

Tempête Alex
(Saint-Martin-Vésubie)



**Risques d'origines
glaciaires & périglaciaires**
(vallée de Chamonix)



Évolution de la gestion des risques naturels dans le massif alpin

au travers de deux cas d'étude

Restitution atelier professionnalisant

Master 2 GAED-GÉOïDES
2022-2023

Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine (IUGA)



Pôle Alpin Risques Naturels



Master 2 GEOIDES - Promotion 2022-2023



BLANDIN Juliette
BROUSSET Eva
GADIOLET Vianney
GODICHON Tom
KLEINPETER Marilou
MARTY Eléonore
MILESI Julie
OIH Zouhir
RODRIGUEZ Verónica
ROUSSEAU Tanguy
SARDANO Sébastien
SKOCZYLAS Alexandre
WANG Yingting



Objectif général



© Heiko Mandl, Chamonix

Ce cas d'étude découle d'une commande émise par le Pôle Alpin des Risques Naturels (PARN).

L'objectif de ce projet est d'étudier **la gestion des risques naturels** dans le massif alpin, au regard de l'évolution de la législation française.

Problématique

Comment les deux cas d'étude de la tempête Alex et des risques d'origine glaciaire et périglaciaire ont marqué l'évolution de la gestion des risques naturels dans les Alpes françaises ?

Partie 1

Mise en contexte : rappel de l'évolution de la législation des risques au XX^e siècle, suite à différentes catastrophes naturelles

Partie 2

La tempête Alex 2020, zoom sur Saint-Martin-Vésubie

Partie 3

Risques d'origine glaciaire et périglaciaire, zoom sur la vallée de Chamonix

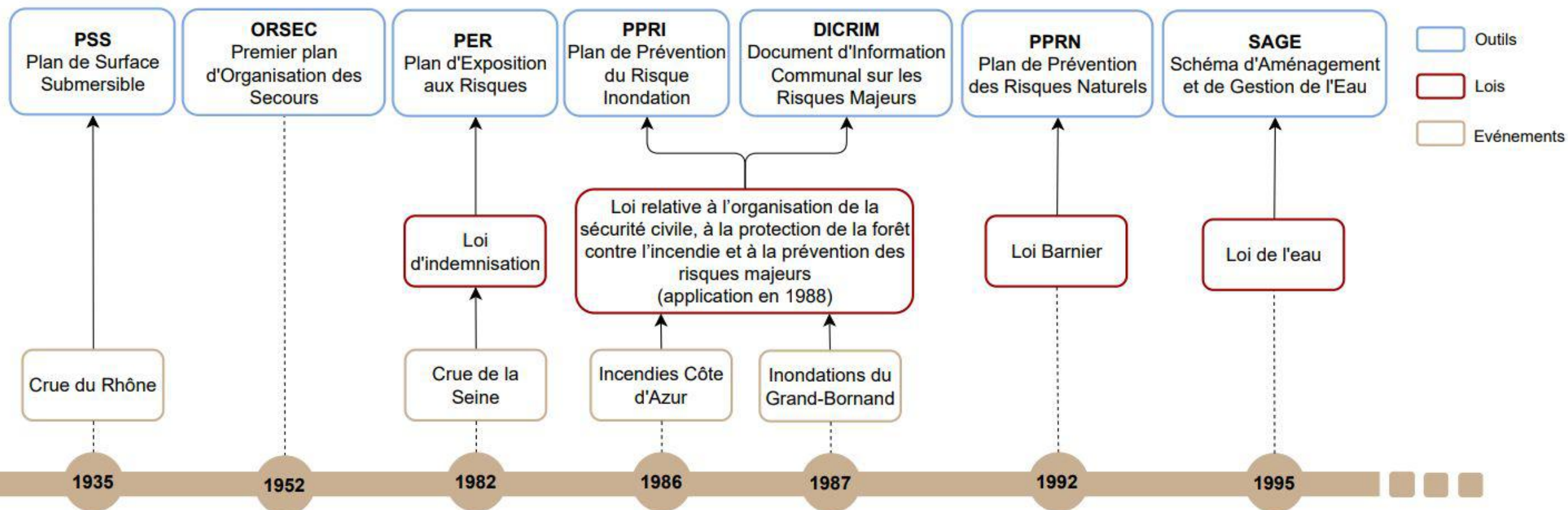


© Les Voyages de Tao

© Blog "Les voyages de Tao", Le Boréon

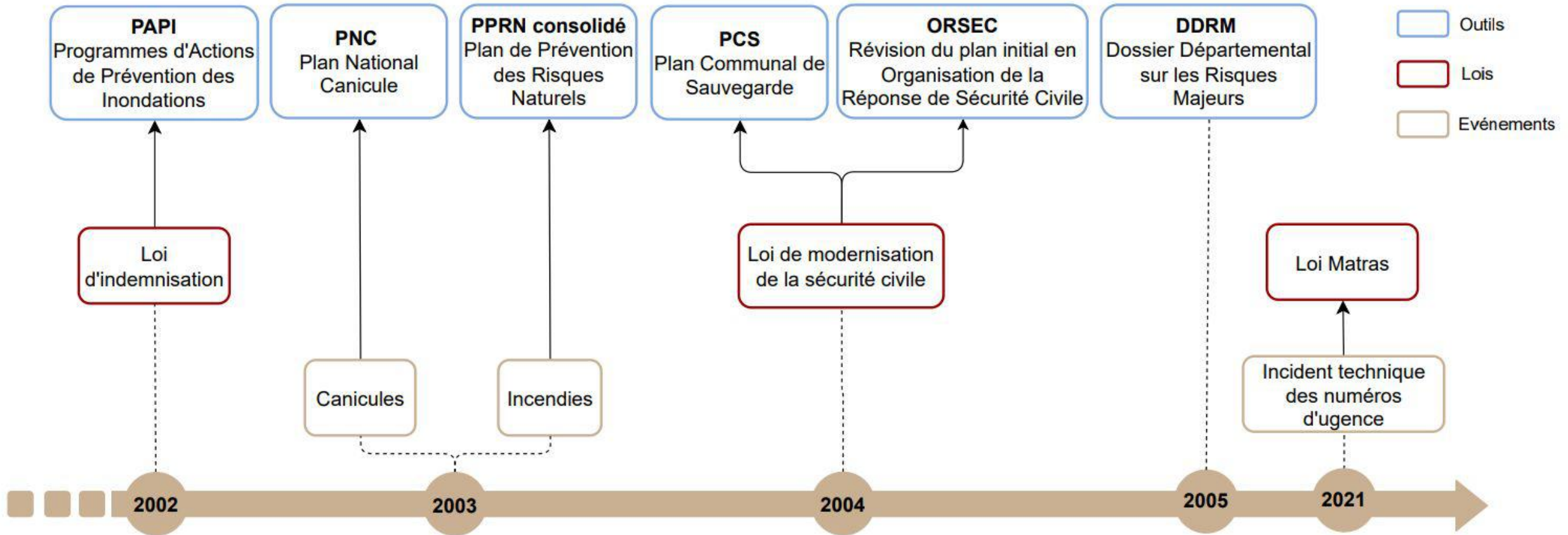
Partie 1. Mise en contexte de l'évolution de la législation

Chronologie des supports relatifs à la gestion des risques naturels en France depuis 1935



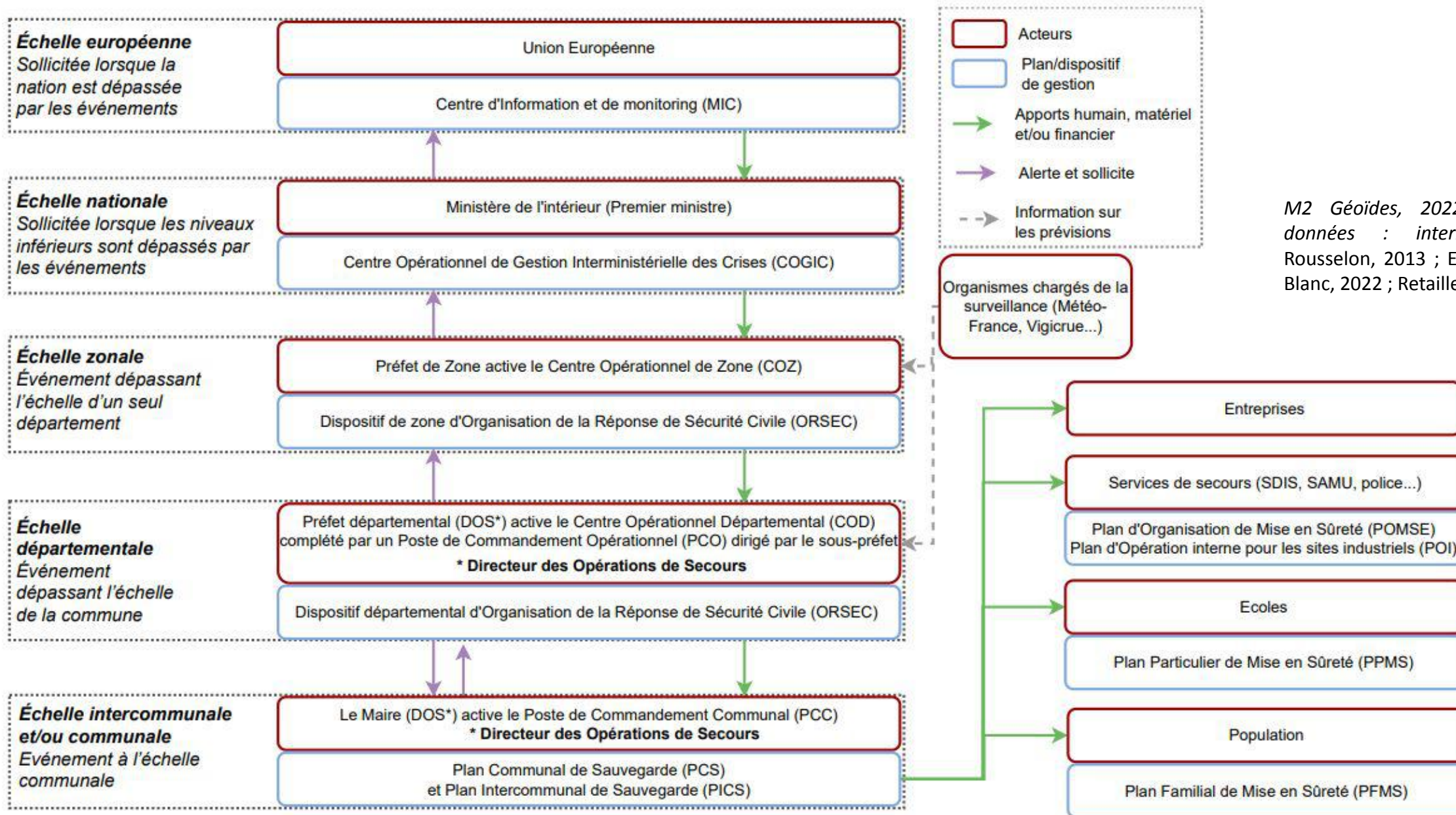
M2 Géoïdes, 2022, sources des données : Bellurot et al., 2013 ; Challot, 1986 ; DDT-SUR, 2013 ; Deville, 2009 ; Douvinet et al., 2013 ; Kowalski, 2009 ; Lavole, 2022 ; Légifrance, 1982, 1987, 1992, 1995, 2004, 2021 ; Mauershan, 2022 ; Nahon et Michaloux, 2016 ; Olei, 2018 ; Préfet du Doubs, 2022 ; Préfecture de la Haute-Savoie et al., s.d. ; Terranota, 2021 ; Toulemont, 1992 ; UNALCI, s.d.

Chronologie des supports relatifs à la gestion des risques naturels en France depuis 1935



M2 Géoïdes, 2022, sources des données : Bellurot et al., 2013 ; Challot, 1986 ; DDT-SUR, 2013 ; Deville, 2009 ; Douvinet et al., 2013 ; Kowalski, 2009 ; Lavole, 2022 ; Légifrance, 1982, 1987, 1992, 1995, 2004, 2021 ; Mauerhan, 2022 ; Nahon et Michaloux, 2016 ; Olei, 2018 ; Préfet du Doubs, 2022 ; Préfecture de la Haute-Savoie et al., s.d. ; Terranota, 2021 ; Toulemont, 1992 ; UNALCI, s.d.

Organisation face aux situations d'urgence en France selon différents niveaux et échelles d'actions



M2 Géoïdes, 2022, source des données : interieur.gouv.fr ; Rousselon, 2013 ; Episeine, 2021 ; Blanc, 2022 ; Retailleau, 2022.

Partie 2. La tempête Alex

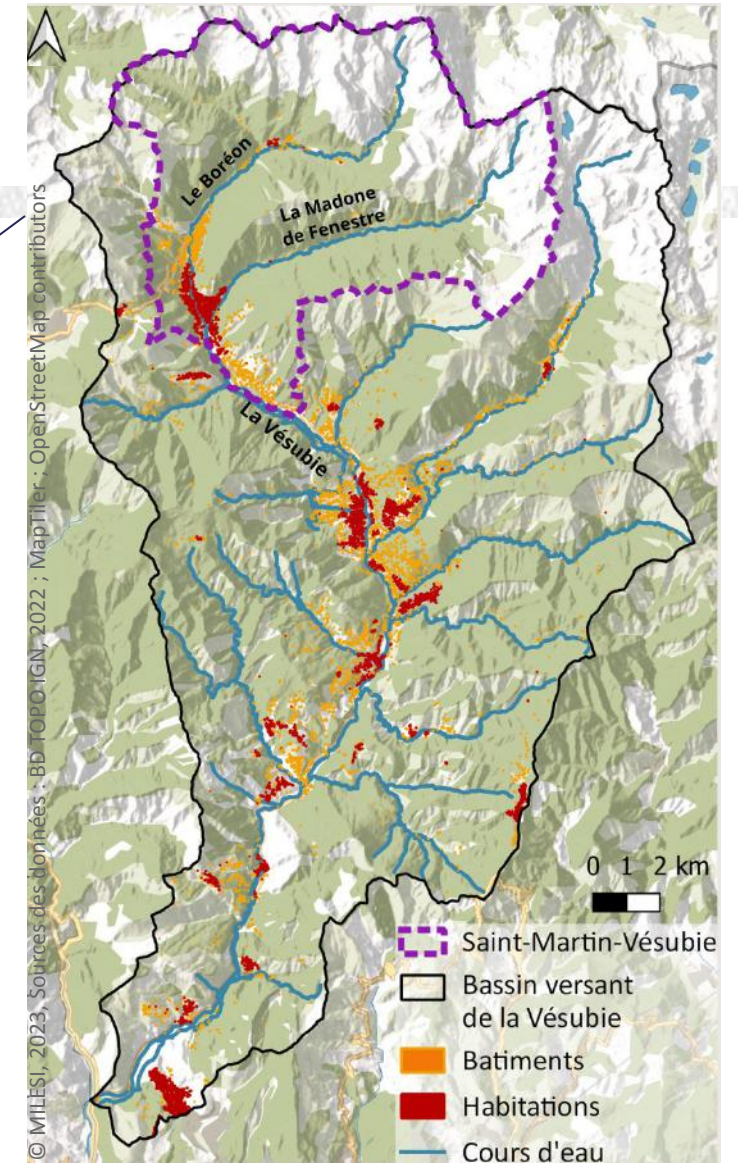
Quel est le rôle de la tempête Alex (octobre 2020) dans l'évolution de la gestion des risques sur la commune de Saint-Martin-Vésubie ?

Sommaire

1. Saint-Martin-Vésubie
2. Fiche d'identité de la tempête Alex
3. État des lieux et contexte à Saint-Martin-Vésubie avant la tempête Alex
4. Gestion de crise pendant la tempête Alex
5. Conséquences de la tempête et adaptations de Saint-Martin-Vésubie

1. Saint-Martin-Vésubie

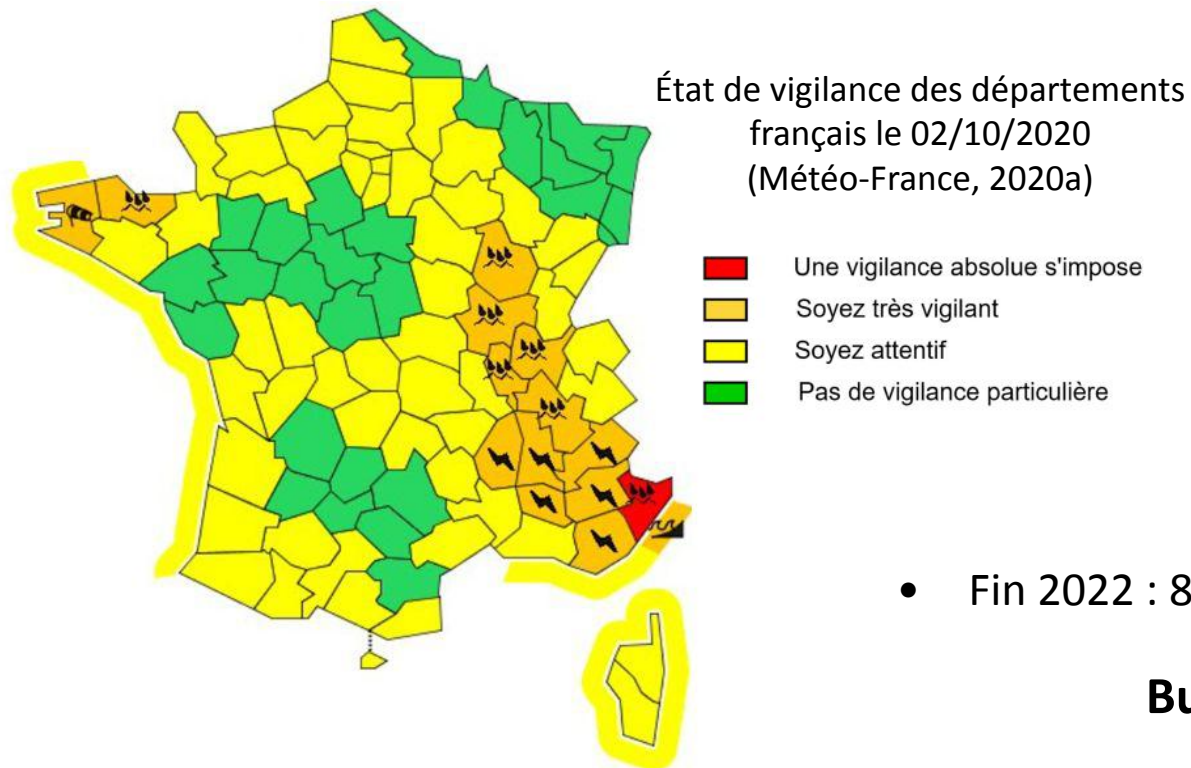
- Bassin versant (BV) de la Vésubie : 395 km²
- 2 affluents principaux :
 - Boréon (BV drainé : 65 km²)
 - Madone de Fenestre (BV drainé : 37 km²)
- Débits à Saint-Martin-Vésubie : décennal - 107m³/s, centennal - 258 m³/s
- Peu d'instruments sur la Vésubie avant l'événement



Saint-Martin-Vésubie localisée au sein du bassin versant de la Vésubie

2. Fiche d'identité de la tempête Alex

- Dépression atmosphérique formée dans l'Atlantique Nord le 30 septembre 2020
- Côtes bretonnes : 1er octobre 2020
- Sud-Est : 2 octobre 2020



Carte des cumuls initialement prévus lors de cet épisode pluvieux majeur sur le Sud-Est (Météo-France, 2020a)

- Fin 2022 : 80 % des reconstructions réalisées sur l'ensemble des vallées

Budget total : 1 milliard €

3. État des lieux et contexte à Saint-Martin-Vésubie avant l'évènement tempête Alex

3. État des lieux et contexte à Saint-Martin-Vésubie avant l'évènement tempête Alex

3.1. Retour d'expérience des évènements précédents dans les Alpes-Maritimes

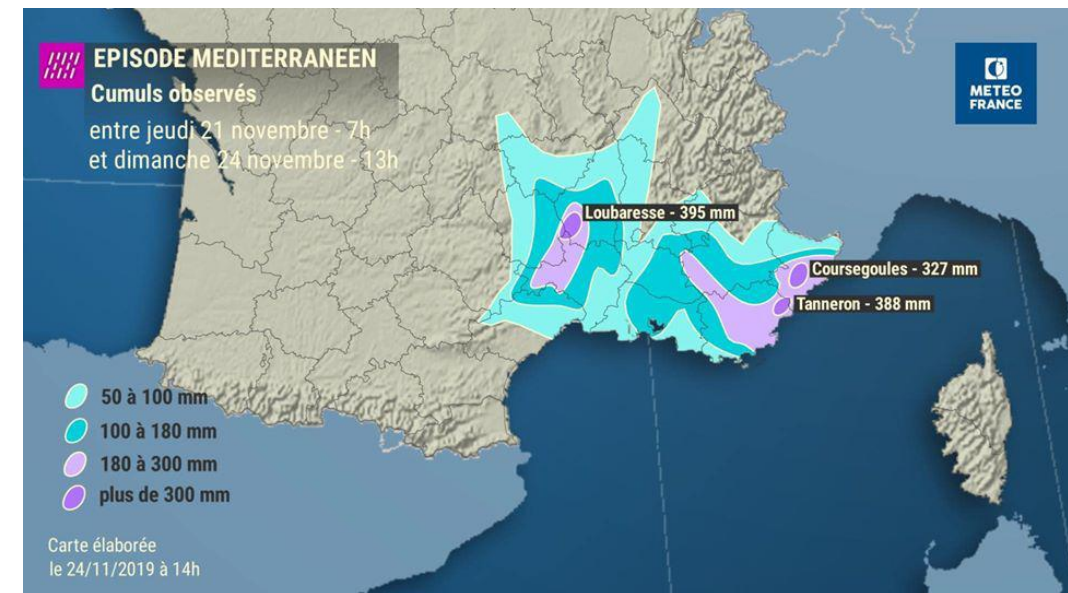
- Inondation du 3 octobre 2015 - Cannes
 - Grands axes d'amélioration
 - Alerte et communication
 - Direction des opérations de secours
 - Réseaux et transports
 - Actions concrètes
 - Appui aux collectivités - rédaction plans de sauvegarde
 - Renforcement du lien maire/préfet
 - Amélioration de la culture du risque - instauration de la journée départementale des risques majeurs

Inondation dans les rues de Cannes pendant la crue de 2015



3. État des lieux et contexte à Saint-Martin-Vésubie avant l'évènement tempête Alex

- Inondation du 22 au 24 novembre 2019
 - Meilleure mise en vigilance et communication
 - Activation des sirènes
 - Nouveaux outils et dispositifs
 - Dispositif spécifique « inondations » (2019)
 - Appui et contribution du Syndicat Mixte Inondations, Aménagement et Gestion de l'Eau Maralpin (SMIAGE)

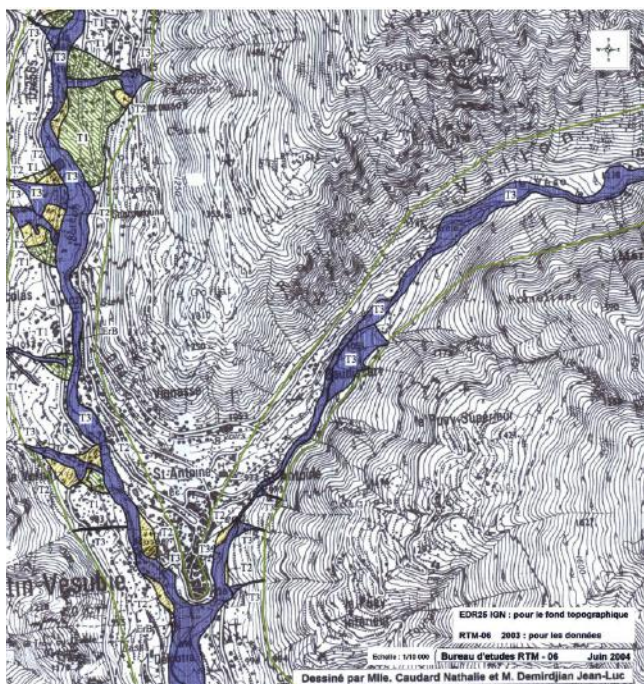


Cumuls de précipitations du 21 au 24 novembre, et les 3 cumuls les plus élevés (Meteo-France, 2019)

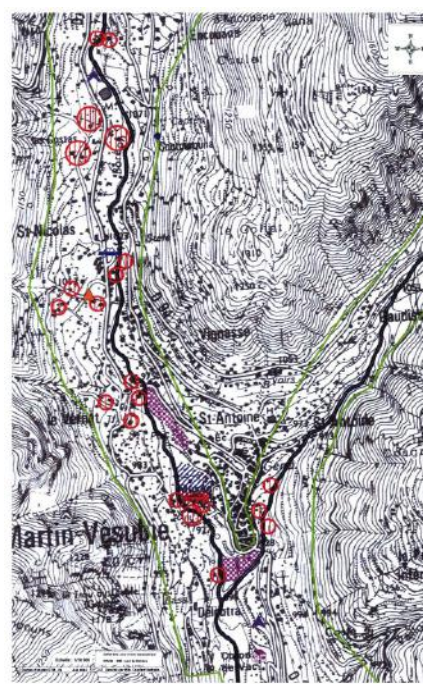
3. État des lieux et contexte à Saint-Martin-Vésubie avant l'évènement tempête Alex

3.2. Outils de prévention mis à disposition de la population

- Connaissance des phénomènes, des aléas et des risques

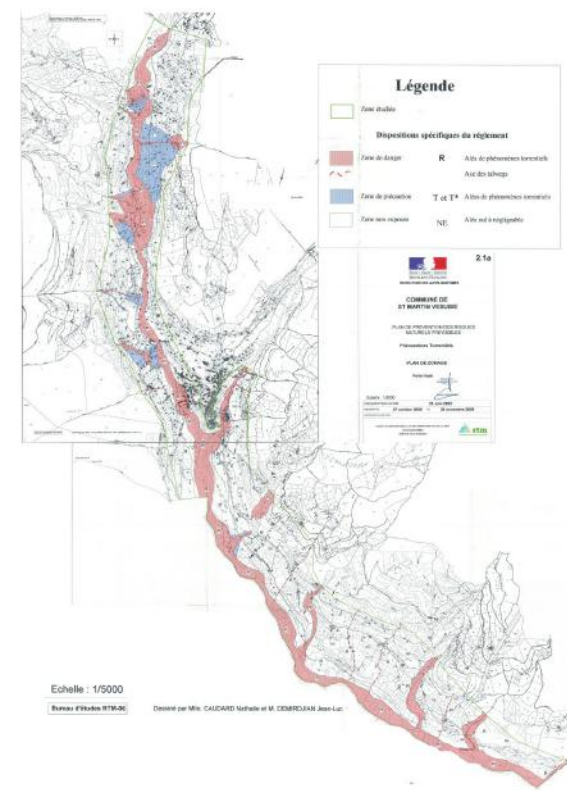


Aléas à Saint-Martin-Vésubie



Enjeux sur
Saint-Martin-Vésubie

- Prise en compte des risques dans l'aménagement



3. État des lieux et contexte à Saint-Martin-Vésubie avant l'évènement tempête Alex

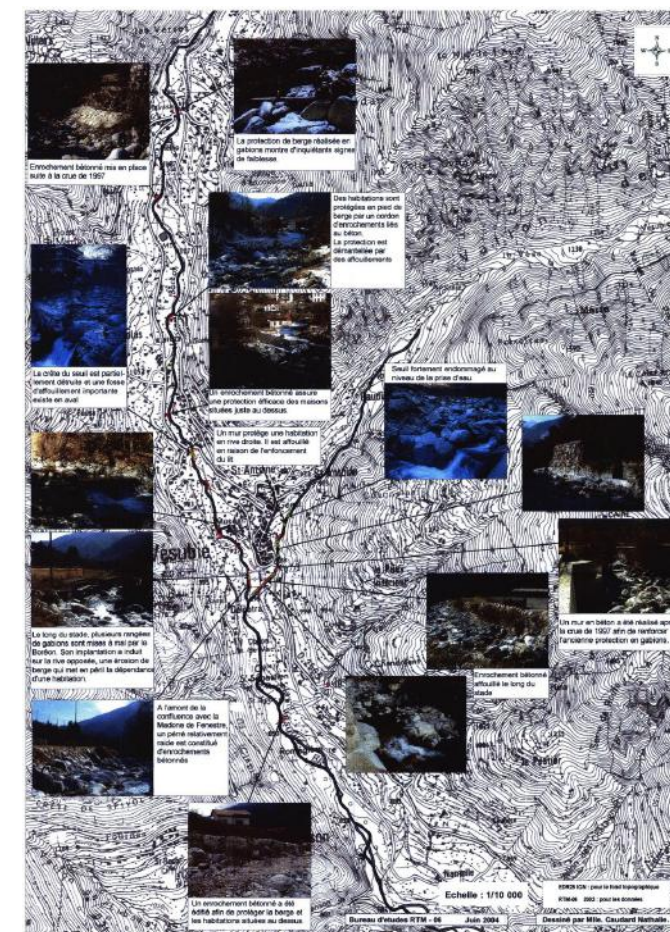
3.3. Préparation et anticipation des crises

- Information préventive et éducation de la population :
 - DICRIM 2016, seul document de prévention
 - Echelle départementale : présence de sirènes
 - Echelle communale : sirène supprimée 15 ans plus tôt
- Réduction de la vulnérabilité :
 - Carte des ouvrages

3.4. Surveillance

- Anticipation de la crise
 - PCS (2016) pas à disposition des acteurs

Ouvrages de protection sur Saint-Martin-Vésubie





4. Gestion de crise pendant la tempête Alex

4. Gestion de crise pendant la tempête Alex

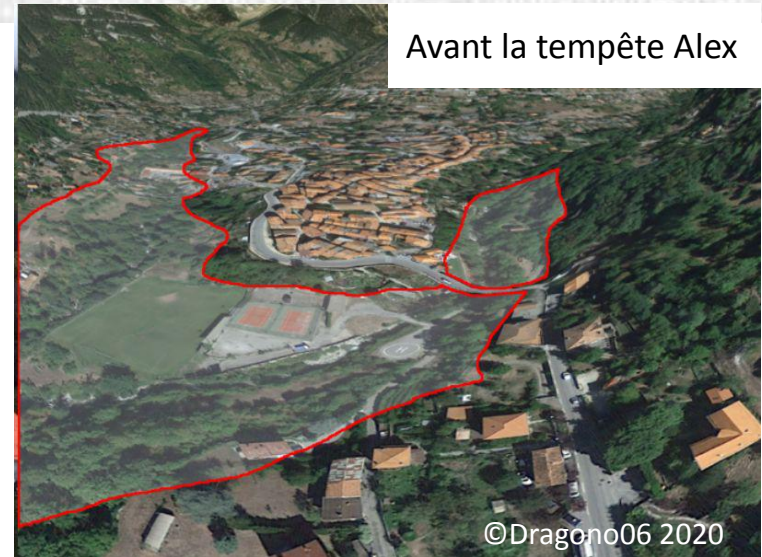
Déroulé de la gestion de crise :

- 2 octobre 2020
 - 12h : département des Alpes-Maritimes en vigilance rouge pour pluies et inondations
 - 14h : mobilisation de la mairie pour venir en aide à la population
 - 15h30 : réseaux coupés, problèmes de communication

Isolement de la commune



- 3 octobre 2020
 - 7h : premières aides extérieures et évacuations



4. Gestion de crise pendant la tempête Alex

Beaucoup d'acteurs mobilisés sur le département :

- Entre 700 et 800 sapeurs-pompiers
- Entre 400 et 500 gendarmes

Les impacts de la tempête :

- 39 maisons détruites à Saint-Martin-Vésubie
- 2 ponts détruits à Saint-Martin-Vésubie
- 50 à 100 maisons très endommagées et fragilisées sur le département
- Environ 85 km de routes coupées sur l'ensemble du département
- 10 morts et 8 disparus

Dégâts à Saint-Martin-Vésubie



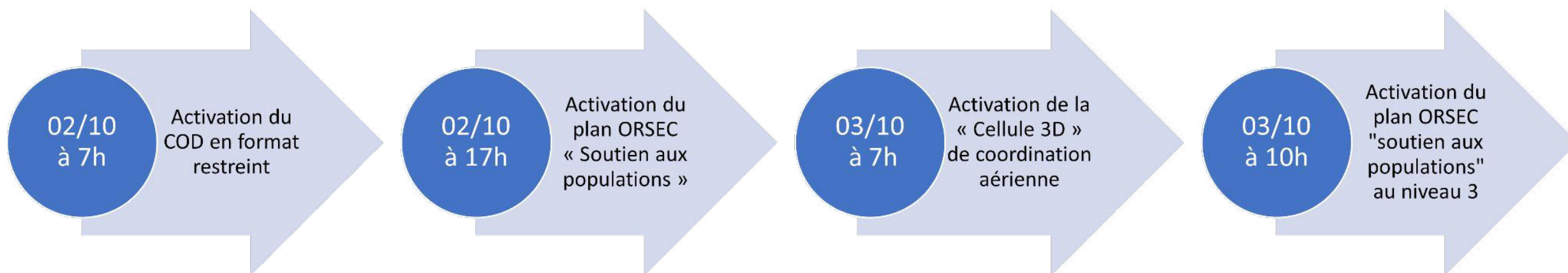
Source : Le Dauphiné



Source : Paris-Match

4. Gestion de crise pendant la tempête Alex

Frise chronologique sur la gestion de la crise lors de la tempête Alex à l'échelle départementale





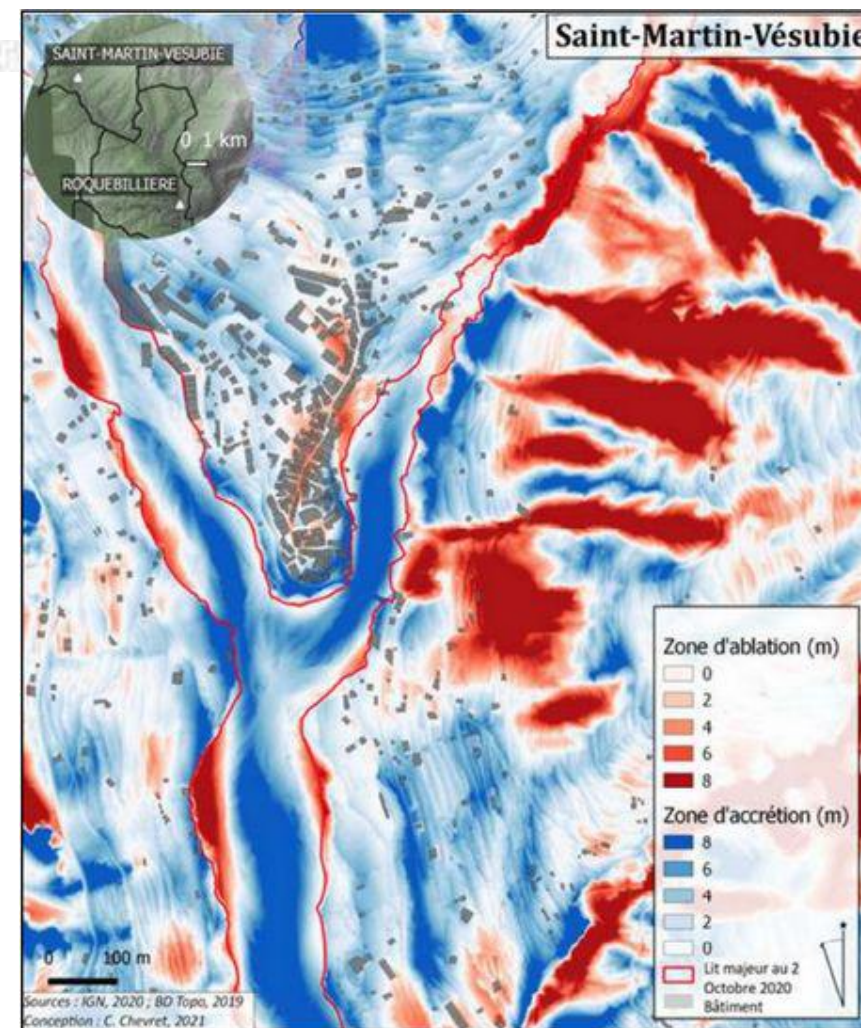
5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.1. Conséquences environnementales : modification du fond de vallée

- **Impacts géomorphologiques**

- Effet du passage de la crue : **déstabilisation des berges** (recul des berges par sapement et glissement)
- Principale source d'apports sédimentaires mobilisables par la crue : **le glissement des berges** (43 mouvements de terrain recensés lors de la crue)
- Création et extension de **cônes de déjection**
- **Incision** sur certaines portions et **exhaussement** du plancher alluvial de plusieurs mètres



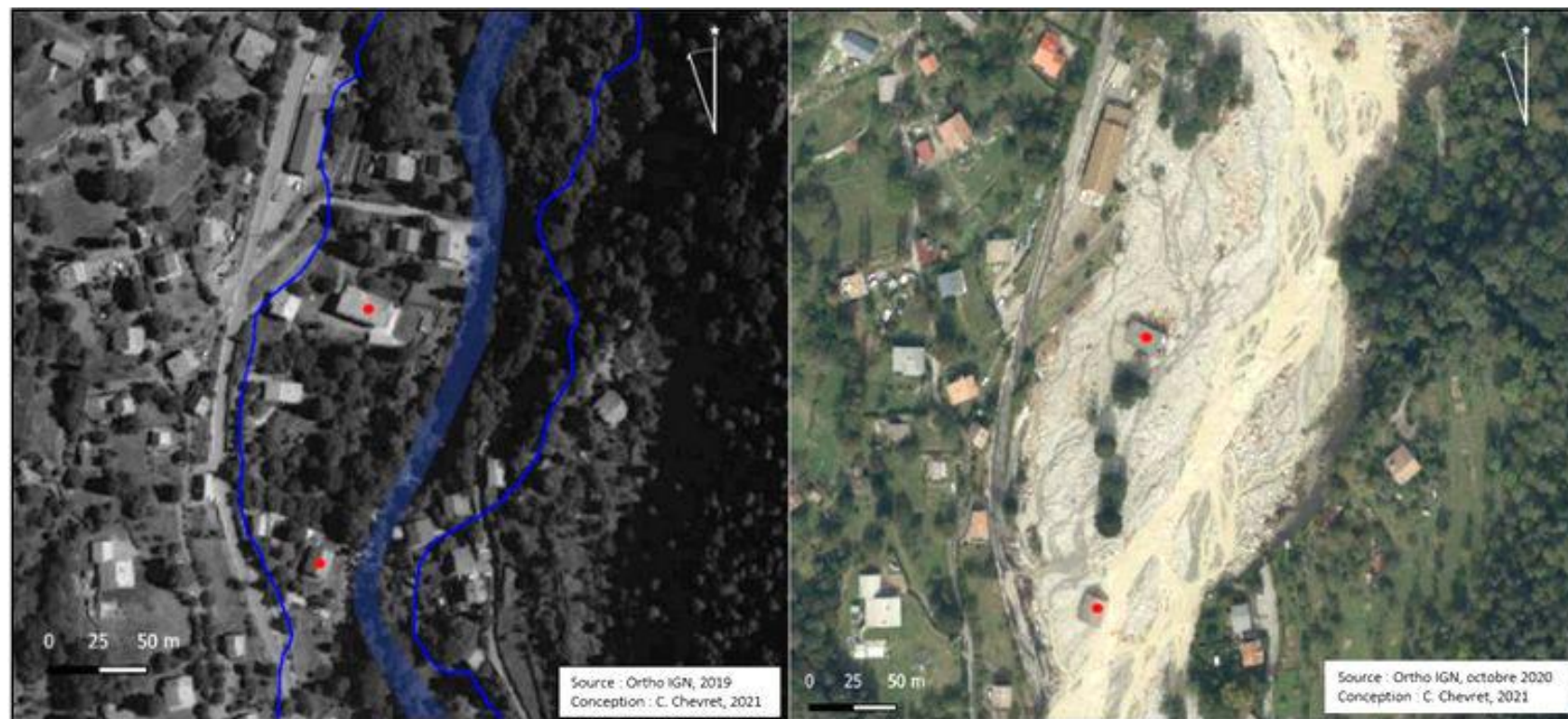
Évolution du stock sédimentaire à Saint-Martin-Vésubie après le passage de la crue le 3 octobre 2020

5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.1. Conséquences environnementales : modification du fond de vallée

- Impacts géomorphologiques

- Changement du paysage
- Elargissement de la bande active (largeur de la bande active multipliée par 5, voire par 10)
- Arrachage de la végétation et destruction du bâti et des infrastructures



Impacts géomorphologiques de la crue de la Vesubie à Saint-Martin-Vésubie.

5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.2. Conséquences sur les biens et les infrastructures

Un besoin de réhabiliter les réseaux (routiers, d'électricité, d'eau, téléphonique, d'assainissement) dans un temps très court

- La destruction, les coupures et les dysfonctionnements des réseaux dégradent la sécurité des habitants, mais aussi l'économie

La problématique du bâti

- Des questions de reconstruction, de réhabilitation ou de démolition se posent en attendant les financements et la mise à jour des documents d'urbanisme
- Des choix de priorités dans la reconstruction
- Des bâtiments à moitié détruits rappelant la mémoire de la catastrophe

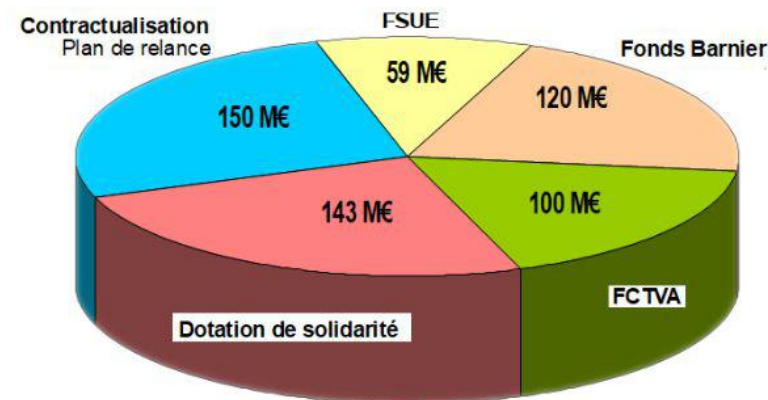


Vue amont du pont de Venanson sur la commune de Saint-Martin-Vésubie (Queffelean *et al.*, 2022)

5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.3. Enjeu financier : déblocage de fonds

- Arrêté Cat Nat déclaré le 7 octobre 2020
- **572 millions €** d'enveloppe de l'État décaissable pour restaurer l'ensemble de la vallée de la Vésubie
 - 27 millions € utilisés en décembre 2020



Montant des sources de financement pour restaurer la vallée de la Vésubie (CEREMA, 2021)

- Fonds Barnier (activé en août 2021)
 - Contestation des montants proposés par les assureurs d'après le RETEX
 - L'adjoint au maire de Saint-Martin-Vésubie souligne la rapidité du déblocage de fonds par rapport à la crue de 2015

5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

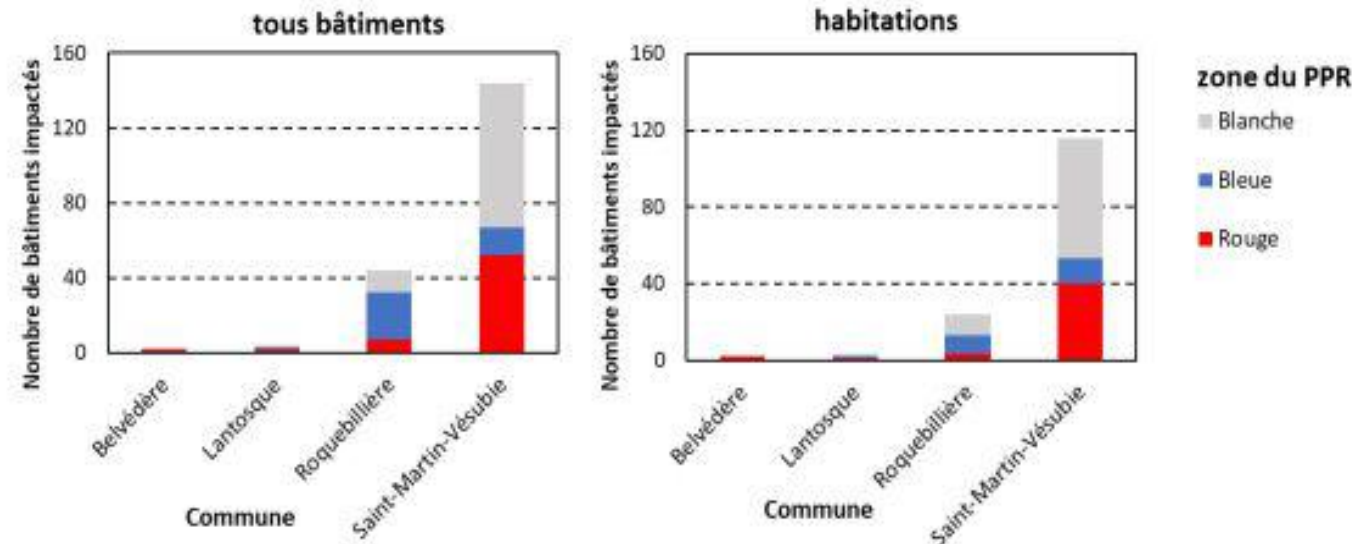
5.4. Réduction de la vulnérabilité

Constats

- Des documents (PPR, PPRI, AZI) inadaptés et aucun ne traitant du risque mouvement de terrain
- Une organisation de crise vite dépassée par l'événement

Principaux enjeux

- Nécessité d'adapter et/ou d'élaborer les documents de la gestion des risques
- Reconstruire le territoire pour le rendre moins vulnérable
- Renforcer les liens entre acteurs pour une meilleure coopération lors de la crise



Répartition par commune des bâtiments et habitations impactés lors de la crue du 02/10/2020 selon leur localisation dans les zones des PPR de la Vésubie (Queffelec *et al.*, 2022)

5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.5. Évolution des systèmes de vigilances et de la législation

Système de vigilance pour la population

- Application *MyPredict*
- Alarme mise en marche avec une portée sonore accentuée
- Exercices d'inondation en temps réel : évacuation des personnes

situées dans une zone à risque modéré à fort vers la mairie en cas d'alerte météo orange ou rouge



© site web de MyPredict

Documents techniques

- PCS élaboré dans le cadre du "Porter à connaissance" PAC (mars 2021) mis en place par la DDTM avec la mairie
- Les limites du PPR revues en fonction des dégâts de la tempête Alex à travers le PAC qui intègre un zonage multirisques
- Élaboration du PAPI (Programme d'Actions de Prévention des Inondations) à l'échelle du bassin versant du Var

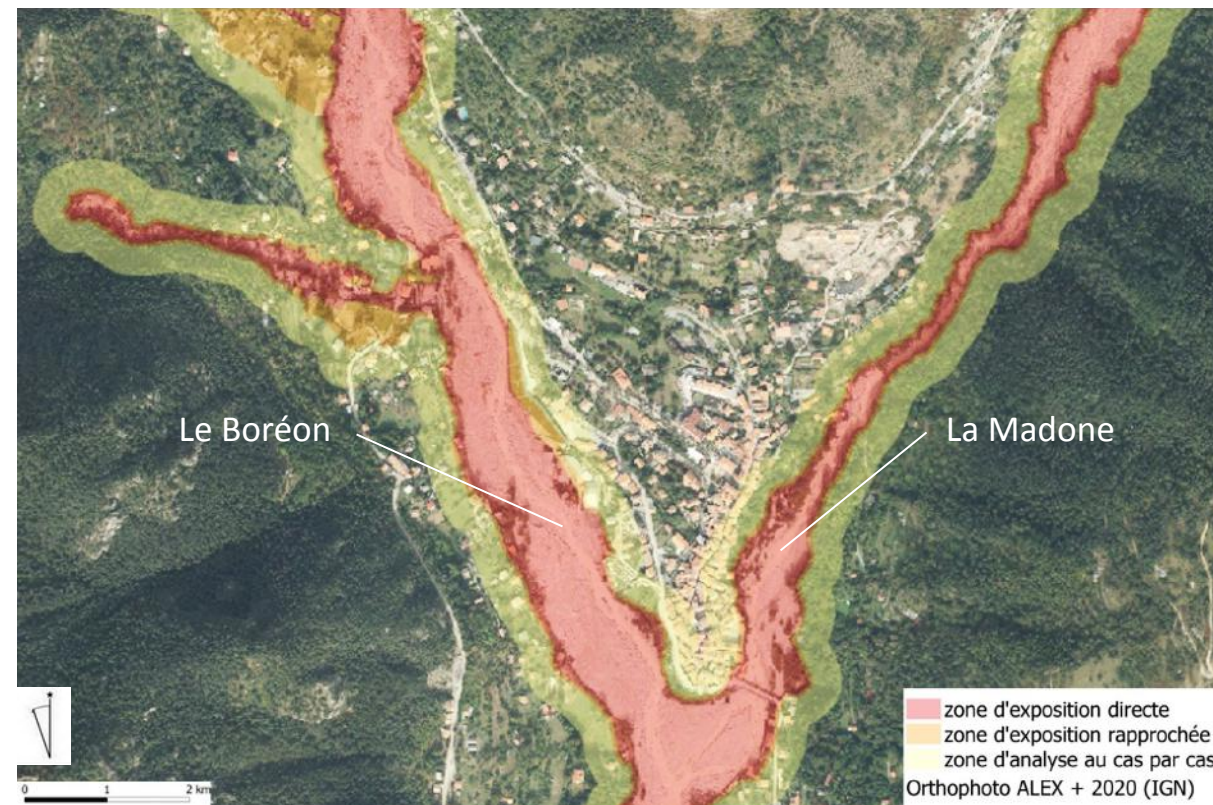
5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.6. Adaptations du territoire

Reconstruction

- Concilier la reconstruction avec le nouveau zonage du PAC : principe d'inconstructibilité dans les zones d'exposition directe et rapprochée sauf exception (installations techniques, ouvrages de protection)
- Relocalisation d'enjeux sensibles (caserne des pompiers, gendarmerie et autres habitations) : complexité due à la configuration de la vallée
- Reconstruction des digues tout en limitant la chenalisation

Délimitation de nouvelles zones d'exposition à Saint-Martin-Vésubie



Source : Porter à connaissance (PAC), 2021 (Gonzales, 2021)

5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.6. Adaptations du territoire

Reconstruction

Deux exemples de préconisation d'aménagement proposés par le service RTM



Préconisation de reconstruction des routes à 50-60 m du lit sur le Boréon par le RTM (Queffelean *et al.*, 2022)



Zone de régulation à préserver au niveau de la confluence Boréon-Madone (Queffelean *et al.*, 2022)

Laisser une zone de régulation du transport solide à la confluence Boréon-Madone

2.5. Conséquences de l'événement et adaptations du territoire

5.6. Adaptations du territoire

Prise en compte de l'attractivité et du développement de la commune au sein des nouveaux projets de réhabilitation

- Un territoire touristique toujours attractif
 - Installation de nouveaux résidents
 - Nouvelle dynamique en 2022 où la commune retrouve petit à petit son affluence touristique
- Dont l'objectif est le développement de projets résilients
 - Pensés sur le long terme et prenant en compte le développement et l'attractivité des vallées (relocalisation et reconstruction des entreprises, constructions résilientes, réhabilitation des sentiers...)
 - Mêlant différents acteurs (élus, citoyens, spécialistes...)

Sources : CEREMA, 2021 ; Rey et al., 2022 ; entretien avec A. Jardinet le 16/12/2022



Synthèse

| Type de prévention | Outils | Préexistant à la tempête Alex | Elaboré/mis à jour suite à la tempête |
|--|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Prévention : connaissance des phénomènes, des aléas et des risques | Carte hydro géomorphologique | Oui | Non |
| | Carte aléas | Oui | En cours d'élaboration |
| | Carte enjeux | Oui | En cours d'élaboration |
| Prévention : prise en compte des risques dans l'aménagement | PPRI | Oui | Oui |
| | PAPI | Non | Oui |
| | SAGE | Non | Non |
| Préparation et anticipation : information préventive et sensibilisation de la population | DICRIM | Oui | Oui |
| | Applications mobiles | Non | Oui |
| | Système d'alerte | Non | Oui |
| | Exercices/sensibilisation | Non | Oui |
| Préparation et anticipation : réduction de la vulnérabilité | Carte des ouvrages préexistants | Oui | Non |
| Surveillance : anticipation de la crise | PCS | Non | Oui |



Partie 3. Risques d'origine glaciaire et périglaciaire, aléas, gestions et zoom sur la vallée de Chamonix

Introduction

Les risques d'origine glaciaire et périglaciaire :

- Faible fréquence d'occurrence constatée
- Intensité potentiellement forte

Les changements climatiques en montagne:

- Dans l'Espace Mont-Blanc, depuis la fin des années 1980, les températures annuelles moyennes ont augmenté entre 0,2 et 0,5 °C par décennie
- L'augmentation des températures annuelles se poursuit avec un réchauffement attendu de 1 à 2°C d'ici 2035

En dépit de multiples programmes de recherche scientifique, la gestion de ces risques est **émergente** et en co-construction

Sommaire

1. Les risques d'origine glaciaire et périglaciaire (ROGP)

- 1.1. Les phénomènes glaciaires : l'eau solide
- 1.2. Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide
- 1.3. Les phénomènes périglaciaires

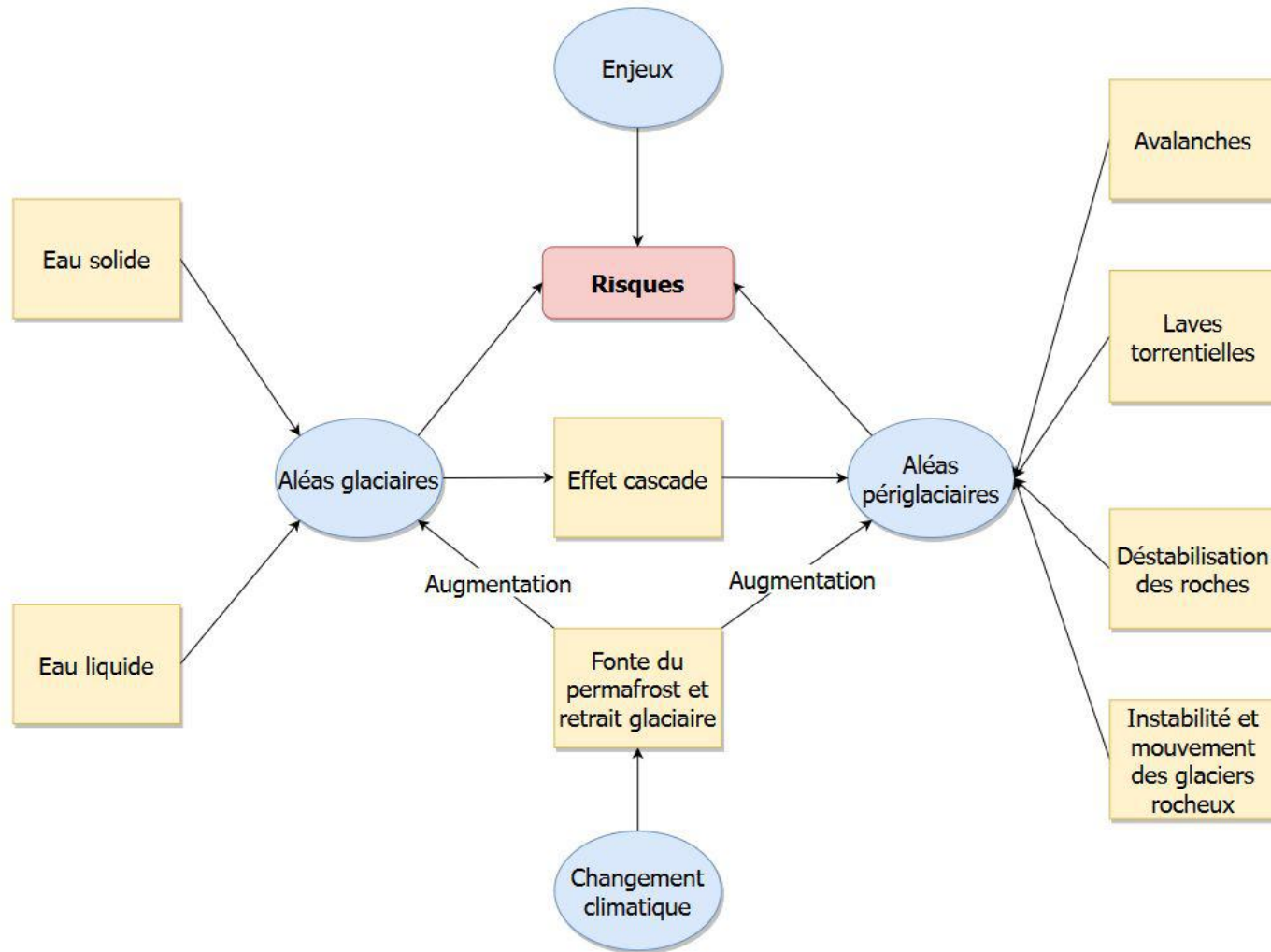
2. La gestion et le suivi des ROGP

- 2.1. Les dispositifs d'études et de suivis
- 2.2. Adaptation et résilience

3. La vallée de Chamonix : gestion du risque en quatre études de cas

- 3.1. L'Aiguille du Midi et ses annexes
- 3.2. Le glacier des Bossons
- 3.3. Le glacier de Taconnaz
- 3.4. Le glacier rocheux du Dérochoir

1. Les Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire



Les ROGP :

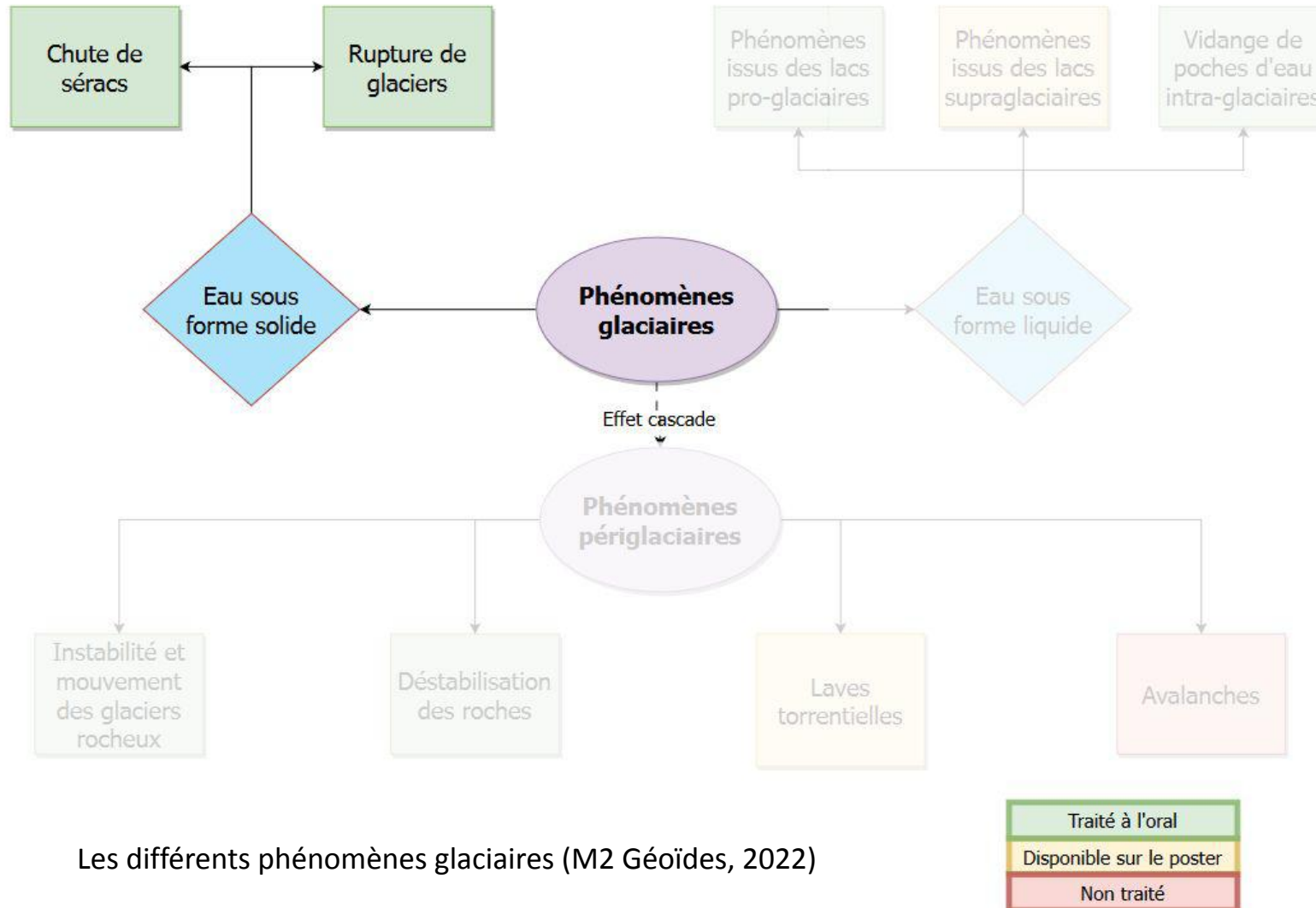
- Des phénomènes provenant :
 - de l'écoulement de l'eau liquide
 - des mouvements gravitaires de la glace
- Les changements climatiques impactant la haute montagne (fonte du permafrost et retrait glaciaire)

Objectifs de cette partie :

- Description générale de l'aléa
- Suivi de la classification des ROGP du PARN
- Schématisation et vulgarisation des ROGP à travers des exemples dans les Alpes

Causes et conséquences des risques d'origine glaciaire et périglaciaire (M2 Géoïdes, 2022)

1.1 Les phénomènes glaciaires : l'eau solide



Les différents phénomènes glaciaires (M2 Géoides, 2022)

L'eau sous forme solide

- Dégâts directs en aval
- Élément déclencheur de phénomènes périglaciaires
- Déstabilisation et retrait glaciaire dans les Alpes
- Chute de blocs de glace, rupture partielle ou complète du glacier

1.1 Les phénomènes glaciaires : l'eau solide

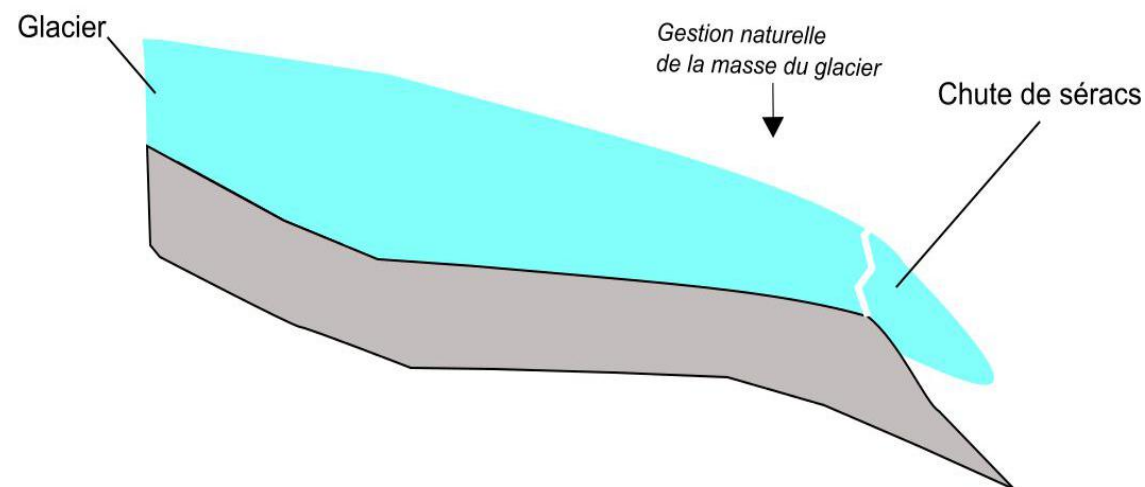
La chute de séracs / La rupture de glacier

Caractéristiques :

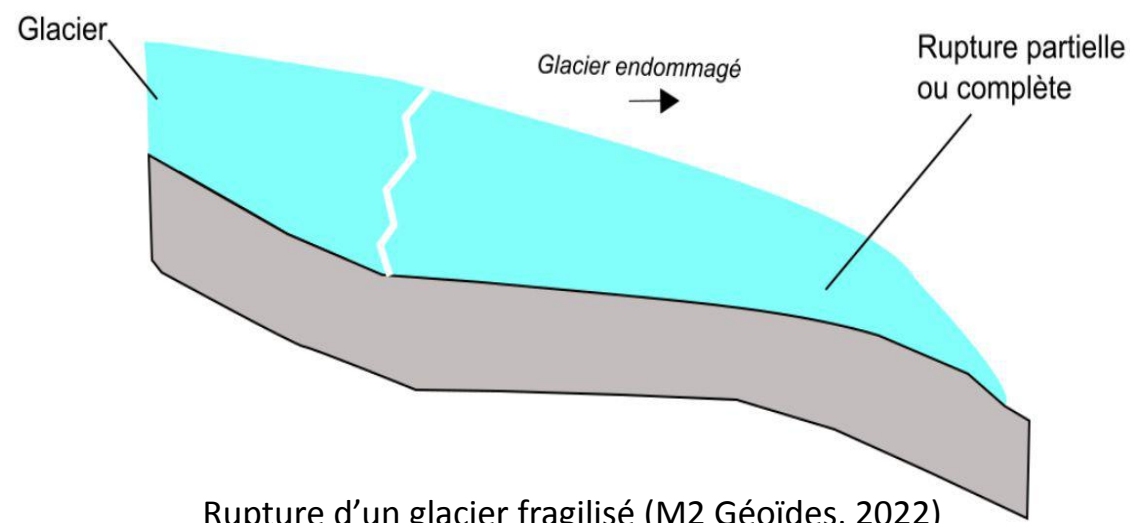
- Chute d'une partie ou de la totalité du glacier
- Instabilité due à :
 - Hausse du niveau d'eau à la base du glacier
 - Réchauffement du glacier
 - Différence de masse amont/aval et rééquilibrage naturel

Risques :

- Vulnérabilité des enjeux en aval
- Source de débâcle de lac glaciaire
- Déstabilisation du manteau neigeux et augmentation du risque d'avalanche



Chute d'un sérac en aval du glacier (M2 Géoïdes, 2022)

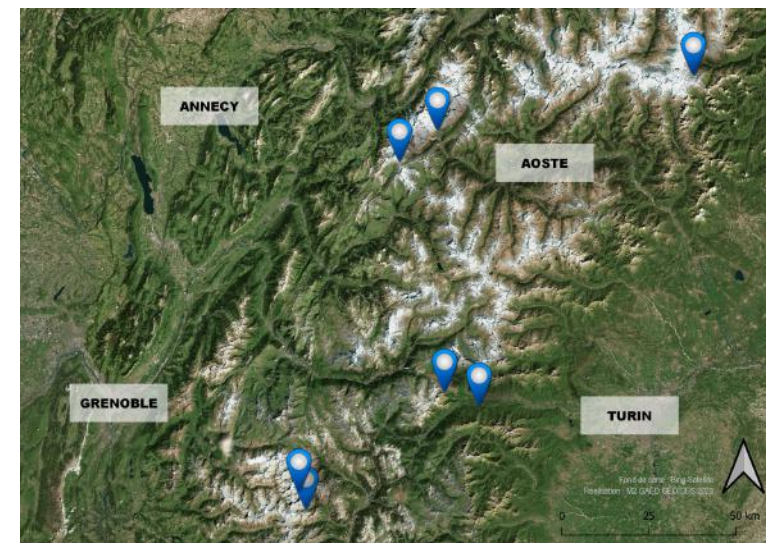


Rupture d'un glacier fragilisé (M2 Géoïdes, 2022)

1.1 Les phénomènes glaciaires : l'eau solide

La rupture de glacier

Le glacier de la Marmolada. Dolomites, Trentin-Haut-Adige, Italie



Sites étudiés



Site à ROGP étudié



Autres sites à ROGP

1.1 Les phénomènes glaciaires : l'eau solide

La rupture de glacier

Le glacier de la Marmolada. Dolomites, Trentin-Haut-Adige, Italie



Glacier de la Marmolada après la catastrophe de 2022 (AFP, 2022)

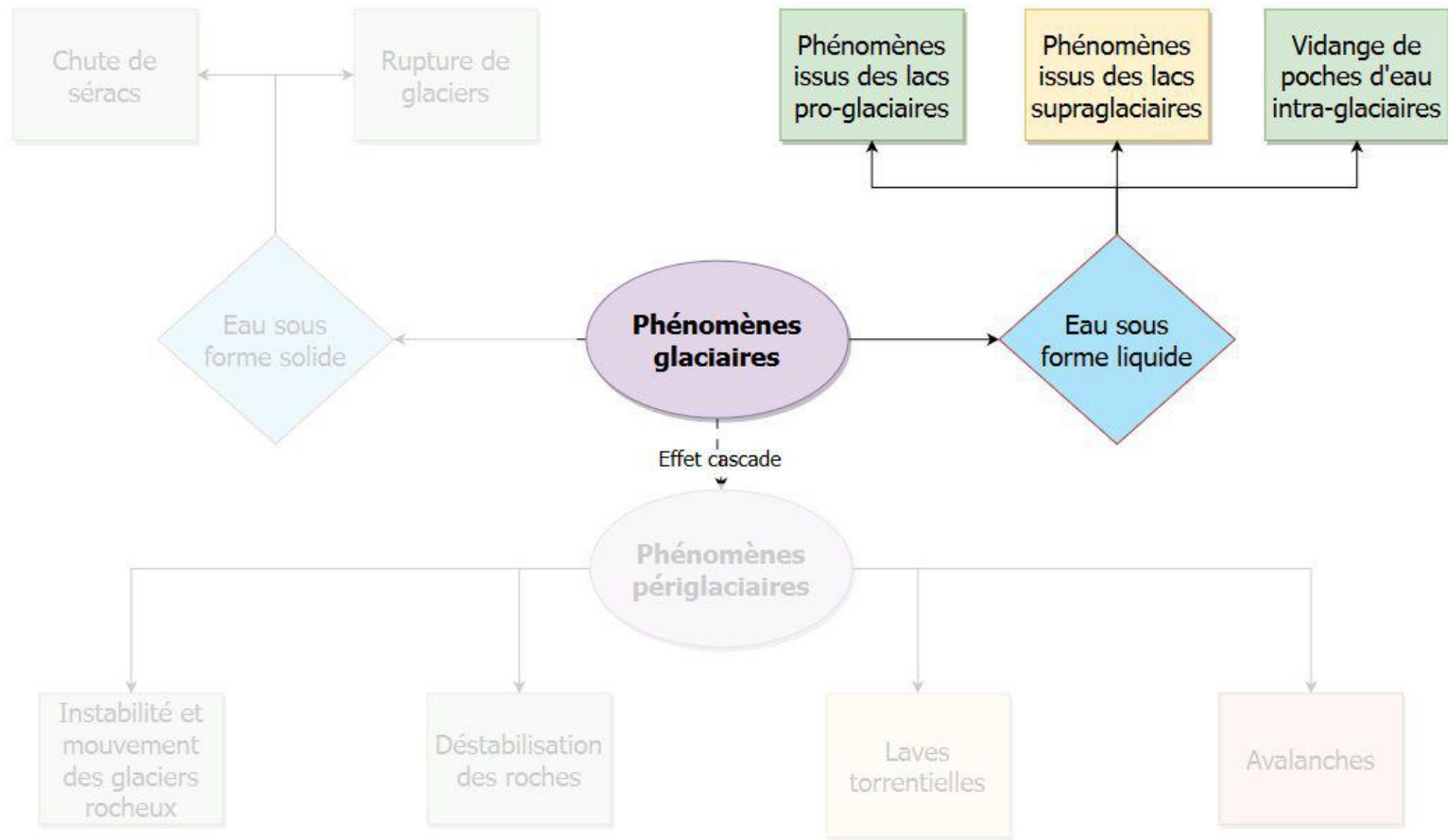
Propriétés :

- Recul du glacier dû au changement climatique
- Températures très élevées (10°C au sommet)
- Déficit de 50% des précipitations durant l'hiver 2022

Risques, catastrophes et préventions :

- Avalanche (glace, neige et roche) en juillet 2022
 - glissade et effondrement du glacier
 - 11 morts (alpinistes)
- Lave torrentielle en fond de vallée

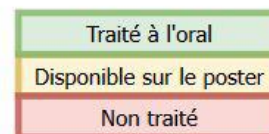
1.2 Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide



L'eau sous forme liquide dans les ROGP

- Phénomènes rares mais destructeurs dans les vallées
- Quantité d'énergie, d'eau et de matériaux importante
- Pompage et/ou vidange nécessaire(s) lorsque le risque est trop fort

Les différents phénomènes glaciaires (M2 Géoides, 2022)



1.2 Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide

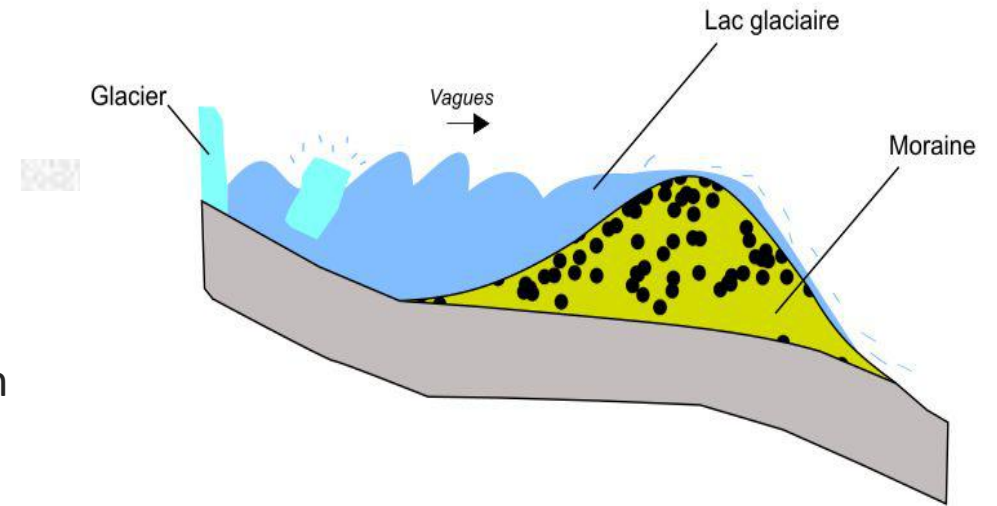
Les lacs pro-glaciaires

Caractéristiques :

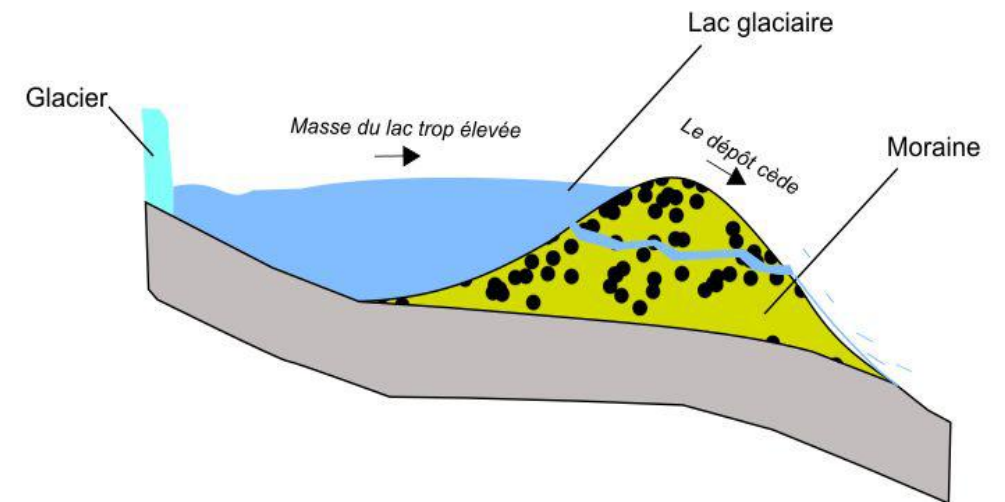
- Formation située en aval des glaciers, au sein d'une dépression
- Création de barrages (moraines) potentiellement instables

Risques :

- Des vagues peuvent être provoquées par une chute de matériaux dans le lac (glace et/ou roche) et débordement par un phénomène de surverse
- La masse d'eau peut faire céder les moraines en aval du lac (érosion par renard hydraulique)
- Débâcle en aval du lac et formation de crues ou de laves torrentielles



Vague formée par la chute d'un sérac (M2 Géoides, 2022)

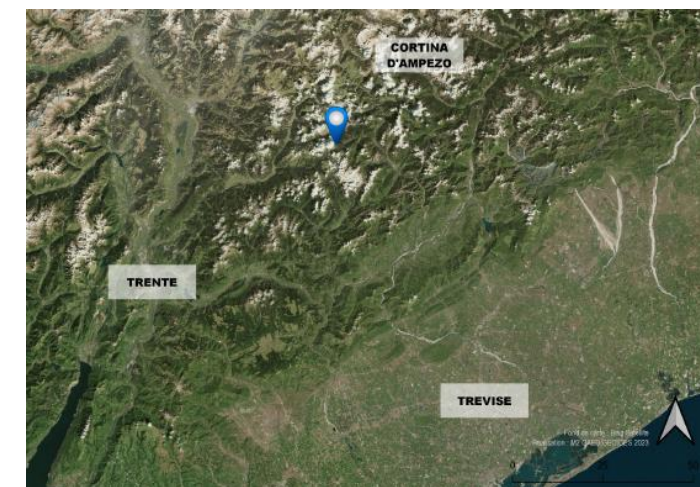
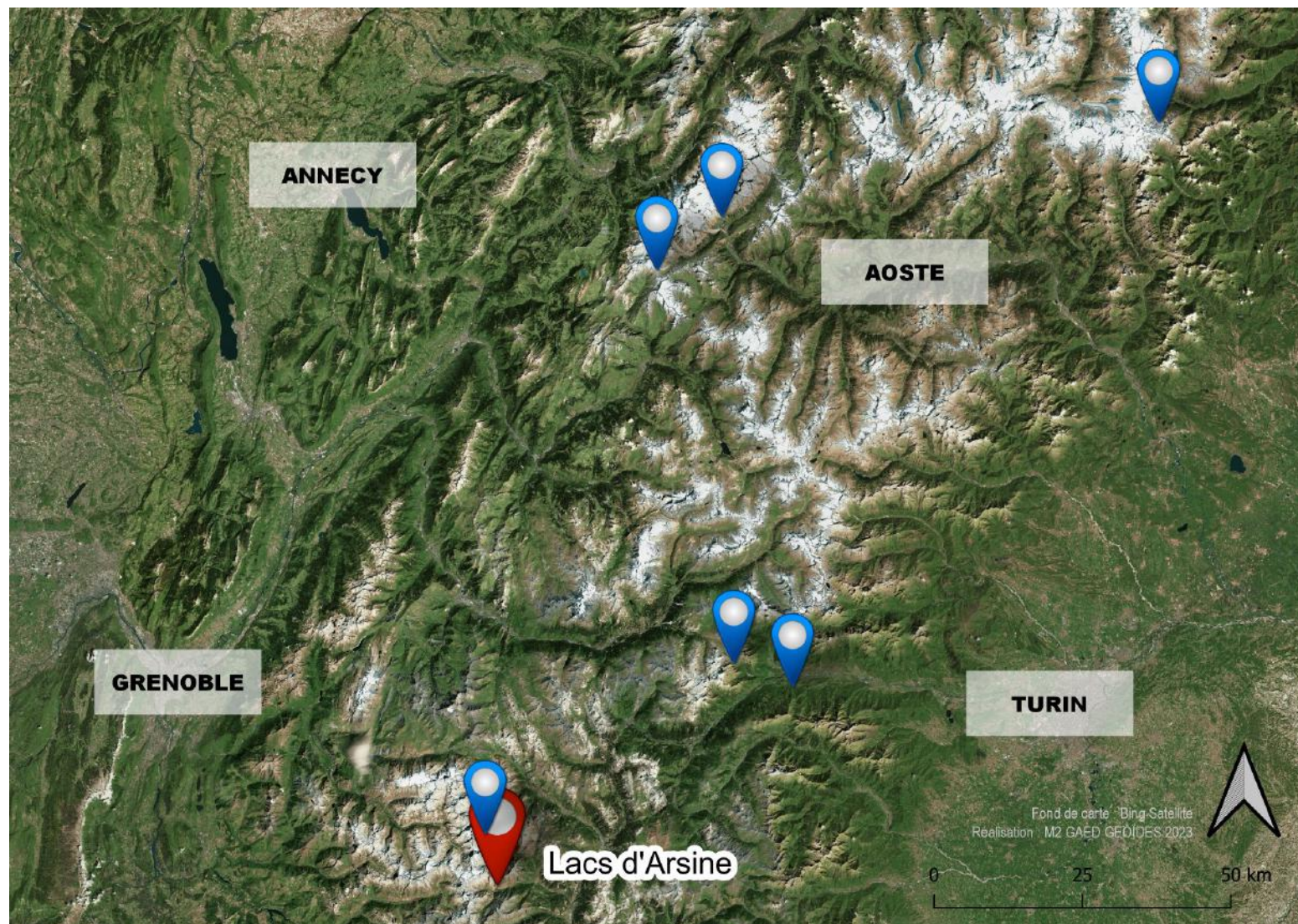


Moraine cédant sous la pression de l'eau (M2 Géoides, 2022)

1.2 Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide

Le glacier d'Arsine. Ecrins, Hautes-Alpes, France

Les lacs pro-glaciaires



Sites étudiés



Site à ROGP étudié



Autres sites à ROGP

1.2 Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide

Les lacs pro-glaciaires



Lac pro-glaciaire d'Arsine (Bergsma, 2020)

Le glacier d'Arsine. Ecrins, Hautes-Alpes, France

Caractéristiques :

- Formation en falaises de glace
- Plusieurs lacs en aval du glacier
- Moraines importantes faisant office de barrage

Risques, catastrophes et prévention :

- Risque de débâcle élevé
- Instabilité des moraines historiques
- Villages en aval vulnérables
- Vidange des lacs en 1986 par brèche

1.2. Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide

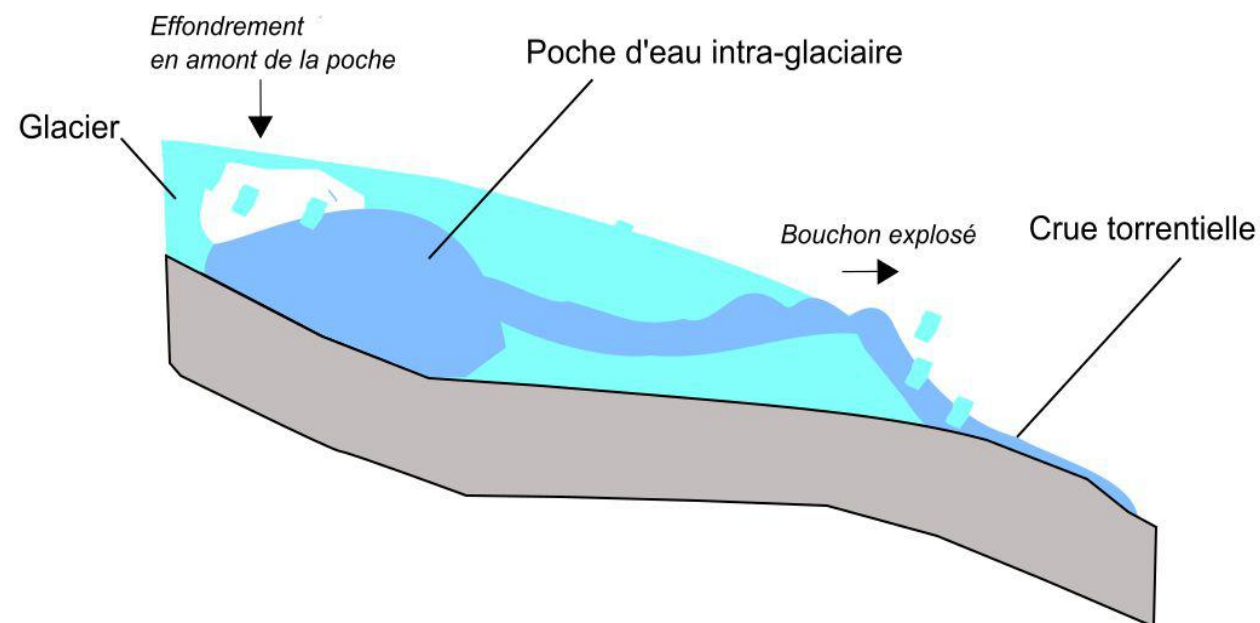
Les poches d'eau intra-glaciaires

Caractéristiques :

- Poche d'eau au sein du glacier
- Profondeur et étendue variables
- Recharge par des écoulements intérieurs ou fonte du glacier

Risques :

- Difficilement détectable (invisible en surface) et imprévisible
- Vidange de la poche d'eau par la rupture d'un bouchon glaciaire due à l'effondrement en amont d'une partie du glacier
- Crues soudaines dans les vallées

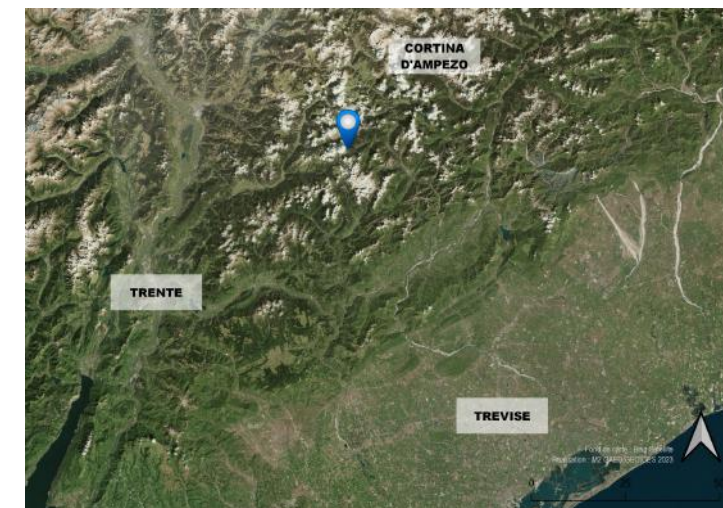
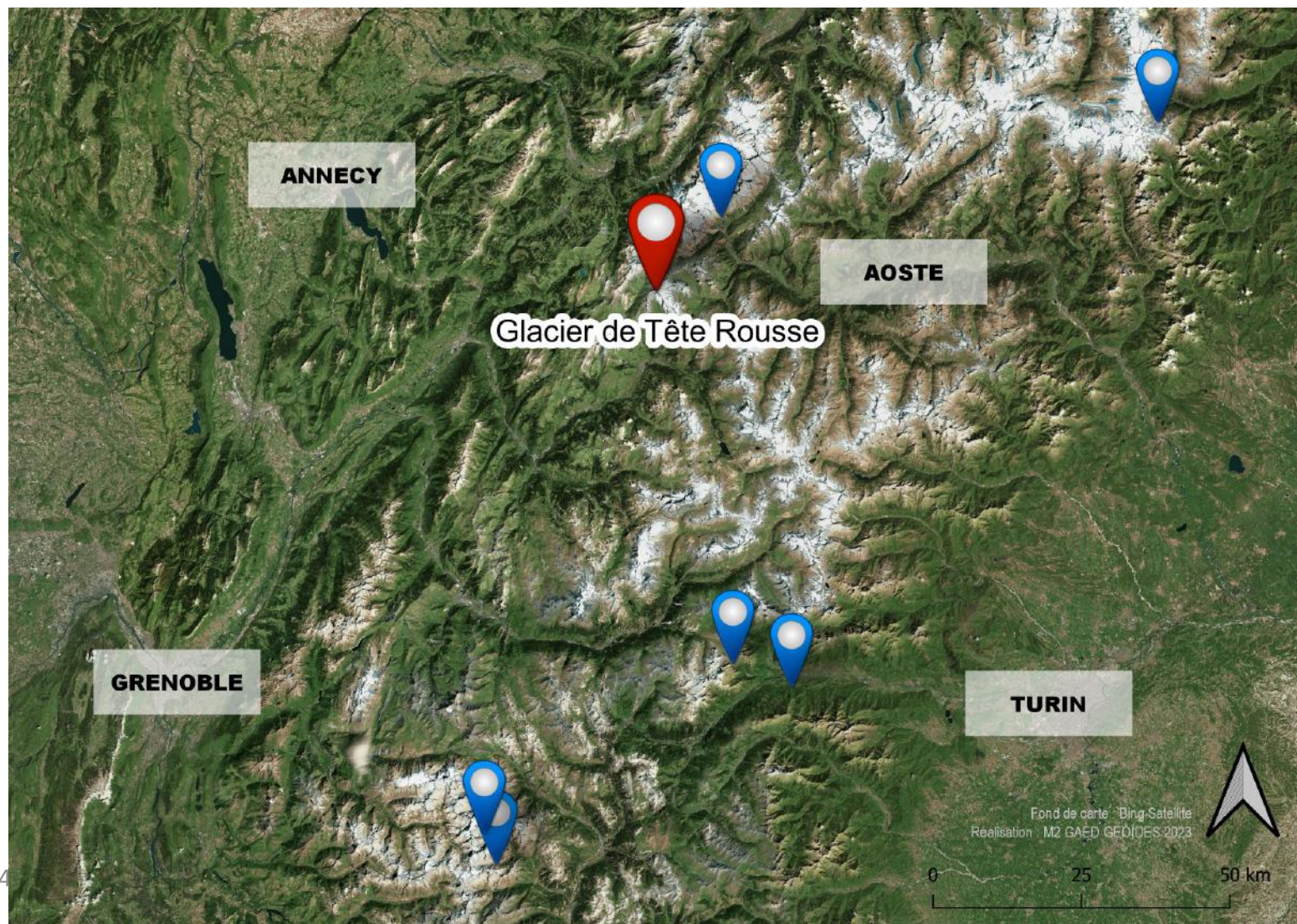


Vidange de poche d'eau intra-glaciaire (M2 Géoïdes, 2022)

1.2 Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide

Les poches d'eau intra-glaciaires

Le glacier de Tête-Rousse. Mont-Blanc, Haute-Savoie, France



Sites étudiés



Site à ROGP étudié



Autres sites à ROGP

1.2 Les phénomènes glaciaires : l'eau liquide

Les poches d'eau intra-glaciaires

Propriétés :

- Trois cavités à l'intérieur du glacier
- Formation de poches d'eau

Risques, catastrophes et préventions :

- 1892, rupture des poches d'eau
 - 200 000 m³ d'eau et matériaux déversés dans la vallée
 - 172 morts à St-Gervais
- Surveillance active du glacier, pompages en 2010, 2011, 2012 et 2022

Le glacier de Tête-Rousse. Mont-Blanc, Haute-Savoie, France

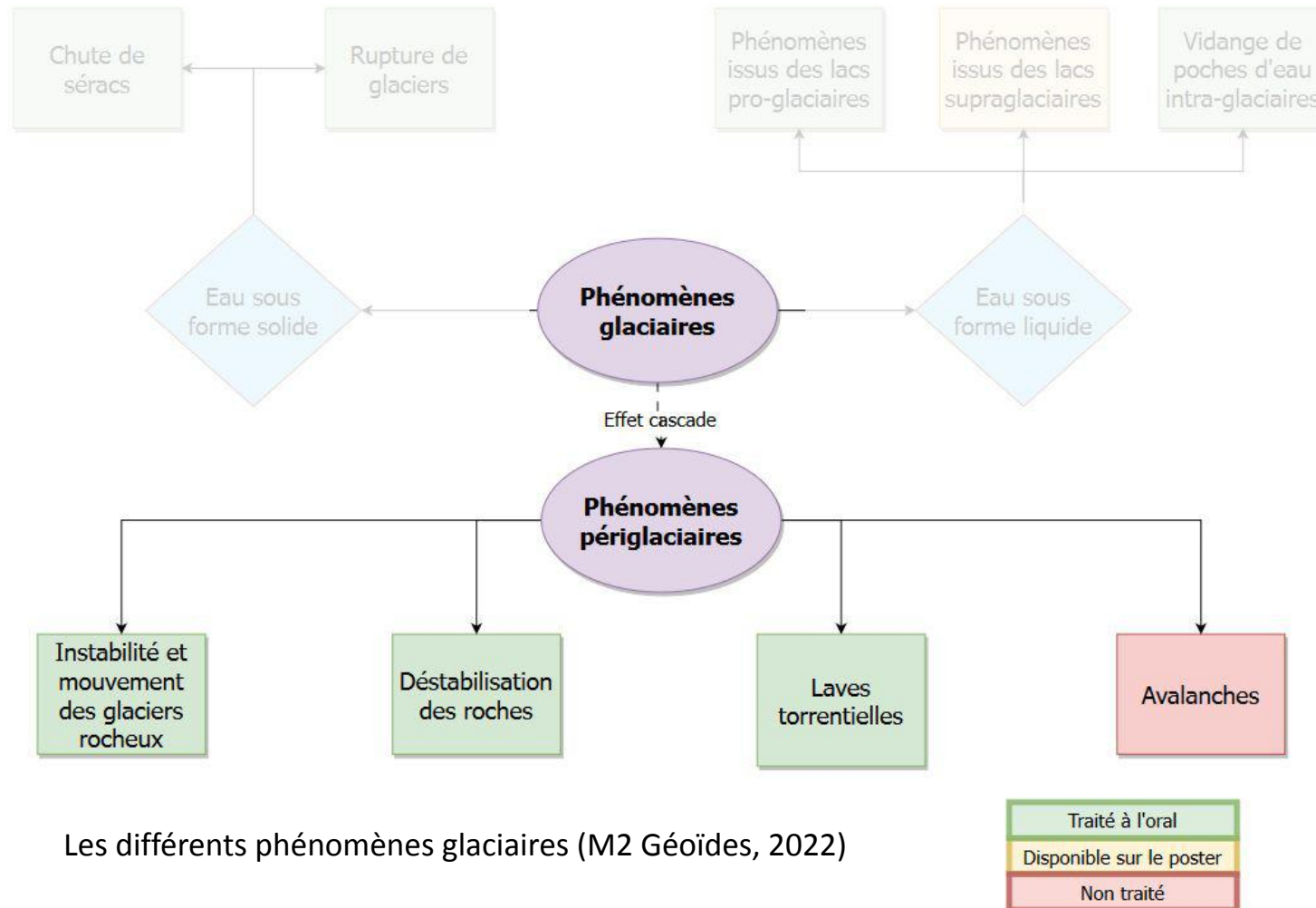


Glacier de Tête-Rousse (PARN, 2007)



Opération de pompage de la poche d'eau du glacier de Tête Rouse (Yetchmeniza, 2020)

1.3 Les phénomènes périglaciaires



Les différents phénomènes glaciaires (M2 Géoides, 2022)

Les risques périglaciaires aussi importants que les risques glaciaires

- Conséquences d'un phénomène glaciaire en amont
- Caractéristiques différentes en fonction du paysage et de l'aléa glaciaire concerné
- Phénomènes amplifiés par la fonte du permafrost participant à l'instabilité des massifs alpins

1.3 Les phénomènes périglaciaires

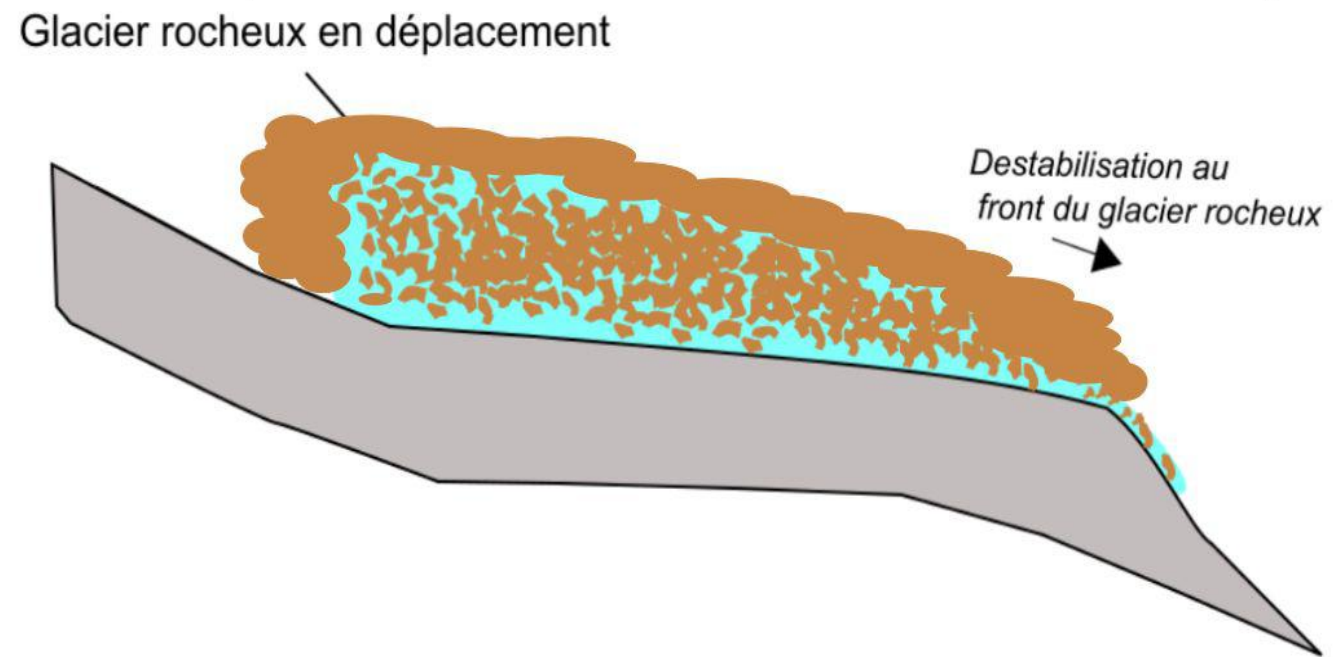
La déstabilisation de glaciers rocheux

Caractéristiques :

- Mélange de glace et de roche
- En mouvement selon la masse du glacier rocheux

Risques :

- Écroulements rocheux, glissements de terrain, laves torrentielles en aval du glacier
- Instabilité des infrastructures (domaines skiables, refuges...)
- Déstabilisation du front

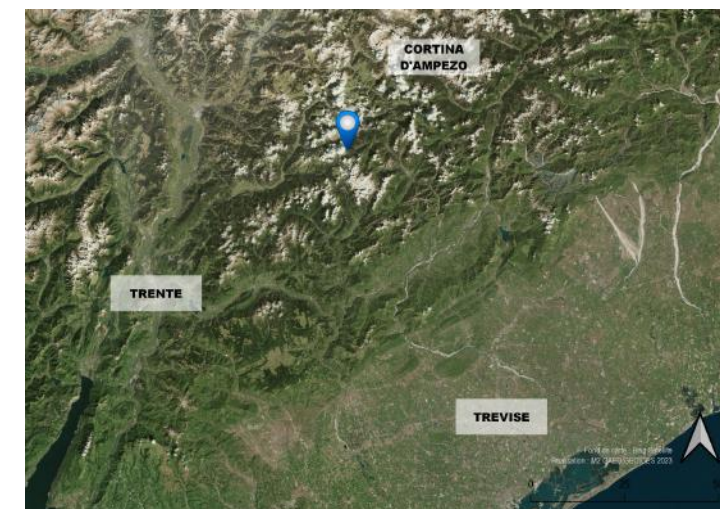
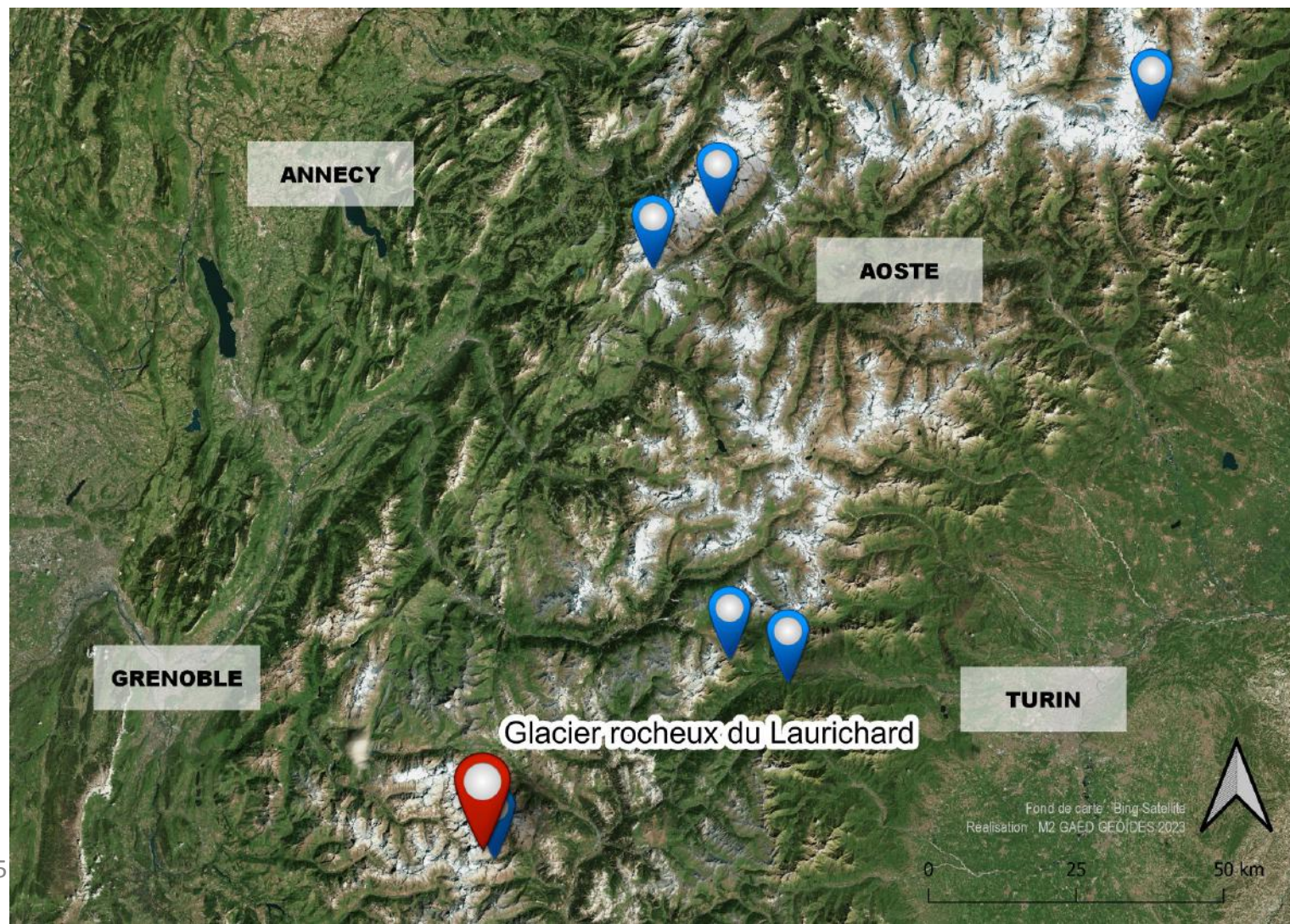


La déstabilisation d'un glacier rocheux (M2 Géoïdes, 2022)

1.3 Les phénomènes périglaciaires

La déstabilisation de glaciers rocheux

*Le glacier rocheux de Laurichard.
Ecrins, Hautes-Alpes, France*



Sites étudiés



Site à ROGP étudié



Autres sites à ROGP

1.3 Les phénomènes périglaciaires

La déstabilisation de glaciers rocheux

*Le glacier rocheux de Laurichard.
Ecrins, Hautes-Alpes, France*



Glacier rocheux du Laurichard (Bodin, 2022)

Propriétés :

- Glacier rocheux actif en constante déformation
- Déplacement de 10 cm/an à la partie la plus basse, 150 cm/an dans sa partie la plus raide

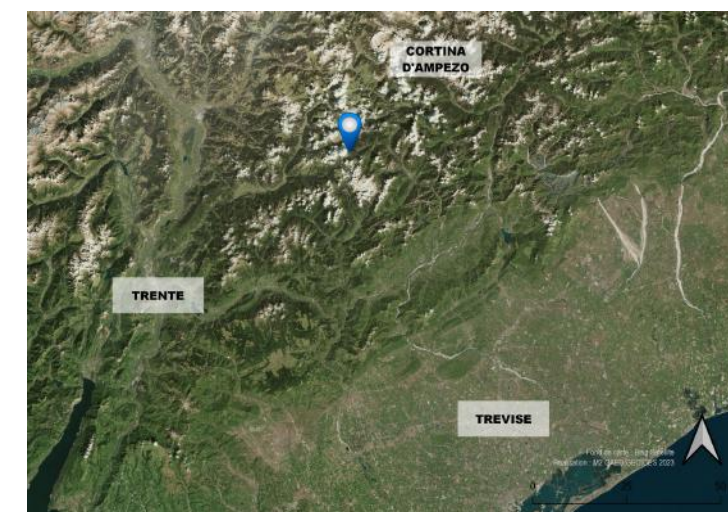
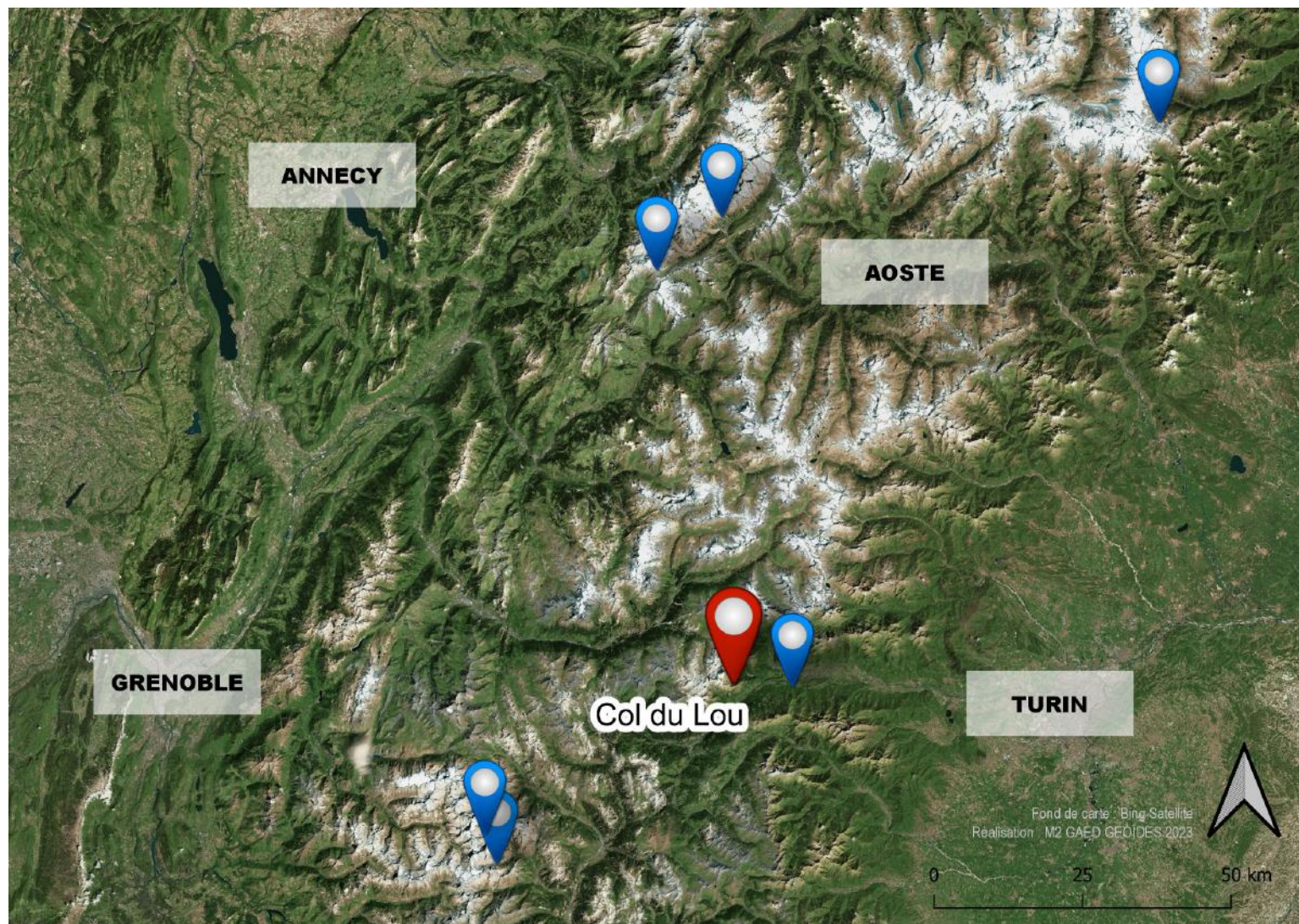
Risques, catastrophes et préventions :

- Instabilité croissante, hausse globale des températures
- Instrumentation par le Parc national des Ecrins comme site référence alpin

1.3 Les phénomènes périglaciaires

Les crues et laves torrentielles

*La lave torrentielle du col du Lou en 2015.
Vanoise, Savoie, France*



Sites étudiés



Site à ROGP étudié



Autres sites à ROGP

1.3 Les phénomènes périglaciaires

Les crues et laves torrentielles



Lave torrentielle du col du Lou en 2015 (Ribevre. 2016)



Les dégâts sur la SEM de Val Cenis (Le Dauphiné Libéré, 25/08/15)

***La lave torrentielle du col du Lou en 2015.
Vanoise, Savoie, France***

Propriétés :

- Présence d'un lac thermokarstique en amont
- Dégradation du permafrost (apport de matériaux)

Risques, catastrophes et préventions :

- En août 2015, formation d'une lave torrentielle alimentée par l'orage, le glacier rocheux et la fonte du permafrost
- Débordements de la lave torrentielle et dégâts à Lanslevillard

1.3 Les phénomènes périglaciaires

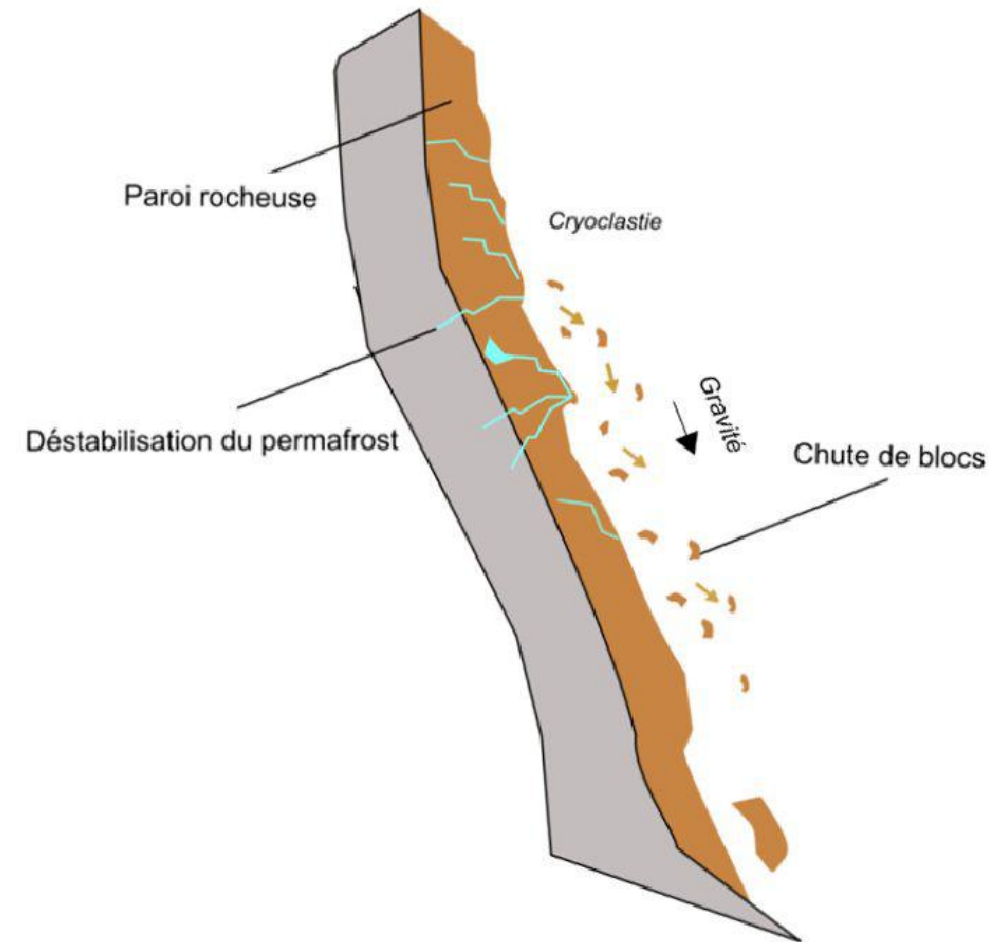
Dégradation du permafrost de paroi

Caractéristiques :

- Présence de permafrost de plus en plus dégradé
- Retrait glaciaire en amont des rochers
- Phénomène cryoclastique (cycle gel / dégel de l'eau dans les parois rocheuses)

Risques :

- Chutes de blocs
- Déstabilisation de parois rocheuses
- Écroulements rocheux de grande ampleur

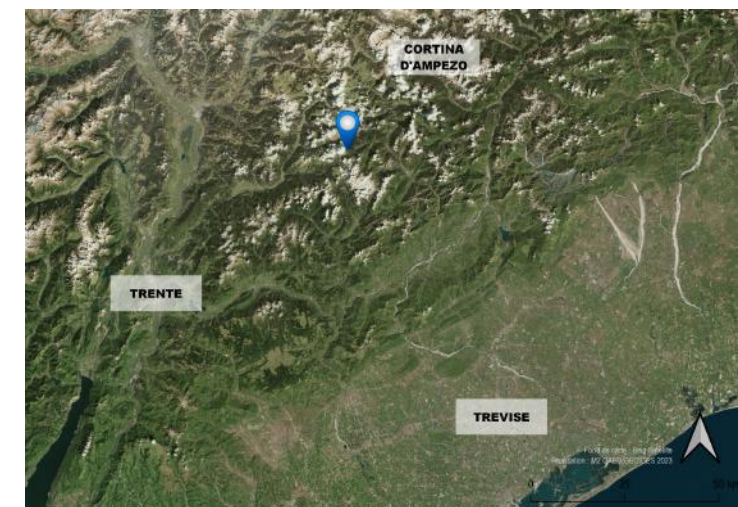
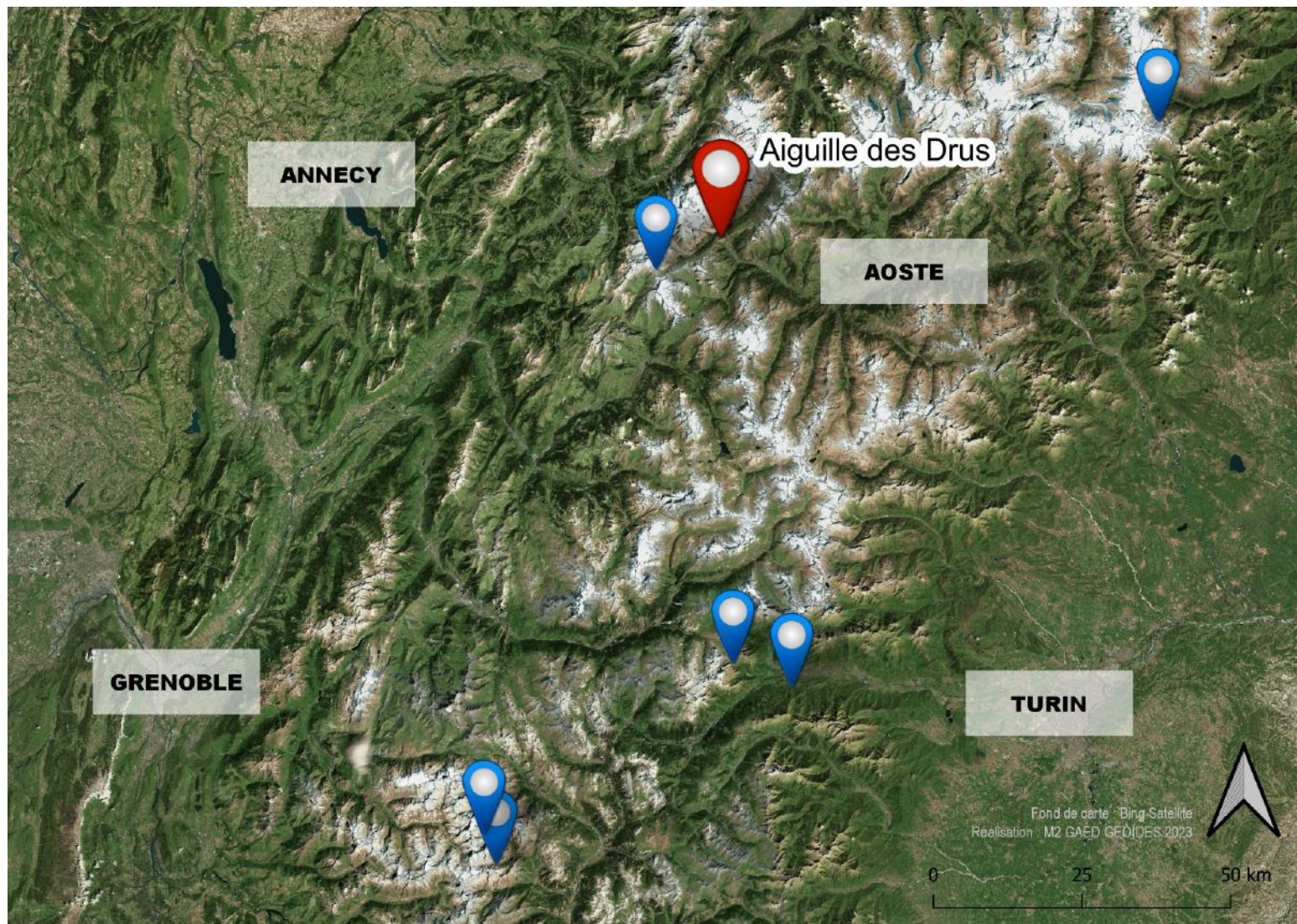


La déstabilisation d'une paroi (M2 Géoïdes, 2022)

1.3 Les phénomènes périglaciaires

Dégradation du permafrost de paroi

*La face ouest de l'aiguille des Drus.
Mont-Blanc, Haute-Savoie, France*



Sites étudiés



Site à ROGP étudié



Autres sites à ROGP

1.3 Les phénomènes périglaciaires

Dégradation du permafrost de paroi

*La face ouest de l'aiguille des Drus.
Mont-Blanc, Haute-Savoie, France*



Éboulement dans le massif des Drus (Schropff, 2015)

Caractéristiques :

- 3700 m d'altitude au sommet
- Face ouest du massif très abrupte
- Permafrost présent dans les cavités rocheuses

Risques, catastrophes et préventions :

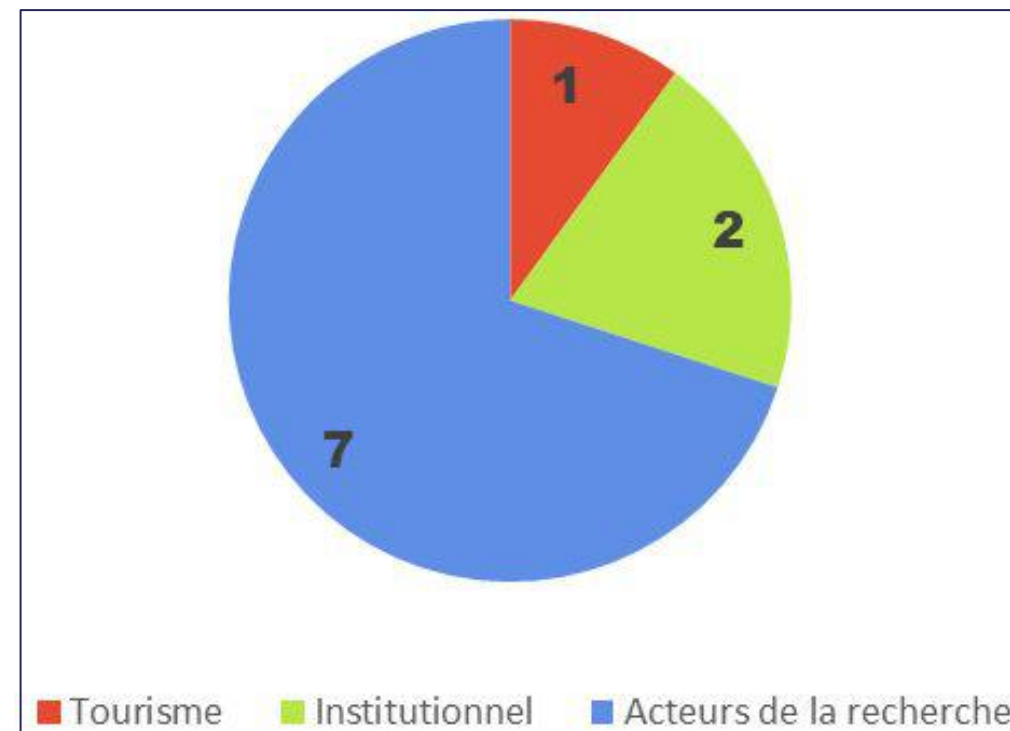
- Éboulements avec des blocs dépassant 10 000 m³
- Risque majeur pour les alpinistes
- Phénomène cryoclastique plus fréquent et important

2. La gestion et le suivi des ROGP

Contacts et entretiens réalisés

Cette deuxième partie repose sur la compilation et l'analyse de dix compte-rendus d'entretiens auprès de différents acteurs, réalisés entre décembre 2022 et janvier 2023.

Merci à eux pour leur contribution et leur temps



Secteurs d'activité des entretiens réalisés (en nombre de personnes),
(Géoides, 2023)

2.1. Les dispositifs d'étude et de suivi

Les Plans d'Action pour la Prévention des Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire (PAPROG)

Plan d'Action pour la Prévention des Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire

Ensemble de dispositifs d'étude et de suivi des ROGP, pour identifier les sites à suivre et informer les gestionnaires



- **GLACIORISK (2001-2003)**
Surveillance par satellite des glaciers
- **PermaNET (2008-2011)**
Opération de suivi du permafrost des Alpes
- **GlaRiskAlp (2010-2013)**
Quantifier et évaluer l'impact du retrait glaciaire
- **PermaRisk (2017-2020)**
Co-construire des méthodes de gestion des risques associés à la fonte du permafrost



2.1. Les dispositifs d'étude et de suivi

Le dispositif Refuges sentinelles - Zone Atelier Alpes du CNRS (2016-2023)

Dispositif de recherche-action sur les changements climatiques et culturels en haute montagne.

Contexte de l'étude :

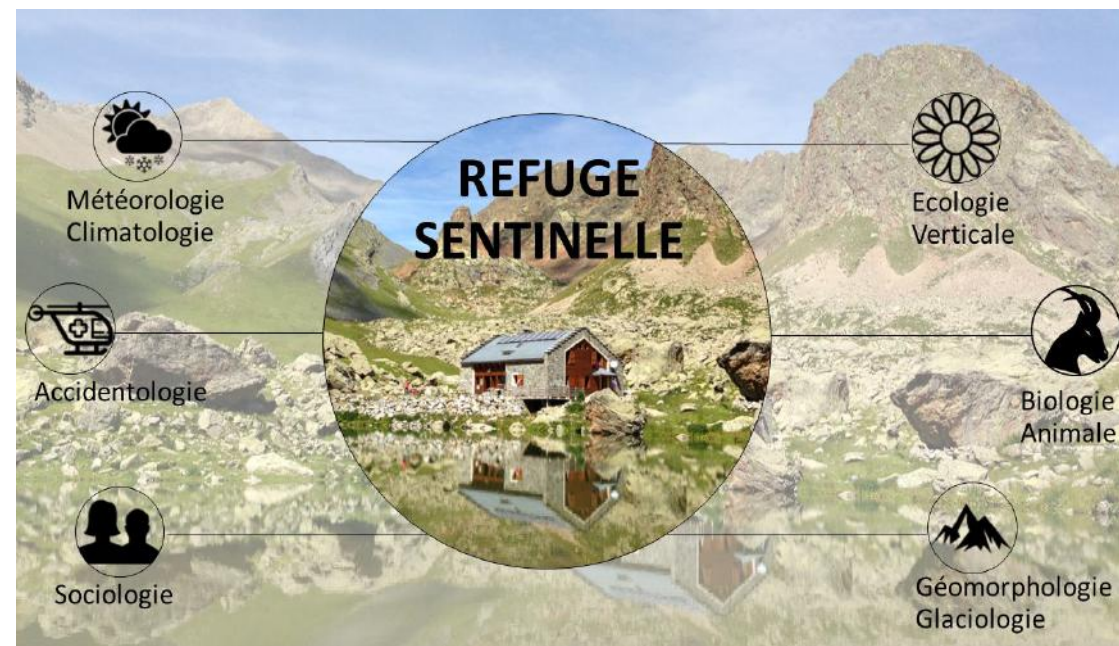
- Une volonté de recueillir de l'information, notamment sur les changements climatiques
- 4 massifs étudiés difficiles d'accès (Ecrins, Mont-Blanc, Valais suisse, Vanoise)

Objectifs :

- Refuges dits "laboratoires de terrain"
- Construction d'un recueil de données sur la pratique de la montagne

Méthode :

- Pluralité d'acteurs
- Sciences humaines et sociales



Programme Refuge Sentinelles (Parc National des Ecrins, 2016)

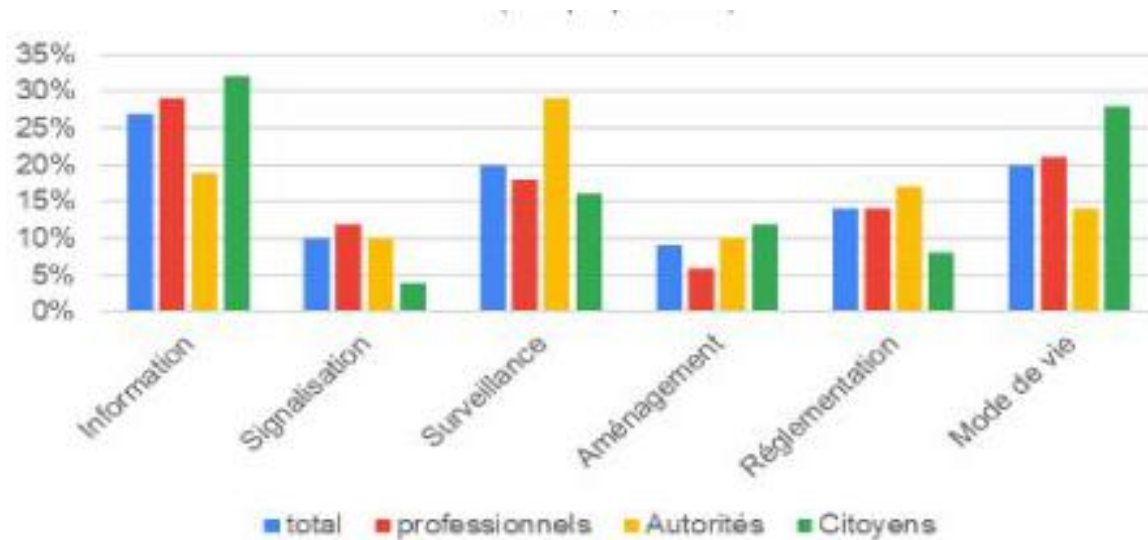
2.1. Les dispositifs d'étude et de suivi

Riskfrost - EDYTEM, PACTE (2021-2022)

Riskfrost vise à initier une discussion entre acteurs pour anticiper la prise en charge des risques liés au Permafrost

Contexte de l'étude :

- Trois massifs concernés (Vanoise, Mont Blanc, Valais)
- Trois groupes d'acteurs interrogés (citoyens, professionnels de la montagne, autorités locales)



Actions de prévention aux ROGP selon 6 groupes d'acteurs,
226 propositions (Caroly, 2022)

Résultats :

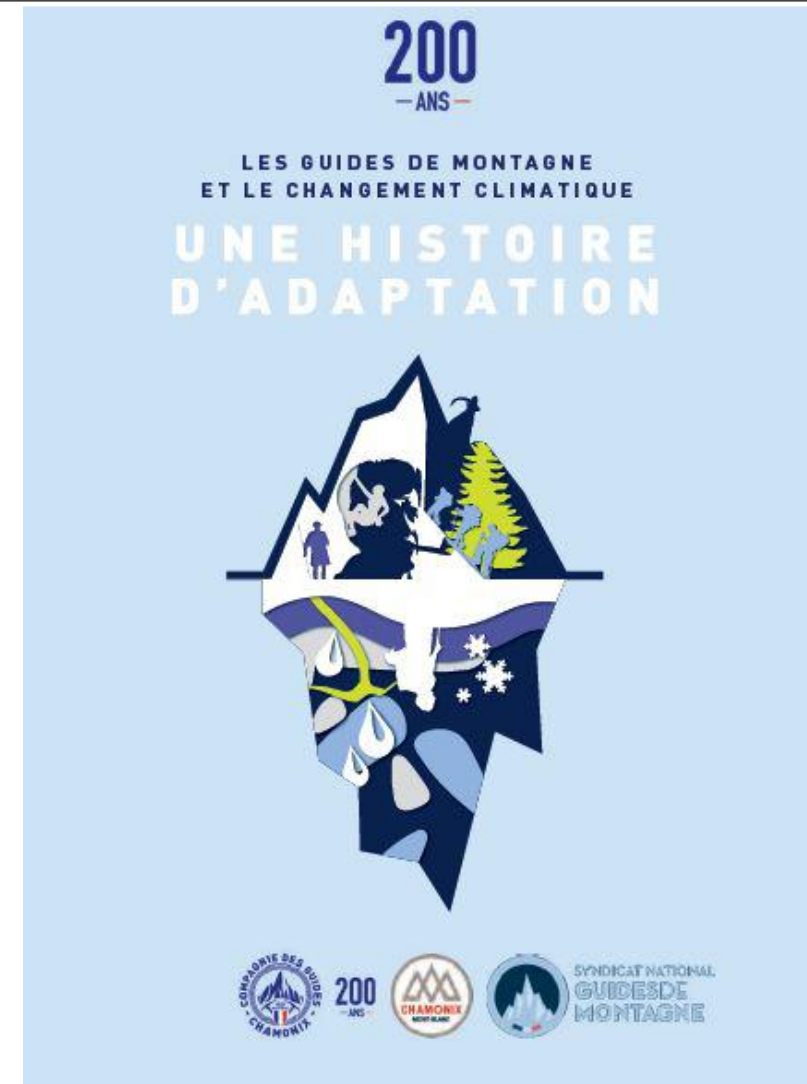
- Une perception de la maîtrise du risque faible
- Des connaissances insuffisantes
- Sentiment d'être démuni face aux ROGP
- Différentes attentes sur les actions de prévention selon les acteurs

2.2. Adaptation et résilience

Evolution des pratiques des guides de haute montagne (2021)

En 2021, centenaire de la Compagnie des Guides de Chamonix.

- Une profession témoin des évolutions de la montagne
- Un glissement saisonnier et une détérioration des conditions de haute montagne
- Une adaptation des itinéraires et des techniques
- Une nécessité de former le public
- Une modification des habitats des espèces sensibles
- Le métier de guide, vers une vocation de sensibilisation ?
- Un rapport à la montagne sportive à réinventer



2.2. Adaptation et résilience

Evolution des pratiques des guides de haute montagne



- Itinéraire du Pas de la Chèvre
- Moraine latérale droite de la Mer de Glace devenue infranchissable

Mutation de la montagne : accès perdu pour une course historique, le Pas de la Chèvre depuis le Montenvers (Mourey, 2020)

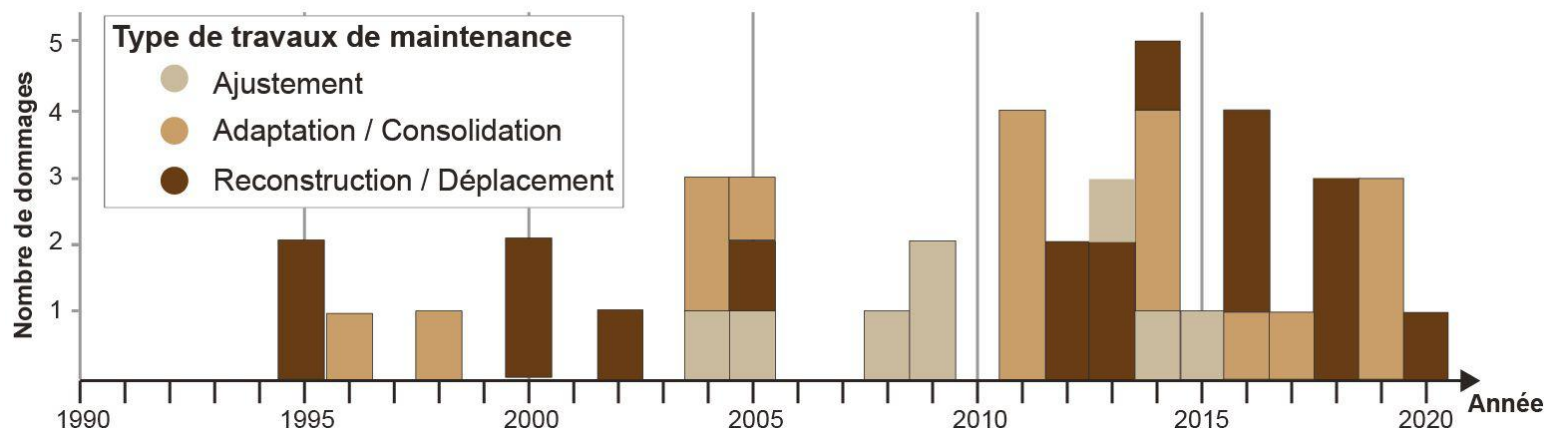
2.2. Adaptation et résilience

STAAF (2020)

Stratégies d'adaptation pour les infrastructures construites sur le permafrost dans les alpes françaises (STAAF)

- Un projet similaire a déjà été réalisé en Suisse
- Suivi des terrains-support pour faciliter les décisions du gestionnaire
- Analyse des stratégies proactives ou réactives pour les infrastructures à risque dans les Alpes françaises
- Test de nouvelles méthodes de suivi de l'état thermique du permafrost

Série de travaux géotechniques visant à stabiliser des constructions reposant sur du permafrost, très coûteux



Évolution des dommages et travaux de maintenance d'éléments d'infrastructure en contexte de permafrost dans les Alpes françaises (rapport d'activité du projet STAAF, 2019)

2.2. Adaptation et résilience

Projet ALCOTRA - AdaPT Mont-Blanc (2017-2020)



Une série d'ateliers thématiques autour des enjeux des changements climatiques en montagne

Cinq axes principaux :

- Mettre en place une instance de concertation à l'échelle de l'Espace Mont-Blanc
- Penser un développement éthique et non destructeur, où le local est l'atout
- Responsabiliser : faire prendre conscience des risques, à plusieurs niveaux
- S'adapter, oui ; polluer ou dégrader, non
- Connaître, suivre et évaluer les effets du changement climatique



3. La vallée de Chamonix : gestion du risque en quatre études de cas

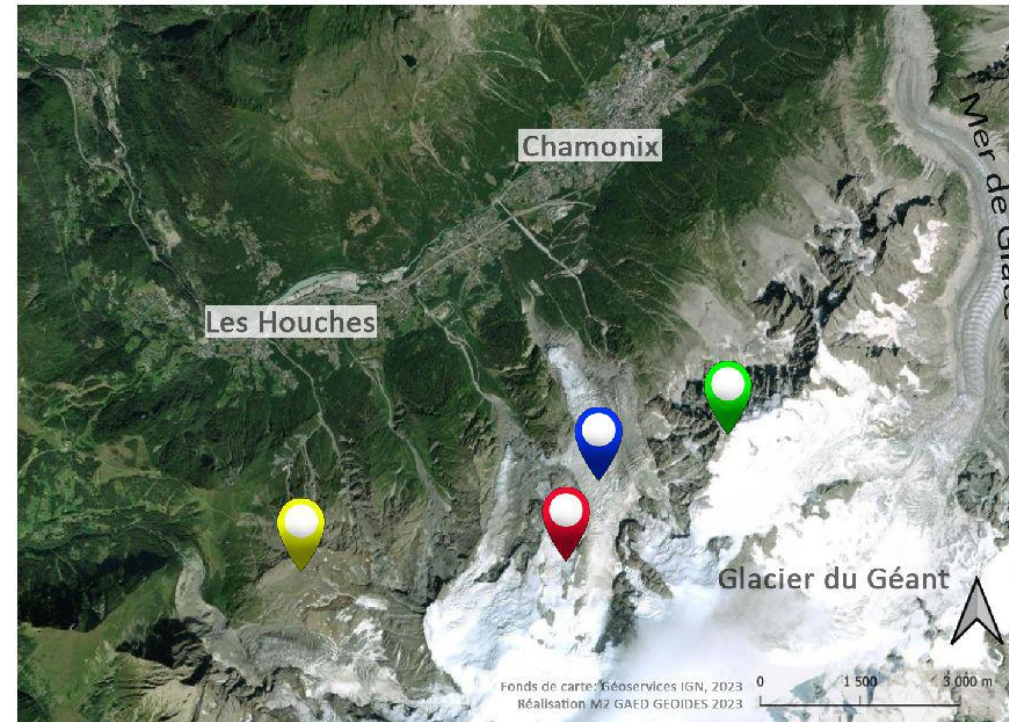
3. La vallée de Chamonix : gestion du risque en quatre études de cas

3.3.1. L'Aiguille du Midi et ses annexes

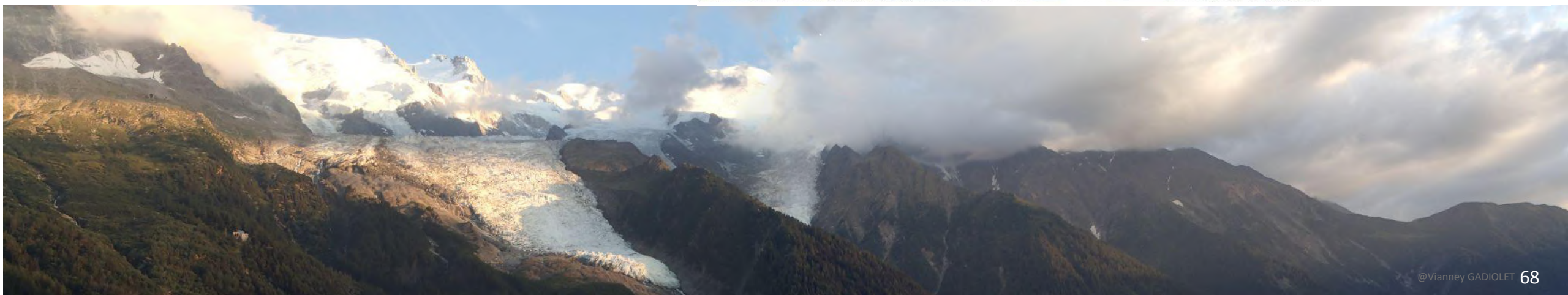
3.3.2. Le glacier des Bossons

3.3.3. Le glacier de Taconnaz

3.3.4. Le glacier rocheux du Dérochoir



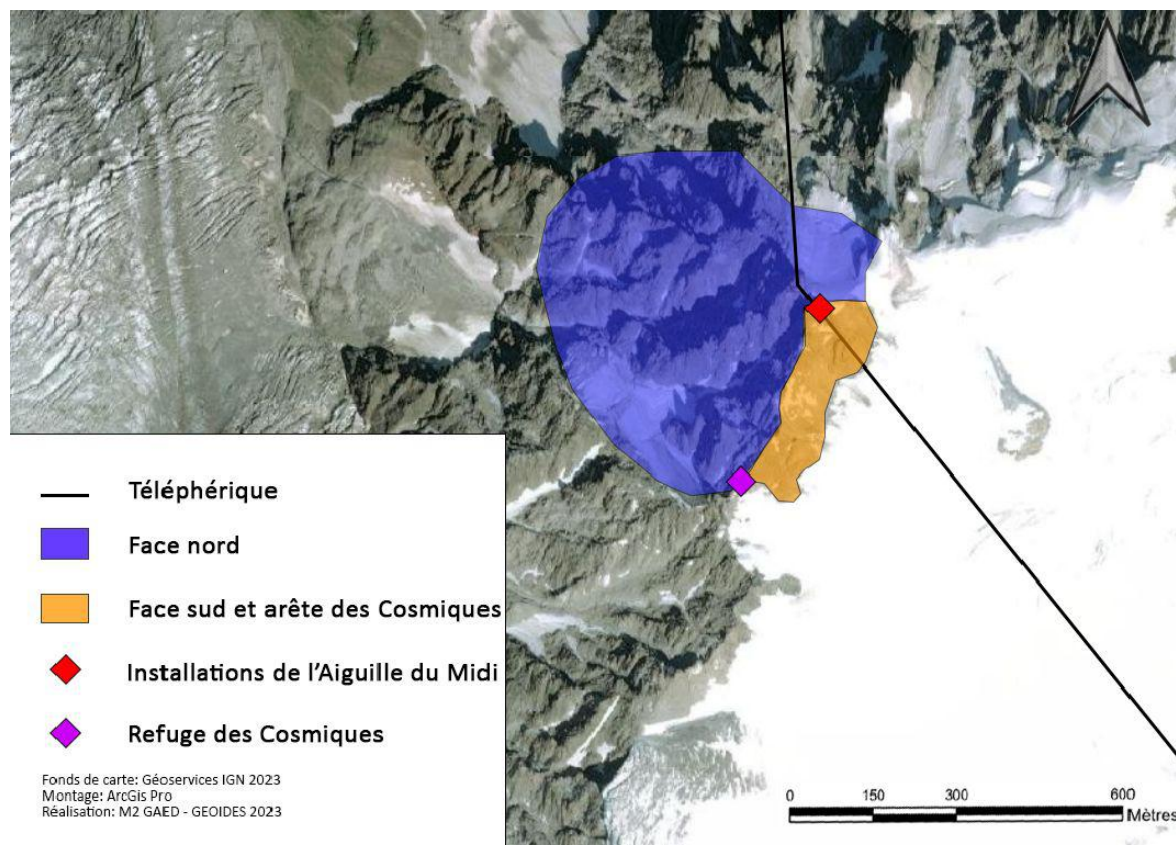
-  Aiguille du Midi
-  Glacier des Bossons
-  Glacier de Taconnaz
-  Glacier rocheux du Dérochoir



3.1. L'Aiguille du Midi et ses annexes

Choix de regrouper sous ce nom :

- l'Aiguille du Midi *stricto sensu*
- la face nord
- l'arête des Cosmiques et le refuge du même nom



3.1. L'Aiguille du Midi et ses annexes

Un site emblématique de la vallée de Chamonix :

- Culmine à 3842 m d'altitude
- ~500 000 visiteurs par an
- Le centre d'une activité économique majeure pour Chamonix
- Différents itinéraires d'alpinisme présents dans le secteur, particulièrement dans la Vallée Blanche

Sources : Guichonnet, 1956 ; Allen et al., 2012



@Jacottet, 1860

Vue sur les Aiguilles de Chamonix



@Gadiolet Vianney

Alpinistes sur la descente de l'arête nord de l'Aiguille du midi

3.1. L'Aiguille du Midi et ses annexes

Un site remarquable pour l'étude du permafrost :

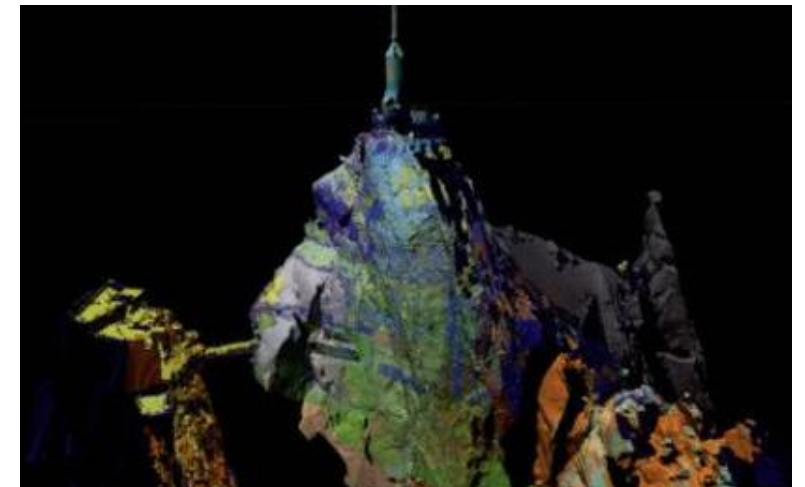
- Une importante bibliographie de plus de 150 ans sur les effondrements de compartiments rocheux
- Site idéalement localisé
- L'Aiguille du Midi est le principal centre de recherche sur le permafrost de paroi dans les Alpes
- Le site est instrumenté depuis une vingtaine d'années



Un site d'étude remarquable



Tomographie électrique résistive en 2008 (Coviello *et al.*, 2009)



Modèle polygonal 3D (Coviello *et al.*, 2009)

3.1. L'Aiguille du Midi et ses annexes

Une déstabilisation des compartiments rocheux ?

- L'augmentation de l'activité de chute de blocs et écroulements en face Nord est observée dès les années 1990.
- Les installations de l'Aiguille sont sur un compartiment monolithique rocheux dont les températures internes sont pour le moment stables.
- Ce n'est pas le cas de la face Nord et de l'arête des Cosmiques.

Une instabilité marquée



@La Chamoniarde, 2018

Écroulement de l'arête des Cosmiques



@Ravel, 2017

Écroulement en face nord de l'Aiguille du Midi

3.1. L'Aiguille du Midi et ses annexes

Le refuge des Cosmiques : condamné par la disparition du permafrost ?

- Un incendie du refuge fait fondre le glacier et le permafrost autour, il est reconstruit et inauguré en 1991
- Les écroulements sont nombreux (1998, 2003, 2010, 2015, 2020, 2022...)
- L'épisode caniculaire hors normes de 2022 a fait ressurgir pour la première fois les vestiges de l'incendie de 1989.

“Durant la saison 2022, il n’y a pas eu une nuit sans chutes de pierres et grincements du refuge [...] on n’en dort plus.”

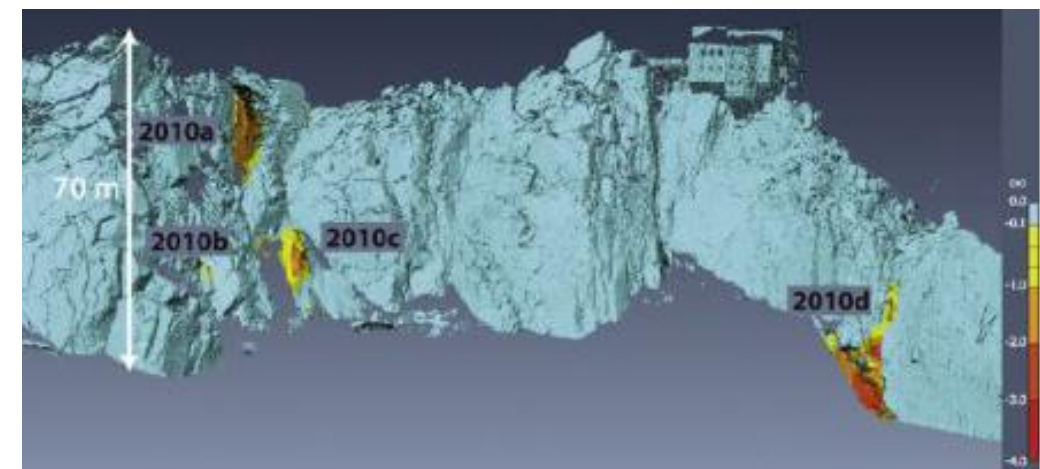
Mélanie MARCUZZI, gardienne du refuge des Cosmiques.

Sources : Allen et al., 2012 ; entretiens avec M. Marcuzzi le 02/12/2022 et L. Ravelle le 10/01/2023

Le refuge des Cosmiques



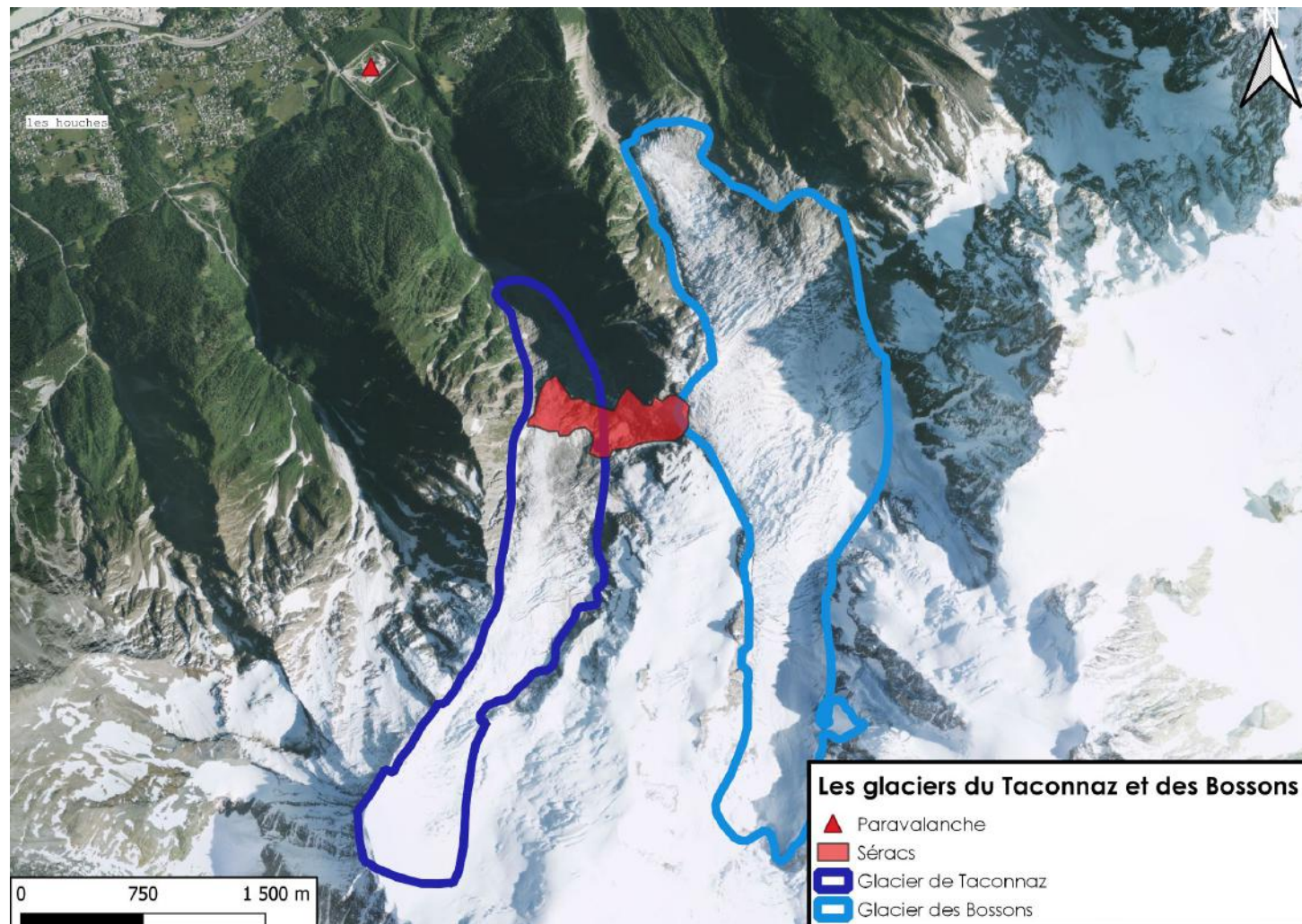
Écroulement de 600 m³ sous le refuge en 1998 (Allen et al., 2012)



Modélisation des écroulements de la saison estivale 2010 (Allen et al., 2012)

3.2. Le glacier des Bossons

- Le glacier s'écoule du sommet du Mont Blanc jusqu'à l'altitude 1450 m
- Il s'agit d'un glacier polythermal
- Il surplombe directement le hameau des Bossons
- La langue terminale du glacier donne naissance à trois torrents : La Creuse, La Crosette et Les Bossons



3.2. Le glacier des Bossons

- Un glacier aux nombreuses poches intra-glaciaires non recensées
- Un lac pro-glaciaire en formation
- Inondation de Chamonix en juillet 1996 : 1 mètre d'eau dans les rues. Conjugaison d'orages violents, de ruptures de poches intra-glaciaires et d'un mauvais entretien de l'Arve
- Vidange effectuée par RTM + DDT au printemps 2022 (quote abaissée de 2 mètres)



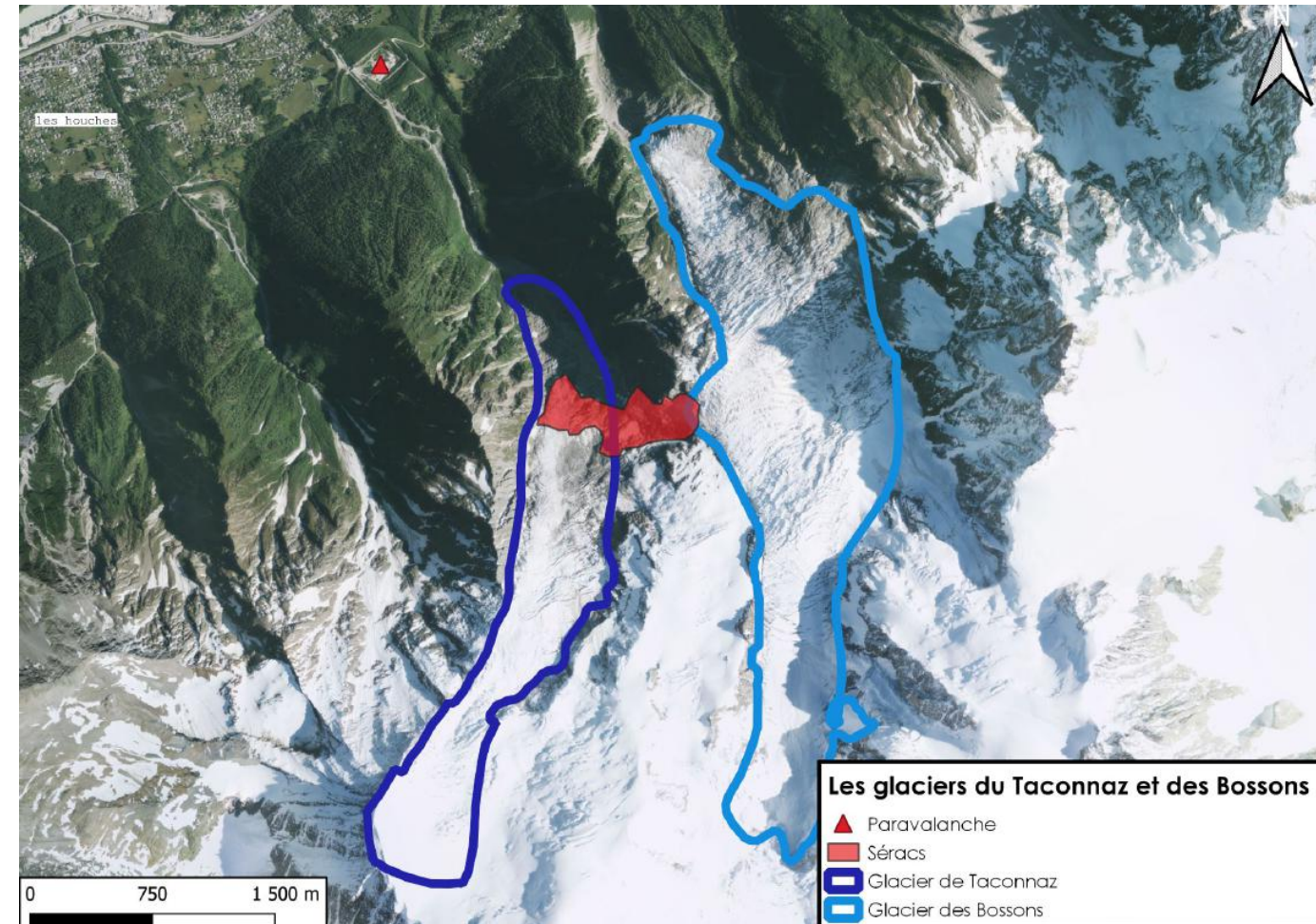
Incision dans le barrage morainique du lac pro-glaciaire des Bossons (Le Dauphiné Libéré, 15/06/22)



Inondation de 1996 dans le centre-ville de Chamonix (Le Dauphiné Libéré, 08/10/20)

3.3. Le glacier de Taconnaz

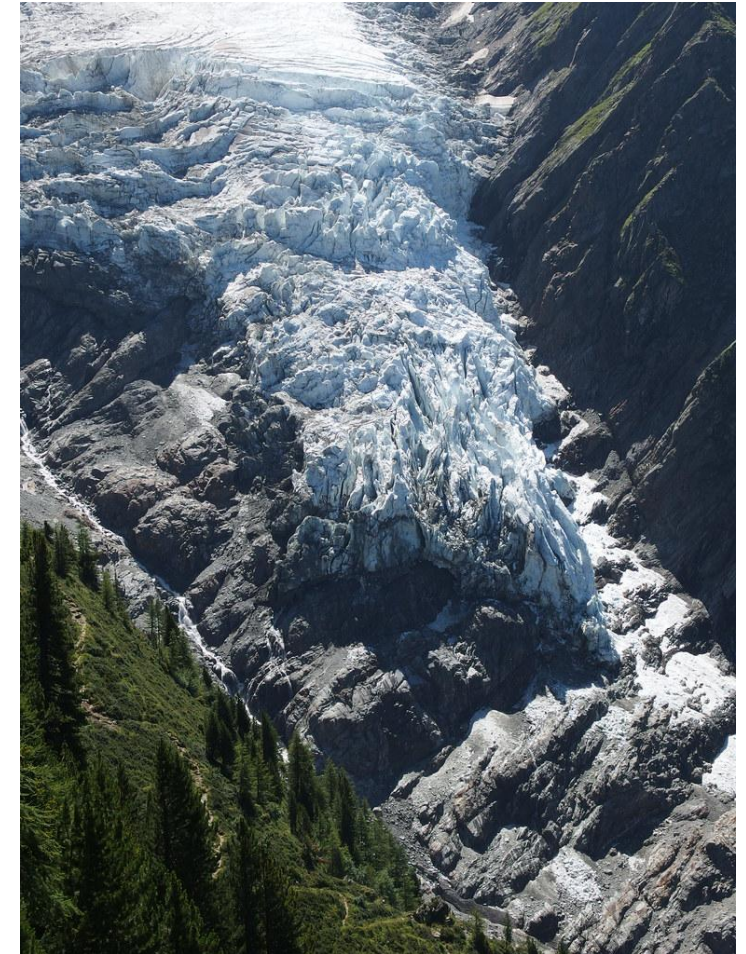
- Le glacier s'écoule du Dôme du Goûter jusqu'à une altitude de 1700 m
- Un glacier divisé en deux par une chute du sérac sur un abrupt
- Un risque très marqué en hiver : déclenchement d'avalanches importantes à proximité d'habitations (commune Les Houches)
- Le plus grand système paravalanche au monde



3.3. Le glacier de Taconnaz

- Des volumes très disparates : désagrégement par morceaux ou par ruptures pouvant dépasser 250 000 m³
- Suite aux ruptures, des progressions de séracs de 25 cm/jour en moyenne
- Un glacier froid, dont la température à la base est de -2,5°C au niveau des séracs (3410 m)
- Une stabilité du glacier dans la zone abrupte conditionnée par le régime thermique : à surveiller régulièrement

Programme Glariskalp (2008-2012)



Les séracs du glacier des Bossons (Zannoni, 2021)

3.3. Le glacier de Taconnaz

Le paravalanche de Taconnaz

Contexte :

- Construit suite aux avalanches de février et mars 1988 (habitations détruites)
- Volume de réception estimé à 600 000 m³, dépôts de 17 m de hauteur

Le système de paravalanche :

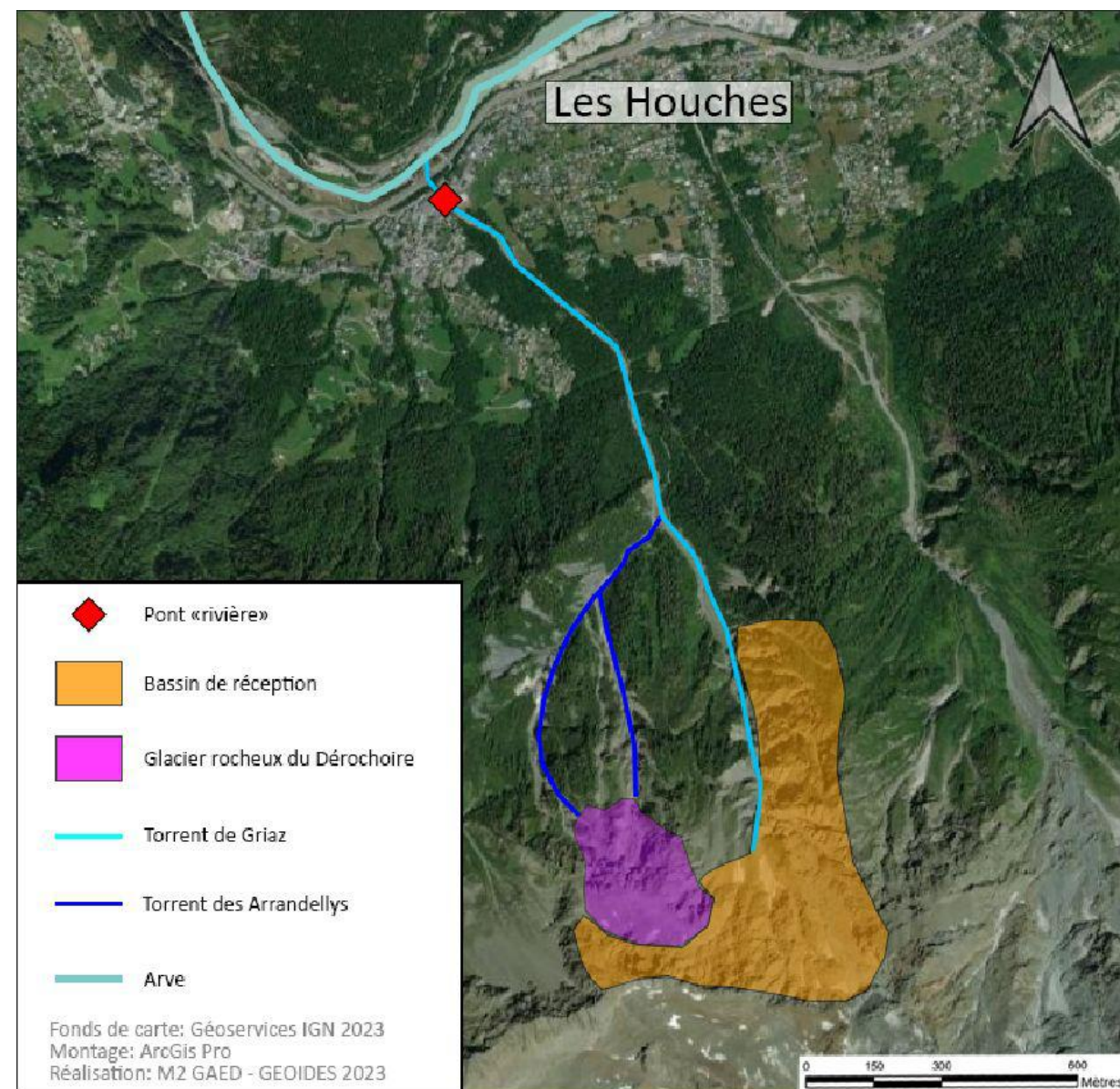
- Différents rôles :
 - dispersion et freinage
 - stockage
 - arrêt
 - exutoire
- Redimensionné en 2010



Vue d'ensemble des ouvrages (Glacier-climat.fr, 2022)

3.3. Le glacier rocheux du Dérochoir

- Petit glacier rocheux (38 000 m²)
- Il est alimenté par des falaises très actives liées à la zone métamorphique du massif du Mont Blanc (gneiss)
- Son front se divise en trois lobes. Il est suspendu au-dessus du torrent des Arrandellys



3.3. Le glacier rocheux du Dérochoir

- Le bassin versant du Griez est soumis à de fréquentes laves torrentielles jusqu'à 10 000 m³
- La contribution annuelle du glacier rocheux du Dérochoir est estimée à 1 000 m³/an
- Ces matériaux, réunis dans le torrent de Griez, rejoignent l'Arve en traversant le village de Les Houches via un "pont rivière"



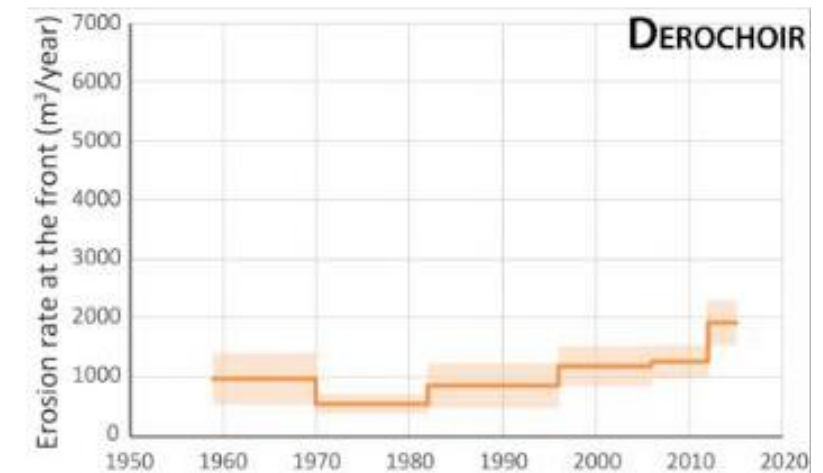
Front du glacier rocheux du Dérochoir au-dessus de Les Houches (Bodin, 2021)



Pont rivière au-dessus de la N.205 (SM3A, 2023)

3.3. Le glacier rocheux du Dérochoir

- Un des cinq glaciers rocheux suivi par le réseau **PermaFrance**
- Thermomètres de surface et subsurface, GPS
- Identifié comme le 1er glacier rocheux à risque dans les Alpes françaises
- 20 cm/an en moyenne au XX^{ème} siècle, 80 cm/an aujourd'hui



Erosion en m³/an du front du glacier rocheux du Dérochoir (Bodin, 2021)



Déstabilisation du front du glacier rocheux en 2015 (Le Dauphiné Libéré, 27/07/15)

Synthèse

- Des aléas bien connus et étudiés (PAPROG)
- Des risques très localisés à l'échelle française (uniquement dans les Alpes)
- Des prises de décision et adaptations à l'échelle locale, en réaction à des phénomènes ponctuels
- Des évolutions rapides dues au changement climatique
- Chamonix : un territoire où se concentrent ROGP et enjeux
- Une gestion de risque émergente



Conclusion générale

Conclusion générale

La tempête Alex

- Documents de gestion de crise remis à jour suite aux événements
- Prise en compte des PCS, PAPI, etc, sur la commune
- Gestion de crise structurée et scalaire

Les ROGP

- Documents de gestion insuffisants ou inexistants
- Événements ponctuels et échelle locale impactée
- Gestion de crise encore floue

Pourtant

- La Vésubie et la vallée de Chamonix sont deux territoires attractifs et touristiques
- Le changement climatique tend à accélérer ce genre de phénomène

Remerciements



Le corps enseignant

BECK Elise

BIGOT Sylvain

DUSSEUX Pauline

ROME Sandra

Le Pôle Alpin des Risques Naturels

EINHORN Benjamin

GERARD Simon

Tout le public assistant en présentiel et distanciel

Les personnes et structures sollicitées

BODIN Xavier, EDYTEM

BOURDEAU Philippe, PACTE

CARLSON Brad, CreaMontBlanc

CAROLY Sandrine, PACTE

JARDINET Alain, Mairie de Saint-Martin-Vésubie

MARCUZZI Mélanie, Refuge des Cosmiques

MOUREY Jacques, Université de Lausanne

RAVANEL Ludovic, EDYTEM

SCHOENEICH Philippe, PACTE

Le Service RTM74

La Préfecture de Haute-Savoie

