

UNIVERSITÉ SAVOIE MONT BLANC

Environnement – Montagne

Master SEAM - EPGM

Université Savoie Mont-Blanc

# IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ITINÉRAIRES D'ALPINISME DANS LE MASSIF DES ÉCRINS :

# CARTOGRAPHIE ET ANALYSE STATISTIQUE

Les Écrins Parc National

PRÉSENTÉ PAR

Mathis ARNAUD

2022-2023

« L'HOMME EST ALLÉ SUR LA LUNE MAIS NE SAIT TOUJOURS PAS FABRIQUER UN PAPILLON »

*GASTON RÉBUFFAT*



Figure 1 : Deux alpinistes sur le plateau sommital du Mont Pelvoux.
*Mathis Arnaud, 2023*



NOTICE ANALYTIQUE

Stagiaire : Mathis ARNAUD
Équipe encadrante du stage : Richard Bonnet (PNE), Philippe Bourdeau (UGE), Jacques Mourey (Edytem).

Nom du responsable de stage de l'Université de Savoie : Ludovic Ravanel (CNRS- Edytem)

## Résumé :

Mon rapport de stage a pour intérêt de retracer les 4 mois passés au sein du siège social du Parc National des Écrins sous la tutelle de Richard Bonnet, Philippe Bourdeau et Jacques Mourey. L'objectif de ce stage était d'étudier l'impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif des Écrins. Une cartographie des processus géomorphologiques et glaciologiques affectant des itinéraires d'alpinisme a été réalisée pour le Valais et la présente étude vise à appliquer cette méthode au massif des Écrins, non encore étudié. Le célèbre topo-guide "Le massif des Écrins – Les 100 plus belles courses et randonnées" a été utilisé comme base de travail. 70 itinéraires ont été sélectionnés selon leur fréquentation et réputation. L'ensemble des processus qui les affectent ont été cartographiés sous SIG et une analyse statistique a été réalisée pour mieux comprendre l'évolution des itinéraires. Un nouveau processus – la fonte prématurée en saison estivale des couvertures glacio-nivales – a été identifié. Un itinéraire est en moyenne affecté par 9 processus, et près de 25 % des itinéraires ne sont plus fréquentables en été. Les itinéraires en neige et mixtes et d'une difficulté supérieure à D (Difficile) sont les plus impactés. La légende a ainsi été appliquée avec succès au massif des Écrins, permettant de compléter les connaissances sur l'évolution récente des itinéraires d'alpinisme.
Ce rapport traite également des perspectives liées à cette étude ainsi que des différents apport personnels et professionnels que j'ai pu tirer de ce stage.

# Remerciements

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes trois encadrants de stage : Jacques Mourey, Richard Bonet et Philippe Bourdeau.

Jacques, je te suis sincérement reconnaissant pour ta bienveillance et tes conseils éclairés, ainsi que pour le temps généreusement offert pour m'épauler tout au long de ce stage. Ce parcours a débuté suite à une discussion avec toi après une conférence sur le changement climatique et l'alpinisme à l'ENSA durant l'été 2022. À la suite de cette discussion, tu m'as convié à une réunion organisée par Refuges Sentinelles à l'automne 2022, où j'ai eu l'occasion de rencontrer Philippe Bourdeau et Richard Bonet, et de discuter de la possibilité d'effectuer ce stage. Un grand merci.

Richard, je tiens à te remercier pour ton accueil chaleureux au sein des locaux du Parc national des Écrins. Ton énergie, ta bienveillance et, bien entendu, ton sens de l'humour ont grandement contribué à mon bien-être tout au long du stage.

Philippe, merci pour la confiance que tu m'as accordée dans la réalisation de cette étude, ainsi que pour tes remarques toujours pertinentes. Je te suis également reconnaissant de m'avoir convié à l'événement Refuge Remix, une expérience particulièrement enrichissante.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à l'ensemble du personnel du Parc national des Écrins avec qui j'ai eu l'opportunité d'échanger au cours de mon stage. Je souhaite particulièrement exprimer ma gratitude envers Cédric Dentant et Marine Challamel, notamment pour leur aide précieuse lors de l'analyse statistique. Un grand merci également à l'équipe des "geeks" qui m'a accueilli au sein de leurs bureaux. Merci également à Marion Janel pour son organisation des conférences, ainsi qu'à Julien Guilloux pour ses conseils en SIG.

Mes remerciements se tournent également vers Ludovic Ravanel, qui a bien voulu consacrer son temps à relire et à me conseiller sur l'article.
J'aimerais également remercier Xavier Cailhol pour nos précieux échanges durant ce stage et ses diverses propositions collaboratives en lien avec le SNGM.

Je tiens aussi à remercier Nicolas Raynaud. Grâce à lui et à toute l'équipe pédagogique du Lycée Ambroise Croizat de Moûtiers, j'ai pu découvrir ma passion pour la montagne qui a été le début d'une belle histoire.

J'adresse également mes vifs remerciements à l'ensemble des guides de haute montagne, scientifiques, gardiens de refuge et agents du Parc national des Écrins qui ont pris le temps de me recevoir pour les entretiens. Votre contribution a été une réelle plus value. Une mention spéciale à Sébastien Constant et Claude Albrand, qui m'ont accueilli à plusieurs reprises et ont grandement contribué à cette étude.

Un sincère merci à mes parents qui m'ont toujours encouragé à suivre mes passions. Leur soutien inébranlable, même dans les moments de doute, a été d'une valeur inestimable.
À mes deux frères et à mes ami.e.s, je tiens à exprimer ma gratitude pour les moments précieux partagés en montagne ou autour d'un verre.

Je souhaite adresser des remerciements spéciaux à Mélia, qui m'a accompagné et soutenu avec amour tout au long de ce stage.
Je tiens également à remercier celles et ceux qui n'auraient pas été cités dans ces propos et qui m'ont apportés également tout au long de cette étude.

# TABLE DES MATIÈRES


RÉSUMÉ ....4
REMERCIEMENTS ....5
I. INTRODUCTION ....7
II. PRÉSENTATION DU PARC NATIONAL DES ÉCRINS ET DE REFUGES SENTINELLES ....9
II.A) LES PARCS NATIONAUX ....10
II.B) LE PARCS NATIONAL DES ÉCRINS ....11
II.C) REFUGES SENTINELLES....12
III. EVOLUTION DES ITINÉRAIRES D'ALPINISME DANS LE MASSIF DES ÉCRINS ET DE LEURS CONDITIONS DE FRÉQUENTATION ....14
III.A) IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ITINÉRAIRES D'ALPINISME DU MASSIF DES ÉCRINS ....15
III.B) ÉTÉ 2023, LES REFUGES DU MASSIF DIRECTEMENT IMPACTÉS PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ....42
LE REFUGE DU CHATELLERET
LE REFUGE DE LA SELLE
LE REFUGE DU SÉLÉ ET DU PELVOUX
LE REFUGE DE LA PILATTE, DÉJÀ VICTIME DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE EN 2021
IV. PERSPECTIVES DE CETTE ÉTUDE ....45
IV.A) CRÉATION D'UN TOPO ....46
IV.B) ANIMATION DANS LE CADRE DES 50 ANS DU PARC NATIONAL DES ÉCRINS ....47
ÉCRINS, TERRE DE SCIENCES
IV.C) AUTRES PERSPECTIVES....48
V. APPORTS PERSONNELS ET PROFESSIONNELS ....49
V.A) UNE CONNAISSANCE ACCRUE DU MASSIF DES ÉCRINS ....49
V.B) DES VISIONS MULTIPLES SUR LA PRATIQUE DU GUIDE DE HAUTE MONTAGNE ....50
V.C) UNE NOUVELLE RÉFLEXION SUR MA PRATIQUE DE LA MONTAGNE ....51
VI. CONCLUSION ....53
BIBLIOGRAPHIE ....54
ANNEXES ....57
DOSSIER PHOTOS ....58

# I. Introduction

La haute montagne et son environnement m'intéressent et me fascinent depuis plusieurs années. J'ai le privilège de pouvoir pratiquer différentes activités (escalade, alpinisme, ski de randonnée) qui me permettent d'évoluer dans ce milieu naturel magique, parfois hostile, sur les glaciers, ou les parois verticales. En parallèle de mes études universitaires, je suis notamment en formation pour devenir Guide de Haute Montagne. D'autre part, la situation climatique, sociétale et environnementale que nous vivons me questionne, et m'anime profondément.
Je souhaitais de fait réaliser mon stage en lien avec la pratique de l'alpinisme et le changement climatique. J'ai ainsi eu la chance et l'opportunité de rencontrer Jacques Mourey (Edytem), chercheur sur ces thématiques qui m'a convié à une rencontre en octobre 2022 avec différents acteurs du milieu montagnard (gardiens de refuge, accompagnateurs en montagne, guides de haute montagne, scientifiques) dans le cadre de Refuge Sentinelle (dispositif transdisciplinaire portant sur les observations scientifiques en refuge). C'est suite à cette rencontre et à des échanges avec Philippe Bourdeau (chercheur et professeur en géographie, UMR PACTE), Jacques Mourey, et Richard Bonet (chef du service scientifique du Parc National des Écrins), que s'est dessiné le projet de stage sur les "100 plus belles des Écrins " .
Ce stage s'inscrit donc dans le cadre du dispositif Refuges Sentinelles et est effectué au siège du Parc National des Écrins, au domaine de Charance (Gap).

L'objectif du stage était donc d'étudier l'impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme dans les Écrins selon la méthodologie mise au point par Jacques Mourey en 2022. Le topo-guide "Le massif des Écrins – Les 100 plus belles courses et randonnées" a servi de référence pour la sélection des itinéraires. Pour ce faire, j'ai réalisé une quinzaine d'entretiens semi-directifs avec des professionnels de la montagne et des spécialistes du massif, afin d'analyser l'évolution de 70 itinéraires depuis les années 1970. Grâce à la légende réalisée par Jacques Mourey en 2022, nous avons identifié les processus géomorphologiques et glaciologiques qui affectent une voie d'alpinisme. Nous avons utilisé le logiciel SIG (QGIS) dans le but de cartographier ces phénomènes puis nous avons effectué une analyse statistique afin d'obtenir des résultats plus précis. Par la suite, un article scientifique a été rédigé, intitulé « Impacts du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif des Écrins » qui est en attente de publication dans la Revue de Géographie Alpine (RGA).

Ce stage a été réparti sur 5 mois. 4 mois de mars à juin puis 1 mois en septembre. En effet, une césure de 2 mois m'a gracieusement été accordée sur juillet/aout afin de me permettre d'exercer ma profession de guide de Haute Montagne durant la haute saison.

Ce rapport de stage sera organisé en plusieurs sections distinctes. Dans un premier temps, vous découvrirez une présentation du Parc national des Écrins ainsi que du dispositif Refuges Sentinelles, deux structures au sein desquelles j'ai eu l'opportunité d'effectuer mon stage. La seconde partie de ce rapport se présentera sous la forme d'un article scientifique intitulé "Impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif des Écrins". Enfin, la troisième partie abordera les perspectives découlant de cette étude auxquelles j'ai pu intégrer différentes réflexions tant sur le plan personnel que professionnel.

# II. Présentation du Parc national des Écrins et de Refuges sentinelles

Tel que mentionné en Introduction, ce stage a été réalisé au sein du Parc national des Écrins dans le cadre du dispositif Refuges Sentinelles.



Figure 2 : Vue sur la Barre des Écrins depuis le refuge du même nom.
*Mathis Arnaud, 2021*

# II.A) Les Parcs nationaux

Nous dénombrons aujourd'hui 11 parcs nationaux (Figure 3), dont 8 en France métropolitaine. Ils représentent des espaces terrestres et maritimes particulièrement variés et riches, leurs modes de gestion ayant pour but de préserver leurs milieux.

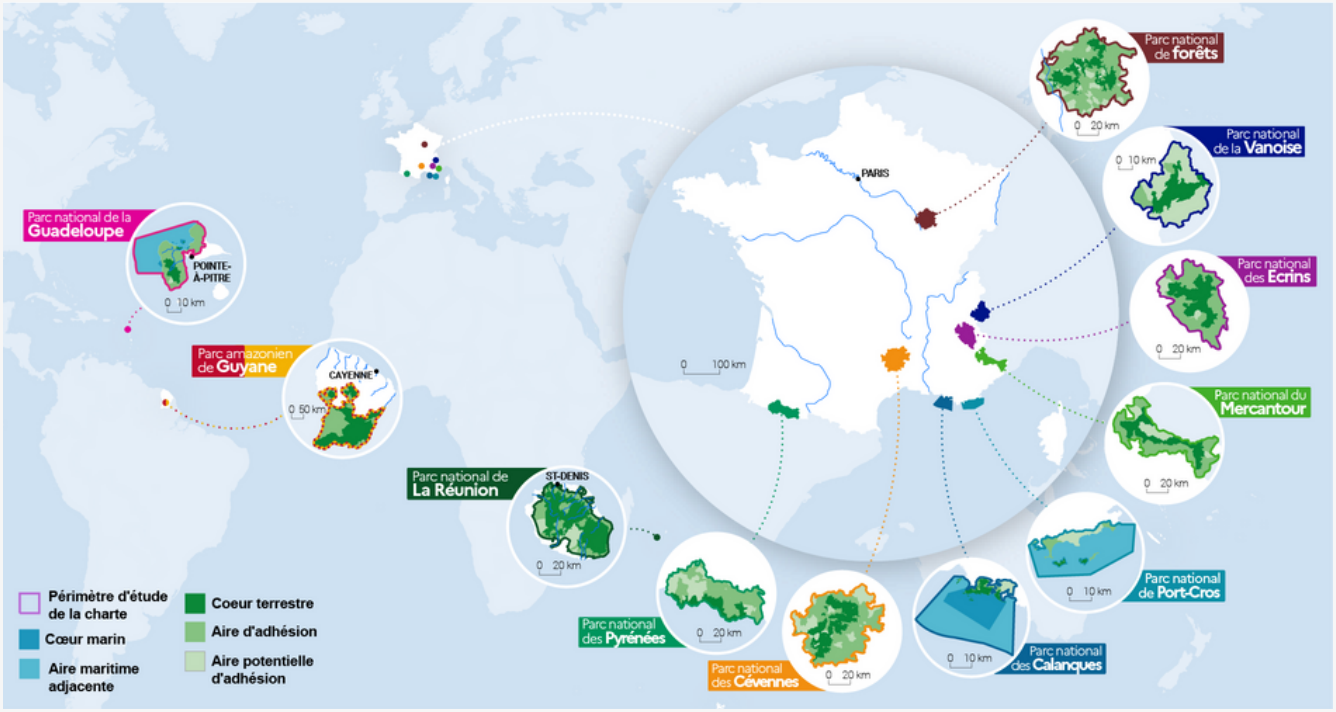



Figure 3: Les 11 Parcs nationaux français. *Olivier Debuf, OFB*

L'objectif de ces structures est de gérer et protéger les paysages, la faune et la flore, ainsi que de sensibiliser le public au patrimoine naturel. Ces 11 parcs nationaux sont indépendants mais sont en partie demeurent en partie rattachés à l'Office Français de la Biodiversité (OFB).

# II.B) Le Parc national des Écrins

Le Parc national des Écrins (PNE) est situé dans les Alpes françaises, dans le département des Hautes-Alpes (05 ; région Provence-Alpes-Côte d'Azur) et de l'Isère (38 ; région Auvergne-Rhône-Alpes). Cet espace s'étend sur une superficie de plus de 270 000 hectares et a été créé en 1973 par le décret n°73-378 (Décret n°73-378 du 27 mars 1973 créant le parc national des Écrins, 1973), et fête donc ses 50 ans d'existence cette année.
Le Parc national des Écrins se compose de 7 secteurs (le Champsaur, le Valgaudemar, l'Embrunais, la Vallouise, le Briançonnais, l'Oisans et le Valbonnais) (Figure 4). Chaque secteur dispose d'une maison de parc. Le siège social se situe au château de Charance, à Gap.

Indépendamment des secteurs, le territoire du parc se découpe en 2 zones. La zone centrale, qui est la zone « cœur de parc » et qui bénéficie d'un statut juridique particulièrement encadré. Elle est entourée par la zone d'adhésion optimale, qui comprend toutes les communes membres du PNE.
Le cœur est une zone de haute montagne, avec plus de 150 sommets dépassant 3000 mètres d'altitude. La Barre des Écrins (4102 mètres) est le point culminant du massif des Écrins.

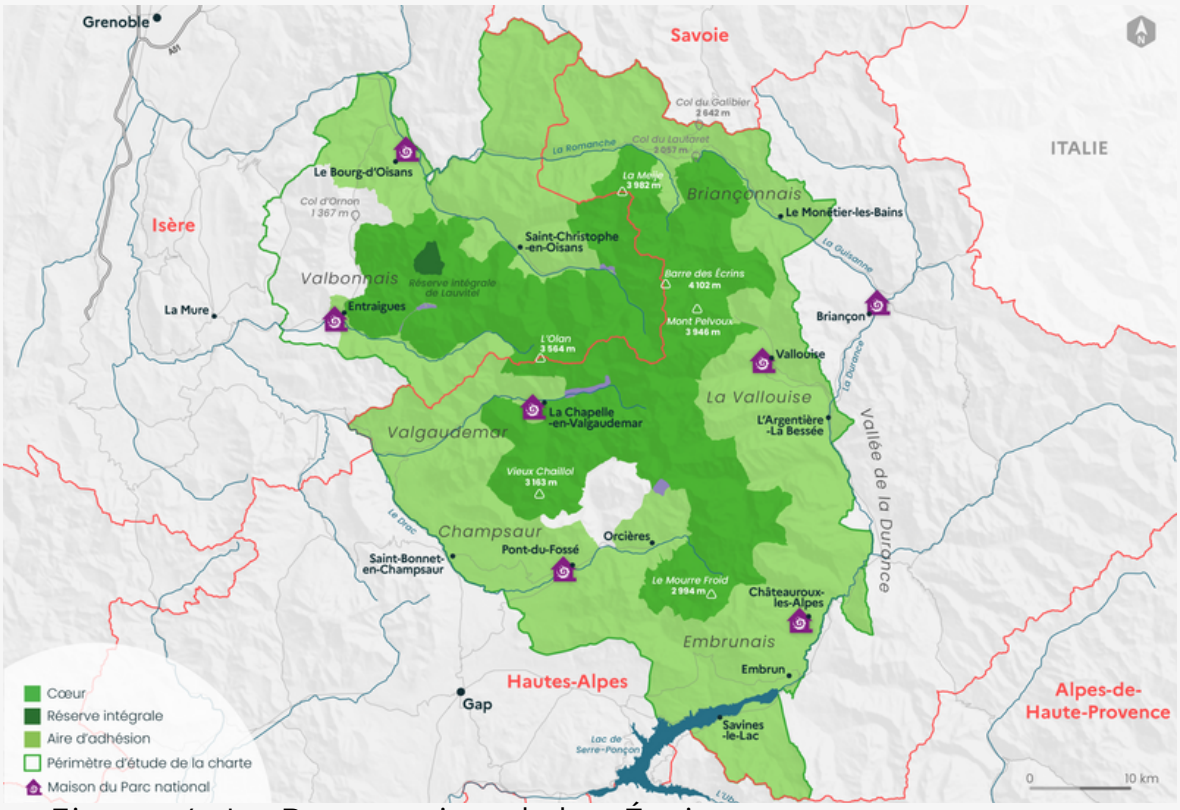


Figure 4: Le Parc national des Écrins et ses sept secteurs.
*Olivier Debuf - OFB*

Il est important de noter la diversité des compétences professionnelles nécessaires pour faire fonctionner un si grand établissement. Ainsi, sur l'ensemble du Parc national des Écrins, l'équipe se compose d'une petite centaine de personnes réparties entre le siège (Gap) et les différents secteurs. On considère qu'en moyenne 40% des employés sont à Charance, et que les 60% restants sont répartis dans les différents secteurs. Le service scientifique, le service aménagement, le service communication et le secrétariat général composent les services du siège. Mon stage s'est déroulé au sein du service scientifique. Ce service traite de la connaissance du territoire, de la faune et la flore,
mais aussi du développement web, de la géomatique, et des bases de données.

## II.C) Refuges Sentinelles

Le réseau "Refuges Sentinelles" est dépendant des laboratoires Pacte et du LabEx ITEM. Ce dernier fait partie de la Zone Atelier Alpes, dont 9 laboratoires font partie, et qui se découpe en cinq dispositifs d'observation des interactions hommes-milieux-climat en montagne (Figure 5) : Alpages sentinelles, Lacs Sentinelles, Flore Sentinelle, Orchamp (Observatoire des Relations Climat-Homme-milieux Agro-sylvo-pastoraux du Massif alpin) et enfin Refuges Sentinelles.

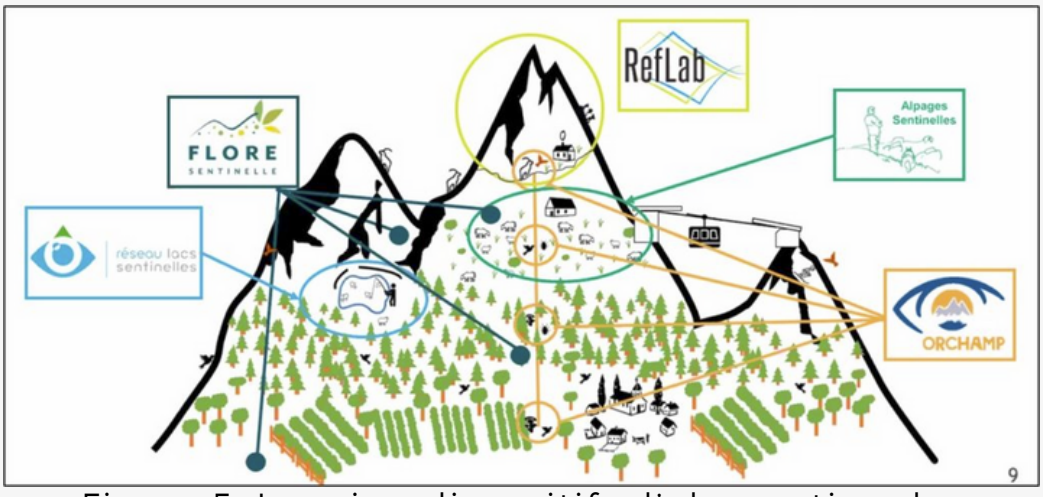



Figure 5: Les cinq dispositifs d'observation des interactions hommes-milieux-climat en montagne.
*Refuges Sentinelles*

Le but de ce réseau est de « développer un dispositif d'observation du changement climatique et culturel en haute montagne basé sur le refuge comme lieu de mesure, d'observation, de travail et d'échanges entre sciences de la nature et de la société ». Il s'agit également de se servir des infrastructures du refuge comme d'un point d'appui pour la recherche en haute-montagne, rendue difficile par des contraintes techniques, matérielles et météorologiques.
Refuges Sentinelles se subdivise également en 4 axes de recherche : Biodiversités ; Géomorphologie et Risques ; Météorologie et Climatologie ; et enfin Fréquentation et Pratiques.

Le réseau s'appuie sur un ensemble d'une vingtaine de refuges partenaires, disséminés principalement dans le massif des Écrins, mais aussi dans celui de la Vanoise ainsi que dans le bassin de la mer de Glace.

# III. Evolution des itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins et de leurs conditions de fréquentation

Cette troisième partie est consacrée à l'étude de l'impact du changement climatique sur l'alpinisme dans le massif des Écrins.
Nous aborderons dans une premier temps l'impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif à partir du célèbre topo-guide "Le massif des Écrins, les 100 plus belles courses et randonnées" (Figure 6) à travers un article scientifique.
Dans un second temps, nous reviendrons sur l'été 2023, marquant pour les refuges des Écrins.

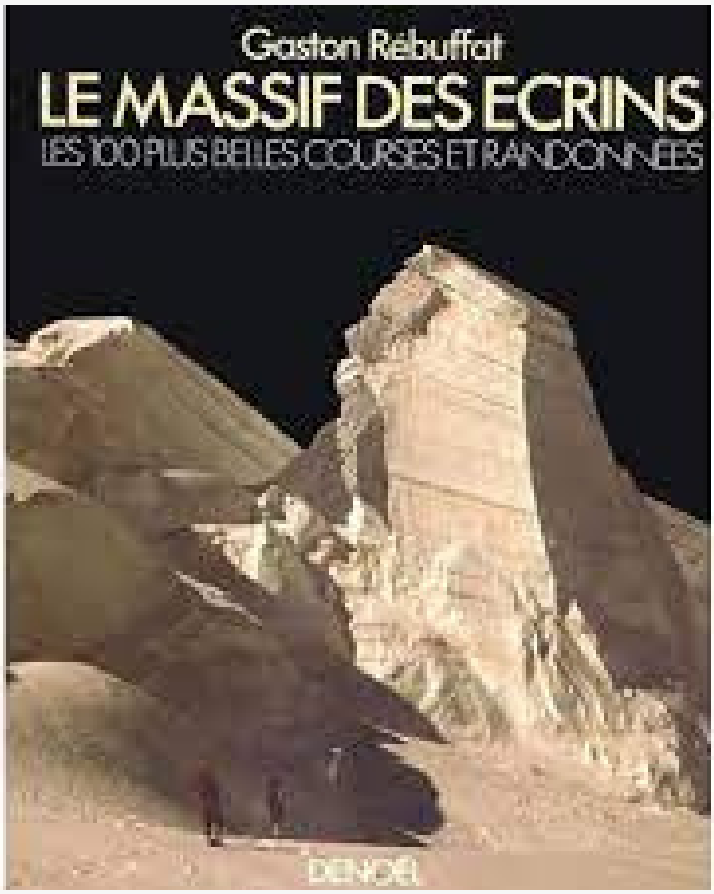



Figure 6 : Le topo-guide : "Le massif des Ecrins, Les 100 plus belles courses et randonnées".

# III.A) Impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif des Écrins

Dans cette première partie, nous étudierons l'évolution des itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins. Pour ce faire, nous utiliserons la méthodologie mise au point par Mourey et al, 2022, afin d'identifier et de cartographier les processus géomorphologiques et glaciologiques qui affectent un itinéraire. Au total, 70 itinéraires issus de l'emblématique topo-guide, Le massif des Écrins, les 100 plus belles courses et randonnées, rédigé par Gaston Rébuffat et édité en 1974. Les résultats de cette étude sont présentés dans l'article suivant : « Impacts du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif des Écrins ».

Objectif de la recherche :

- Identifier et cartographier les processus géomorphologiques et glaciologiques qui affectent les itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins.
- Évaluer le niveau de modification de l'itinéraire et ses conditions de fréquentation.

Méthodologie :

- Réalisation d'entretiens semi-directifs avec des guides, gardiens de refuge et scientifiques, spécialistes du massif des Écrins.
- Photo-interprétation et comparaison de différents topo-guides.
- Analyse statistique (Annexe 1).
- Cartographie (Annexe2).

Problématique :

- La méthode mise au point par Mourey et al, 2022, est-elle applicable aux Écrins, un massif méridional et de plus basse altitude?
- Quels sont les processus géomorphologiques et glaciologiques associés au changement climatique qui affectent les itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins et modifient leurs conditions de fréquentation depuis 50 ans ?

Principaux résultats :

- En moyenne, chacun des 70 itinéraires étudiés est affecté par 9 phénomènes géomorphologiques ou glaciologiques.
- Un nouveau processus a été ajouté à la légende existante : fonte plus tôt en saison des couvertures glacio-nivales.
- 25 % des itinéraires étudiés ne sont plus fréquentables en été car les dangers objectifs et/ou la difficulté technique sont devenus trop élevés.

# Impacts du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif des Écrins

**Mathis Arnaud, Jacques Mourey, Philippe Bourdeau, Richard Bonet, Ludovic Ravanel**

Résumé : L'alpinisme est l'une des pratiques sportives les plus affectées par la crise climatique actuelle en raison de l'évolution des milieux physiques de haute montagne. Certains itinéraires ont disparu, d'autres ne sont plus fréquentables en été (exposition à des aléas, difficultés techniques, etc.). Différentes études ont déjà été réalisées concernant les impacts du changement climatique sur la pratique de l'alpinisme et l'adaptation des pratiquants. Le massif du Mont-Blanc et les Alpes Valaisannes ont servi de territoires d'étude pour comprendre l'évolution des itinéraires d'alpinisme au cours des dernières décennies. Une cartographie des processus géomorphologiques et glaciologiques affectant des itinéraires d'alpinisme a été réalisée pour le Valais et la présente étude vise à appliquer cette méthode au massif des Écrins, non encore étudié. Le célèbre topo-guide "*Le massif des Écrins – Les 100 plus belles courses et randonnées*" a été utilisé comme base de travail. 70 itinéraires ont été sélectionnés selon leur fréquentation et réputation. L'ensemble des processus qui les affectent ont été cartographiés sous SIG et une analyse statistique a été réalisée pour mieux comprendre l'évolution des itinéraires. Un nouveau processus – la fonte prématurée en saison estivale des couvertures glacio-nivales – a été identifié. Comme pour le massif du Mont-Blanc et le Valais, un itinéraire est en moyenne affecté par 9 processus, et près de 25 % des itinéraires ne sont plus fréquentables en été. Les itinéraires en neige et mixtes et d'une difficulté supérieure à D (Difficile) sont les plus impactés. La légende a ainsi été appliquée avec succès au massif des Écrins, permettant de compléter les connaissances sur l'évolution récente des itinéraires d'alpinisme.

# 1. Introduction

Les Alpes sont parmi les régions les plus sensibles au changement climatique (IPCC, 2019). La température moyenne annuelle de l'air dans les Alpes françaises a augmenté de 1,5°C à 2,1°C selon les massifs entre 1950 et 2014 (Einhorn *et al.*, 2015) avec une nette accélération depuis les années 1990. Cette situation est à l'origine de profondes modifications des environnements de haute montagne (Beniston *et al.*, 2018; IPCC, 2019) se manifestant notamment par le retrait glaciaire (Shannon *et al.*, 2019 ; Hock and Huss, 2021 ; Hugonnet *et al.*, 2021) et la dégradation du permafrost de parois (Harris *et al.*, 2001 ; Etzelmüller *et al.*, 2020 ). De nombreux processus géomorphologiques et glaciologiques en découlent, impactant la pratique de l'alpinisme (Ritter *et al.*, 2011 ; Temme, 2015 ; Purdie et Kerr, 2018 ; Mourey *et al.*, 2019a ; Mourey *et al.*, 2019b ; Mourey *et al.*, 2022), inscrite depuis 2019 sur la liste représentative du Patrimoine Culturel Immatériel de l'Humanité (PCI ; Debarbieux, 2023).

De nombreuses études ont documenté les effets du changement climatique sur l'alpinisme (*e.g.* Salim *et al.*, 2019). Mourey *et al.* (2019) ont notamment mis en exergue l'impact du changement climatique sur 95 itinéraires d'alpinisme dans le massif du Mont-Blanc. Leur étude se base sur le topo-guide réputé « *Le Massif du Mont-Blanc – Les 100 plus belles courses* » (Rebuffat, 1973) rédigé par le célèbre alpiniste Gaston Rébuffat. 25 processus glaciologiques et géomorphologiques liés au changement climatique et affectant les itinéraires ont été identifiés. En moyenne, chaque itinéraire est affecté par 9 processus dont le retrait glaciaire, des glaciers plus raides et plus souvent déneigés, la déstabilisation des moraines, des crevasses et des rimayes plus ouvertes, une augmentation des déstabilisations rocheuses dans les parois à permafrost, des tabliers de glace plus raides et plus rapidement en glace, ou encore le retrait des tabliers de glace. Ces processus impliquent que, durant la période estivale, 36 % (34/95) des itinéraires étudiés ont des périodes optimales d'ascension plus rares et imprévisibles, 27 % (27/95) ne sont plus fréquentables, et 3 % (3/95) ont complètement disparu. Cette étude a été complétée par Mourey *et al.* (2022) qui, en se basant sur les 25 processus identifiés dans le massif du Mont-Blanc, ont construit une légende permettant de les cartographier en adaptant celle de la carte géomorphologique de l'UNIL (Schoeneich 1993 ; Lambiel *et al.*, 2016). Ils l'ont utilisée sur 36 itinéraires des Alpes valaisannes (Suisse). Cette méthodologie permet de simplifier la collecte et l'analyse des données grâce à la localisation/quantification précise des processus. Elle facilite également la diffusion des connaissances auprès du grand public.

L'évolution des itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins n'a été que très peu documentée jusqu'à présent avec une seule étude, celle de Bourdeau (2014), montrant que la pratique de l'alpinisme est confrontée à un changement de saisonnalité, à des conditions plus délicates, et à une augmentation des difficultés techniques. Cette approche qualitative a permis de mettre en exergue les comportements adaptatifs des guides et alpinistes face à des conditions variables et de plus en plus difficiles à appréhender.
La présente étude a pour objectif de cartographier les processus géomorphologiques et glaciologiques liés au changement climatique qui affectent les itinéraires d'alpinisme du massif des Écrins en réutilisant la méthodologie mise au point par Mourey *et al.* (2022). Ce travail se fonde sur le topo-guide " *Le massif des Écrins – Les 100 plus belles courses et randonnées* " (Rebuffat, 1974). En plus de documenter pour la première fois les processus qui affectent les itinéraires d'alpinisme des Écrins, cette étude permettra d'évaluer l'applicabilité de la méthode de cartographie pour un massif alpin méridional, situé une centaine de kilomètres au sud du massif du Mont-Blanc et des Alpes valaisannes et présentant un climat plus chaud et sec ainsi qu'un englacement moindre (Gardent *et al.*, 2014) et des conditions d'enneigement différentes (Beaumet *et al.*, 2021). Les résultats obtenus et leur transcription cartographique auront également vocation à favoriser la diffusion des connaissances auprès des alpinistes professionnels et amateurs et la mise en place de comportement adaptatifs.

# 2. Terrain d'étude

## Le massif des Écrins, haut lieu de l'alpinisme

Le massif français des Écrins est situé entre les départements des Hautes-Alpes et de l'Isère. Avec une surface de 2710 km², soit 5 fois la surface sur massif du Mont-Blanc, il est très vaste et partagé entre plusieurs secteurs et vallées : le Valgaudemar et le Valbonnais à l'Ouest, l'Oisans et la Guisane au Nord, la Vallouise à l'Est, et le Champsaur et la Durance au Sud. D'un point de vue géologique, ce massif est localisé sur l'axe cristallin qui s'étend du Mercantour au Mont-Blanc ; il est principalement composé de roches métamorphiques (Debelmas *et al.*, 1980).

Sur le plan climatique, le Sud du massif est plutôt influencé par un climat méditerranéen, tandis que le Nord subit les influences océaniques et continentales. Sur les trente dernières années, la température annuelle moyenne à Embrun (Hautes-Alpes) a été de 11,1°C, avec des précipitations moyennes de 732,6 mm/an (données *Météo France*).
Le massif des Écrins est le troisième massif français le plus englacé avec une superficie de 69 km², derrière les massifs du Mont-Blanc (102 km²) et de la Vanoise (93 km²) (Gardent *et al.*, 2014). C'est également le massif français qui compte le

plus grand nombre de glaciers (282 ; Gardent *et al.*, 2014). Ils ont perdu 32 % de leur superficie entre 1967 et 2009 (Gardent *et al.*, 2014), soit *c.* 8 % par décennie. Le permafrost de paroi est présent dans les parois rocheuses de haute altitude, au-delà de 3000-3500 m (Bodin *et al.*, 2015). Sa dégradation associée au changement climatique peut générer des déstabilisations rocheuses (Ravanel *et al.*, 2011, Deline *et al.*, 2021) comme à proximité du Glacier Carré à la Meije (3984 m) en 2018.
La Barre des Écrins (4102 m) est le plus haut sommet du massif. L'altitude moyenne des sommets étudiés ici est de 3620 m ; celle des refuges de 2520 m. Le refuge de l'Aigle (3440 m) et le refuge des Écrins (3175 m) sont les deux seuls refuges du massif qui nécessitent une approche glaciaire.
En 1973, le Parc National des Écrins est créé, avec l'objectif d'assurer la protection et la préservation du vivant, tout en participant à l'éducation et à la sensibilisation à l'environnement. "Paradis sauvage fait pour le bonheur des hommes, des fleurs et des bêtes" (Rébuffat, 1974), le massif des Écrins est également un haut lieu pour la pratique de l'alpinisme. Les Écrins ont été épargnés par les aménagements et infrastructures. Les approches vers les plus hauts sommets du massif sont généralement assez longues. La pratique de l'alpinisme dans le massif est réputée avoir gardé son caractère sauvage et authentique. La pratique de l'alpinisme dans les Écrins est variée et convient aussi bien au débutant qu'à l'alpiniste expérimenté grâce à une large diversité de voies dont le topo-guide de Rebuffat (1974) rend compte avec des voies 'normales' en neige plutôt faciles (*e.g.* itinéraire n°16 : Roche Faurio, voie normale), des faces nord difficiles techniquement (*e.g.* itinéraire n°65 : Col du Diable, couloir nord) et des traversées itinérantes par de hauts cols, combinant alpinisme et randonnée (*e.g.* itinéraire n°17 : col du Sélé, traversée).

## Le topo-guide « *Le massif des Écrins – Les 100 plus belles courses et randonnées* » comme référence

L'ouvrage de Gaston Rébuffat "*Le massif des Écrins – Les 100 plus belles courses et randonnées*" (Rebuffat, 1974) a été d'abord publié en 1974, avant d'être réédité en 1989 puis 2001. Il décrit 139 itinéraires variés (rocheux, mixtes, en neige, et sentiers) sur lesquels se base cette étude. Considéré comme un ouvrage de référence pendant plusieurs décennies, le topo-guide a été utilisé par de très nombreux alpinistes. Il se présente sous la forme d'un beau livre et, comme dans les autres ouvrages de la collection, les courses sont classées de 1 à 100, selon une difficulté croissante. Certains numéros correspondent à plusieurs itinéraires. C'est notamment le cas du numéro 11 qui regroupe cinq itinéraires différents dans le secteur du col du Replat (3335 m). Ces itinéraires sont traités différemment avec des distinctions notées par des lettres (11a, 11b, 11c, etc.), dont chaque voie de descente n'est pas toujours décrite. Dans ce cas, c'est l'itinéraire le plus emprunté qui est choisi. Par exemple, pour l'itinéraire 56 (arête sud du Petit Pelvoux, 3753 m), nous avons choisi la descente par le glacier des Violettes.
70 itinéraires variés (mixtes, rocheux, et en neige), sélectionnés selon leur

fréquentation et leur intérêt, ont été étudiés (*cf.* Annexe 1, Itinéraires pris en compte pour cette étude ; Annexe 2, Itinéraires non pris en compte pour cette étude). Les itinéraires 1 et 2 (sentier de Grande Randonnée n°54) n'ont pas étés analysés car ils concernent des randonnées pédestres. Les itinéraires 3 à 10 n'ont pas non plus été traités car ils sont localisés dans les massifs voisins des Cerces et du Thabor. Pour les autres itinéraires, une appréciation de leur fréquentation grâce à des données issues du site internet *CampToCamp* et des discussions avec plusieurs guides locaux nous ont permis d'élaborer une sélection. Ce sont les courses les plus fréquentées (avec plus de 20 comptes-rendus renseignés sur *CampToCamp* en entre 1970 et 2013) qui ont étés sélectionnées. La réputation de certains itinéraires, appréciée grâce à leur caractère mythique confirmé par les alpinistes locaux, nous a aussi permis d'affiner notre choix. Cette sélection comporte inévitablement un certain nombre de limites. Des itinéraires considérés comme majeurs pour certains guides le sont moins pour d'autres. D'autre part, la plupart des alpinistes ne renseignent pas leurs sorties sur *CampToCamp*. Les informations issues de cette base de données collaborative sont donc utilisées à titre indicatif et ne constituent pas une base de données exhaustives sur leur fréquentation.
Ainsi, parmi les 70 itinéraires étudiés, 27 sont des itinéraires rocheux (39 %), 18 sont en neige (26 %) et 25 mixtes (36 %). La classification des itinéraires a été évaluée selon leur nature en 1974. Cependant, certains itinéraires ont depuis changé de nature (*cf.* Discussion).
Chacun des itinéraires a été décomposé en différentes sections : l'accès au refuge, l'approche jusqu'au pied de la voie ou de la rimaye, la voie en tant que telle, et la descente depuis le sommet. Pour certains cas comme le couloir Chaud aux Trois Dents du Pelvoux (3683 m ; itinéraire n°90), il n'y a pas de refuge sur l'itinéraire ; l'itinéraire est alors divisé en seulement 3 sections (approche, voie et descente).

# 3. Méthode

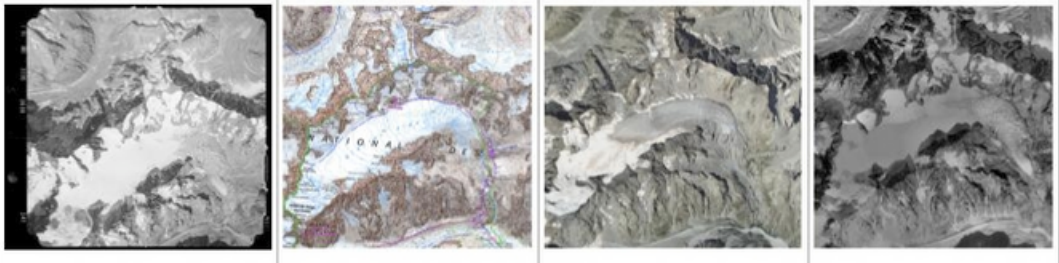
## Adaptation de la légende au massif des Écrins

La méthode adoptée est celle de Mourey *et al.* (2022), établie pour les Alpes valaisannes et utilisée pour cartographier les processus géomorphologiques et glaciologiques qui affectent les itinéraires d'alpinisme. Quelques modifications et adaptations ont été apportées à la légende notamment suite à de récents travaux sur les différents types d'appareils glaciaires alpins (Kaushik *et al.*, 2022). Les 'couvertures glacio-nivales' prennent désormais le nom de 'tabliers de glace', définis comme des masses de glace de faible épaisseur (quelques mètres), d'une superficie inférieure à 0,1 km² et présentant une pente supérieure à 40° (Kaushik *et al.*, 2022). Elles sont constituées de glace froide et immobile (Ravanel *et al.*, 2023).
Un nouveau processus (*cf.* Résultats), le 'retrait plus tôt dans la saison ou de

manière permanente des couvertures glacio-nivales' complète la légende. Ces couvertures sont des étendues de neige ou de glace, immobile et de forme irrégulière, présentes sur des pentes généralement inférieures à 35/40° (Kaushik *et al.,* 2022). Il s'agit de prendre en compte une évolution qui semble spécifiques à la zone d'étude. La situation méridionale du massif des Écrins et ses altitudes plus faibles expliquent certainement cette situation. Le figuré correspondant est également utilisé pour cartographier le retrait prématuré des névés résiduels et le retrait des calottes glaciaires de montagne (masses de glace et de neige qui occupent les sommets de haute altitude ; Kaushik *et al.*, 2022). Les entretiens réalisés et l'étude des cartes et des photos aériennes ne nous permettent en effet pas toujours de différencier précisément une calotte glaciaire d'une couverture glacio-nivale.

## Cartographie

Pour cette étude, nous avons réalisé une série d'entretiens afin d'identifier et de cartographier les processus géomorphologiques et glaciologiques impactant les itinéraires sélectionnés. Au total, 14 entretiens semi-directifs ont été conduits avec 11 personnes différentes (Annexe 2), toutes spécialistes du massif des Écrins. 7 sont guides de haute montagne et 4 sont scientifiques et alpinistes. La durée des entretiens a varié entre 2 et 6 h.
Une première série d'entretiens a permis d'étudier les changements de chacun des 70 itinéraires sur près de 50 ans et d'identifier les processus associés.
Afin d'affiner ce travail, d'autres sources de données ont été utilisées et croisées, notamment des images aériennes et des cartes topographiques anciennes et actuelles. Il a été complexe d'obtenir des photos aériennes couvrant toute la zone étudiée avec des dates similaires. Les photos aériennes IGN les plus récentes utilisées sont celles de 2023 pour les Hautes-Alpes et de 2018 pour l'Isère. Quant aux photos aériennes historiques, les clichés utilisés sont ceux de 1948-1953 et de 1967-1971. Bien que ces images couvrent une large part de la zone d'étude, quelques secteurs n'ont pas fait l'objet de prises de vue. Dans ce cas, l'outil remonterletemps.ign.fr a été utilisé afin d'étudier l'évolution des itinéraires entre les années 1980 et 2020 (Figure 1).



| Photo aérienne du 15/09/1980 Service IGN "remonter le temps" | Carte topographique IGN (2018), utilisée via le logiciel de cartographie QGIS | Photo aérienne (2023), utilisée via le logiciel de cartographie QGIS | Photo aérienne (1970), utilisée via le logiciel de cartographie QGIS |
|---|---|---|---|

*Figure 1: Les différents supports utilisés pour la photo interprétation (secteur du Glacier Blanc).*

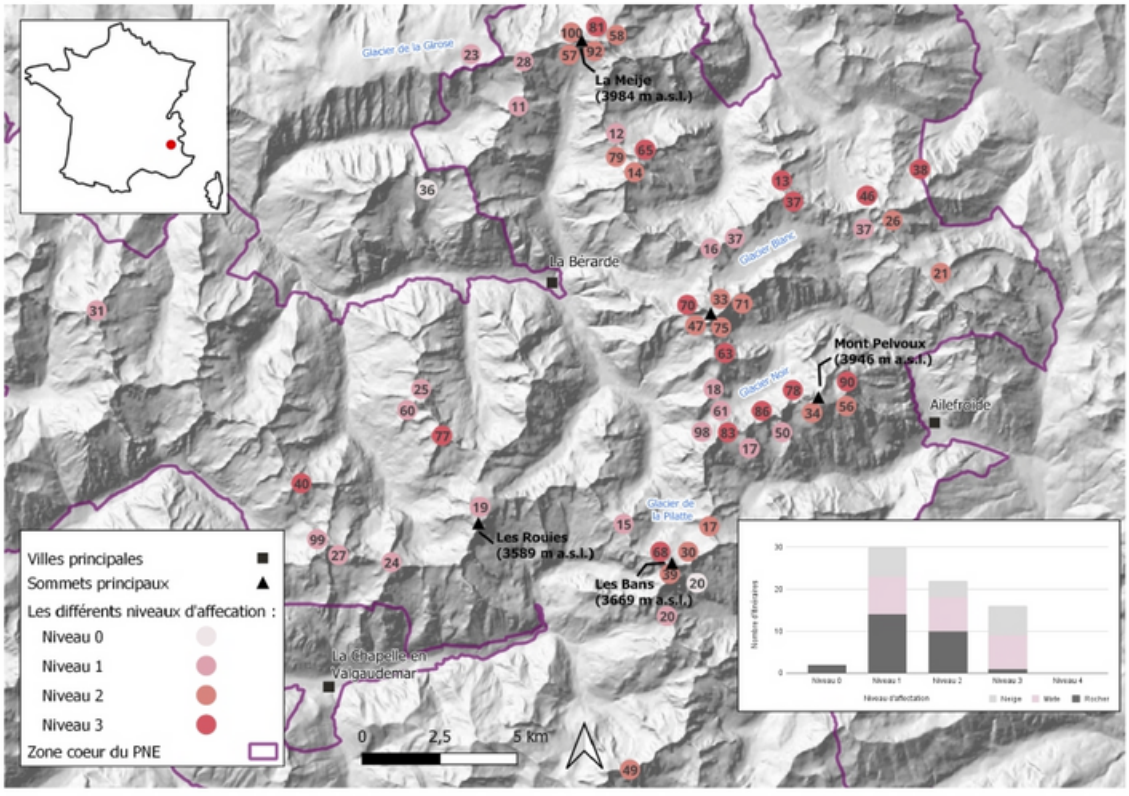
Le retrait glaciaire a été principalement pris en compte à travers le travail cartographique de Gardent *et al.* (2014) prenant en compte les années 1967-1971 et 2018 pour le massif des Écrins. Certaines enveloppes glaciaires ont été affinées grâce aux photos aériennes historiques de 1979 et actuelles.
Sur la base des entretiens complétés par les autres sources documentaires, une première version cartographique des processus qui affectent les itinéraires a été réalisée sous le Système d'Information Géographique QGIS (version 3.28.4).
Une deuxième série d'entretiens, généralement de plus courte durée, a été ensuite réalisée pour soumettre et valider par 6 autres interviewés les premières versions cartographiques. Ils ont confirmé ou corrigé les processus préalablement cartographiés. Chaque itinéraire a donc été traité au minimum par deux personnes différentes.
Après avoir cartographié les processus affectant les itinéraires, nous avons réalisé une analyse statistique des données récoltées. À l'aide d'un tableur Excel, une première analyse a été réalisée et a permis de mettre en évidence les phénomènes les plus fréquents et les sections des itinéraires les plus affectées, le nombre moyen de processus qui affecte les itinéraires, et le niveau moyen de modification.
Par la suite, nous avons choisi d'effectuer une analyse factorielle discriminante, une méthode statistique qui aide à décrire et classifier des groupes prédéfinis en fonction d'une série de variables, grâce au logiciel *Rstudio* afin d'étudier les relations entre le niveau de modification d'un itinéraire avec son orientation , sa difficulté et sa nature.
Les itinéraires ont par ailleurs été classés selon 5 niveaux de modification en fonction de différents paramètres : l'augmentation des difficultés techniques, une exposition aux dangers objectifs plus élevée, et le changement de saisonnalité pour des conditions optimales d'ascension. Ainsi, le Niveau 0 correspond à des itinéraires non impactés par les effets du changement climatique. Le Niveau 1 correspond à des itinéraires peu impactés, dont seulement une courte portion est affectée par des changement géomorphologiques ou glaciologiques ; ceux-ci n'augmentent pas significativement les dangers objectifs ou la difficulté technique. Les itinéraires de Niveau 2 sont modérément affectés ; les conditions optimales pour réaliser les ascensions sont plus rares et on note une augmentation de la difficulté technique et/ou de l'exposition aux dangers objectifs lors de l'ascension. Le Niveau 3 concerne des itinéraires très impactés dont on ne peut plus faire l'ascension en période estivale. Les itinéraires disparus en raison du changement climatique correspondent au Niveau 4. Se référer à Mourey *et al.* (2022) pour les compléments méthodologiques.

# 4. Résultats

## Impacts du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme des Écrins

En moyenne, un itinéraire est affecté par 9 processus géomorphologiques ou glaciologiques différents. Les trois processus qui affectent le plus grand nombre d'itinéraires sont : le retrait glaciaire, des glaciers plus raides, et des glaciers déneigés plus tôt en saison estivale. Ils concernent respectivement 97, 91 et 91 % des itinéraires.
2 itinéraires n'ont pas évolué (Niveau 0, 3 %), de type rocheux : l'itinéraire 20b, la traversée des Dents de Coste Counier (3025 m), et l'itinéraire 36, l'arête nord de l'Aiguille Dibona (3130 m). 30 itinéraires ont peu évolué (Niveau 1, 43 %), 22 ont modérément évolué (Niveau 2, 31 %) et 16 ne sont plus fréquentables en été (Niveau 3, 23 %) (Figure 2).

*Figure 2 : Localisation et niveaux de modification des itinéraires.*




Le niveau moyen de modification pour l'ensemble des itinéraires étudiés est de 1,74. Il n'y a pas d'itinéraire de Niveau 4 : aucun n'a complètement disparu. Il existe un lien direct entre le niveau de modification d'un itinéraire (entre 0 et 4) et le nombre de processus qui l'affectent. En moyenne, les itinéraires présentant des

modifications de Niveau 1 sont affectés par 6,3 processus, 11,7 pour le Niveau 2, et 12,8 pour le Niveau 3 (Figure 3). Les itinéraires qui ne sont pas impactés sont affectés par un seul processus géomorphologique, à savoir la fonte plus tôt en saison estivale des couvertures glacio-nivales. Selon les experts interviewés, le retrait prématuré de ces névés résiduels n'impacte pas significativement les itinéraires.
Les 10 processus les plus fréquents (Figure 4) affectent plus de la moitié des itinéraires étudiés. En d'autres termes, 51 % des itinéraires (36 sur 70) sont affectés par plus de 10 phénomènes géomorphologiques et glaciologiques.

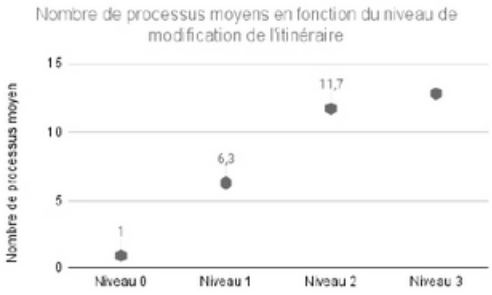



*Figure 3: Nombre moyen de processus en fonction du niveau de modification de l'itinéraire.*

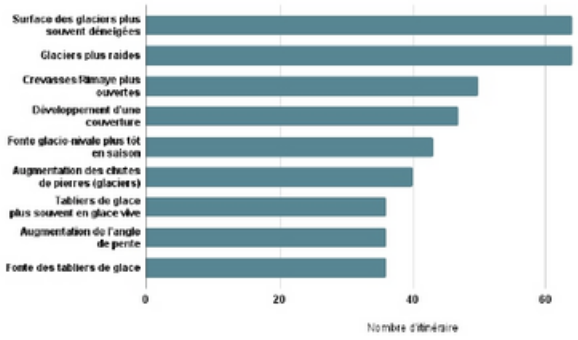



*Figure 4: Les 10 processus qui affectent le plus grand nombre d'itinéraires.*

## Des sections d'itinéraire diversement affectées

Les différentes parties des itinéraires ne sont pas affectées par les mêmes processus (Figure 5), en relation avec l'altitude. Les accès aux refuges, du fait de leur faibles altitudes (altitude min. : 1797 m, moy. : 2518 m, max : 3450 m), ne sont soumis qu'à peu de processus. Parmi les 22 refuges étudiés, seuls 4 ont vu leur itinéraire d'accès affecté ; ce sont ceux situés les plus haut en altitude et dont l'accès est encore glaciaire ou qui a été récemment désenglacé : les Écrins (3175 m), le Glacier Blanc (2542 m), l'Aigle (3450 m) et le Promontoire (3092 m). 19 % des itinéraires (13 itinéraires sur 70) ont ainsi vu leur accès au refuge être affecté. Le retrait glaciaire est le processus le plus commun et concerne les quatre itinéraires.
Les approches depuis le refuge jusqu'à la voie d'ascension sont affectées par 21 processus différents avec une moyenne de 4,4 processus, principalement des phénomènes glaciaires. Les processus les plus récurrents sont respectivement le retrait glaciaire (56 sur 70 – 80 %), la surface des glaciers plus rapidement déneigée (42 sur 70 – 60 %), et des glaciers plus raides (42 sur 70 – 60 %).
Les voies à proprement parler sont affectées en moyenne par 3,3 processus. Les principaux processus qui affectent les voies sont : des tabliers de glace plus raides et plus rapidement « en glace » c'est-à-dire dépourvus de neige à leur surface (27 sur 70 – 39 %), le retrait des tabliers de glace (29 sur 70 – 41 %), et l'augmentation

de la fréquence des déstabilisations rocheuses dans les secteurs récemment désenglacés (31 sur 70 – 44 %). Ces processus ont généralement un effet direct sur la difficulté technique et les dangers objectifs, et influencent nettement le niveau de modification de l'itinéraire (*cf.* section ci-dessous).
La descente est la portion d'itinéraire affectée par le plus grand nombre de processus (22 sur 24) et par 9 processus en moyenne. Elle est principalement impactée par des processus liés à la fonte des glaciers : principalement le retrait glaciaire (66 sur 70 – 94 %), des glaciers plus raides et plus souvent déneigés (60 sur 70 – 86 %), et des crevasses plus ouvertes (42 sur 70 – 60 %).

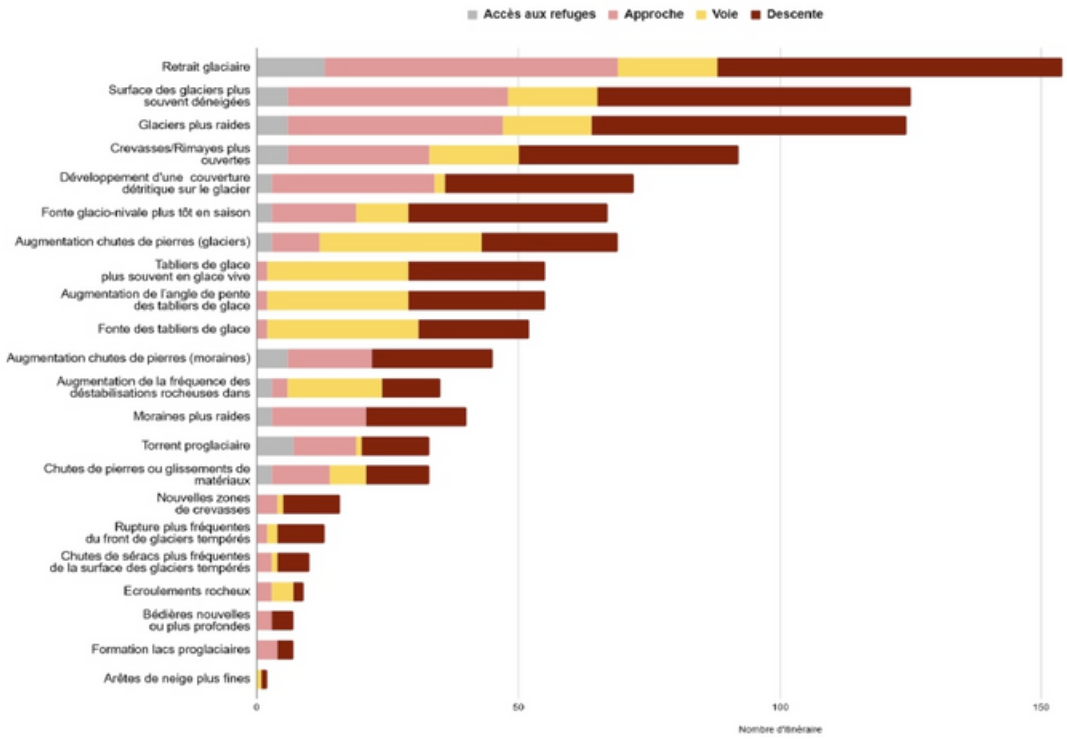
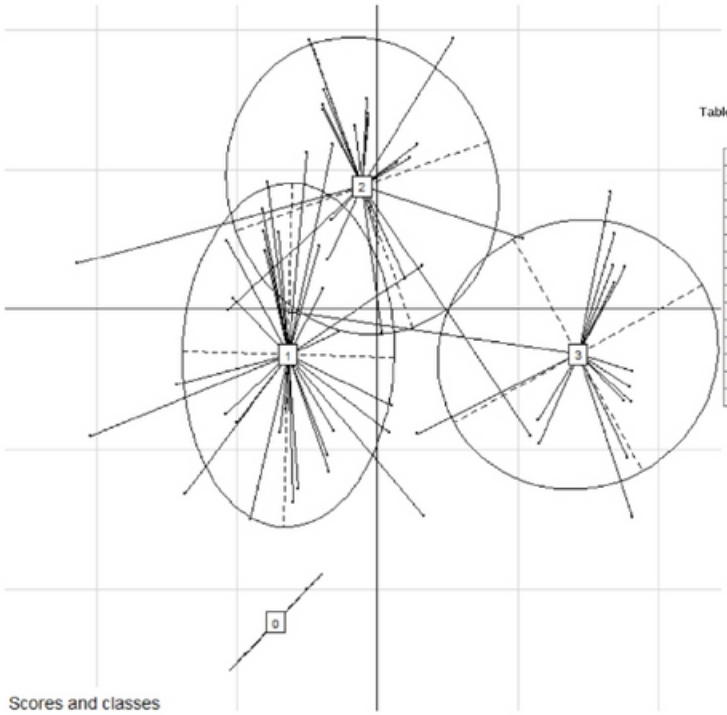


*Figure 5: Répartition des processus selon les sections d'itinéraire.*

## Itinéraires mixtes et couloirs en neige, les plus affectés

Les itinéraires mixtes et en neige de type couloirs ou goulottes ont contribué à la réputation du massif des Écrins pour la pratique de l'alpinisme dès la première moitié du XX$^{e}$ siècle. Ces itinéraires caractérisés par des pentes raides, en glace, en neige ou mixtes, ont attiré les alpinistes depuis de nombreuses décennies. Lors de la publication du topo-guide, la saison estivale était privilégiée car adaptée pour ces ascensions. Rébuffat indiquait même que le couloir Chaud aux Trois Dents du Pelvoux (3682 m) était "toujours en conditions". D'après l'ensemble des personnes interviewées, cela n'est plus le cas actuellement, le couloir n'étant fréquentable qu'entre la fin de l'automne et le printemps. La grande majorité des itinéraires

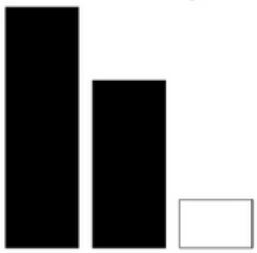
mixtes, neige et glace d'une certaine difficulté (supérieure à D) ne sont plus praticables en période estivale. D'après une analyse factorielle discriminante (Figure 6), les itinéraires mixtes et en neige d'une difficulté supérieure à D et d'orientation nord sont les plus affectés par les effets du changement climatique et ne sont plus fréquentables pendant la période estivale. Les itinéraires mixtes représentent 94 % des itinéraires une modification de Niveau 3. Leur ascension peut être réalisée uniquement entre l'automne et le printemps et pas tous les ans. L'alpiniste se doit d'être opportuniste et réactif, et de suivre très régulièrement l'évolution des conditions.




Scores and classes

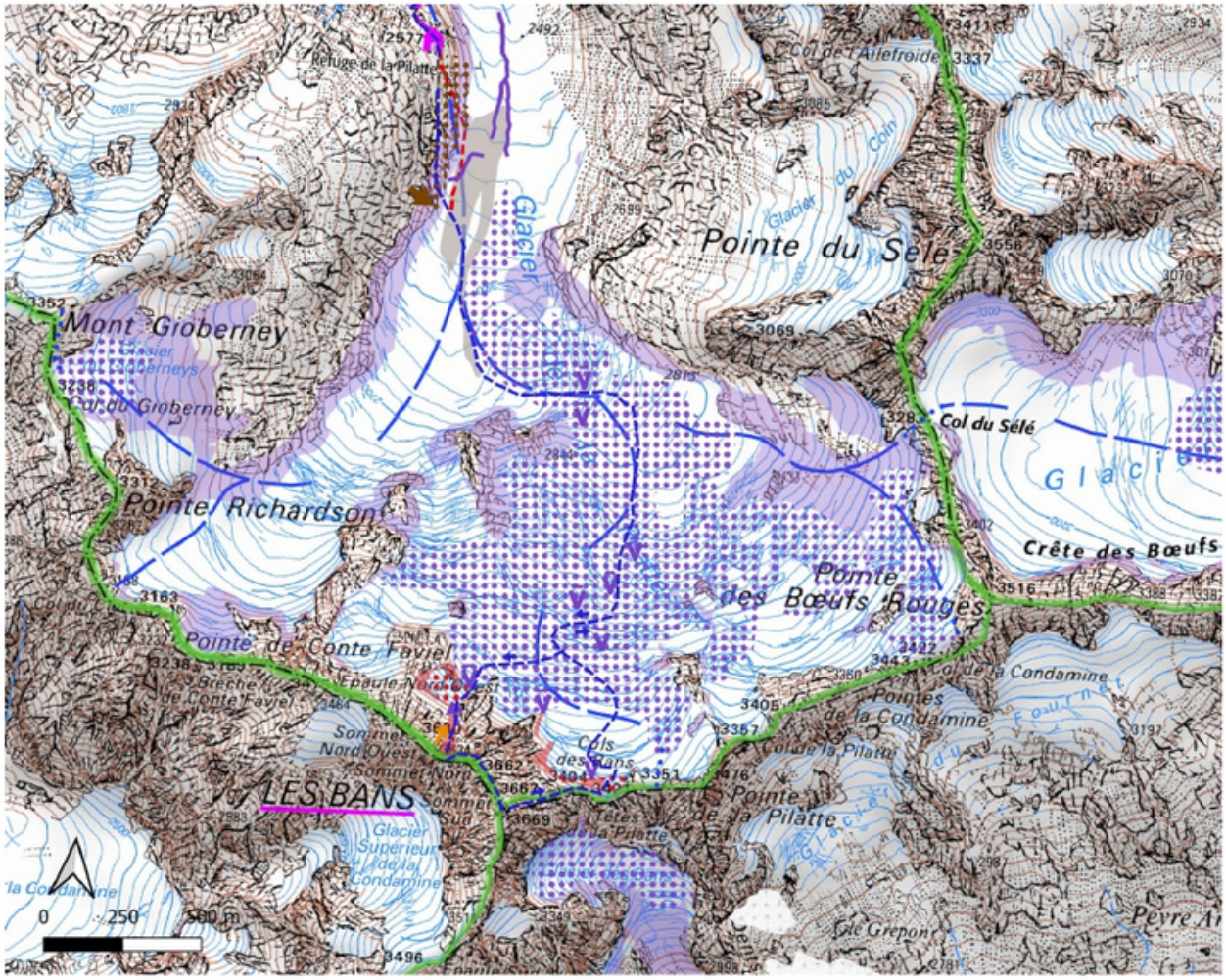
Tableau présentant les axes en fonction des différentes variables (difficulté, orientation, nature et altitude). Plus la valeur est proche de 1 ou de -1, plus son influence sur l'axe est importante.

| | Axe 1 (x) | Axe 2 (y) |
|---|---|---|
| Altitude exacte | 0,31 | 0,68 |
| Difficulté F | -0,48 | 0,03 |
| Difficulté PD | -0,20 | -0,08 |
| Difficulté AD | 0,07 | -0,06 |
| Difficulté D | 0,52 | -0,14 |
| Difficulté TD | 0,29 | 0,32 |
| Difficulté ED | -0,17 | -0,32 |
| Orientation E | -0,13 | 0,39 |
| Orientation O | -0,18 | 0,1 |
| Orientation N | 0,6 | -0,32 |
| Orientation S | -0,44 | 0,03 |
| Nature Mixte | 0,29 | 0,02 |
| Nature Neige | 0,18 | 0,01 |
| Nature Rocher | -0,45 | -0,03 |



Eigenvalues

Le couloir nord des Bans (n°68) en est un excellent exemple (Figure 7). Il était décrit il y a 50 ans comme un itinéraire où alterne neige et glace, comparable au couloir Gervasutti au Mont Blanc du Tacul (itinéraire n°59, "Le massif du Mont Blanc : Les 100 plus belles courses"). Aujourd'hui, la pente de neige et de glace a laissé place à un couloir rocheux soumis à de nombreuses chutes de pierres.




Légende :

- Itinéraire
- Fléches directions itinéraire
- Anciens itineraires
- Retrait glaciaire
- Moraines plus raides
- Augmentation de la fréquence de déstabilisations rocheuses dans les moraines
- Modification de l'hydrologie supra-glaciaire (nouvelles bédières ou bédières plus nombreuses, larges et profondes)
- Développement d'une couverture detritique
- Glaciers plus raides et plus souvent déseneigés
- Crevasses/Rimayes plus ouvertes
- Tabliers de glace plus raides et déneigés plus tôt dans la saison
- Fonte des tabliers de glace
- Augmentation de la fréquence de déstabilisations rocheuses dans les parois non englacées
- Augmentation de la fréquence de déstabilisations rocheuses dans les secteurs récement désenglacés

*Figure 7 : Cartographie des processus géomorphologiques et glaciologiques affectant le couloir nord des Bans (itinéraire 68). 13 processus affectent l'itinéraire.*

## Un nouveau processus : la fonte plus tôt en saison estivale des couvertures glacio-nivales

La fonte plus tôt en saison estivale des couvertures glacio-nivales et des calottes glaciaires concerne 43 itinéraires (43 sur 70 – 61 %). Elle affecte majoritairement une tranche altitudinale comprise entre 2900 et 3500 m, bien que des secteurs situés plus haut ou plus bas en altitude puissent également être impactés. Il en résulte que ce sont les descentes (37 sur 70 – 53 %) et les approches (16 sur 70 – 23 %) qui sont les sections les plus touchées par ce processus. La traversée du Mont Pelvoux (3946 m) par le couloir Coolidge (orientation SW, entre 3350 et 3800 m, 45° max) (Figure 8) est impactée par ce processus : le couloir subit une fonte prématurée de sa couverture de neige et de glace provoquant une augmentation de la fréquence des chutes de pierres. En 2022, le couloir n'a plus été fréquenté dès la fin du mois de juin (comm. orale M. Jaudon, gardien du refuge du Pelvoux).

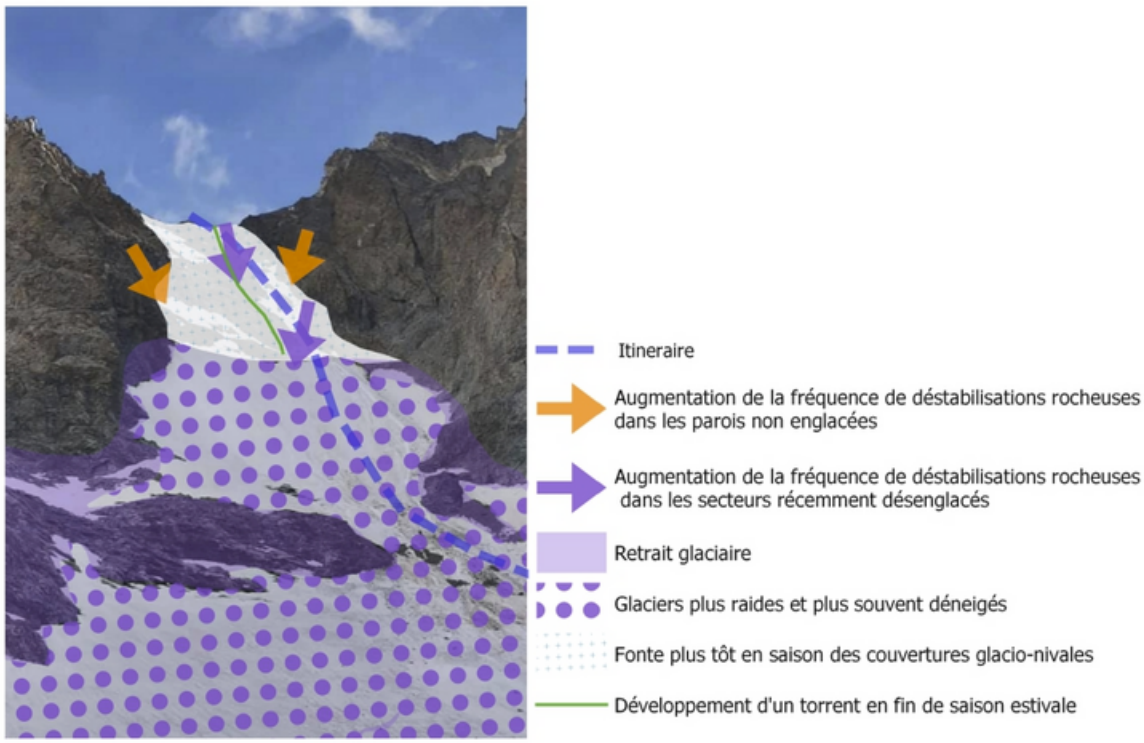



*Figure 8: Le couloir Coolidge et les différents processus géomorphologiques et glaciologiques qui l'affectent.*

D'autre part, de nombreuses descentes étaient autrefois facilitées par ces couvertures glacio-nivales en utilisant la technique de la "ramasse" (Bourdeau, 2014). Aujourd'hui, ces masses glacio-nivales sont remplacées par des pierriers instables et souvent pénibles à parcourir. C'est notamment le cas de la descente de la Meije, après le passage de la vire Amieux, où les alpinistes pouvaient se laisser glisser sur les névés. Désormais, la descente dans les rochers est plus longue et fatigante pour les ascensionnistes. Par ailleurs, les calottes glaciaires de montagne (*cf.* Discussion) présentes sur différents sommets laissent désormais parfois place à des arêtes composées de roches fracturées, moins attrayantes et moins esthétiques, présentant des dangers objectifs plus importants. C'est notamment le cas emblématique de la Calotte des Agneaux (3634 m) qui a perdu l'entièreté de son englacement (Figure 9) en 2022.

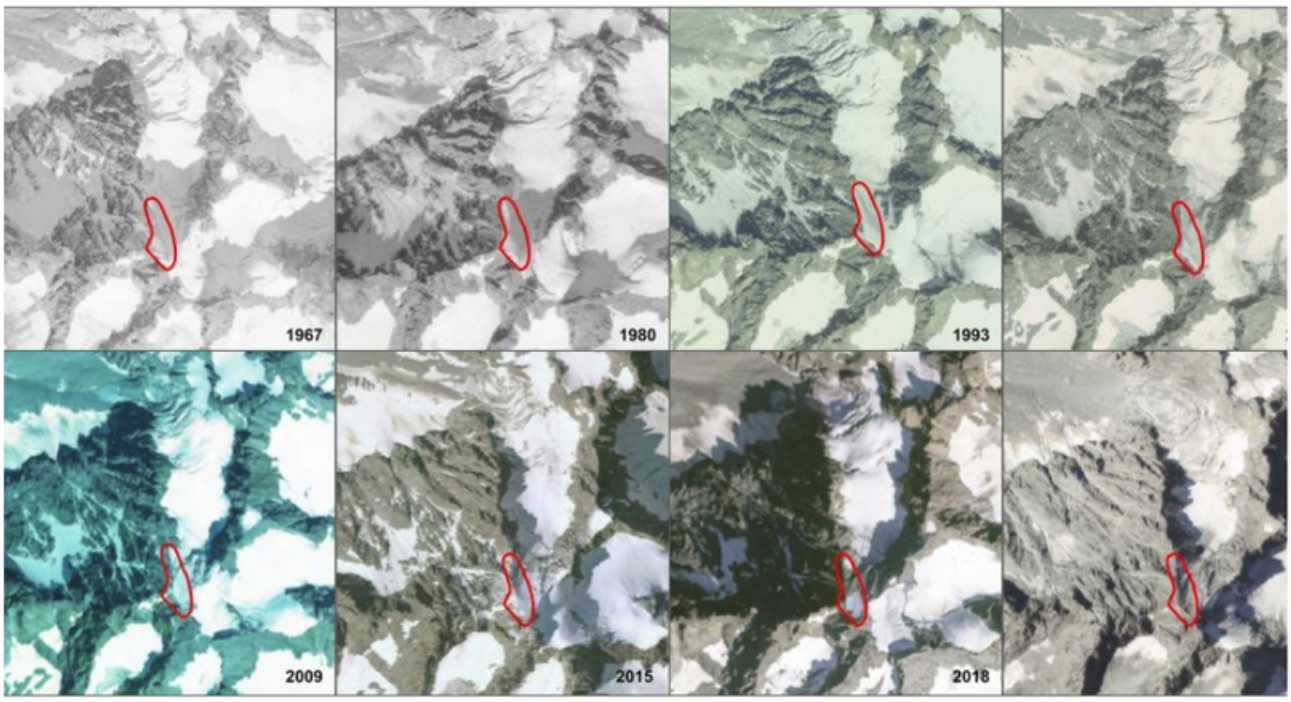



*Figure 9: Évolution de la Calotte des Agneaux (3634 m) entre 1967 et 2022.*

# Discussion

## Changement de nature des itinéraires en neige

Au cours des 50 dernières années, 7 itinéraires initialement considérés comme en neige ont changé de nature. Décrits historiquement comme traversant des cols faciles, ou constituant des itinéraires d'initiation à l'alpinisme, ce sont maintenant des itinéraires mixtes ou rocheux. Ces itinéraires ont ainsi perdu non seulement leur relative accessibilité pour un public débutant, mais aussi leur intérêt technique et esthétique. Ils semblent actuellement généralement délaissés. Le topo-guide de Rébuffat (1974) proposait pour ces itinéraires une cotation F (Facile) ou PD (Peu Difficile). Une bonne condition physique suffisant pour les réaliser, avec de la neige sur l'entièreté du parcours et sur l'ensemble de la saison estivale. C'était le cas de la voie normale du Pic de Neige Cordier (3613 m ; descente de l'itinéraire n°13) qui était fréquentée tous les jours en été avec des guides qui pouvaient encadrer jusqu'à 10 clients (comm. orale C. Albrand). Aujourd'hui, ce sommet n'est quasiment plus fréquenté en période estivale car les dangers objectifs pour monter au col Emile Pic (3483 m) et les difficultés techniques sont trop élevés, avec une cotation passée de F à D.

Bien que la nature de ces 7 itinéraires ait évolué, le nombre moyen de processus affectant l'un d'eux est de 8 et avec un niveau moyen de modification de 1,3. Ce chiffre est légèrement inférieur à celui pour l'ensemble des itinéraires. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce résultat. Ces itinéraires présentent une difficulté plus faible, étant cotés F à PD. Leur profil moins raide les rend moins exposés aux processus gravitaires tels que les chutes de pierres. Aussi, la grande majorité des itinéraires en neige (6 sur 7 – 86 %) ne présentent pas de tabliers de glace. Cette absence peut être attribuée en partie à leur altitude assez basse, avec une moyenne de 3462 m.

L'activité des guides de haute montagne est impactée par ces changements de nature. Le nombre de clients par cordée diminue car la difficulté technique et pour l'assurage augmente. La diversité des courses en neige proposées diminue également. Autrefois, depuis le refuge des Écrins, plusieurs courses de neige en initiation étaient possibles (Roche Faurio, Pic de Neige Cordier, Pic du Glacier Blanc ou le Dôme des Écrins). Aujourd'hui, la voie normale d'ascension du Pic du Glacier Blanc (3527 m) devient très rapidement rocheuse au cours de la saison estivale. Le Dôme des Écrins est de moins en moins fréquenté par les alpinistes qui considèrent que l'exposition aux chutes de séracs lors de son ascension est trop importante. Certains guides refusent de réaliser l'ascension pour cette raison. Les bureaux des guides locaux proposent cette ascension avec prudence et uniquement à des clients disposant d'un bon niveau. Certaines portions sont plus raides et/ou en glace,

comme lors de l'été 2022, où une zone située vers 3850 m nécessitait la pose de broches à glace et la maîtrise de l'utilisation des crampons en pointe avant. La voie normale de Roche Faurio (3730 m) reste la principale ascension en neige du bassin du Glacier Blanc.

## Des changements positifs pour la pratique

Certains itinéraires sont positivement affectés sur certaines portions par les effets du changement climatique. Plusieurs itinéraires ne sont par exemple plus exposés aux chutes de séracs, ou connaissent une diminution de la fréquence des chutes de séracs.
En face NE du Pic Coolidge (3774 m) par exemple, la voie Bonatti était jusque dans les années 1990 menacée par des chutes de séracs. Aujourd'hui, la barre de glace dominant l'itinéraire a complètement disparu pour laisser place à un tablier de glace, rendant par contre le secteur exposé aux chutes de pierres. Bien que le niveau de modification pour cet itinéraire soit de 3 pendant l'été, quand les conditions sont bonnes (généralement au printemps), l'itinéraire n'est plus exposé aux chutes de séracs. Pour d'autres itinéraires comme le couloir Davin (n°38), ou le versant nord du col Est du Mont Pelvoux, les guides locaux observent une diminution de la fréquence des chutes de séracs, et notent que le danger est moins important. La voie normale d'ascension des Rouies (3589 m ; itinéraire n°19) est également affectée positivement. En 1974, G. Rébuffat indiquait que « le glacier des Rouies surplombe l'itinéraire emprunté, et les chutes de séracs sont toujours possibles ». Ce n'est plus le cas aujourd'hui, le retrait glaciaire est suffisamment important pour que les chutes de séracs épargnent la voie d'ascension.
La fonte des couvertures glacio-nivales plus tôt en saison estivale peut aussi affecter positivement certaines portions d'itinéraires. Pour réaliser l'arête des Cinéastes (3203 m ; n°37), l'usage des crampons était très fréquent pour l'approche de la voie et pour la descente. Ces dernières années, après la fonte des couvertures glacio-nivales au cours de la saison estivale, l'usage des crampons n'est plus systématique.

## La traversée du Pelvoux soumise à des évolutions socio-économiques et climatiques

Depuis la fin du XVIIIe siècle, la pratique de l'alpinisme a été marquée par différentes évolutions, tant sur le plan sociétal, technique, matériel, qu'idéologique (Mourey, 2019). Selon Mourey (2019), l'alpinisme se définit à travers trois sous-systèmes : des milieux de pratique spécifiques, un état d'esprit, et des connaissances et savoir-faire. Pendant les deux derniers siècles, l'évolution de la

pratique a été influencée par des facteurs socio-économiques (état d'esprit, connaissances et savoir-faire). Cependant, depuis le début des années 2000, les milieux de pratique subissent des mutations associées au changement climatique. Ils ont un impact fort sur la pratique de l'alpinisme (Bourdeau, 2014 ; Mourey, 2019). La traversée du Pelvoux (3946 m) est un témoin marquant de ces évolutions. En effet, avant le développement des crampons à pointes avant et leur appropriation par les alpinistes, la voie des Rochers Rouges au Mont Pelvoux était l'itinéraire d'ascension le plus fréquenté (Devies et Laloue, 1951). Depuis les années 1960-1970, le couloir Coolidge est devenu l'itinéraire privilégié et la voie normale d'ascension grâce aux évolutions techniques et matérielles. Ces dernières années, la partie supérieure du couloir perd toutefois sa couverture neigeuse plus tôt en période estivale. Ce retrait laisse place à un substratum rocheux fracturé et instable, rendant l'ascension très exposée aux chutes de pierres. Mais, suite aux processus géomorphologiques qui affectent le couloir Coolidge en raison du changement climatique, la voie des Rochers Rouges redevient un itinéraire classique l'été.

## Changement d'usage et de saisonnalité pour certains itinéraires

On note un changement d'usage et de saisonnalité pour plusieurs itinéraires en neige. Plusieurs itinéraires de ce type, qui ne sont plus fréquentables en été, voient leur fréquentation augmenter en hiver ou au printemps. Autrefois privilégiés pour l'alpinisme estival, certains couloirs sont aujourd'hui fréquentés uniquement en hiver ou au printemps, y compris parfois en ski de pente raide. L'activité reste toutefois marginale et réservée à des skieurs de très bon niveau. L'intérêt porté à ces itinéraires concerne majoritairement la descente (« descension » ; *cf.* : Cailhol, 2021) plutôt que l'ascension. Le basculement de saisonnalité est souvent accompagné d'un changement de pratique, ici de l'alpinisme vers le ski-alpinisme (Bourdeau, 2014).
Les différents cols auparavant très fréquentés en été dans le cadre du Haut-Tour des Écrins, ou du Tour des Ailefroides n'ont plus le même attrait car ils sont déneigés de plus en plus tôt dans la saison. Les itinérances à ski de randonnée au printemps constituent alors une alternative adaptative intéressante, même si certains hivers moins enneigés affectent malgré tout l'activité de ski de randonnée. Le Tour de la Meije, itinérance classique au printemps, a ainsi été rendu très difficile en 2022 et 2023 par manque de neige dans le passage du Serret du Savon (3399 m), passage obligatoire pour rejoindre le refuge de l'Aigle (3440 m).

## Retrait des calottes alpines

Les Écrins sont touchés par le retrait de certaines masses glacio-nivales occupants les sommets : les calottes glaciaires. Ces dernières étaient présentes sur plusieurs

sommets emblématiques des Écrins tels que la Montagne des Agneaux (3664 m), le Pic de Neige Cordier (3614 m) et le Mont Gioberney (3352 m) (Figure 10). Ces calottes présentaient des arêtes de neige esthétiques, très fréquentées par les alpinistes. À titre indicatif, en 1979, 320 alpinistes gravissaient la voie de la Calotte des Agneaux (3634 m) contre 7 personnes en moyenne chaque été entre 2018 et 2022 et 320 personnes réalisaient la traversée par l'arête nord du Pic de Neige Cordier contre 4 personnes en moyenne chaque été actuellement (données *Refuges Sentinelles*). Ces itinéraires sont donc délaissés par les alpinistes en période estivale en raison des mauvaises conditions.

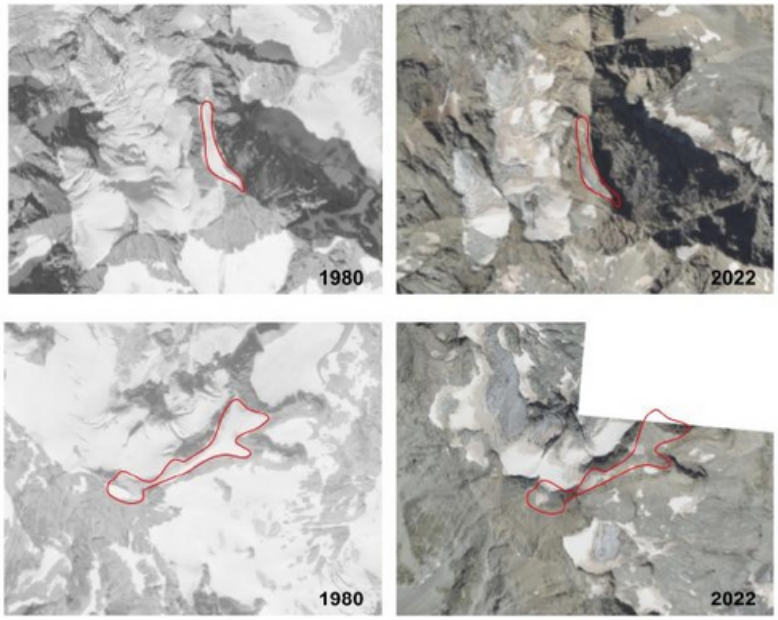



*Figure 10: Comparaison de la calotte glaciaire de l'arête nord du Pic de Neige Cordier (3614 m) (en haut ) et celle de l'arête NE du Mont Gioberney (3352 m) (en bas).*

Les calottes glaciaires d'autres massifs alpins (notamment le Mont-Blanc et les Alpes Valaisannes) vont-elles également disparaître ces prochaines années/décennies ? D'autre part, d'un point de vue plus sociologique, nous pouvons nous demander si l'alpinisme dans le massif des Écrins correspond toujours à celui présent dans l'imaginaire collectif ?

# Conclusions

Cette étude s'est intéressée aux impacts du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins depuis 50 ans à partir du topo-guide « *Le massif des Écrins - Les 100 plus belles courses et randonnées* ». Pour ce faire, nous avons utilisé une méthode développée pour le massif du Mont-Blanc et complétée pour les Alpes valaisannes avec une approche cartographique afin d'identifier et de cartographier les processus géomorphologiques et glaciologiques qui affectent les itinéraires d'alpinisme. L'objectif était notamment de vérifier si cette méthode était applicable à un autre massif de plus faible altitude et plus méridional comme celui des Écrins.

Au total, 70 itinéraires ont été analysés. En moyenne, un itinéraire est affecté par 9 processus (ce chiffre est similaire pour le massif du Mont-Blanc et le Valais). Les trois processus qui affectent le plus grand nombre des itinéraires sont le retrait glaciaire, des glaciers plus raides, et des glaciers déneigés plus tôt en saison estivale. D'autre part, sur les 70 itinéraires étudiés, 2 ne sont pas impactés par le changement climatique, 30 sont peu impactés, 22 moyennement et 16 sont très impactés et ne sont plus fréquentables en été (majoritairement des itinéraires en neige ou mixtes et d'une difficulté supérieure à difficile (D)). Par conséquent, on observe un changement de saisonnalité pour certains itinéraires de ce type, plus fréquentables en été, qui voient ainsi leur fréquentation augmenter en hiver ou au printemps. D'autre part, 7 itinéraires neigeux d'initiation à l'alpinisme ont changé de nature et sont maintenant mixtes ou rocheux. Ces itinéraires ont ainsi perdu leur intérêt technique et esthétique et sont donc moins fréquentés. L'impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme dans les Écrins est donc considérable et influence directement la saisonnalité de la pratique.

En outre, certains itinéraires sont positivement affectés sur certaines portions par les effets du changement climatique. Plusieurs itinéraires ne sont par exemple plus exposés aux chutes de séracs, ou connaissent une diminution de la fréquence des chutes de séracs.

Finalement, la légende développée pour le Valais n'a été que légèrement modifiée. Les paramètres spécifiques du massif des Écrins telles que son altitude plus basse et sa situation méridionale nous ont poussé a ajouter un processus : la fonte plus tôt en saison estivale des couvertures glacio-nivales.

Ce travail constituera ainsi une base importante pour la comparaison de l'évolution des itinéraires d'alpinisme dans les massifs du Mont-Blanc, des Écrins et les Alpes valaisannes.

# Remerciements

Les auteurs remercient les guides et scientifiques qui ont pris le temps de nous recevoir lors d'entretiens, le Parc national des Ecrins pour le financement de cette étude, et Brad Carlson (CREA Mont-Blanc) pour le traitement statistique de données de fréquentation issues du site internet *CampToCamp*.

# Bibliographie


- Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J.-I., Magnusson, J., Marty, C., Morán-Tejéda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., and Vincent, C.: The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges, The Cryosphere, 12, 759–794, https://doi.org/10.5194/tc-12-759-2018, 2018.
- Bourdeau, 2014, "Effets du changement climatique sur l'alpinisme et nouvelles interactions avec la gestion des espaces protégés en haute montagne. Le cas du parc national des Écrins"
- Beaumet, J., Ménégoz, M., Morin, S. *et al.* Twentieth century temperature and snow cover changes in the French Alps. *Reg Environ Change* 21, 114 (2021). https://doi.org/10.1007/s10113-021-01830-x.
- Bernard Debarbieux, « Comment l'alpinisme s'est trouvé inscrit à l'UNESCO », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 107-4 | 2019, mis en ligne le 16 décembre 2019, consulté le 16 juin 2023. URL : http://journals.openedition.org/rga/6254 ; DOI : https://doi.org/10.4000/rga.6254.
- Cailhol. X, « De l'ascension à la descension, deux manières d'aborder le paysage ? », *Projets de paysage* [En ligne], 25 | 2021, mis en ligne le 31 décembre 2021, consulté le 12 août 2023. URL : http://journals.openedition.org/paysage/23490 ; DOI : https://doi.org/10.4000/paysage.23490
- Debelmas, J., Giraud, P., & Sacchi, R. (1980). Géologie structurale des Alpes franco-italiennes. *Géologie Alp*, *56*, 99-117.
- Philip Deline, Stephan Gruber, Florian Amann, Xavier Bodin, Reynald Delaloye, Jérôme Failletaz, Luzia Fischer, Marten Geertsema, Marco Giardino, Andreas Hasler, Martin Kirkbride, Michael Krautblatter, Florence Magnin, Samuel McColl, Ludovic Ravanel, Philippe Schoeneich, Samuel Weber,
  Chapter 15 - Ice loss from glaciers and permafrost and related slope instability in high-mountain regions, Editor(s): Wilfried Haeberli, Colin Whiteman, In Hazards and Disasters Series, Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters (Second Edition), Elsevier, 2021,Pages 501-540, ISBN 9780128171295, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817129-5.00015-9.
- Benjamin Einhorn, Nicolas Eckert, Christophe Chaix, Ludovic Ravanel, Philip Deline, Marie Gardent, Vincent Boudières, Didier Richard, Jean-Marc Vengeon, Gérald Giraud et Philippe Schoeneich, « Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 103-2 | 2015, mis en ligne le 02 septembre 2015, consulté le 15 juin 2023. URL : http://journals.openedition.org/rga/2829 ; DOI : https://doi.org/10.4000/rga.2829
- Etzelmüller B, Guglielmin M, Hauck C, Hilbich C, Hoelzle M, Isaksen K, Noetzli J, Oliva M, Ramos M. 2020. Twenty years of European mountain permafrost dynamics—the PACE legacy. Environ Res Lett. 15:104070. DOI:10.1088/1748-9326/abae9d.
- Gardent, M. (2014). *Inventaire et retrait des glaciers dans les alpes françaises depuis la fin du Petit Age Glaciaire* (Doctoral dissertation, Grenoble).
- Marie Gardent, Antoine Rabatel, Jean-Pierre Dedieu, Philip Deline. 2014. Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.004.

- GEORGE Emmanuelle, ACHIN Coralie, FRANçOIS Hugues *et al.*, « Changement climatique et stations de montagne alpines : impacts et stratégies d'adaptation », *Sciences Eaux & Territoires*, 2019/2 (Numéro 28), p. 44-51. DOI : 10.3917/set.028.0044. URL : https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2019-2-page-44.htm
- Haeberli, W., Noetzli, J., Arenson, L., Delaloye, R., Gärtner-Roer, I., Gruber, S., . . . Phillips, M. (2010). Mountain permafrost: Development and challenges of a young research field. *Journal of Glaciology, 56*(200), 1043-1058. doi:10.3189/002214311796406121
- Harris C, Davies MC, Etzelmüller B. 2001. The assessment of potential geotechnical hazards associated with mountain permafrost in a warming global climate. Permafr Periglac Process. 12:145–156. DOI:10.1002/ppp.376.
- Hock R, Huss M. 2021. Glaciers and climate change. In: Letcher T, editor. Climate change, observed impacts on planet earth. p. 157–176. DOI:10.1016/B978-0-12-821575-3.00009-8
- Hugonnet R, McNabb R, Berthier E, Menounos B, Nuth C, Girod L, Farinotti D, Huss M, Dussaillant I, Brun F, Kääb A. 2021. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. Nature. 592:726–731. DOI:10.1038/s41586-021-03436-z
- IPCC. 2019. Summary for policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Working Group I and II
- Kaushik, S.; Ravanel, L.;Magnin, F.; Trouvé, E.; Yan, Y. Ice Aprons in the Mont Blanc Massif (Western European Alps): Topographic Characteristics and Relations with Glaciers and Other Types of Perennial Surface Ice Features. Remote Sens. 2022, 14, 5557.https://doi.org/10.3390/rs14215557Academic Editors: Ulrich Kamp, Dmitry Ganyushkin and Bijeesh K. Veettil Received: 29 September 2022Accepted: 31 October 2022 Published: 3 November 2022.
- Lambiel C, Maillard B, Kummert M, Reynard E. 2016. Geomorphology of the Hérens valley (Swiss Alps). J Maps. 12 (1):160–172. DOI:10.1080/17445647.2014.999135.

- Mourey, J. (2019). L'alpinisme à l'épreuve du changement climatique: Évolution géomorphologique des itinéraires, impacts sur la pratique estivale et outils d'aide à la décision dans le massif du Mont Blanc (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes (ComUE)).
- Mourey J, Marcuzzi M, Ravanel L, Pallandre F. 2019a. Effects of climate change on high Alpine environments: evolution of mountaineering routes in the Mont Blanc massif (Western Alps) over half a century. Arct Antarct Alp Res. 51(1):176–189. DOI:10.1080/15230430.2019.1612216.
- Mourey J, Ravanel L, Lambiel C, Strecker J, Piccardi M. 2019b. Access routes to high mountain huts facing climate-induced environmental changes and adaptive strategies in the Western Alps since the 1990s. Nor Geogr Tidsskr–Nor J Geogr. 73(4):215–228. DOI:10.1080/00291951.2019.1689163
- Jacques Mourey, Ludovic Ravanel & Christophe Lambiel (2022): Climate change related processes affecting mountaineering itineraries, mapping and application to the Valais Alps (Switzerland), Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, DOI: 10.1080/04353676.2022.2064651
- Purdie H, Kerr T. 2018. Aoraki Mont Cook: environmental change on an iconic mountaineering route. Mt Res Dev. 38(4):364–379. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-18-00042.1.
- Ravanel, L., & Deline, P. (2011). Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: The north side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the 'Little Ice Age.' *The Holocene*, *21*(2), 357–365. https://doi.org/10.1177/0959683610374887 Ravanel, L., Guillet, G., Kaushik, S., Preunkert, S., Malet, E., Magnin, F., Deline, P. (2023). Ice aprons on steep high-alpine slopes: Insights from the Mont-Blanc massif, Western Alps. *Journal of Glaciology,* 1-17. doi:10.1017/jog.2023.15
-
- Ritter F, Fiebig M, Muhar A. 2011. Impacts of global warming on mountaineering: a classification of phenomena affecting the Alpine trail network. Mt Res Dev. 32:4–15. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-11-00036.1
- Rebuffat G. 1973. Le massif du Mont-Blanc – Les 100 plus belles courses, 238. Paris: Denoël.
- Rebuffat G. 1974. Le massif des Ecrins – Les 100 plus belles courses et randonnées. Paris : Denoël.
- Emmanuel Salim, Jacques Mourey, Ludovic Ravanel, Pietro Picco et Christophe Gauchon, « Les guides de haute montagne face aux effets du changement climatique. Quelles perceptions et stratégies d'adaptation au pied du Mont Blanc ? », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 107-4 | 2019, mis en ligne le 26 août 2019, consulté le 15 juin 2023. URL :

http://journals.openedition.org/rga/5842 ; DOI : https://doi.org/10.4000/rga.5842

- Shannon S, Smith R, Wiltshire A, Payne T, Huss M, Betts R, Caesar J, Koutroulis A, Jones D, Harrison S. 2019. Global glacier volume projections under high-end climate change scenarios. Cryosphere. 13:325–350. DOI:10.5194/tc-13-325-2019
- Schoeneich P. 1993. Comparaison des systèmes de légendes français, allemand et Suisse – principes de la légende IGUL. In: Schoeneich P, Reynard E, editors. Cartographie géomorphologiques, cartographie des risques, Vol. 9. Lausanne: Institut de Géographie, Travaux et Recherches; p. 15–24.
- Temme AJAM. 2015. Using climber's guidebooks to assess rock fall patterns over large spatial and decadal temporal scales: an example from the Swiss Alps. Geogr Ann A: Phys Geogr. 97(4):793–807. DOI:10.1111/geoa.12116.
- Veyret Paul. Dévies (L.) et Laloue (M.). — *Guide du Massif des Ecrins*. In: *Revue de géographie alpine*, tome 40, n°3, 1952. p. 528.

# Annexes

## Annexe 1 – Itinéraires pris en compte pour cette étude

| | | |
|---|---|---|
| 11a | Col du Replat | Traversée |
| 11b | Tête Sud du Replat | Voie normale (arête NE) |
| 11d | Tête Nord du Replat | Voie normale (Arête SW) |
| 12a | Col du Clot des Cavales | Traversée |
| 12b | Pic N des Cavales | Arête sud |
| 13 | Pic de Neige Cordier | Traversée |
| 14a | Col de la Casse Déserte | Traversée |
| 14b | Grande Ruine-Pointe Brevoort | Arête est |
| 15b | Mont Gioberney | Arête sud et traversée |
| 16a | Col des Ecrins | Traversée |
| 16b | Roche Faurio | Versant sud-est |
| 17a | Col du Sélé | Traversée |
| 17b | Ailefroide Orientale | Arête sud |
| 18a | Col de la Temple | Traversée |
| 18b | Pic Coolidge | Arête sud |
| 19 | Les Rouies | Traversée |
| 20a | Col du Sellar - Pas des Aupillous | Traversée |
| 20b | Dents de Coste Counier | Arête sud |
| 21 | Dome du Monêtier - Pic du Rif | Traversée des glaciers |

| | | |
|---|---|---|
| 23b | Pic de la Grave | Face nord (voie normale) |
| 23c | Rateau sommet O | Arête ouest |
| 24 | Cime du Vallon | Versant sud-ouest |
| 25 | Tête des Fétoules | Arête nord-nord-est |
| 26 | Les Agneaux sommet E | Arête sud-est |
| 27a | Olan sommet N | Arête sud-est |
| 27b | Olan sommet N | Arête nord |
| 28 | Rateau sommet E | Arête sud |
| 29a | Pic Gény | Arête est |
| 30 | Les Bans | Arête est-nord-est |
| 31 | Roche de la Muzelle | Arête nord-est |
| 33 | Barre des Ecrins | Face nord |
| 34 | Pelvoux | Traversée |
| 36b | Aiguille Dibona | Arête nord |
| 37a | Pointe des Cinéastes | Arête sud |
| 37b | Pic du Glacier Blanc | Arête sud |
| 37c | Pointe Louise | Arête sud |
| 38 | Col du Casset | Couloir Davin |
| 39 | Les Bans | Pilier nord-est, sommet_sud |
| 40 | Pointe Maximin | Couloir nord-nord-est |
| 46a | Les Agneaux sommet NO | La calotte |
| 46b | Les Agneaux sommet NO | Couloir Piaget |
| 47 | Barre des Ecrins | Traversée |
| 49a | Sirac | Traversée |
| 49b | Sirac | Arête nord |
| 50 | Aiguille de Sialouze | Traversée |
| 56 | Petit Pelvoux | Arête sud |
| 57 | Grand Pic de la Meije | Arête du Promontoire et traversée |
| 58 | Meije Orientale | Arête nord-est |
| 60a | Tête des Fétoules | Arête ouest |
| 60b | Tête des Fétoules | Pilier sud |

| | | |
|---|---|---|
| 61 | Ailefroide Centrale | Arête de Coste Rouge |
| 63 | Pic Coolidge | Face nord-est, voie Bonnati |
| 65a | Col du Diable | Couloir nord |
| 68 | Les Bans | Couloir nord |
| 70 | Dôme de Neige des Ecrins | Grand couloir nord-ouest |
| 71 | Barre Noire | Pilier sud |
| 75 | Barre des Ecrins | Pilier sud |
| 78a | Col E du Pelvoux | Versant nord |
| 79 | Grande Ruine Pic Maitre | Pilier ouest, arête nord-ouest |
| 81a | Grand Pic de la Meije | Couloir Gravelotte |
| 81b | Grand Pic de la Meije | Couloir des corridors |
| 83 | Ailefroide Centrale | Face nord |
| 86a | Coup de Sabre | Couloir nord |
| 87 | Grand Pic de la Meije | Le Z |
| 90 | Trois Dents du Pelvoux | Couloir Chaud |
| 92 | Grand Pic de la Meije | Face sud directe |
| 93 | Meije Pic Central | Face sud intégrale |
| 98 | Ailefroide Occidentale | Muraille nord-ouest |
| 99 | Olan sommet N | Paroi nord-ouest (Couzy-Desmaison) |
| 100 | Grand Pic de la Meije | Face nord directe |

## Annexe 2 – Itinéraires non pris en compte pour cette étude

| **Numéro** | **Nom du sommet** | **Itinéraire** |
|---|---|---|
| 1/2 | | Tour et intérieur du massif |
| 3 | Arêtes de la Bruyère | Traversée nord-ouest/sud-est |
| 4 | Tête Noire | Voie de la Poire |
| 5 | Aiguillette du Lauzet | Couloir Davin |
| 6 | Tête de Colombe | Voie de l'Écaille |
| 7 | Crête de Queyrellin | Face nord-ouest |
| 8 | Tête Noire | Voie des Grands Surplombs |
| 9 | Tenailles de Montbrison | Eperon Renaud |

| | | |
|---|---|---|
| 22 | Aiguille d'Olan | Versant sud-est (voie normale) |
| 32 | Aiguille du Plat de la Selle | Traversée |
| 35 | Tour carrée de Roche Méane | Face sud |
| 41 | Tête de Lauranoure | Eperon ouest |
| 42 | Les Bans sommet nord-ouest | Versant ouest (voie Reynier) |
| 43 | Les Rouies | Eperon sud-est |
| 44 | Bec de Canard – Aiguille des Arias | Traversée |
| 45 | Tour Choisy – Pic Bourcet | Face est et traversée |
| 48 | Aiguille Dibona | Face sud |
| 51 | Pointe des Aigles | Arête Ouest |
| 52 | La Rouye | Face ouest |
| 53 | Trois Dents du Pelvoux | Arête nord-est |
| 54 | Pointe du Vallon des Etages | Face sud |
| 55 | Les Bans | Versant sud-est |
| 59 | Ailefroide occidentale | Glacier long |
| 62 | Pointe Thorant | Face est |
| 64 | Barre des Ecrins | Face sud-est |
| 66 | Aiguille de la Gandolière | Pilier nord |
| 67 | Le Pavé | Face sud |
| 69 | Pelvoux Pointe Puiseux | Arête nord |
| 72 | Pic nord du Loup | Face nord-nord-ouest |
| 73 | Aiguille Dibona | Voie des Savoyards |
| 74 | Rateau sommet ouest | Face nord-nord-est |
| 76 | Pic Gaspard | Arête sud-sud-est |
| 77 | Tête de l'Etret | Versant nord-est |
| 80 | Pointe du Vallon des Etages | Face nord |
| 82 | Olan sommet central | Paroi nord-ouest |
| 84 | Aiguille de Sialouze | Face sud-ouest |
| 85 | Les Bans | Face sud-est |
| 88 | Dôme de Neige des Écrins | Versant nord-ouest |
| 89 | Pic Sans Nom | Face ouest |
| 91 | Pic Gaspard | Face nord |
| 94 | Meije Troisième Dent | Face sud directe |
| 95 | Pic Sans Nom | Face nord |
| 96 | Pic Sans Nom Épaule | Pilier Nord |

| | | |
|---|---|---|
| | est | |
| 97 | Le Râteau | Face nord |

## Annexe 3 – Entretiens réalisés

| Nom | Profession | Date | Durée |
|---|---|---|---|
| Benjamin Ribeyre | Guide de haute montagne | 8/03/2023 | 4h |
| Sébastien Constant | Guide de haute montagne et éditeur de topo-guide | 20/03/2023 | 4h |
| Pierre Salomez | Ancien garde et botaniste au Parc National des Écrins<br>Guide de haute montagne | 23/03/2023 | 2h |
| Claude Albrand | Guide de haute montagne | 27/03/2023 | 7h |
| Arnaud Pêcher | Géologue et alpiniste | 30/03/2023 | 4h |
| Sébastien Constant | Guide de haute montagne et éditeur de topo-guide | 11/04/2023 | 4h |
| Claude Albrand | Guide de haute montagne | 19/04/2023 | 7h |
| Julien Cruvellier de Luze | Guide de haute montagne | 19/04/2023 | 30 min |
| Julien Guilloux | Chargé de mission Eaux et Forêts et alpiniste | 25/04/2023 | 2h |
| Bernard Francou | Glaciologue et alpiniste | 28/04/2023 | 4h |
| Paul Grobel | Guide de haute montagne et éditeur de topo-guide | 5/05/2023 | 4h |
| Sébastien Constant | Guide de haute montagne et éditeur de topo-guide | 9/05/2023 | 4h |
| Jean-René Minelli | Guide de haute montagne et éditeur de topo-guide | 12/05/2023 | 4h |
| Mathieu Détrie | Guide de haute montagne | 15/05/2023 | 30min |

# III.B) Les refuges du massif directement impactés par le changement climatique l'été 2023

La saison estivale 2023 a été dramatique pour certains refuges des Écrins, contraints de fermer prématurément en raison d'écroulements rocheux, de crues torrentielles ou par manque d'eau. Cette partie, liée à la fréquentation des itinéraires d'alpinisme, vient compléter l'étude sur « L'impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins ».
Cet été 2023, quatre refuges du massif ont été contraints de fermer prématurément.

## LE REFUGE DU CHATELLERET

Dans la soirée du samedi 29 juillet 2023, une crue torrentielle sur le torrent des Étançons a affecté le refuge du Châtelleret à la suite d'orages violents. La crue torrentielle s'est déclenchée dans la partie amont du bassin versant du torrent des Étançons. Le refuge du Châtelleret a été impacté par les écoulements sur sa façade Ouest (Figure 7). Une petite structure en enrochement a été emportée, emportant avec elle des équipements tels qu'un groupe électrogène, un rack avec 20 bouteilles de gaz, etc. Des écoulements boueux ont pénétré dans le refuge par une porte du côté droit, causant des dommages aux installations. Le système d'approvisionnement en eau a également subi des dégâts.

Figure 7: Façade ouest du refuge endommagé par la crue torrentielle. *ONF RTM 38.*



À la suite de cet événement marquant, le refuge du Châtelleret a été contraint de fermer pour le reste de la saison estivale. Le haut bassin du Vénéon avait déjà été touché par plusieurs crues torrentielles, notamment durant l'été 2022, où deux passerelles d'accès au refuge avaient été emportées.
Actuellement, les scientifiques ne peuvent pas affirmer avec certitude que cette crue torrentielle est directement liée au changement climatique. Cependant, il est important de noter que c'est la première fois que le refuge est contraint de fermer ses portes suite à un événement de cette nature.

## LE REFUGE DE LA SELLE

Le refuge de la Selle (2673 m), situé au fond du vallon du Diable, revêt une importance majeure en tant que point de passage pour les randonneurs et les alpinistes. Parmi les sommets accessibles figurent le Râteau, la Tête Sud du Replat, la Tête Nord du Replat ainsi que la brèche du Replat, des itinéraires fréquemment empruntés par les alpinistes. Malheureusement, le refuge a été contraint de fermer ses portes le 17 août en raison des « incessantes journées de canicules qui ont épuisé la ressource en eau » (Noémie Dagan, gardienne du refuge de la Selle). En effet, le refuge est normalement alimenté par le torrent de la Lauze, qui était à sec à la mi-août (Figure 8).



Figure 8: Le torrent de la Lauze qui alimente la Selle, à sec. *Noémie Dagan*

## LE REFUGE DU SÉLÉ ET DU PELVOUX

Le lundi 21 août en fin de journée, en période de canicule, une grande partie d'une aiguille en rive gauche du couloir Pelas-Verney, culminant à 3000 mètres, s'est effondrée (Figure 9). Deux survols en hélicoptère ont permis au service RTM 05 d'estimer à plusieurs milliers de mètres cubes les volumes mobilisés. De plus, l'intégralité de la zone de départ présentait une humidité apparente, et quelques traces de glace étaient encore visibles le 22/08 au matin. L'altitude, l'orientation nord et les observations de l'ONF laissent supposer que la zone d'effondrement se trouve sur une zone de permafrost, dont la dégradation pourrait être directement liée à l'écroulement rocheux



Figure 9: Vue des zones de départ. *ONF-RTM 05*

Sous le couloir traverse le sentier d'accès aux refuges du Sélé et du Pelvoux. Des parties de ce sentier ont été touchées par l'effondrement (Figure 10), avec des blocs de 30 $m^3$ atteignant le sentier lui-même. En conséquence, l'accès aux refuges du Sélé et du Pelvoux par le vallon de Celse Nière a été interdit par un arrêté municipal en raison du risque persistant de chute de blocs. En effet, d'importants blocs demeurent en suspension dans la partie supérieure du couloir.

Ainsi, cet effondrement a un impact considérable sur le refuge du Sélé, qui a également été définitivement fermé au public pour la saison, ainsi que sur le refuge du Pelvoux, accessible uniquement par le Pas de la Rosse (itinéraire technique en hors-sentier, réservé aux alpinistes expérimentés).

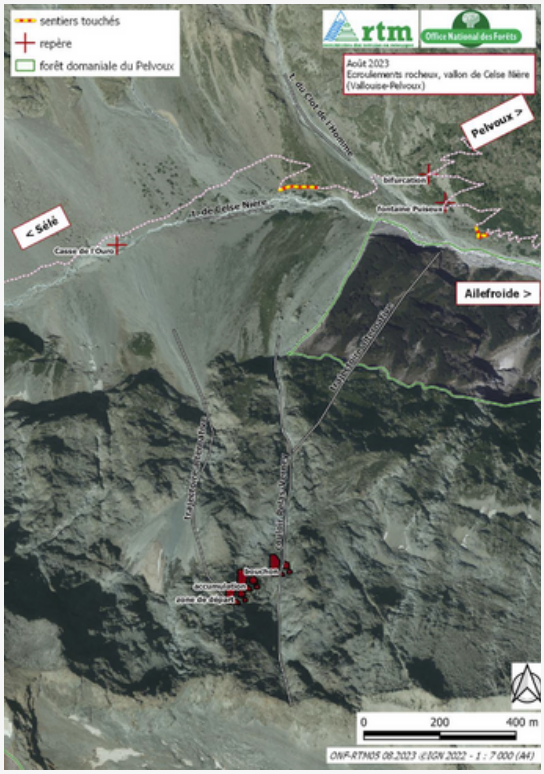



Figure 10: Photo aérienne de la zone d'impact et de la trajectoire de l'écroulement rocheux en rive gauche du couloir Pelas-Verney. *ONF-RTM 05*

## LE REFUGE DE LA PILATTE, DÉJÀ VICTIME DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE EN 2021

Le refuge de la Pilatte (2577 m) est également touché par les effets du changement climatique. En 2021, il a dû fermer définitivement ses portes en raison du retrait glaciaire excessif qui a engendré une fissure traversant l'ensemble de la structure. L'accès au refuge n'a pas été directement affecté. Cependant, la progression vers le glacier de la Pilatte depuis le refuge est devenue techniquement plus difficile et exposée aux instabilités rocheuses, dues à l'érosion croissante de la moraine latérale en raison de la fonte glaciaire.
En 2022, afin de répondre à cette situation, un nouvel abri/bivouac a été aménagé en contrebas du refuge pour servir aux guides et aux alpinistes.

# IV. Perspectives de cette étude

Plusieurs projets et perspectives sont en cours à la suite de l'étude et de la cartographie des processus géomorphologiques et glaciologiques qui affectent les itinéraires d'alpinisme dans le massif des Écrins



Figure 11 : Deux skieurs de randonnée sur le Glacier Blanc.
*Mathis Arnaud, 2021.*

# IV.A) Création d'un topo

Le Syndicat national des guides de montagne (SNGM) envisage de créer un ouvrage retraçant les évolutions historiques et scientifiques d'une trentaine d'itinéraires emblématiques à travers les Alpes. Ce projet vise à avoir une portée pédagogique en illustrant les évolutions et en présentant les phénomènes géomorphologiques et glaciologiques qui influencent ces itinéraires.
Dans cette optique, le travail accompli durant mon stage pourrait servir de support pour les itinéraires situés dans le massif des Écrins. L'idée principale est d'intégrer des cartes détaillant les processus géomorphologiques et glaciologiques qui impactent les différents itinéraires.
Les recherches menées par Xavier Cailhol, qui était en stage au sein du pôle environnement du SNGM et se penchait sur les conséquences du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme les plus fréquentés par les guides, ainsi que les travaux de Jacques Mourey, qui a étudié les effets du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme dans les Alpes valaisannes et le Mont-Blanc, joueront un rôle essentiel dans la réalisation de cet ouvrage.
Nous avons déjà élaboré une première version de ce recueil pour quelques itinéraires, en particulier pour la traversée du Pelvoux (Figure 12).

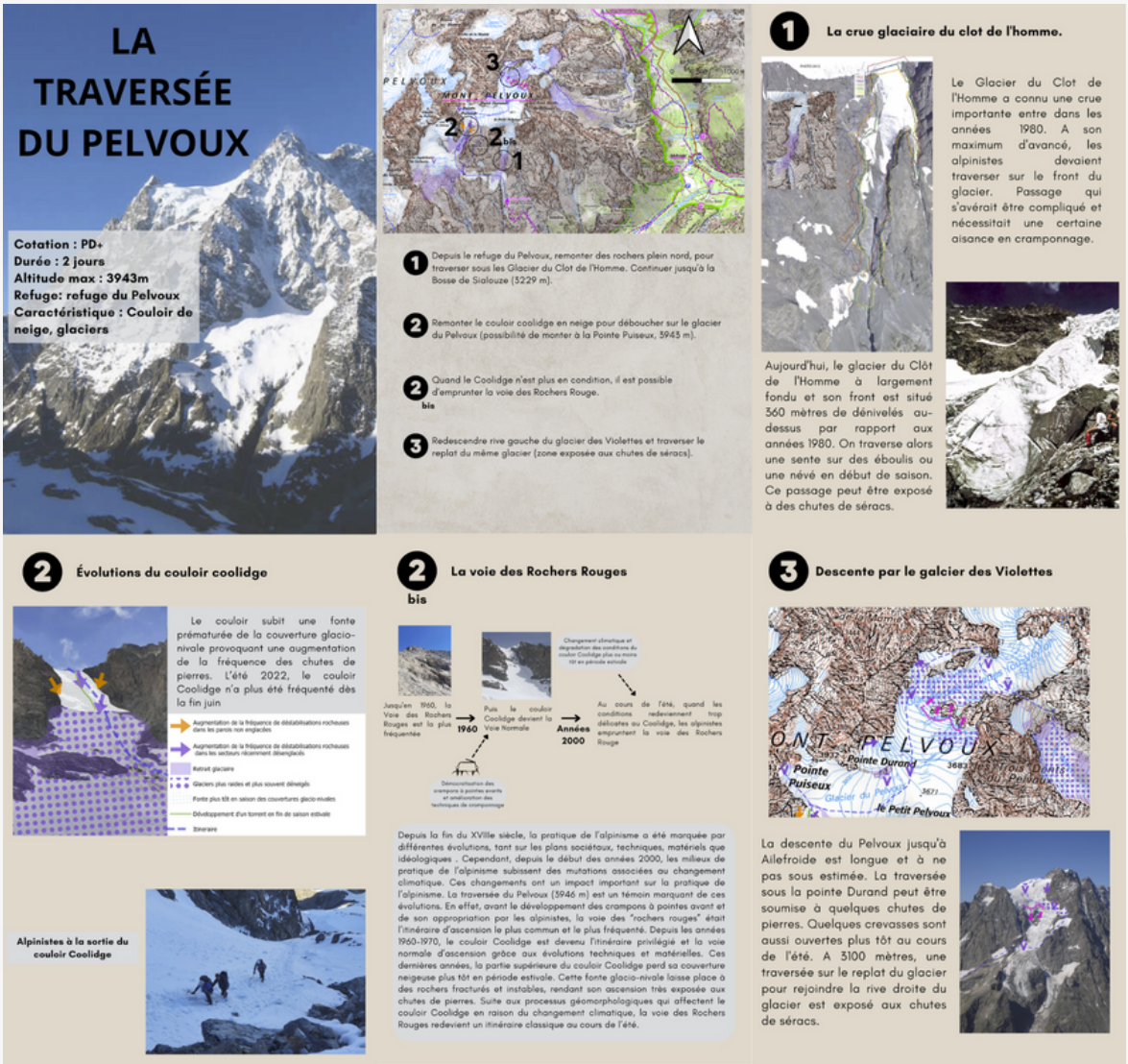


Figure 12: Exemple d'une description de l'évolution de la traversée du Pelvoux. *Mathis Arnaud et Xavier Cailhol, 2023.*

# IV.B) Animation dans le cadre des 50 ans du Parc national des Écrins

En cette année marquante, le Parc national des Écrins célèbre son 50e anniversaire (Figure 13). Un large éventail d'animations et d'événements a été mis en place pour célébrer cet événement important. Au programme, une large variété de manifestations culturelles, de spectacles en plein air, d'ateliers axés sur la nature, d'excursions guidées et de conférences sont organisés.




Figure 13 : Affiche des 50 ans du Parc national des Écrins.
*Parc national des Écrins*

## ÉCRINS, TERRE DE SCIENCES

Cet anniversaire offre une occasion privilégiée de mettre en lumière le travail des chercheurs collaborant avec le Parc national des Écrins. Dans cette optique, les chercheurs sont conviés à présenter leurs travaux à travers tout le territoire lors de rencontres scientifiques. Trois formats de présentation sont envisagés :

- Des cafés-débats ou des apéros-sciences pour des échanges directs avec les scientifiques.
- Des conférences.
- Des sorties sur le terrain.

Les 28 et 29 septembre, j'aurai ainsi la chance de présenter mes résultats lors de deux conférences portant sur les risques naturels en montagne.

# IV.C) Autres perspectives

Le SNGM, en partenariat avec le Pôle Alpin d'Études et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels (PARN), envisage de développer une carte interactive dédiée en particulier aux professionnels (guides de haute montagne, gardiens de refuges, secouristes, etc.), permettant à chacun de contribuer à la base de données en signalant les observations de processus géomorphologiques ou glaciologiques sur le terrain. Par exemple, un guide de haute montagne témoin d'une chute de pierres sur un itinéraire pourrait fournir des informations, lesquelles seraient ensuite affichées sur une carte en ligne.
Cet outil pourrait servir d'aide à la prise de décision et à la planification des courses pour les alpinistes.
Il est cependant important de souligner que ce projet n'est pas encore officiellement lancé. L'étude que j'ai menée durant mon stage pourrait potentiellement contribuer à alimenter la base de données de ce projet en devenir.

A titre d'exemple, notons que le guide de haute montagne Paul Grobel utilise déjà les cartes produites avec les processus géomorphologiques et glaciologiques affectant un itinéraire dans le cadre de ses formations avec ses clients.

# V. Apports personnels et professionnels

Ce stage aura été une expérience enrichissante à la fois sur le plan personnel et professionnel. Les multiples entretiens que j'ai pu mener avec les spécialistes du massif, notamment les guides expérimentés, ont grandement contribué à façonner ma réflexion concernant le métier, ainsi que ma vision quant à ma pratique en tant que guide de haute-montagne. Cette étude m'a également offert l'opportunité d'approfondir ma connaissance des Écrins, un massif que j'affectionne particulièrement.

## V.A) Une connaissance accrue du massif des Écrins

L'étude du topo-guide "Le massif des Écrins – Les 100 plus belles courses et randonnées" a constitué une opportunité significative pour approfondir ma compréhension de l'alpinisme dans ce massif qui me tient particulièrement à cœur. Grâce à l'étude de 70 itinéraires, à travers des entretiens, divers topos ou des cartes et photos aériennes, j'ai pu acquérir une connaissance particulière des différents itinéraires d'alpinisme.
Étudier ces itinéraires depuis un ordinateur ou sur une carte a stimulé mon envie de les parcourir.
Cet été 2023, je me suis donc réservé du temps pour explorer le massif et d'apprécier plusieurs de ces itinéraires, que ce soit avec des clients ou en tant qu'amateur (voir Dossier photos). La transition de l'étude théorique à la pratique sur le terrain s'est révélée concrète et captivante me permettant d'intégrer de manière logique et visuelle
les différentes affectations d'itinéraire. Cette expérience a aussi renforcé les constatations que j'avais tirées des témoignages préalablement recueillis.
En qualité de guide, il était aussi très intéressant de pouvoir échanger avec les clients sur l'évolution du milieu et de la pratique de l'alpinisme, avec des exemples concrets.
L'étude a également élargie mes connaissances en géomorphologie et glaciologie, renforçant ainsi ma compréhension et mon appréhension de la montagne. Ces nouvelles connaissances ont influencé l'organisation de ma saison en tant que guide. En effet, en début d'été de juin à juillet, j'ai axé mes activités sur des sorties d'alpinisme principalement dans le massif des Écrins. Cette saison estivale a été favorable, avec des conditions d'enneigement correctes, différant de l'été précédent. En août, j'ai dirigé mes activités vers des altitudes plus basses, me concentrant principalement sur des via-ferratas et de l'escalade. Cette répartition m'a permis de rencontrer des conditions très correctes et d'éviter d'être en haute-montagne lors des canicules du mois d'août.

# V.B) Des visions multiples sur la pratique du guide de haute montagne

Lors des entretiens conduits auprès de guides de haute montagne, au-delà de l'acquisition d'informations sur les processus impactant les itinéraires d'alpinisme, j'ai constaté une notable diversité en ce qui concerne les pratiques liées à cette profession.

En effet, certains guides se distinguent en tant qu'auteurs de topos-guides, et apportent ainsi une perspective différente au sein du massif des Écrins. Les échanges avec ces guides se sont avérés particulièrement enrichissants. En plus de leur connaissance très fine du terrain, ils ont la volonté de sensibiliser et d'informer le plus précisément possible les alpinistes et de faciliter l'accès à la montagne pour un public plus large.
D'autres guides élargissent aussi leur champ d'action en organisant des voyages et expéditions à travers le monde, que ce soit en ski ou en alpinisme. Cette pratique témoigne d'une grande adaptabilité et d'une capacité à comprendre et appréhender la montagne dans son ensemble.
Au contraire, certains guides concentrent essentiellement leur activité dans le massif des Écrins, pour des raisons environnementales et une profonde affection pour cette région.

Bien que l'ensemble des personnes interviewées soient touchées par les évolutions des itinéraires, la fonte des glaciers ou encore les écroulements rocheux, j'ai pu relever des divergences de sensibilité face au changement climatique. Certains guides font preuve d'une réelle prise conscience et essaient de promouvoir des pratiques plus responsables et durables tout en sensibilisant les clients aux mutations observées sur le terrain.
D'autres expriment leur tristesse de voir la montagne se métamorphoser, laissant une « montagne blanche » pour une montagne devenant "grise" au cours de l'été.

L'ensemble des guides interviewés expriment néanmoins leurs difficultés à garder une certaine éthique et à limiter leur impact environnementale. La complexité des conditions présentes en haute-montagne pousse généralement les guides à se déplacer pour satisfaire sa clientèle.

Lors des entretiens, j'ai également eu le sentiment que la gestion de la sécurité en montagne diffère d'un guide à un autre. Pour un même processus impactant un itinéraire donné, certains guides étaient très sensibles à ce phénomène, tandis que d'autres semblaient moins affectés. Il était donc impératif de nuancer ces points de vue afin d'être le plus juste possible lors de la restitution de ces informations.

# V.C) Une nouvelle réflexion sur ma pratique de la montagne

L'ampleur de la crise écologique, environnementale et sociale que nous vivons actuellement et qui tend à s'amplifier dans les années à venir vient questionner ma façon de pratiquer et le sens que je donne à ma future profession de guide de haute montagne.
En plus d'être principalement accessible à une population privilégiée, la pratique de l'alpinisme a un impact significatif sur l'environnement. La fabrication du matériel, l'usage presque généralisé de véhicules thermiques pour se rendre sur les sites de pratique, ainsi que la construction des refuges, ont un impact carbone considérable. Cependant, le bilan carbone d'un seul utilisateur n'est pas l'unique enjeu à considérer. Une approche différente semble être nécessaire. Effectivement, il apparaîtrait désormais cohérent de mettre en avant l'expérience vécue en montagne plutôt que la simple conquête d'un sommet.

Durant mon stage, j'ai eu l'opportunité de participer à un événement : Refuge Remix, concept créatif et collaboratif organisé par le Labex Ittem et conçu pour repenser la place des refuges dans la montagne de demain face aux défis environnementaux et sociétaux.
Nous avons passé 3 jours au refuge du Couvercle (Mont-Blanc) afin d'explorer des scénarios créatifs susceptibles d'offrir des pistes d'inspiration et de conception appropriées aux changements environnementaux et culturels auxquels sont confrontés les acteurs de la montagne et les refuges.
A cette occasion, nous avons pu réfléchir collectivement sur des thématiques prédéfinies par l'équipe organisatrice. Après avoir constitué une équipe de quatre membres, nous avons travaillé sur la mise au point d'un prototype d'un topo alternatif baptisé « Alter Topo » (Figure 14).

Ce topo prend en en considération l'intégralité de la course : de l'approche jusqu'à la ville la plus proche, l'accès au refuge et la voie en elle-même. Des cotations ont aussi été intégrées afin d'illustrer l'impact du voyage jusqu'au sommet de la voie. Une dimension axée sur le concept de décroissance a été imaginée en repensant notre rapport au temps, au vivant, à l'environnement et à la sociabilité en montagne. Un parti pris militant a également été assumé dans ce projet afin de faire évaluer les pratiques et l'accès à la montagne.

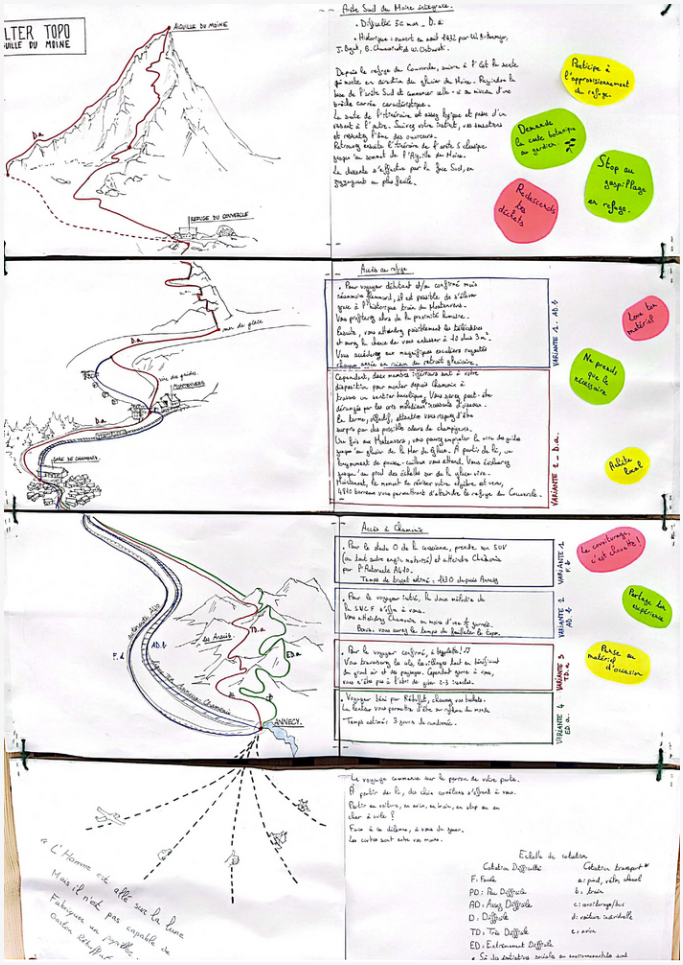


Figure 14: Prototype du topo alternatif "Alter Topo".

Ce prototype a été exposé au refuge du Couvercle durant l'été 2023 puis sera descendu en vallée pour être présenté au public en lien avec les acteurs du territoire.
Une continuité de ce travail pourra également être imaginé en développant ce topo pour un massif complet par exemple.
Au cours de l'été 2023, j'ai également pu mettre en pratique les objectifs de ce topo en partant une semaine dans les Écrins à vélo et en transport en commun (Dossier Photos). J'ai ainsi pu réaliser deux courses, de niveaux différents en 5 jours. Pendant la première partie de ce voyage, j'ai réalisé l'ascension des Rouies (3589m), par la voie de la Mafia. J'ai ensuite rejoins un groupe de clients en vélo-bus à la Bérarde, puis nous avons effectué l'ascension du Pic Coolidge (3775m) par sa voie normale.
Cette expérience s'est avérée extrêmement enrichissante, avec une véritable immersion dans les lieux. Il était intéressant de constater que le voyage dans sa globalité était plus stimulant pour moi que les ascensions elles-mêmes.

# VI. Conclusion

Au terme de ce stage au sein du Parc national des Écrins à l'occasion duquel j'ai pu étudier l'impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme du massif, différents constats découlent de ce travail.

S'appuyant sur la méthode développée pour le massif du Mont Blanc et des Alpes valaisannes par Mourey et al., j'ai pu identifier et cartographier les processus géomorphologiques et glaciologiques qui affectent les itinéraires d'alpinisme des Écrins. L'objectif était notamment de vérifier si cette méthode était applicable à un autre massif de plus faible altitude et plus méridional.

Ainsi, sur 70 itinéraires analysés, un itinéraire est en moyenne affecté par 9 processus. Les trois processus qui affectent le plus grand nombre des itinéraires sont le retrait glaciaire, des glaciers plus raides, et des glaciers déneigés plus tôt en saison estivale. Conjugué à ces phénomènes, l'étude menée permet également de tirer un constat éloquent et préoccupant sur les conditions de pratique de l'alpinisme dans le massif des Écrins où près d'un quart des itinéraires ne sont plus praticables en période estivale. Seul 3 % sont encore préservés des effets du changement climatique.

Par conséquent, on observe un changement de saisonnalité pour certains itinéraires de ce type, plus fréquentables en été, qui voient ainsi leur fréquentation augmenter en hiver ou au printemps. Perdant leur intérêt à la fois technique et esthétique en période estivale, l'impact du changement climatique sur les itinéraires d'alpinisme dans les Écrins est donc considérable. D'autre part, la légende utilisée pour cette étude a été légèrement modifiée. Les paramètres spécifiques du massif des Écrins telles que son altitude plus basse et sa situation méridionale nous ont poussé a ajouter un processus : la fonte plus tôt en saison estivale des couvertures glacio-nivales.

Il est toutefois important de souligner que la montagne demeure un lieu d'expériences, de contemplation. Bien que ce massif subisse de profondes évolutions, les alpinistes s'adaptent et la pratique y reste accessible. Pour certains itinéraires, ces phénomènes ont eu un impact positif, les rendant par exemple moins exposés à des chutes de séracs.
Au delà de la dimension scientifique ou analytique, ce stage m'aura également permis de poursuivre ma réflexion autour des enjeux environnementaux et sociétaux liés à la pratique de la montagne.

J'espère également que ce travail pourra constituer une base importante pour la comparaison de l'évolution des itinéraires d'alpinisme dans les massifs du Mont-Blanc, des Écrins et des Alpes valaisannes et être utile pour la création d'un outil d'aide à la décision en lien avec l'alpinisme et le changement climatique.

# Bibliographie

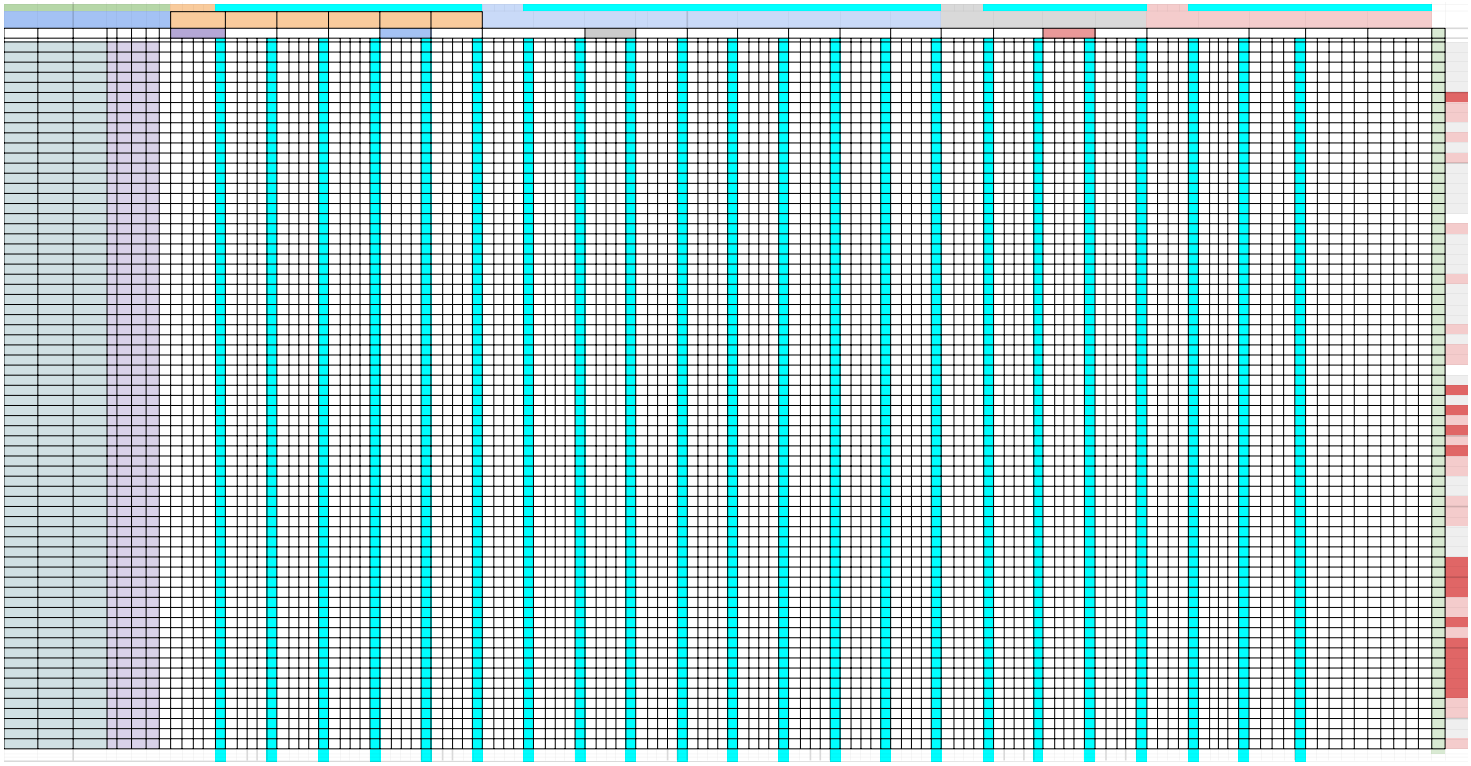

- Andrade, V. (2021) Le bivouac dans le Parc national des Ecrins: état des lieux d'une recherche de liberté dans un espace naturel protégé. Mémoire de master 2, ENS de Lyon, Lyon. 74p.
- Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J.-I., Magnusson, J., Marty, C., Morán-Tejéda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., and Vincent, C.: The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges, The Cryosphere, 12, 759–794, https://doi.org/10.5194/tc-12-759-2018, 2018.
- Bourdeau, 2014, "Effets du changement climatique sur l'alpinisme et nouvelles interactions avec la gestion des espaces protégés en haute montagne. Le cas du parc national des Écrins".
- Beaumet, J., Ménégoz, M., Morin, S. et al. Twentieth century temperature and snow cover changes in the French Alps. Reg Environ Change 21, 114 (2021). https://doi.org/10.1007/s10113-021-01830-x.
- Chaney, M et al, Rapport post-événement – Ecroulement de Cielse Nière – ONF-RTM05-août 2023.
- Bernard Debarbieux, « Comment l'alpinisme s'est trouvé inscrit à l'UNESCO », Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine [En ligne], 107-4 | 2019, mis en ligne le 16 décembre 2019, consulté le 16 juin 2023. URL : http://journals.openedition.org/rga/6254 ; DOI : https://doi.org/10.4000/rga.6254.
- Cailhol. X, « De l'ascension à la descension, deux manières d'aborder le paysage ? », Projets de paysage [En ligne], 25 | 2021, mis en ligne le 31 décembre 2021, consulté le 12 août 2023. URL : http://journals.openedition.org/paysage/23490 ; DOI : https://doi.org/10.4000/paysage.23490.
- Debelmas, J., Giraud, P., & Sacchi, R. (1980). Géologie structurale des Alpes franco-italiennes. Géologie Alp, 56, 99-117.
- Philip Deline, Stephan Gruber, Florian Amann, Xavier Bodin, Reynald Delaloye, Jérôme Failletaz, Luzia Fischer, Marten Geertsema, Marco Giardino, Andreas Hasler, Martin Kirkbride, Michael Krautblatter, Florence Magnin, Samuel McColl, Ludovic Ravanel, Philippe Schoeneich, Samuel Weber,
- Chapter 15 - Ice loss from glaciers and permafrost and related slope instability in high-mountain regions,
- Editor(s): Wilfried Haeberli, Colin Whiteman, In Hazards and Disasters Series, Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters (Second Edition), Elsevier, 2021,Pages 501-540, ISBN 9780128171295, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817129-5.00015-9.
- Benjamin Einhorn, Nicolas Eckert, Christophe Chaix, Ludovic Ravanel, Philip Deline, Marie Gardent, Vincent Boudières, Didier Richard, Jean-Marc Vengeon, Gérald Giraud et Philippe Schoeneich, « Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes », Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine [En ligne], 103-2 | 2015, mis en ligne le 02 septembre 2015, consulté le 15 juin 2023. URL : http://journals.openedition.org/rga/2829 ; DOI : https://doi.org/10.4000/rga.2829.
- Etzelmüller B, Guglielmin M, Hauck C, Hilbich C, Hoelzle M, Isaksen K, Noetzli J, Oliva M, Ramos M. 2020. Twenty years of European mountain permafrost dynamics—the PACE legacy. Environ Res Lett. 15:104070. DOI:10.1088/1748-9326/abae9d.
- Gardent, M. (2014). Inventaire et retrait des glaciers dans les alpes françaises depuis la fin du Petit Age Glaciaire (Doctoral dissertation, Grenoble).

- Marie Gardent, Antoine Rabatel, Jean-Pierre Dedieu, Philip Deline. 2014. Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.004.
- GEORGE Emmanuelle, ACHIN Coralie, FRANçOIS Hugues et al., « Changement climatique et stations de montagne alpines : impacts et stratégies d'adaptation », Sciences Eaux & Territoires, 2019/2 (Numéro 28), p. 44-51. DOI : 10.3917/set.028.0044. URL : https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2019-2-page-44.htm.
- Haeberli, W., Noetzli, J., Arenson, L., Delaloye, R., Gärtner-Roer, I., Gruber, S., . . . Phillips, M. (2010). Mountain permafrost: Development and challenges of a young research field. Journal of Glaciology, 56(200), 1043-1058. doi:10.3189/002214311796406121.
- Harris C, Davies MC, Etzelmüller B. 2001. The assessment of potential geotechnical hazards associated with mountain permafrost in a warming global climate. Permafr Periglac Process. 12:145–156. DOI:10.1002/ppp.376.
- Hock R, Huss M. 2021. Glaciers and climate change. In: Letcher T, editor. Climate change, observed impacts on planet earth. p. 157–176. DOI:10.1016/B978-0-12-821575-3.00009-8.
- Hugonnet R, McNabb R, Berthier E, Menounos B, Nuth C, Girod L, Farinotti D, Huss M, Dussaillant I, Brun F, Kääb A. 2021. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. Nature. 592:726–731. DOI:10.1038/s41586-021-03436-z.
- IPCC. 2019. Summary for policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Working Group I and II.
- Kaushik, S.; Ravanel, L.;Magnin, F.; Trouvé, E.; Yan, Y. Ice Aprons in the Mont Blanc Massif (Western European Alps): Topographic Characteristics and Relations with Glaciers and Other Types of Perennial Surface Ice Features. Remote Sens. 2022, 14, 5557.https://doi.org/10.3390/rs14215557Academic Editors: Ulrich Kamp, Dmitry Ganyushkin and Bijeesh K. Veettil Received: 29 September 2022Accepted: 31 October 2022 Published: 3 November 2022.
- Lambiel C, Maillard B, Kummert M, Reynard E. 2016. Geomorphology of the Hérens valley (Swiss Alps). J Maps. 12 (1):160–172. DOI:10.1080/17445647.2014.999135.
- Mourey, J. (2019). L'alpinisme à l'épreuve du changement climatique: Évolution géomorphologique des itinéraires, impacts sur la pratique estivale et outils d'aide à la décision dans le massif du Mont Blanc (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes (ComUE)).
- Mourey J, Marcuzzi M, Ravanel L, Pallandre F. 2019a. Effects of climate change on high Alpine environments: evolution of mountaineering routes in the Mont Blanc massif (Western Alps) over half a century. Arct Antarct Alp Res. 51(1):176–189. DOI:10.1080/15230430.2019.1612216.
- Mourey J, Ravanel L, Lambiel C, Strecker J, Piccardi M. 2019b. Access routes to high mountain huts facing climate-induced environmental changes and adaptive strategies in the Western Alps since the 1990s. Nor Geogr Tidsskr–Nor J Geogr. 73(4):215–228. DOI:10.1080/00291951.2019.1689163.
- Jacques Mourey, Ludovic Ravanel & Christophe Lambiel (2022): Climate change related processes affecting mountaineering itineraries, mapping and application to the Valais Alps (Switzerland), Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, DOI: 10.1080/04353676.2022.2064651.
- Parc national des Ecrins, "Programme 50 ans", disponible sur : https://www.ecrins-parcnational.fr/programme-50-ans, (consulté le 25/08/2023)
- Purdie H, Kerr T. 2018. Aoraki Mont Cook: environmental change on an iconic mountaineering route. Mt Res Dev. 38(4):364–379. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-18-00042.1.

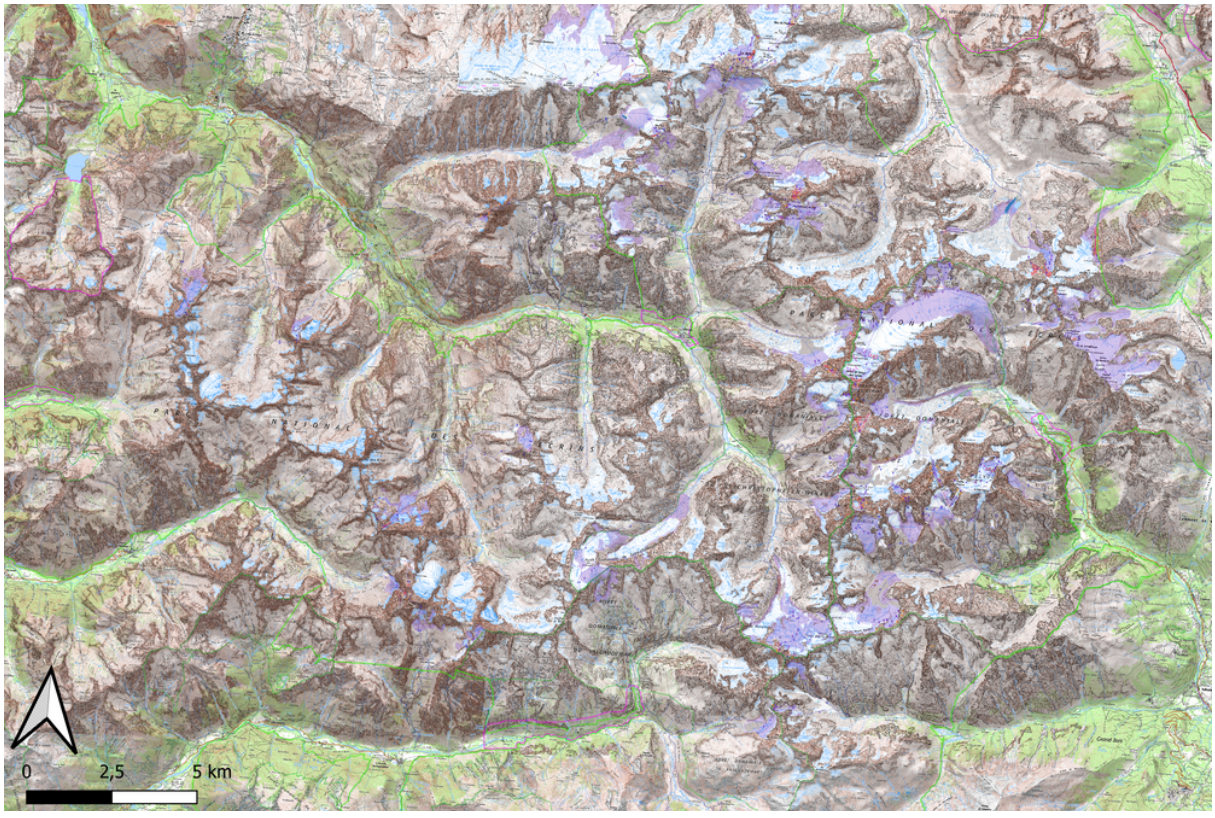
- Ravanel, L., & Deline, P. (2011). Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: The north side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the 'Little Ice Age.' The Holocene, 21(2), 357–365. https://doi.org/10.1177/0959683610374887 Ravanel, L., Guillet, G., Kaushik, S., Preunkert, S., Malet, E., Magnin, F., Deline, P. (2023). Ice aprons on steep high-alpine slopes: Insights from the Mont-Blanc massif, Western Alps. Journal of Glaciology, 1-17. doi:10.1017/jog.2023.15.
- Refuges Sentinelles,disponible sur : https://refuges-sentinelles.org/ (consulté le 23/08/2023)
- Ritter F, Fiebig M, Muhar A. 2011. Impacts of global warming on mountaineering: a classification of phenomena affecting the Alpine trail network. Mt Res Dev. 32:4–15. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-11-00036.1.
- Rebuffat G. 1973. Le massif du Mont-Blanc – Les 100 plus belles courses, 238. Paris: Denoël.
- Rebuffat G. 1974. Le massif des Ecrins – Les 100 plus belles courses et randonnées. Paris : Denoël.
- Royer et al., Rapport d'événement – Crue torrentielle des Etançons, le 29 juillet 2023 – ONF-RTM 38.
- Emmanuel Salim, Jacques Mourey, Ludovic Ravanel, Pietro Picco et Christophe Gauchon, « Les guides de haute montagne face aux effets du changement climatique. Quelles perceptions et stratégies d'adaptation au pied du Mont Blanc ? », Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine [En ligne], 107-4 | 2019, mis en ligne le 26 août 2019, consulté le 15 juin 2023. URL : http://journals.openedition.org/rga/5842 ; DOI : https://doi.org/10.4000/rga.5842.
- Shannon S, Smith R, Wiltshire A, Payne T, Huss M, Betts R, Caesar J, Koutroulis A, Jones D, Harrison S. 2019. Global glacier volume projections under high-end climate change scenarios. Cryosphere. 13:325–350. DOI:10.5194/tc-13-325-2019.
- Schoeneich P. 1993. Comparaison des systèmes de légendes français, allemand et Suisse – principes de la légende IGUL. In: Schoeneich P, Reynard E, editors. Cartographie géomorphologiques, cartographie des risques, Vol. 9. Lausanne: Institut de Géographie, Travaux et Recherches; p. 15–24.
- Temme AJAM. 2015. Using climber's guidebooks to assess rock fall patterns over large spatial and decadal temporal scales: an example from the Swiss Alps. Geogr Ann A: Phys Geogr. 97(4):793–807. DOI:10.1111/geoa.12116.
- Veyret Paul. Dévies (L.) et Laloue (M.). — Guide du Massif des Ecrins. In: Revue de géographie alpine, tome 40, n°3, 1952. p. 528.

# Annexe

Annexe 1



Annexe 2



# DOSSIER PHOTOS



Figure 15 : Vue sur la Barre des Ecrins lors de l'ascension du Pic du Glacier par sa voie normale. *Mathis Arnaud (28/05/2023).*



Figure 16: Ascension du Pelvoux par le couloir Coolidge. *Mathis Arnaud (02/07/2023)*



Figure 17: Redsescente de l'Aiguille Dibona.
*Mathis Arnaud (9/07/2023)*



Figure 18: Brèche Zsigmondy lors de la traversée de la Meije.
*Mathis Arnaud (11/07/2023)*



Figure 19 :
Ascension de l'arête ouest de la Tête des Fétoules.
*Mathis Arnaud (13/07/2023)*



Figure 20: Une autre approche, en vélo-train depuis Chambéry jusqu'au sommet des Rouies.
*Mathis Arnaud (19/07/2023)*



Figure 21: Ascension de la voie de la Mafia aux Rouies. *Mathis Arnaud (20/07/2023)*



Figure 22: Arrivée au col de la Temple lors de l'ascension du Pic Coolidge. *Mathis Arnaud(23/07/2023)*



Figure 23: Levé de soleil lors de l'ascension de Roche Faurio.
Mathis Arnaud (28/07/2023)