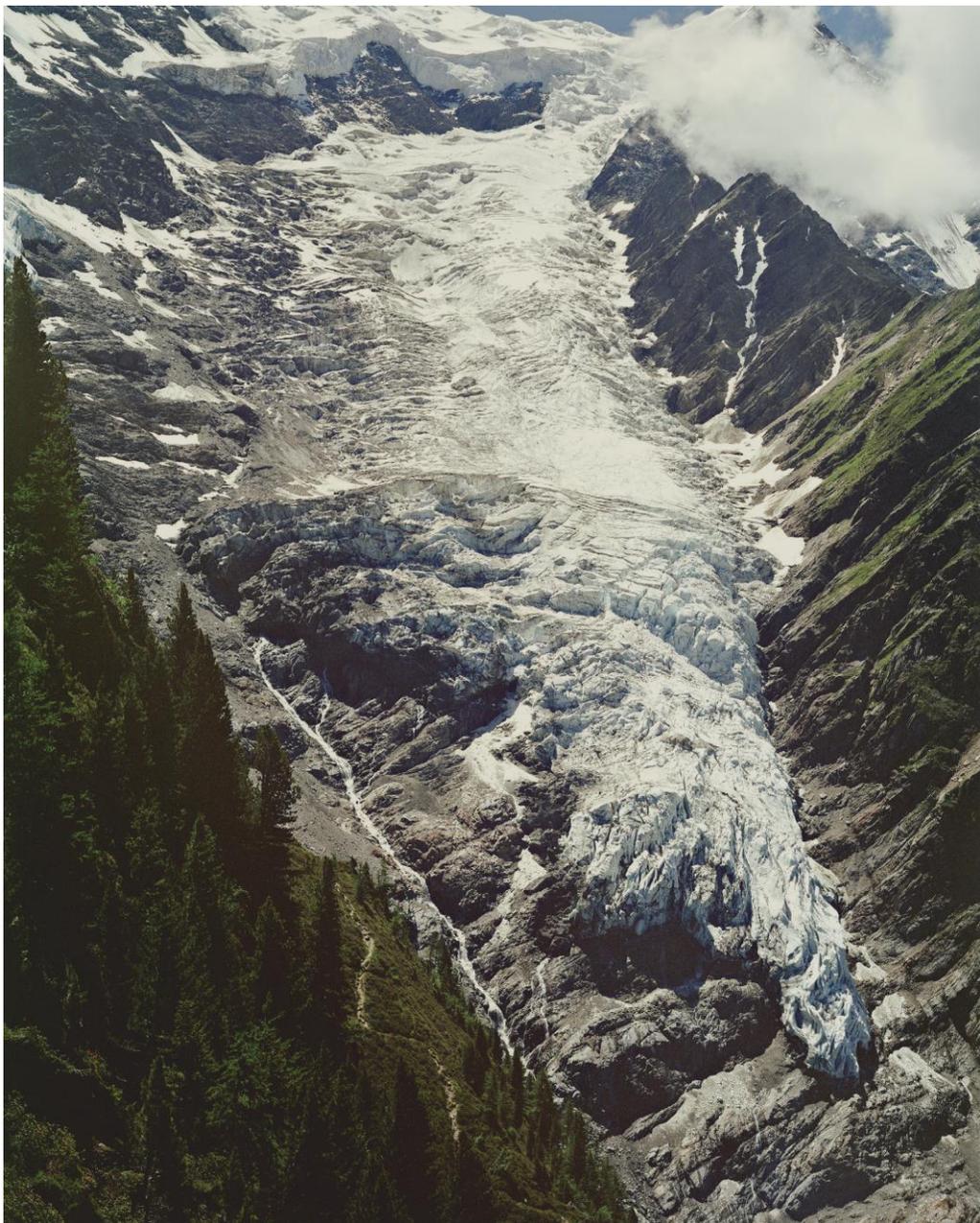
Depuis la fin du PAG, recul  
généralisé, et exponentiel des  
glaciers





Fonctionnement d'un glacier



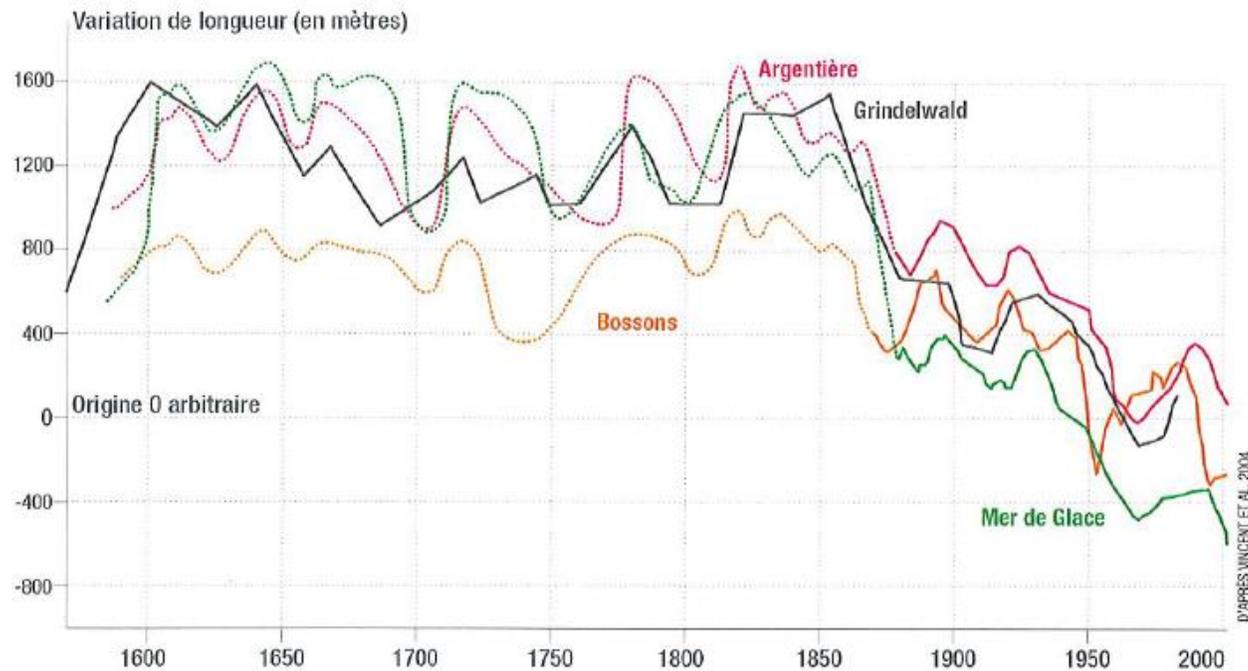


## Glaciers froids et glaciers tempérés

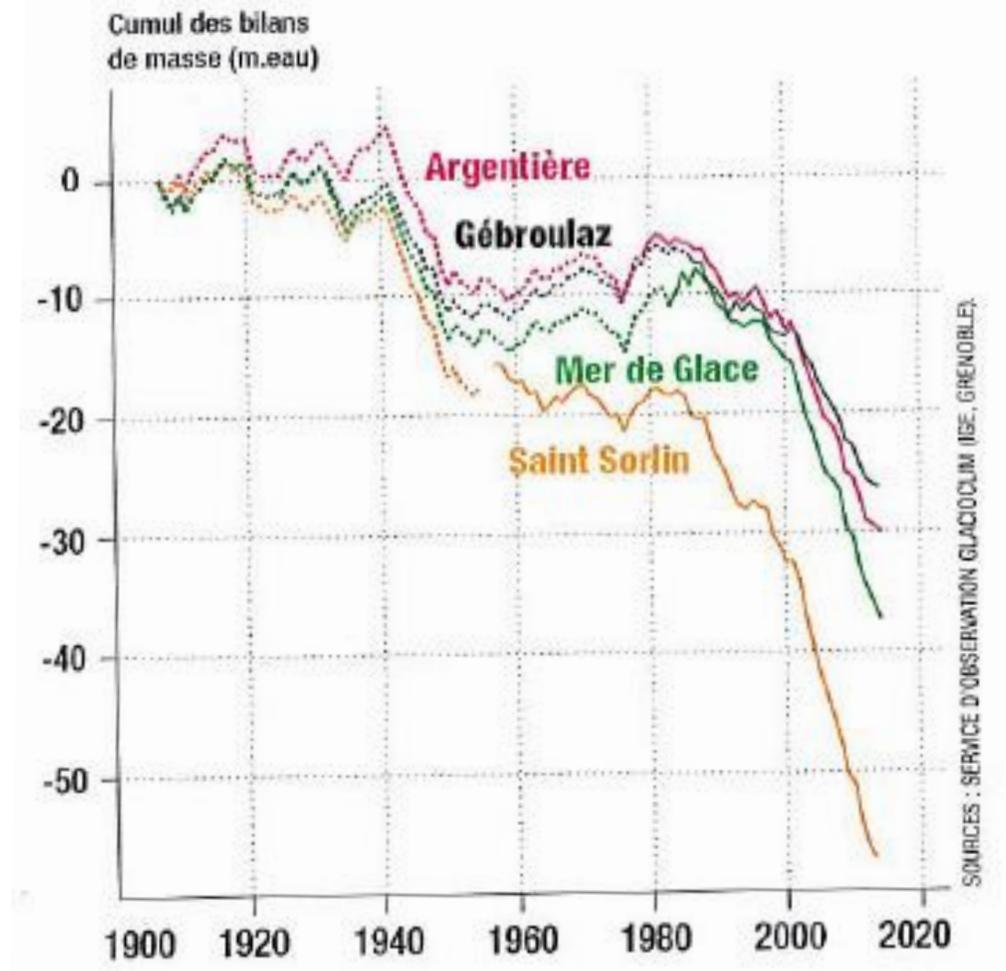
**Au-dessus de 4000m**, la fonte n'intervient pas, le glacier reste **froid et sec**. Seule la déformation plastique de la glace affecte les mouvements du glacier.

**En dessous de 3600-3700m**, l'été, l'eau de fonte de la neige percole, imbibe et réchauffe les couches inférieures du névé qui se transforment vers 35 mètres de profondeur en **glace imperméable à 0°C**, dite « **tempérée** ». Le glacier peut alors glisser sur son lit suivant son propre poids.





**Fig. 29. Fluctuation des longueurs de quatre glaciers des Alpes depuis quatre siècles.** Noter comment le glacier des Bossons anticipe les variations de ses voisins, Mer de Glace et Argentière (mais son léger sursaut des années 2000 restera sans lendemain).





Position du glacier il y a 30 000 ans

Position du glacier il y a 200 ans  
(perte de 150m sur la photo, 220m au  
niveau du Montenvers)

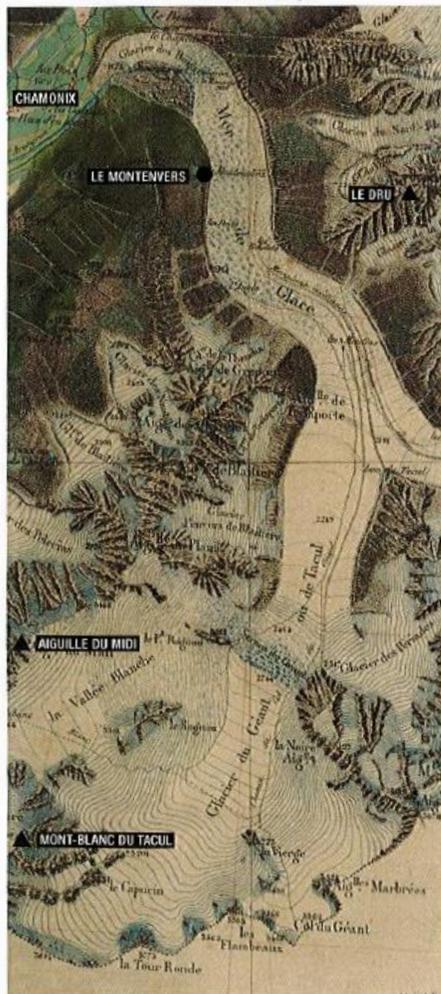
Vitesse d'écoulement du glacier de la  
MdG au niveau du Montenvers:

PAG : 1km / an  
1950 : 100m / an  
2020 : 6/7m / an



**1865**

selon la carte d'état-major



**2020**

extension et épaisseur actuelles



**2050**

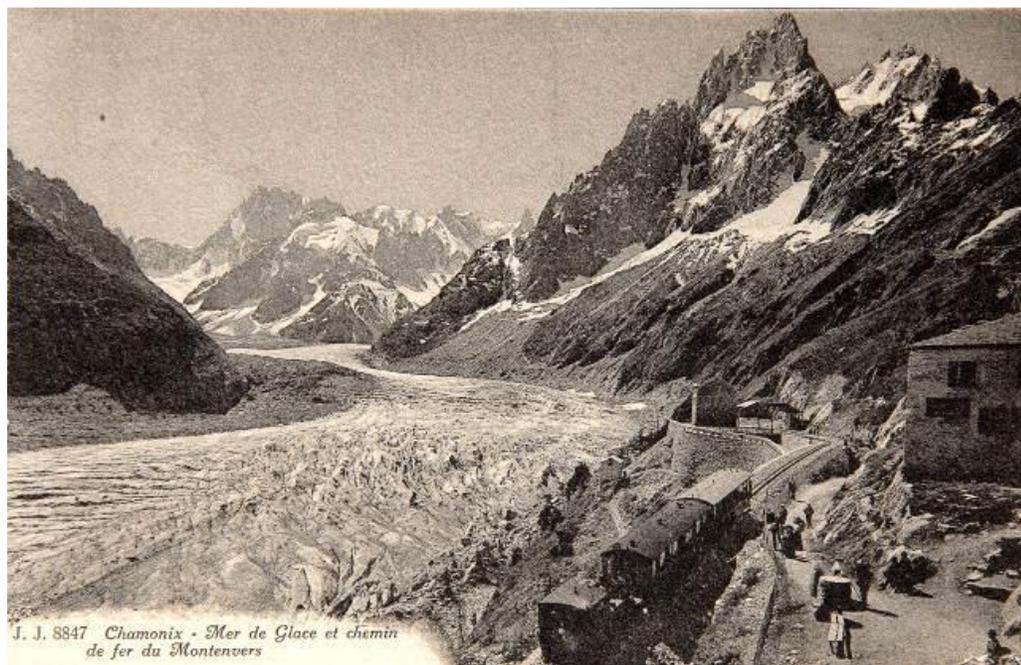
(selon le scénario RCP4.5)



**2100**

(selon le scénario RCP4.5)





1915

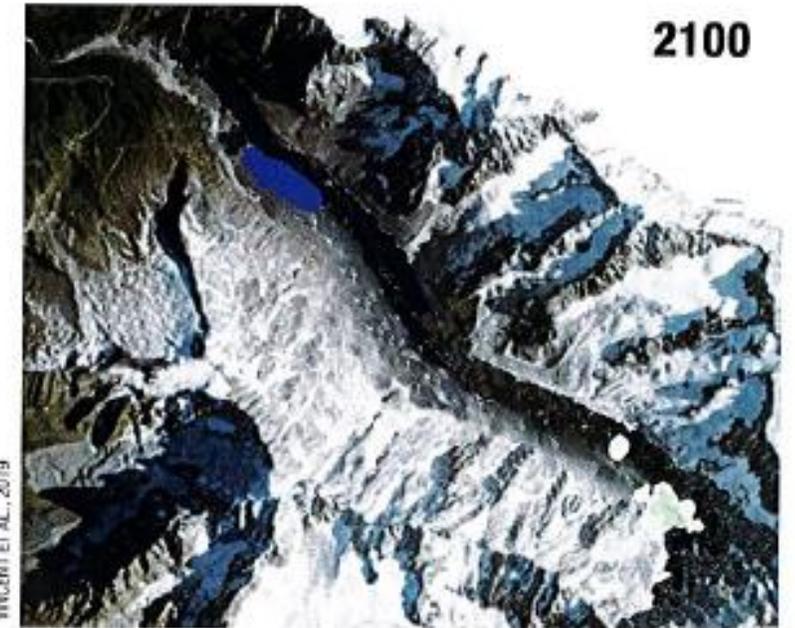
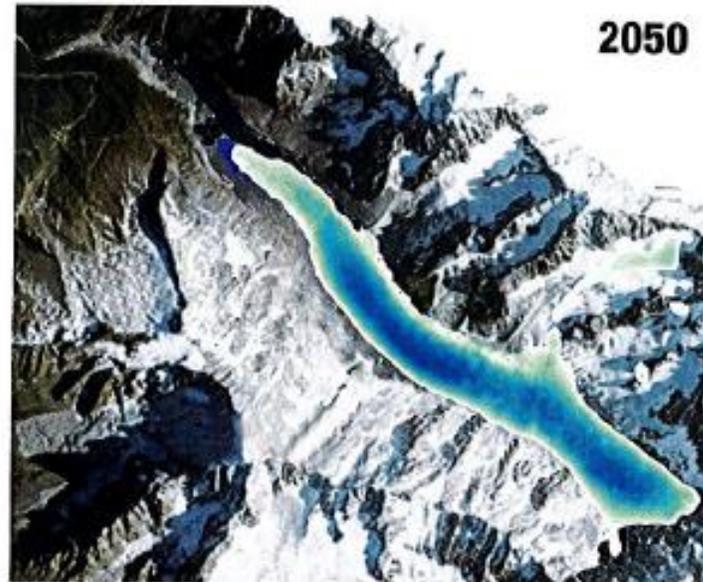
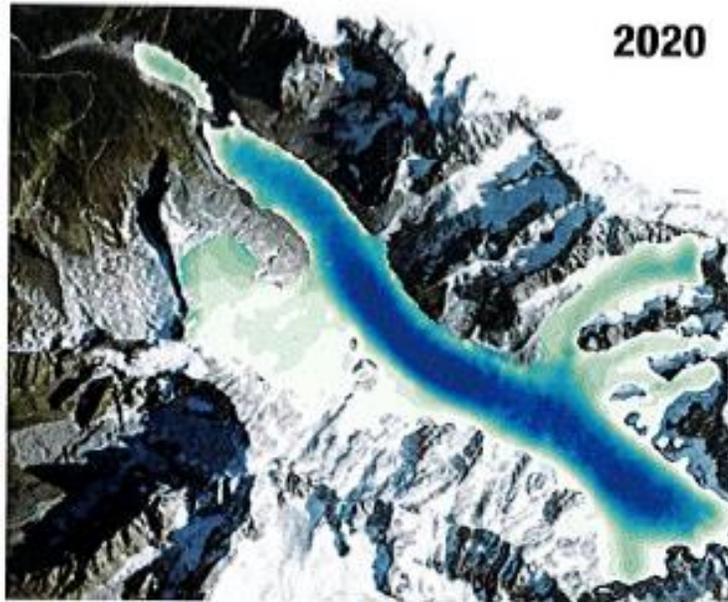


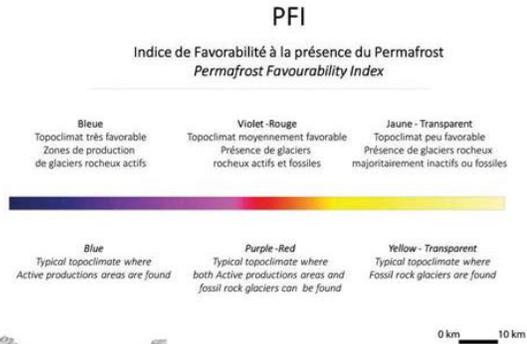
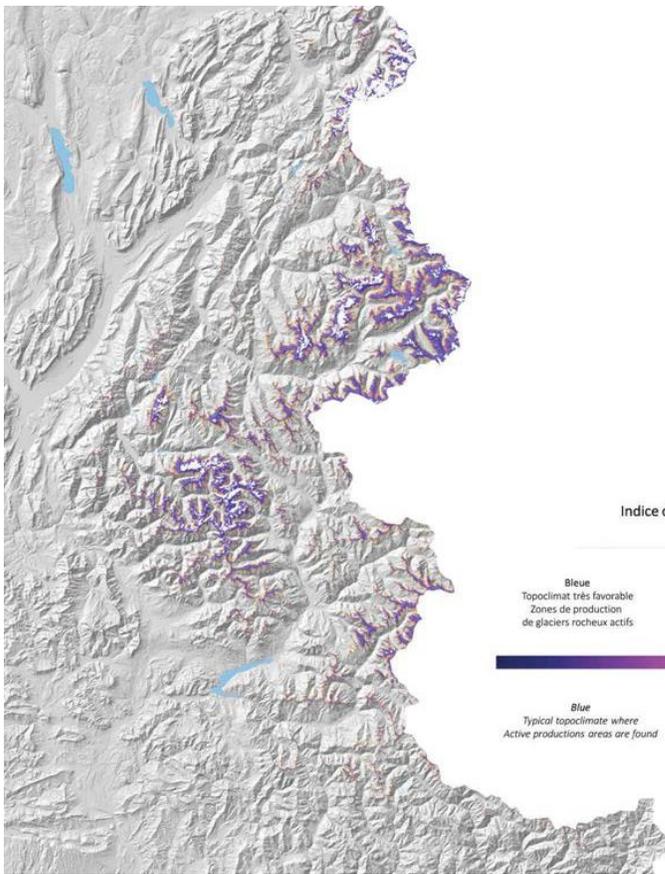
2018





## Evolution du glacier d'Argentière d'ici 2100 sous RCP 4.5





En 2018, seuls 2 relevés de T° effectués entre le 7 juin et le 31 août au refuge du promontoire sont négatifs



Effondrement du Glacier Carré à la Meije, 7 août 2018



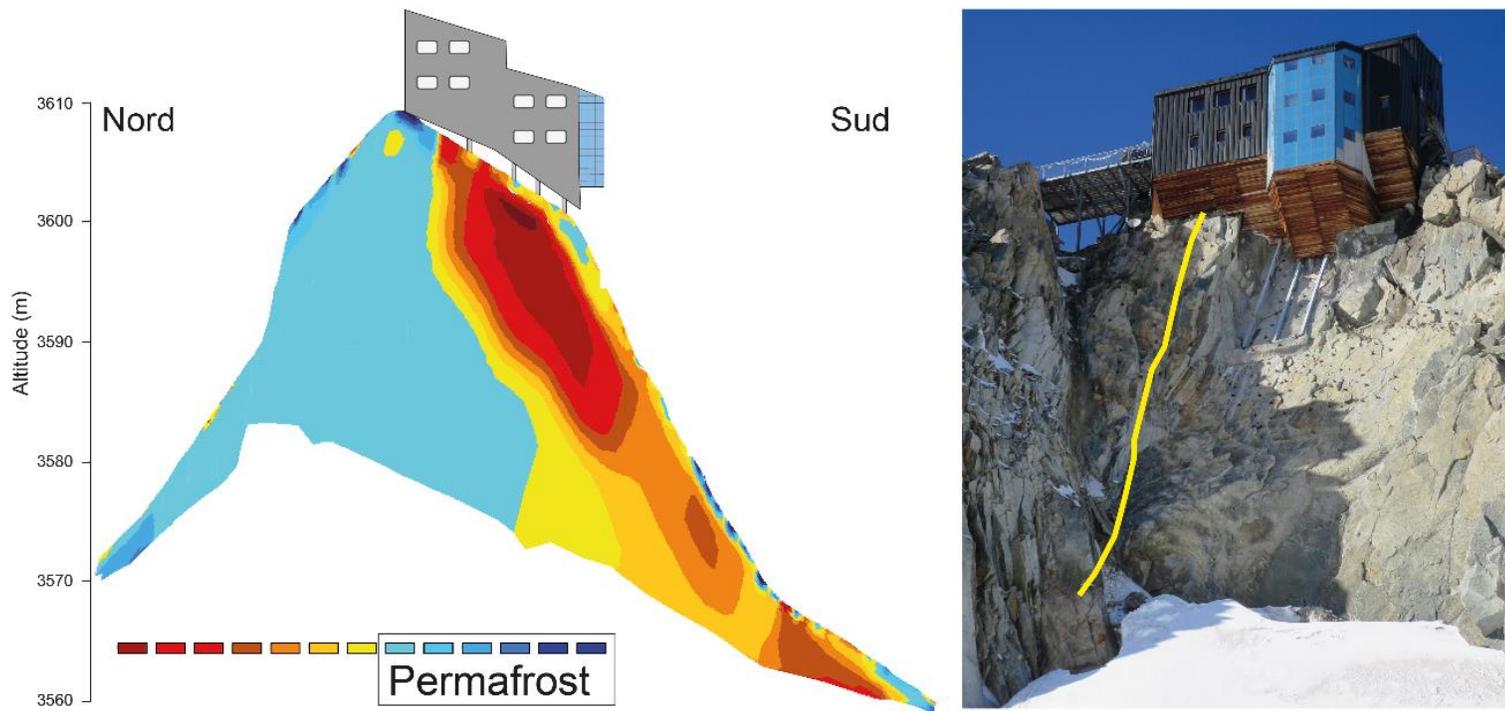
**Permafrost** : état thermique qui définit toute roche ou formation superficielle dont la température est négative pendant au moins deux années consécutives

Ecroulement de l'arrête des Cosmiques, 23 août 2018



## Instrumentation en paroi sur l'arête des cosmiques (3600m) pour déterminer des zones de permafrost

Couloir du Goûter, voie normale du Mt-Blanc : 347 accidents entre 1990 et 2017 (102 morts et 230 blessés).  
30 % des accidents mortels sont liés à des chutes de pierres .



- Risque direct de déstabilisation pour les infrastructures construites sur du permafrost (refuges, remontées mécaniques...). Au cours des 30 dernières années, 14 infrastructures ont connu des dommages et des travaux.
- Risque indirect de destruction d'infrastructures ou de dommages humains
- Risques en cascade

# Quelles conséquences ?

## Modification des pratiques

Glacier du Géant,  
en descendant de  
l'Aiguille du Midi



Crevasse sur l'arête des Bosses au Mont-Blanc



Effondrement du glacier de la  
Marmolada (3300m), le 5  
juillet en Italie.

La veille des températures  
records avaient été  
enregistrées sur le glacier  
( $>10^{\circ}\text{C}$ )



## Effondrement du glacier de la Marmolada

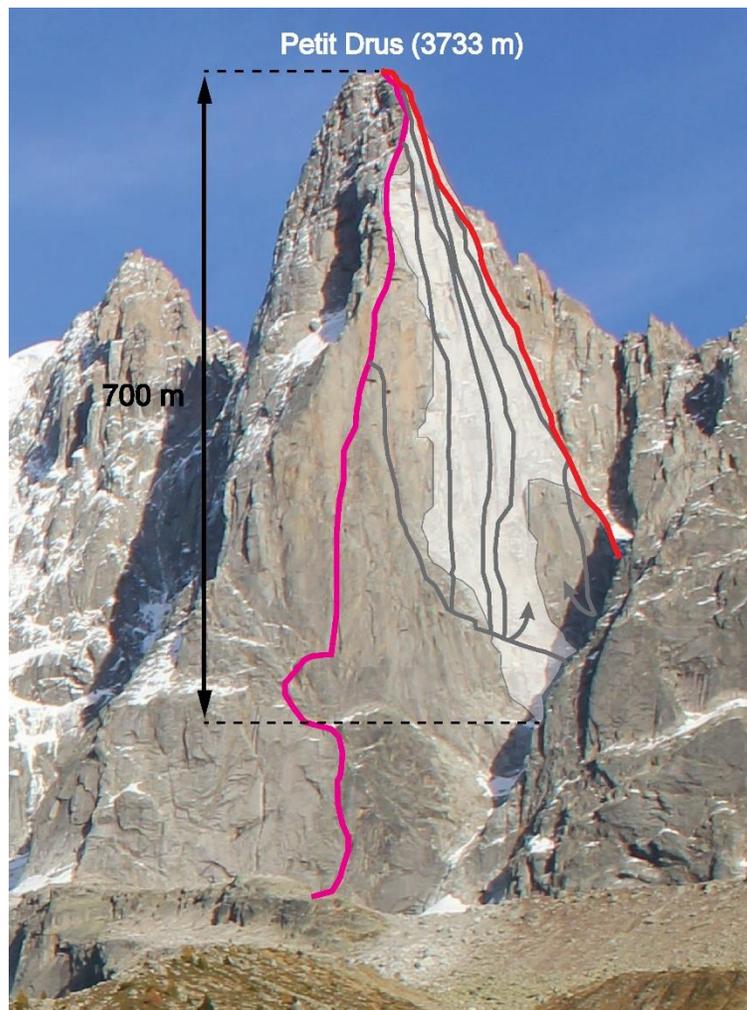


## L'évolution des voies et de leurs conditions de fréquentation pour la pratique de l'alpinisme

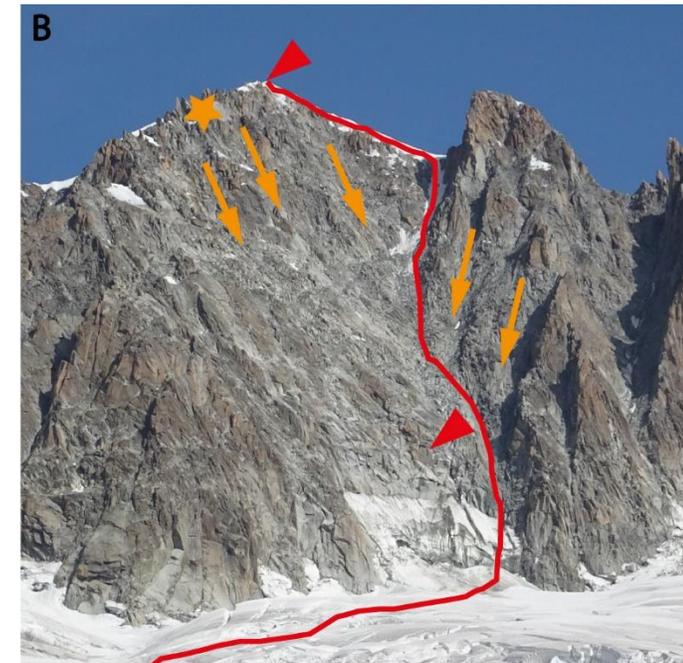
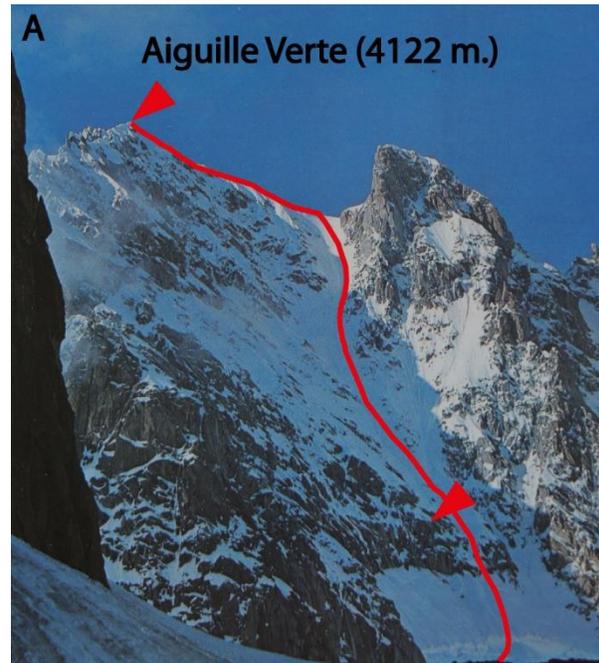
Le niveau de modification des itinéraires pour la pratique de l'alpinisme a été évalué sur une échelle à 5 niveaux.

- Sur les 95 étudiées, il n'y a que deux voies dont les conditions de pratique ne sont pas modifiées (niveau 0).
- Ensuite, le niveau 1, concerne 30 voies qui sont « peu modifiées ». Cela signifie qu'elles sont affectées par un ou plusieurs des processus identifiés mais qu'ils n'affectent pas ou peu les conditions de fréquentation de l'itinéraire par les alpinistes.
- Le niveau 2 concerne 30 voies, qui sont « moyennement modifiées ». La période favorable pour parcourir l'itinéraire devient aléatoire en été et se décale vers le printemps ou l'automne. Le danger et la difficulté de la voie sont plus importants et le niveau d'adaptation nécessaire de la part des alpinistes est plus élevé.
- Le niveau 3 concerne 26 voies, « fortement modifiées ». Elles ne sont en général plus fréquentables pendant l'été en raison du nombre et de l'intensité des processus qui les affectent.
- Enfin, le niveau 4 concerne 3 voies qui ont simplement disparues : le pilier Bonnatti aux Drus (Figure 3), la voie Lepiney au Trident du Tacul et l'école de glace des Bossons.



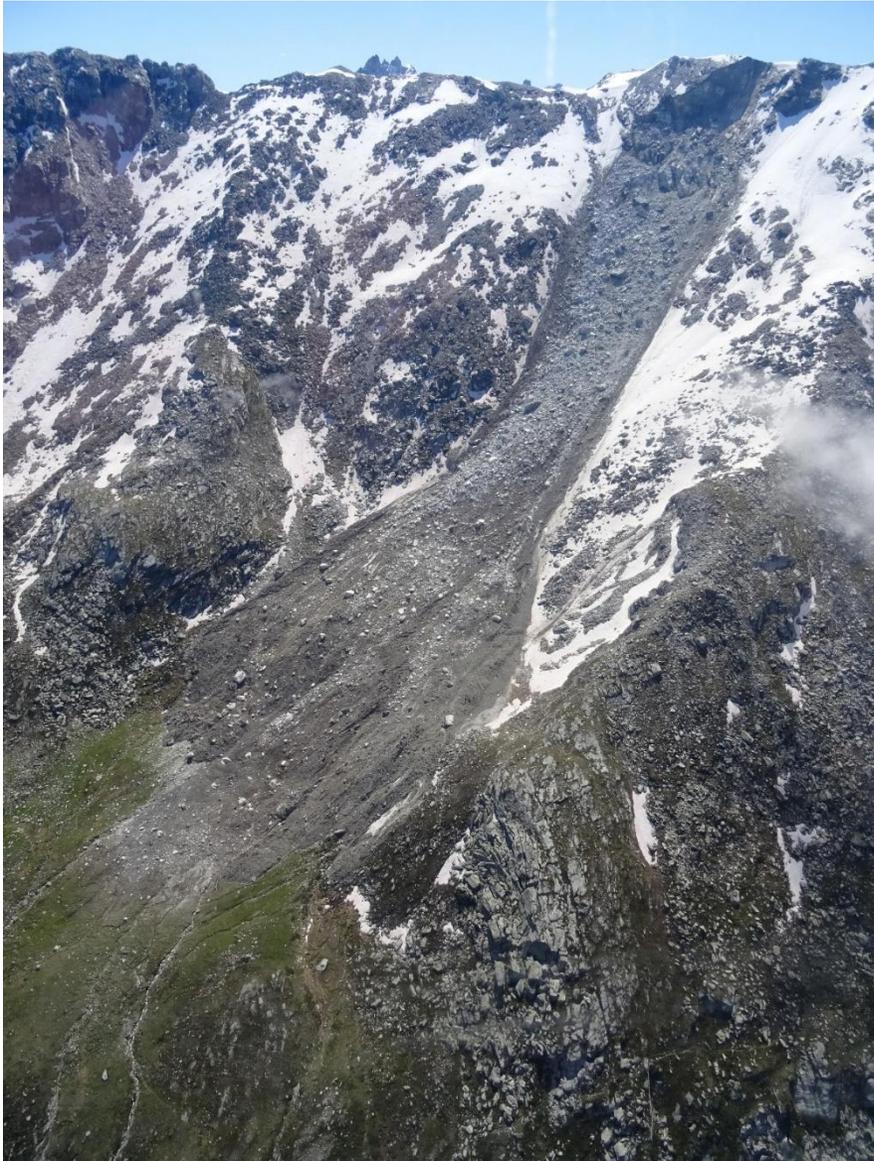


- Pilier Bonatti (1955)
- Directe américaine (1965)
- Autre itinéraire
- Niche d'arrachement de l'éroulement de 2005



Le couloir Whymper, face sud de l'Aiguille Verte (4122 m), la voie est marquée en rouge. A : situation à la fin des années 1960 (photo issue du topo-guide). B : situation fin août 2017. La couverture nivo-glaciaire dans le couloir fait l'objet d'une disparition qui laisse apparaître un substratum rocheux très déstructuré à l'origine de fréquente chutes de pierres. Les flèches rouges pointent des affleurements identiques et l'étoile rouge marque le point de départ de l'éroulement de 22 000 m<sup>2</sup> de 2015.





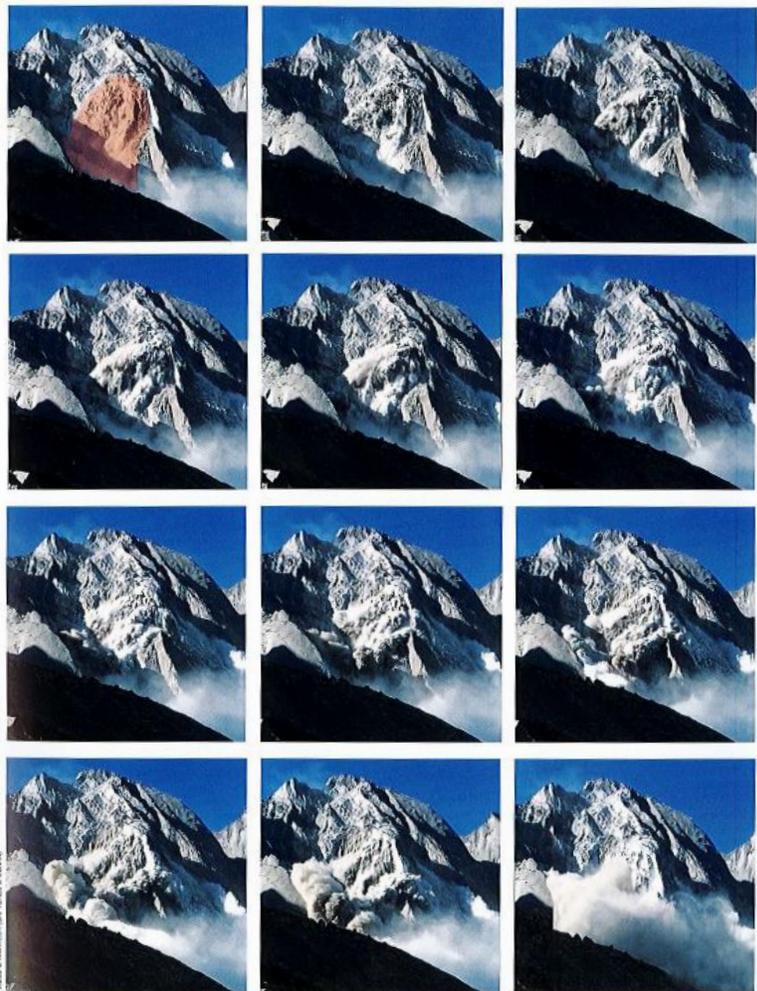
Juin 2020,  
vallon d'Étache (Hte Maurienne)

Après 3 semaines de fraîcheur mais après 12  
mois continus au-dessus des moyennes de  
températures...



## De la haute à la basse montagne : les effets en cascade

### Le cas du Piz Cengalo en 2017



- Altitude : 3300m. Paroi composée de permafrost.
- 3,3 millions de m<sup>3</sup> mobilisés
- Forts orages qui se déclenchent
- Lave torrentielle de 1.5m d'épaisseur en fond de vallée
- 200 000m<sup>3</sup> de matériau dans le village de Bondo
- 41 millions de francs suisses

Village de Bondo



## Risques pour les vallées ?

### Exemple du lac proglaciaire du glacier des Bossons (Chamonix)

Au cours des derniers mois un lac proglaciaire s'est formé en aval du glacier

Volume estimé : 4000m<sup>3</sup>

Volume projeté à l'automne 2022 : env. 21 000m<sup>3</sup> +/- 8000m<sup>3</sup>





Beaufortain



Vanoise

Pans de glissement favorisé par le sable  
déposé lors d'un épisode de Sirocco



## Mais il n'y a pas que les glaciers ou la haute montagne dans les Alpes...

Les territoires alpins de moyenne et basse montagne sont également confrontés à de nouvelles problématiques, en lien avec l'évolution des aléas.

- « Cascading effect », stocks sédimentaires mobilisables importants
- Augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur, des sécheresses, des inondations, des tempêtes et des cyclones, des feux de forêts...
- Apparition de nouveaux phénomènes (pluie sur neige, feux de forêts en altitude ...)
- ATTENTION : tous les événements ne sont pas conséquences du changement climatique



Lave  
torrentielle à  
Névache en  
2018



Coupure de  
route sur la  
commune de la  
Grave





Evolution des aléas, évolution de la vulnérabilité,  
évolution de la question de la gestion des risques

Coupure de route dans le Val d'Arly





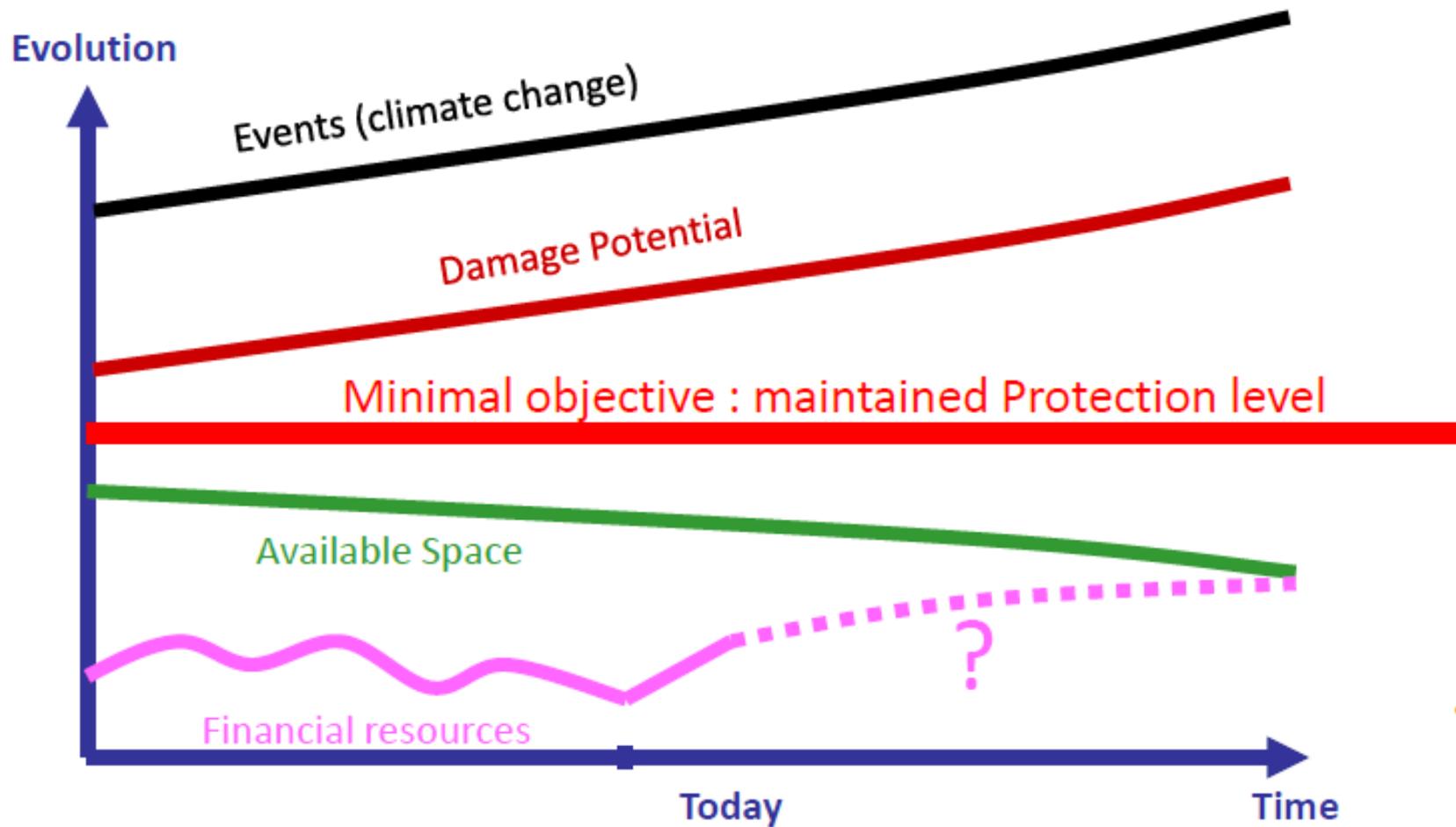
1<sup>er</sup> et 2 octobre 2020, Alpes Maritimes  
Tempête Alex

Résultante d'une tempête venue de  
Bretagne à l'origine d'un épisode  
méditerranéen exceptionnel et très  
précoce pour la saison

- Cumul exceptionnel
- Réponse hydromorphologique  
exceptionnelle
- Dégâts énormes

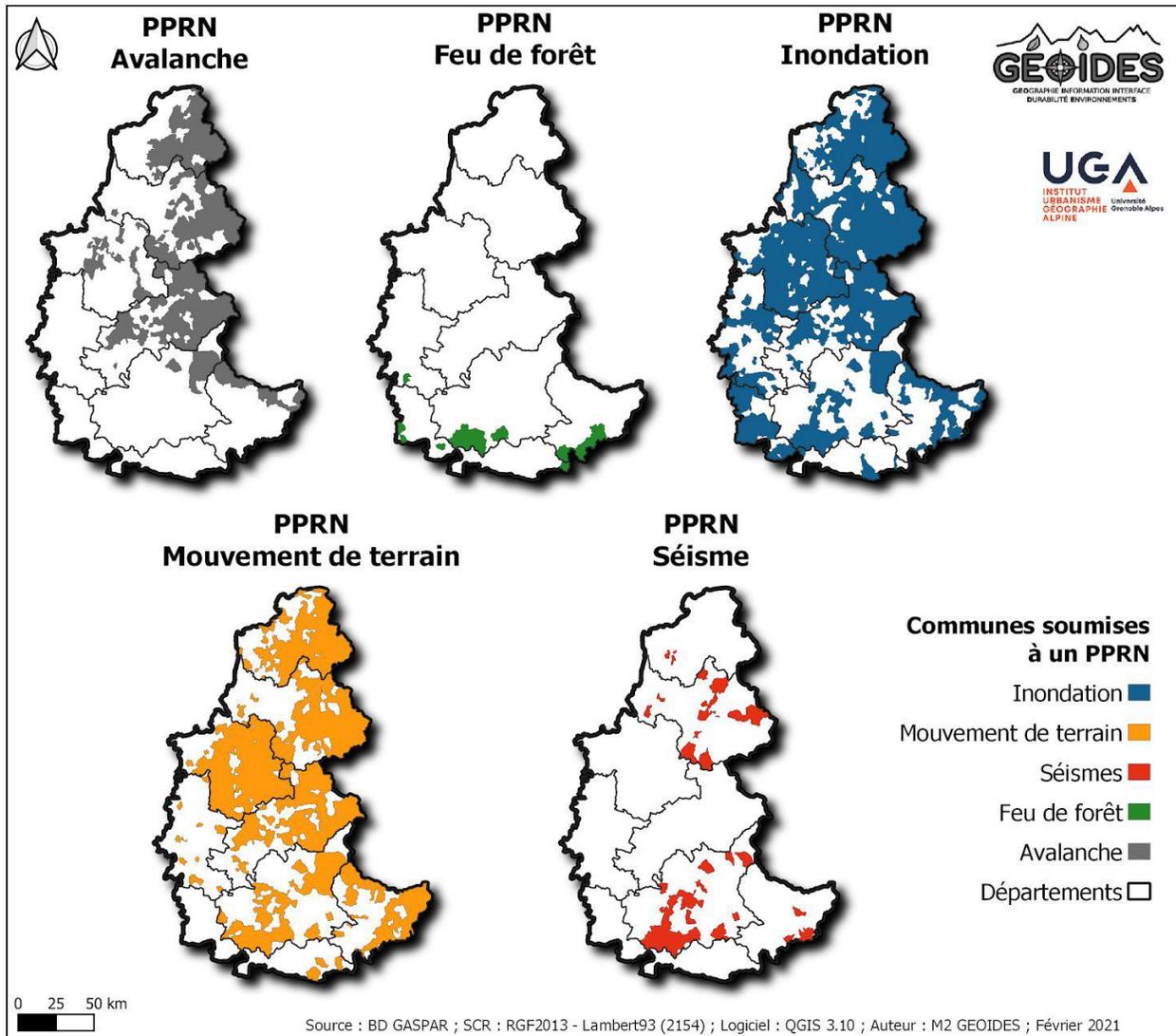
➔ Question les méthodes, approches,  
moyens employés pour la gestion de crise  
dans un contexte probable de forçage  
climatique. Elle pose également la  
question du dimensionnement des outils  
existants, réglementaires, opérationnels  
et financiers ...





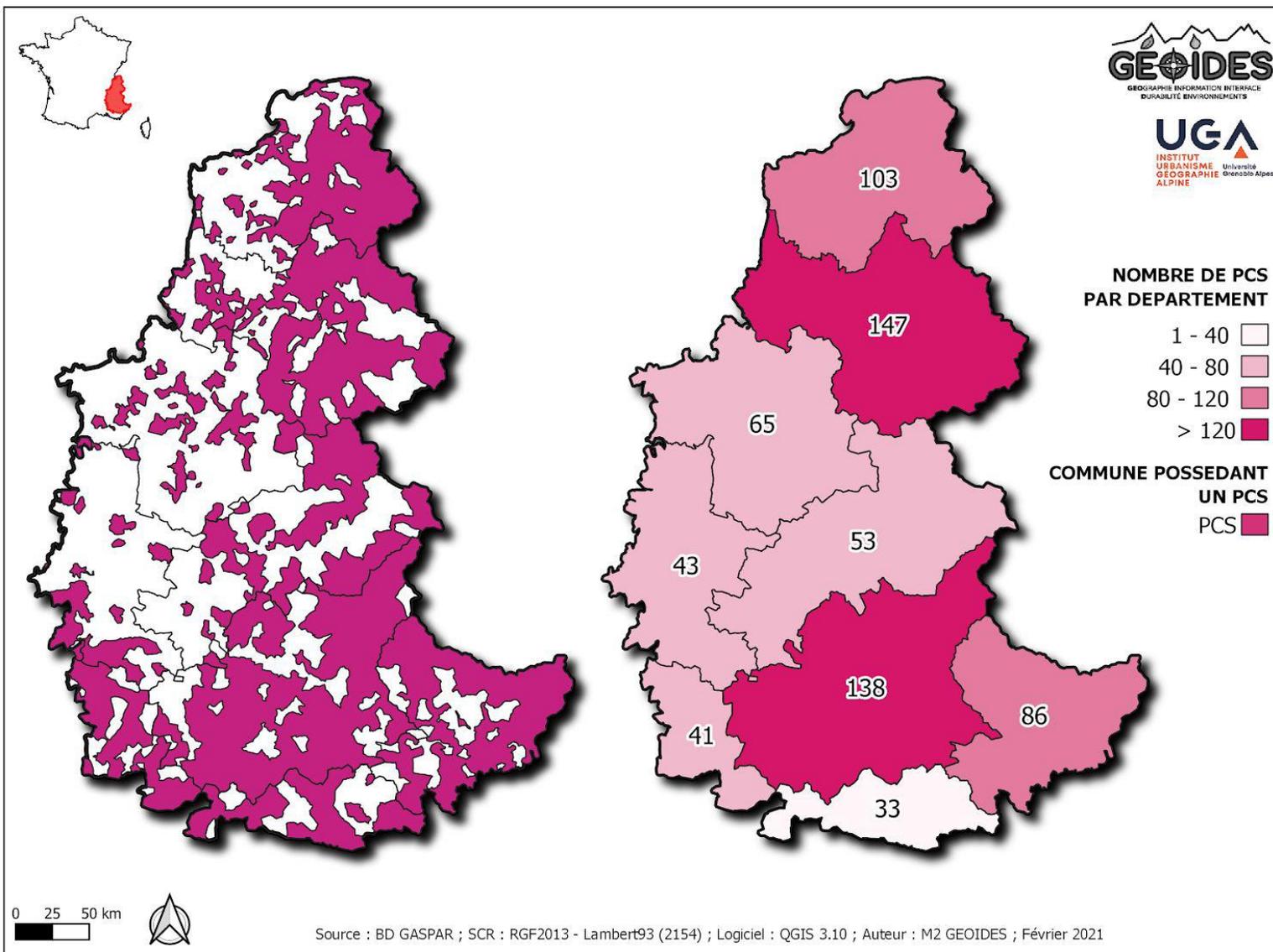
01





Le Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) est un document qui réglemente l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis





Novembre 2021 : Loi Matrass qui oblige les communes à mettre en place un PCS ou PICS s'il n'existe pas de PPRN



**Prévention**  
Sensibilisation des populations  
Développement de la culture  
et mémoire du risque  
Anticipation et préparation  
à la gestion des évènements

**ÉVÉNEMENT  
DOMMAGEABLE**

**Gestion d'évènements**

Actions cohérentes  
et coordonnées  
entre tous les acteurs  
et intervenants de la gestion  
de crise

**Retour d'expérience**

Capitalisation d'expérience et  
analyse de points à améliorer  
et des points forts  
de la gestion de crise

**Retour à la normale**

Mise en place d'actions  
permettant un retour à la normale  
le plus rapidement possible  
(ex. : réouverture d'une route)

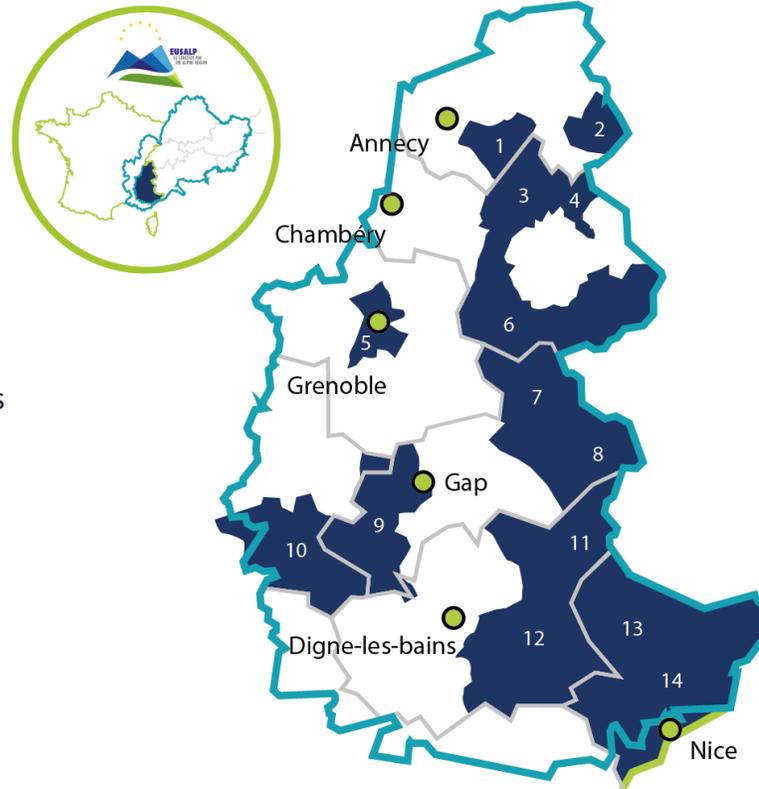


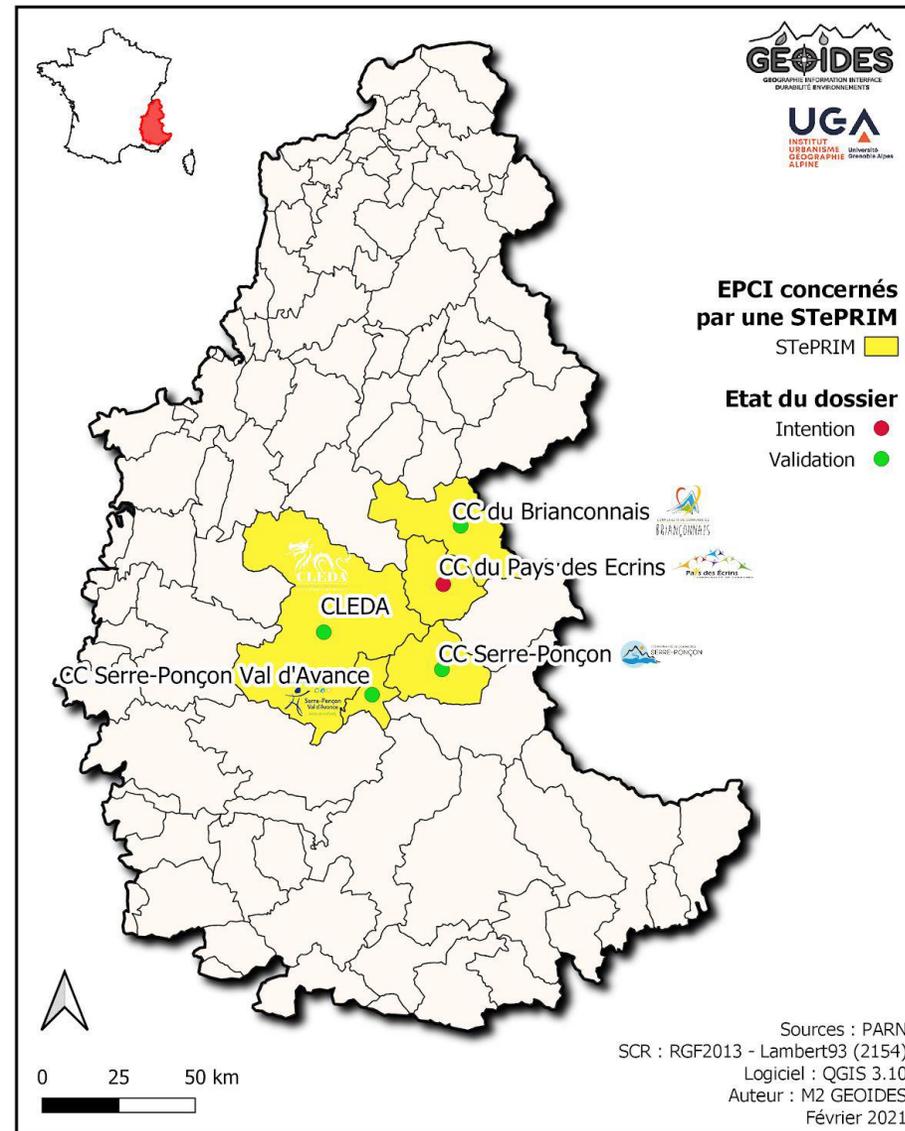
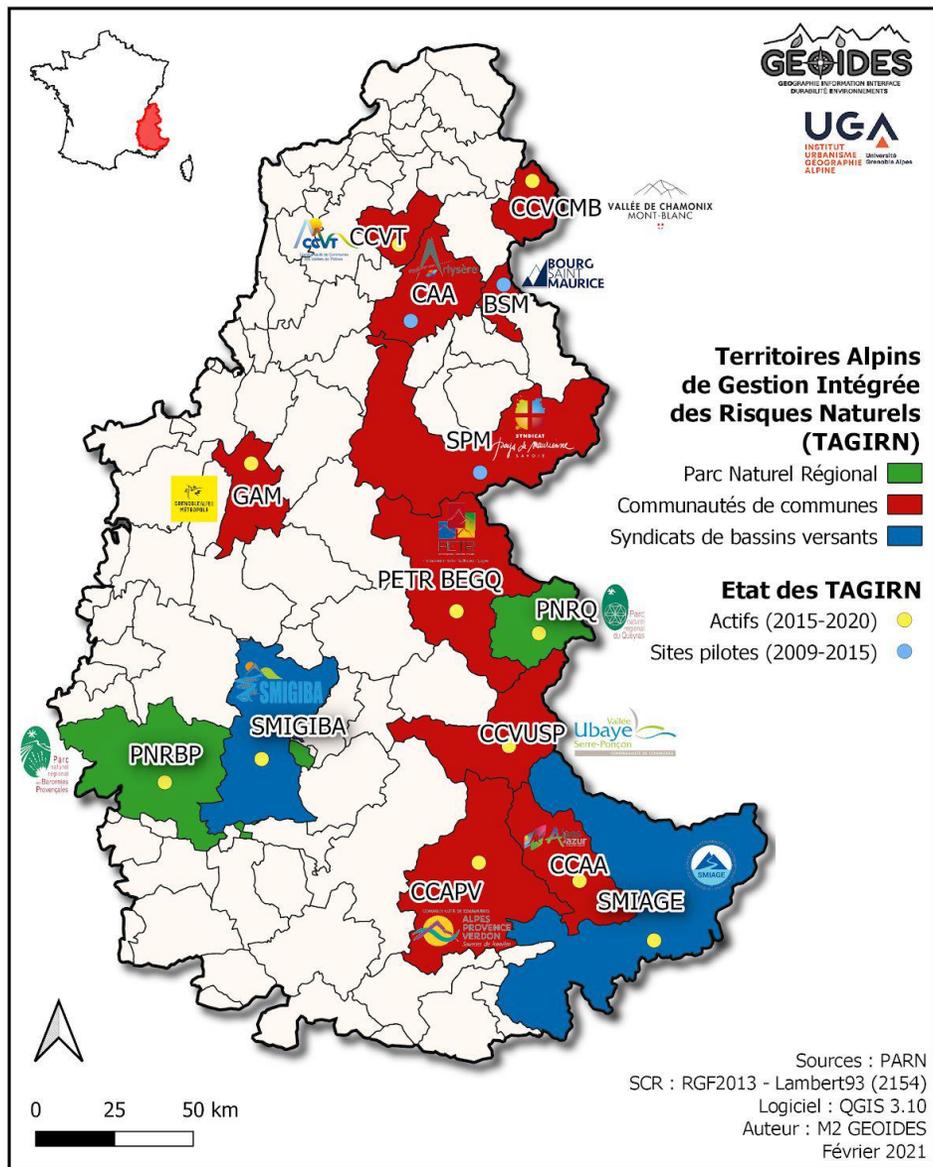
# Besoin de nouveaux cadre de gestion des risques

## Réseau des territoires impliqués dans la GIRN

dans les Alpes françaises, depuis 2009

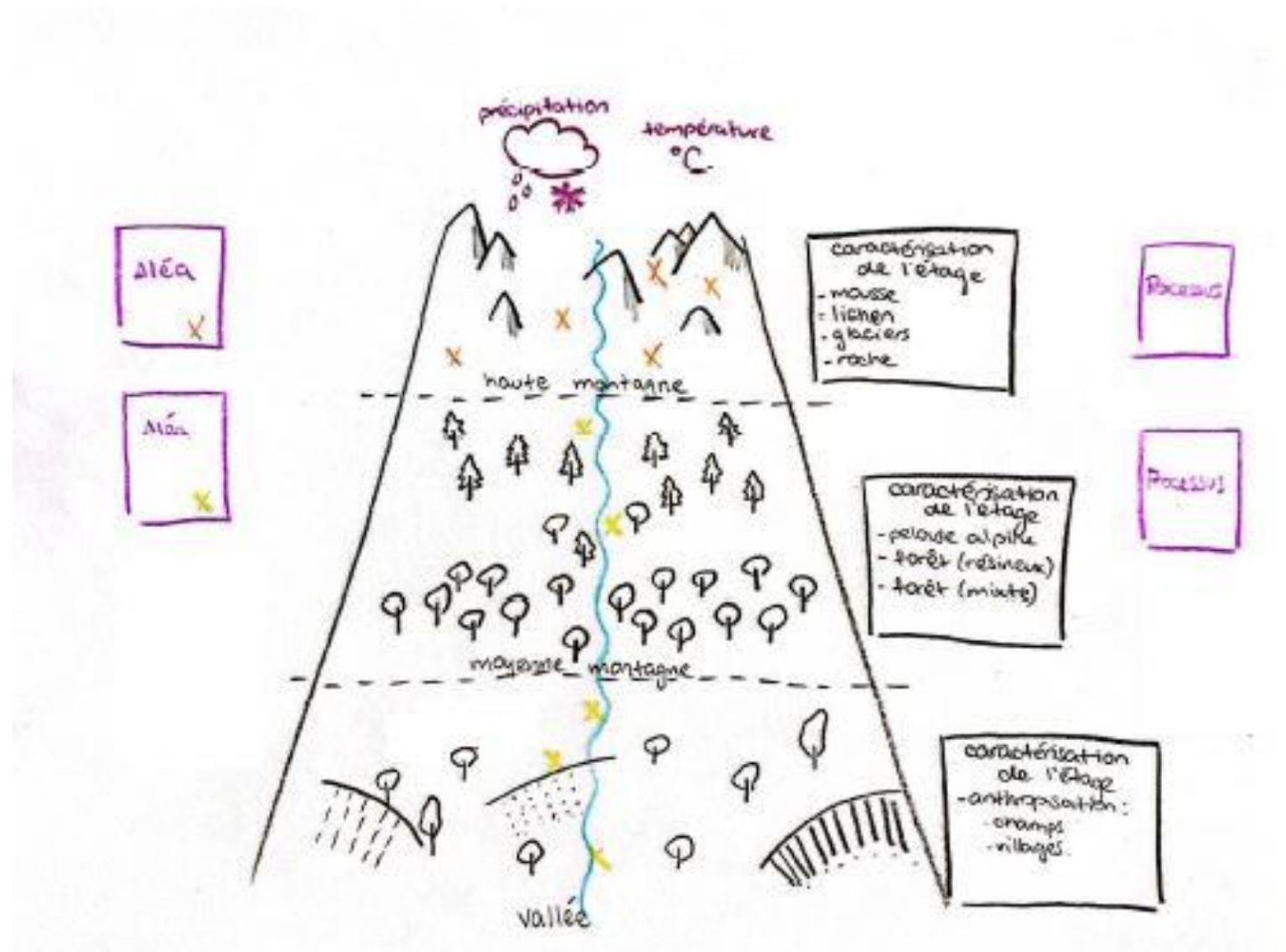
-  1. CC Vallée de Thônes
-  2. CC Vallée de Chamonix Mont-Blanc
-  3. Arlysère
-  4. Bourg-Saint-Maurice
-  5. Grenoble-Alpes Métropole
-  6. Syndicat des Pays de Maurienne
-  7. PETR Briançonnais, Ecrins, Guillestrois, Queyras
-  8. PNR du Queyras
-  9. SMIGIBA (Buëch)
-  10. PNR Baronnies Provençales
-  11. CC Ubaye Serre-Ponçon
-  12. CC Alpes Provence Verdon
-  13. CC Alpes d'Azur
-  14. SMIAGE (Alpes Maritimes)





## La Fresque des Risques Naturels :

Jeu sérieux sur les relations entre aléas naturels, risques et changement climatique



# S'adapter aux conditions météorologiques en hiver



En été comme en hiver, la route D994G longeant la vallée de la Clarée est exposée aux phénomènes naturels. Les aléas les plus récurrents sont les avalanches en hiver et les laves torrentielles en été.

## Le risque avalancheux dans la vallée de la Clarée

Une avalanche correspond au **déplacement rapide d'une masse de neige sur une pente**, provoqué par une rupture du manteau neigeux (Géorisques).

La route D994G est entourée par des couloirs avalancheux. En période hivernale, les cumuls de neiges peuvent être très abondants dans la vallée. La neige fraîche et peu stable qui s'accumule en hiver favorise les départs d'avalanches sur ce secteur. La portion de route entre Val-des-Prés et Névache est fréquemment coupée en raison de ce phénomène.

## Comment les services météorologiques évaluent le risque avalancheux ?



Il n'est pas possible de prédire précisément quand une avalanche va se déclencher. C'est pour cela que l'on raisonne en terme de probabilité. Une signalétique du risque avalancheux commune à l'échelle européenne a été instaurée en 2016. On peut retrouver les pictogrammes correspondants aux différents niveaux de risque sur les bulletins météo de montagne. Pour constituer son bulletin d'estimation du risque d'avalanche (BRA), Météo France évalue les conditions atmosphériques et l'état du manteau neigeux. Le niveau de risque est établi en croisant des observations de terrain avec les prévisions météorologiques et des modèles numériques.

## Quels facteurs contrôlent le départ d'une avalanche ?

Les avalanches peuvent être déclinées en 2 types : les **déclenchements spontanés** (avalanches naturelles) et les **déclenchements provoqués** (avalanches accidentelles).

Les premières sont principalement dues à des **facteurs météorologiques**, tandis que les secondes sont davantage liées à la **constitution** et à la **fragilité du manteau neigeux**, qui se brise au passage d'un pratiquant de la montagne.

Les avalanches se différencient également selon le **type de neige** qui les constituent (sèche, mouillée, meuble, poudreuse...). En fonction de ce dernier, certains paramètres vont être plus ou moins déterminants dans la rupture d'une masse neigeuse. En voici quelques uns :

- Les **précipitations** (pluie, neige fraîche) qui alourdissent la masse déjà en place
- L'**humidification** par la base du manteau neigeux qui provoque son glissement
- Le **vent**, qui permet le transport et l'accumulation de neige soufflée
- L'**empilement instable de strates neigeuses** ayant des consistances différentes

Sources : Météo France, Géorisques, Institut ISI pour l'étude de la neige et des avalanches ISF, White Risk



Avalanche déclenchée volontairement dans la vallée de la Clarée pour la sécurisation de l'axe routier à Névache en 2013 (photo: https://doi.org/10.1016/j.jgl.2013.05.001) - Source: premiers signaux de déclenchements d'avalanches ont été notés (31/11/13)



Carte IGN modifiée depuis le 01/01/2012

## Pourquoi y a-t-il des barrières ?

Les barrières routières permettent aux usagers de la route d'être informés d'un risque ou d'un phénomène naturel en cours bloquant la voie. Lorsque les barrières sont fermées, cela signifie que le **risque d'avalanche est particulièrement élevé** sur ce tronçon.

## Que dois-je faire en cas de fermeture des barrières ?

Si le gestionnaire prend la décision de fermer une route départementale, c'est que **le danger sur cet axe est réel**.

## Ne surtout pas franchir les barrières !

La D1T, qui permet d'accéder à Névache en empruntant le col de l'Echelle depuis l'Italie, n'est ouverte que l'été.

Si les barrières sont fermées entre Val-des-Prés et Névache en raison d'une alerte avalanche, **il est inutile d'attendre. Rebroussez chemin.**

Des outils sont à votre disposition pour suivre l'évolution de la situation :



INFOROUTE05 METEOFRANCE



D994G coupée en raison d'un risque d'avalanches (photo: https://doi.org/10.1016/j.jgl.2013.05.001)

## Qu'est-ce que le PIDA ?

Le **Plan d'intervention de Déclenchement d'Avalanche** permet de limiter le risque avalancheux sur les axes routiers. Cette opération vise à déclencher volontairement une avalanche, dans un but préventif. Il peut être responsable de la fermeture de la route.



# S'adapter aux conditions météorologiques en été



**En été comme en hiver, la route D994G longeant la vallée de la Clarée est exposée aux phénomènes naturels. Les aléas les plus récurrents sont les avalanches en hiver et les laves torrentielles en été.**

## Le risque torrentiel dans la vallée de la Clarée

La route D994G longe la rivière de la Clarée, qui est alimentée par tout un réseau hydrographique de torrents parcourant la vallée. En raison de la fonte des neiges et des averses orageuses, la période estivale se prête particulièrement aux débordements des cours d'eau. La portion de route entre Val-des-Prés et Névache est fréquemment coupée en raison de ces inondations.

Les aléas que l'on observe le plus dans la vallée de la Clarée sont les **laves torrentielles**. Ce sont des phénomènes particulièrement dangereux, qui peuvent déplacer de très gros volumes de matériaux à très grande vitesse.

## Aléa torrentiel... De quoi parle t-on ?

L'aléa torrentiel désigne des inondations spécifiques aux cours d'eau de montagne à forte pente : les torrents. Ce phénomène est généralement dû à des **précipitations violentes, soudaines et localisées**, qui génèrent un afflux d'eau très important. L'eau dévale les reliefs et rejoint le chenal, qui entre alors en crue : son niveau d'eau et son débit augmentent très rapidement. Si le torrent se met à déborder hors de son lit, on parle alors d'inondation.

Les crues des torrents de montagne sont **rapides et imprévisibles**. Le temps de montée du niveau d'eau est inférieur à quelques heures et la puissance du courant permet de transporter un volume sédimentaire parfois très important. Il est **difficile de prévoir exactement quels torrents risquent de s'activer**.

En cas d'alerte inondation sur le territoire, il est donc important de consulter la **carte de vigilance** produite par Météo France, et d'**appliquer les consignes de sécurité** :



## Les laves torrentielles, des phénomènes dangereux

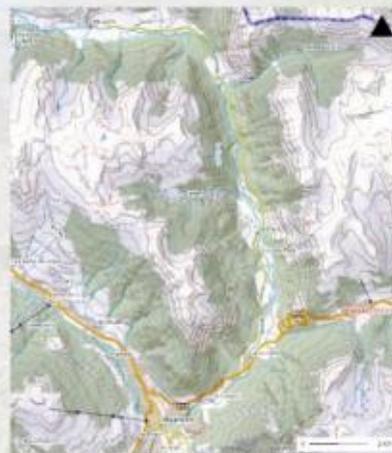
Une lave torrentielle désigne un écoulement solide-liquide (eau boue, pierres, blocs, bois...), qui transporte très rapidement un important volume de matériaux de l'amont vers l'aval. Lors de son écoulement, elle embarque tout ce qui se trouve sur son passage.

La vitesse d'une lave torrentielle peut atteindre les **50km/h** et transporter des matériaux de plusieurs tonnes. La charge solide déplacée peut être considérable. Les travaux de curage sont bien souvent nécessaires suite à une coulée, car elles perturbent le bon fonctionnement du territoire (blocage des routes, habitations partiellement ensevelies...). Ces travaux peuvent être à l'origine de la fermeture de la route D994G.

Sources : Géraltiques, IRMA, WSJ, Junier



Coulée de lave torrentielle ayant atteint la chaussée entre Val-des-Prés et Névache en août 2018 (Photo : Le D1 / J.M.)



Carte IGN Modéliser (appui à Géraltiques)

## Pourquoi y a-t-il des barrières ?

Les barrières routières permettent aux usagers de la route d'être informés d'un risque ou d'un phénomène naturel en cours bloquant la voie. Lorsque les barrières sont fermées, cela signifie que le **risque torrentiel est particulièrement élevé** sur ce tronçon.

## Que dois-je faire en cas de fermeture des barrières ?

La fermeture de la seule route départementale permanente dans la vallée de la Clarée n'est pas une décision qui est prise à la légère. Si le gestionnaire décide de couper la circulation, c'est que le **danger sur cet axe est réel**.



D994G coupée par une coulée du torrent de la Ruine au hameau de Roucy (Pré-des-Prés) en juillet 2018 (Photo : Le D1 / J.M.)

## Ne surtout pas franchir les barrières !

La D1T, qui permet d'accéder à Névache en empruntant le col de l'Echelle depuis l'Italie, est ouverte en saison estivale sous conditions. Si les barrières sont fermées entre Val-des-Prés et Névache en raison d'une alerte crue, **informez-vous sur INFOROUTE05**. Il est peut-être possible de contourner la zone à risque.

Suivre l'évolution de la situation :



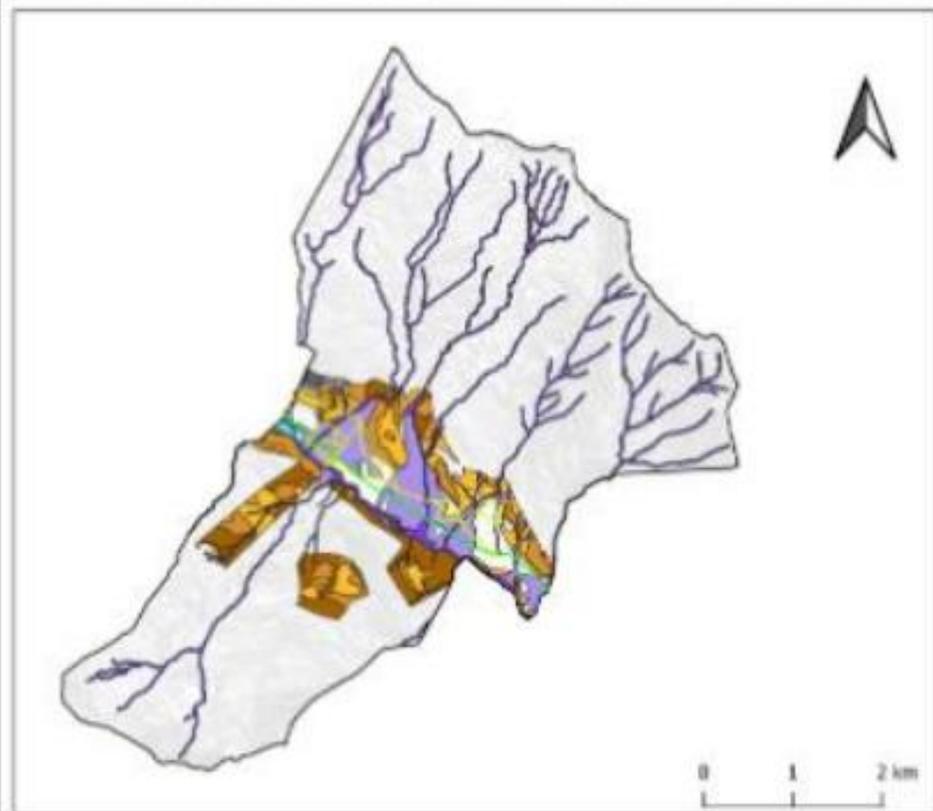
INFOROUTE05 METEOFRANCE



D1T4C en travaux suite à une coulée boueuse bloquant la voie (Archives photo Le D1 / Nicolas PERREYRON)



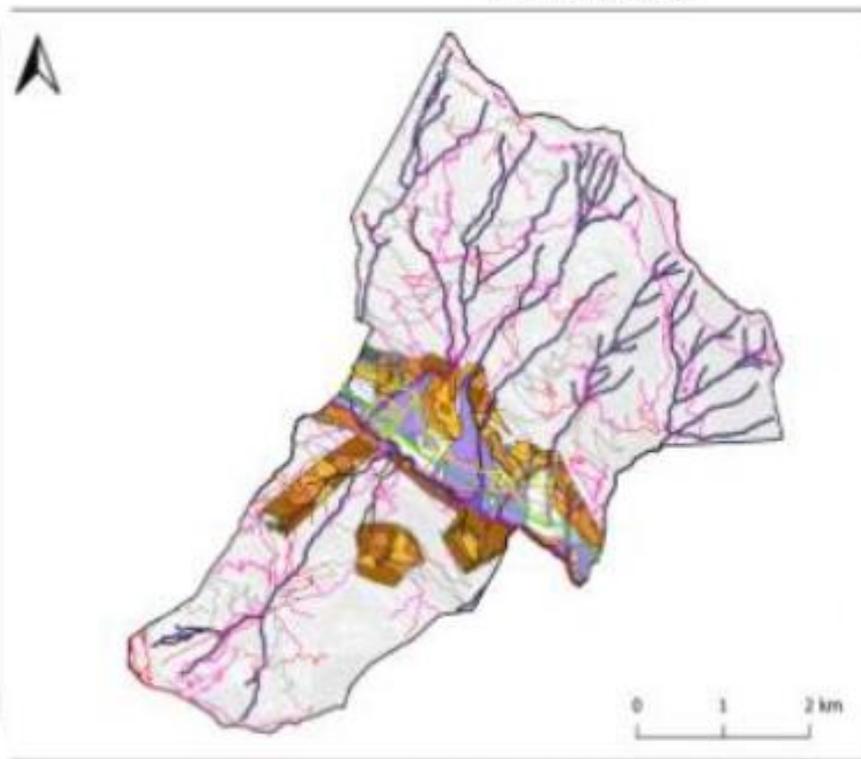
## Les principaux axes routiers face aux aléas dans la commune de Saint-Chaffrey



- Axes routiers :**
- Routes principales
  - Liaisons locales
  - Liaison principale
- Aléas :**
- Aléa inondation
    - Niveau moyen
    - Niveau fort
  - Aléa chutes de blocs
    - Niveau faible
    - Niveau moyen
    - Niveau fort
  - Aléa torrentiel
    - Niveau moyen
    - Niveau fort
  - Aléa glissement
    - Niveau faible
    - Niveau moyen
    - Niveau fort
- ☐ Commune de Saint-Chaffrey

Carte réalisée avec Qgis, 04/11/2021, Source : IGN

## Voies accessibles aux piétons et axes routiers face aux aléas dans la commune de Saint-Chaffrey

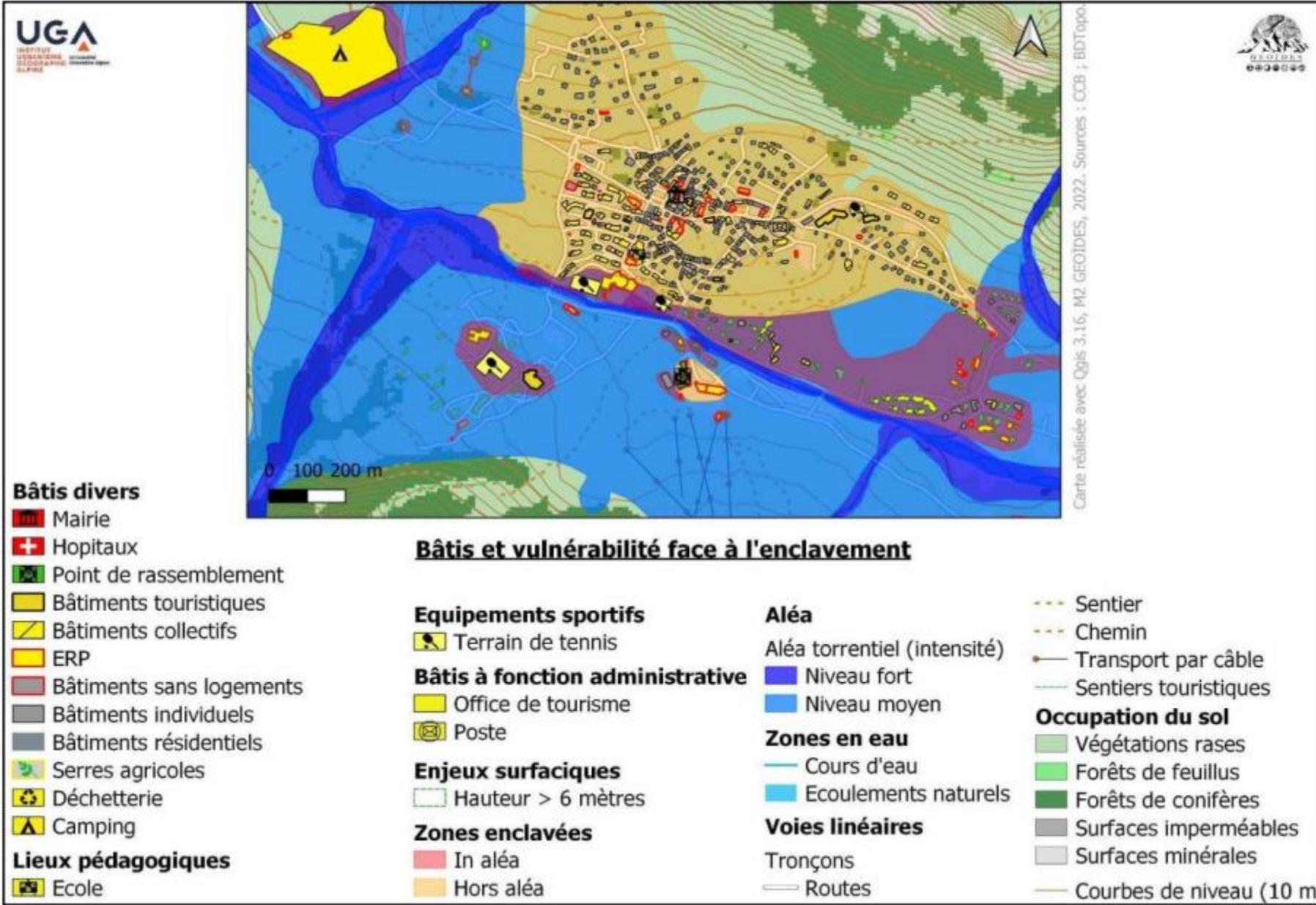


- Voies :**
- Liaison locale
  - Liaison principale
  - Routes
  - Chemins
  - Sentiers
- Aléas :**
- Aléa inondation
    - niveau moyen
    - niveau fort
  - Aléa chutes de blocs
    - niveau faible
    - niveau moyen
    - niveau fort
  - Aléa torrentiel
    - niveau moyen
    - niveau fort
  - Aléa glissement
    - niveau faible
    - niveau moyen
    - niveau fort
- ☐ Commune de Saint-Chaffrey

Carte réalisée avec Qgis, 05/11/2021, Source : IGN



# Commune de Monétier les Bains





Carte réalisée avec Qgis 3.16, M2.GEOTIDES, 2022, Sources : CCB ; BDTopo

## Commune de Monêtier les Bains

### Bâtis et vulnérabilité face à l'enclavement

#### Bâtis divers

- Bâtiments touristiques
- Bâtiments collectifs
- ERP
- Bâtiments individuels
- Bâtiments résidentiels

#### Enjeux surfaciques

- Hauteur > 6 mètres

#### Zones enclavées

- In aléa
- Hors aléa

#### Aléa

- Aléa avalanche (intensité)
- Niveau fort
- Niveau moyen
- Niveau faible

#### Voies linéaires

- Tronçons
- Routes
- Sentier
- Chemin
- Circuits de déneigement

#### Zones en eau

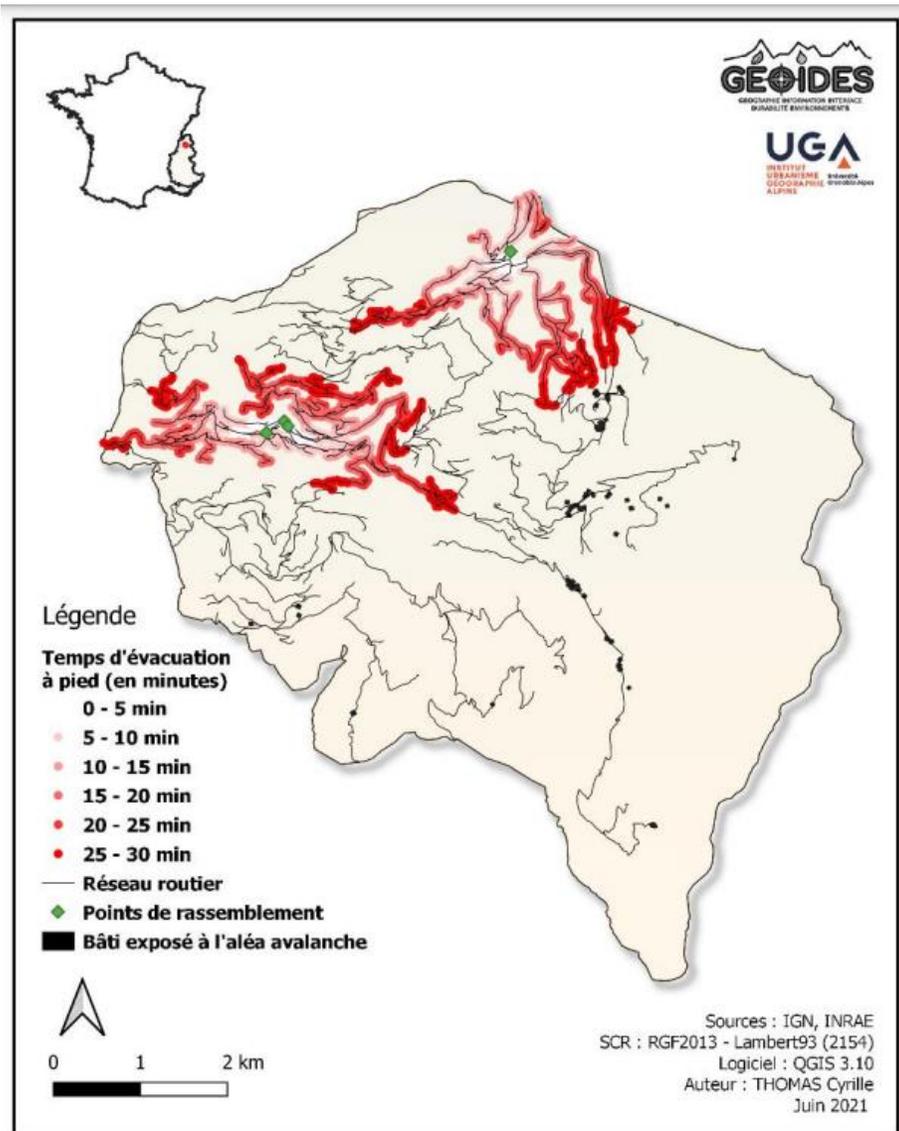
- Cours d'eau
- Ecoulements naturels

#### Occupation du sol

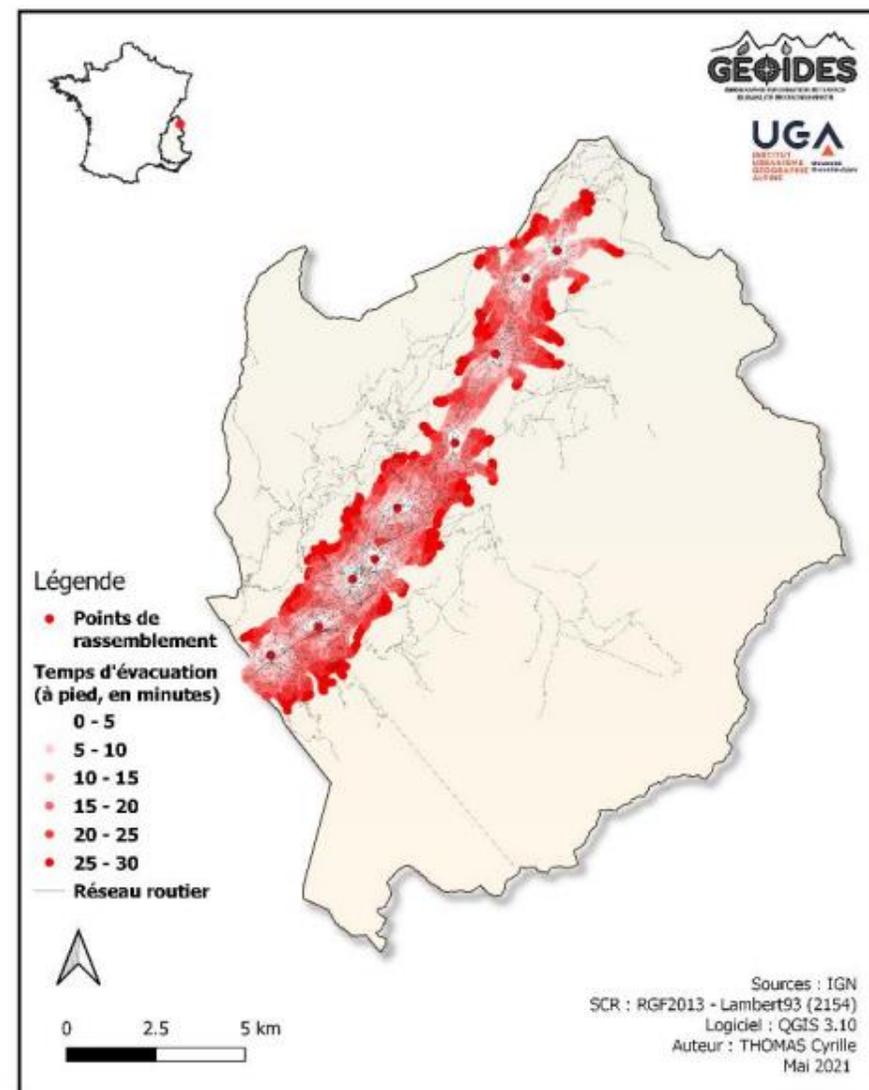
- Végétations rases
- Forêts de feuillus
- Forêts de conifères
- Zones imperméables
- Surfaces minérales

Courbes de niveau (10 m)



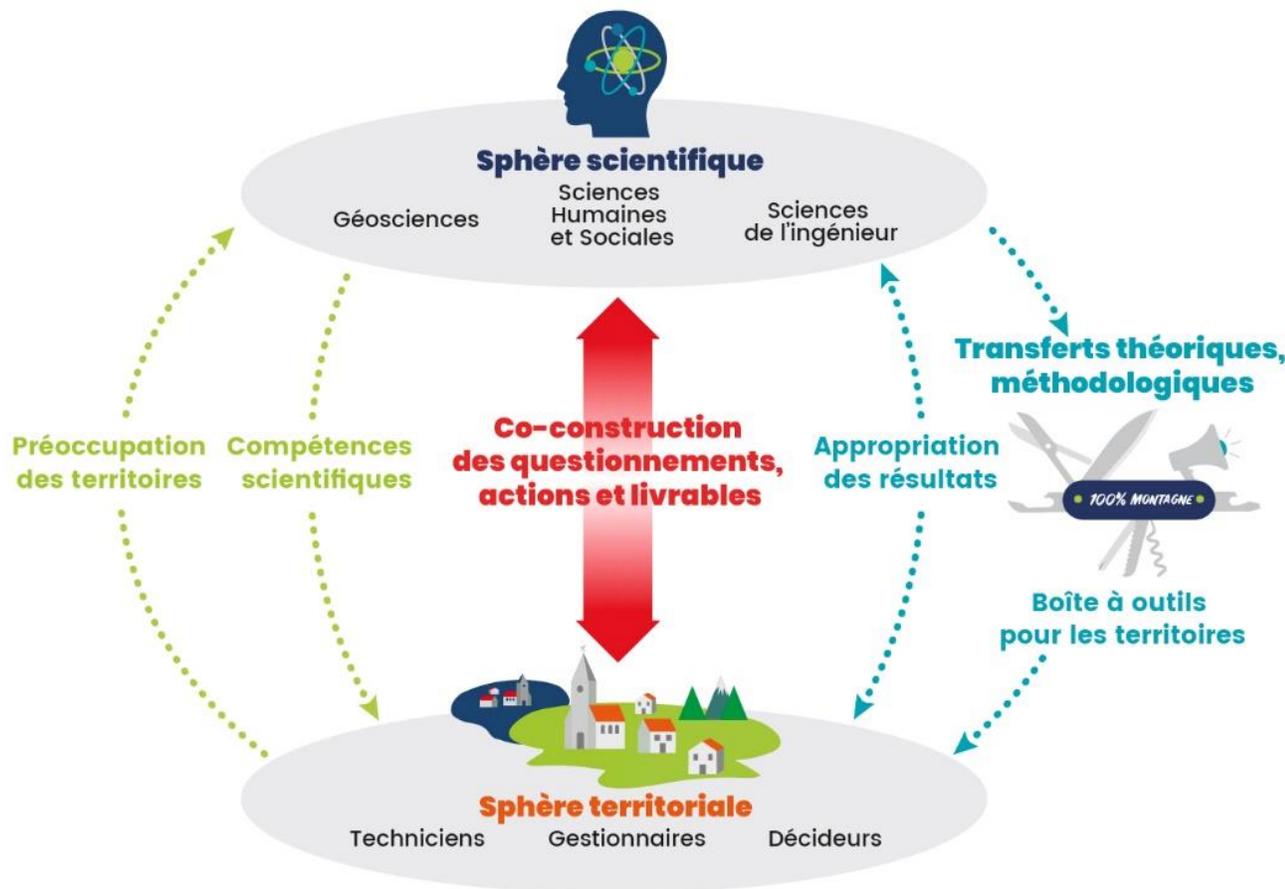


## Cas de Manigod



## Cas de Chamonix





La recherche au service des acteurs opérationnels



Émergence et accompagnement de projets de recherche-action partenariaux, avec l'appui du Conseil Scientifique et Technique du PARN

