



**HAL**  
open science

# Mise en place d'une méthode de mesure pérenne du glacier des Grands Couloirs et mesure du sommet de la Grande Casse

Max Guinchard

► **To cite this version:**

Max Guinchard. Mise en place d'une méthode de mesure pérenne du glacier des Grands Couloirs et mesure du sommet de la Grande Casse. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2024. dumas-04785469

**HAL Id: dumas-04785469**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04785469v1>**

Submitted on 15 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS**  
**ECOLE SUPERIEURE D'INGENIEURS GEOMETRES ET TOPOGRAPHES**

---

**MEMOIRE**

**présenté en vue d'obtenir**

**le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM**

**SPECIALITE : Géomètre et Topographe**

**par**

**Max GUINCHARD**

---

Mise en place d'une méthode de mesure pérenne du glacier des Grands  
Couloirs et mesure du sommet de la Grande Casse

**Soutenu le 2 septembre 2024**

---

**JURY**

Monsieur Jean Michel FOLLIN  
Monsieur Frédéric BURNIER FRAMBORET  
Madame Joëlle NICOLAS DUROY

Président du jury  
Maître de stage  
Enseignant référent

## Remerciements

Je tiens à remercier M. Frédéric Burnier Framboret qui m'a offert l'opportunité de réaliser ce Travail de Fin d'Études. Il a fait preuve d'une écoute et d'une pédagogie qui m'ont permis de mener à bien ce beau projet.

Je remercie l'ensemble des membres du cabinet Mesur'ALPES pour la bienveillance, l'écoute et l'entraide dont ils ont fait preuve.

Je voudrais remercier Mme Joëlle Nicolas Duroy pour les conseils et les remarques dont elle m'a fait part tout au long de ce TFE.

Je remercie l'Union Nationale des Géomètres Experts 73 pour l'accueil qu'ils m'ont réservé ainsi que pour la confiance qu'ils m'ont portée.

Je remercie également les employés du Parc National de la Vanoise pour leur dévouement et leur bienveillance.

Je remercie l'ensemble des partenaires qui nous ont accompagnés sur ce magnifique projet.

Je tiens également à remercier, chaleureusement, mes parents, qui m'ont soutenu et encouragé durant toutes ces années.

## Liste des abréviations

TFE : Travail de Fin d'Études

LiDAR : Light Detection And Ranging

MNT : Modèle Numérique de Terrain

PNV : Parc National de la Vanoise

GNSS : Global Navigation Satellite System

UNGE : Union Nationale des Géomètres-Experts

IGN : Institut National de l'information Géographique et forestière

HD : Haute Définition

EDF : Électricité De France

GPS : Global Positioning System

IGE : Institute of Environmental Geosciences

EDYTEM : Environnements, DYnamiques et TErritoires de Montagne

## Glossaire

Moraine : amas de débris rocheux érodés transportés par un glacier

Moulin : puits taillé dans un glacier par les eaux de fonte et de pluie se trouvant en surface.

Cordée : groupe d'alpinistes reliés entre eux par une corde.

Ablation : processus par lequel un glacier perd de la masse. Les pertes en surface sont liées à un apport d'énergie venant de l'atmosphère [1].

Accumulation : processus par lequel le glacier gagne de la masse, pour l'essentiel grâce aux précipitations solides recueillies à sa surface. L'accumulation provient aussi des apports dus au givre, au déplacement de la neige sous l'effet du vent, aux avalanches ou coulées provenant des parois raides qui surplombent le glacier [1].

Transmission spéculaire : rapport du flux traversant une surface, sans diffusion au flux incident.

Réflexion spéculaire : réflexion des ondes vers une autre direction lorsque celles-ci touchent une surface donnée.

# Table des matières

Remerciements .....	2
Liste des abréviations .....	3
Glossaire.....	4
Table des matières.....	5
Introduction .....	7
<b>I ÉTAT DE L'ART .....</b>	<b>9</b>
I.1 LES METHODES D'AUSCULTATIONS .....	9
I.1.1 La méthode d'auscultation glaciologique.....	9
I.1.2 Les méthodes d'auscultations géodésiques .....	10
I.1.2.1 Auscultation via l'utilisation d'une roue de vélo.....	10
I.1.2.2 Auscultation par scanner 3D.....	10
I.1.2.3 Auscultation par LiDAR.....	11
I.1.2.4 Auscultation par photogrammétrie aérienne.....	11
I.1.2.5 Auscultation par images aériennes .....	12
I.1.2.6 Auscultation par mesure GPS.....	12
I.1.3 Comparaison des méthodes d'auscultation .....	13
<b>II MISE EN PLACE DE LA METHODE DE MESURE PERENNE DU GLACIER DES GRANDS COULOIRS .....</b>	<b>14</b>
II.1 LE GLACIER DES GRANDS COULOIRS .....	14
II.2 MISE EN PLACE DE LA METHODE DE MESURE PERENNE .....	15
II.2.1 Explication de la méthode choisie.....	15
II.2.2 Calcul du plan de vol du drone.....	16
II.2.2.1 Zone à lever .....	16
II.2.2.2 Appareil de lever.....	17
II.2.2.3 Calcul des paramètres de vol .....	17
II.2.2.4 Schéma de vol.....	21
II.2.2.5 Mise en place des cibles.....	22
<b>III MESURE DU SOMMET DE LA GRANDE CASSE.....</b>	<b>24</b>
III.1 LA GRANDE CASSE .....	24
III.1.1 Présentation .....	24
III.2 MESURE ET MODELISATION DU SOMMET.....	24
III.2.1 Estimation de l'altitude.....	24
III.2.2 Mesure du sommet.....	26
III.2.2.1 Matériel utilisé .....	26
III.2.2.2 Méthode de mesure utilisée .....	26
III.2.2.3 Traitement des données .....	27
<b>IV PREPARATION DU PROJET GRANDE CASSE.....</b>	<b>28</b>
IV.1 RECHERCHE DE PARTENAIRES.....	28
IV.2 PROMOTION DU PROJET.....	28
IV.3 JOURNEE DU 7 JUIN 2024.....	29
IV.4 DISCUSSIONS ET RENCONTRE AVEC LE PNV .....	31
IV.4.1 Le PNV .....	31
IV.4.2 Création du dossier de demandes de dérogations .....	32
IV.4.2.1 Le bruit.....	33
IV.4.2.2 Points clés de la demande de dérogation .....	34
Conclusion.....	36

Bibliographie.....	38
Liste des figures .....	40
Liste des tableaux.....	41
Table des annexes .....	42

# Introduction

Tandis que 2025 est proclamée « année internationale de la préservation des glaciers », il est impératif d’approfondir notre compréhension des changements qui s’opèrent sur notre environnement immédiat en raison du réchauffement climatique.

Ce phénomène est au cœur des préoccupations actuelles. Il est annoncé qu’en 2050, 34 % de la glace des glaciers des Alpes auront fondu [2]. Si nous n’agissons pas, certaines activités comme l’alpinisme et le ski de randonnée disparaîtront totalement. Cela pourrait engendrer des pertes économiques considérables pour les communes qui exploitent les glaciers.

Les guides de haute montagne font partie des professionnels qui souffrent des effets du réchauffement climatique. La Grande Casse (Figure 1) constitue le terrain de jeu favori de ceux qui travaillent en Savoie. La possibilité d’accès à ce sommet emblématique, le plus haut du département avec ses 3 855 m d’altitude [3], est cependant aujourd’hui en danger. Le réchauffement climatique a un fort impact sur le glacier des Grands Couloirs (Figure 1) qui est la voie normale pour parvenir au sommet. Depuis plusieurs années, le glacier fond et se raidit sur certaines parties, ce qui contraint les guides à chercher de nouveaux itinéraires. Une nouvelle voie permettrait d’arriver au sommet de la Grande Casse par un chemin moins dangereux et accessible sur une plus grande période de l’année. Actuellement, l’ascension ne peut plus se faire après le mois de juillet, car le relief du glacier ne permet plus d’accéder au sommet en toute sécurité.



Figure 1 : Localisation du glacier des Grands Couloirs et du sommet de la Grande Casse (geoportail.gouv.fr)

L’idée de mesurer l’altitude du sommet de la Grande Casse ainsi que de modéliser le glacier des Grands Couloirs, est née de la rencontre entre deux protagonistes savoyards

amoureux de la montagne, Frédéric Burnier Framboret, géomètre expert, et Manu Pellissier, guide de haute montagne. Ils ont décidé de mettre en commun leurs compétences respectives afin de mener à bien ce projet.

Porté par l'UNGE 73, ce « projet Grande Casse » a l'ambition de promouvoir à la fois la profession de géomètre, mais également le territoire savoyard.

Lors de la semaine des Géomètres Experts qui s'est déroulée du 3 au 9 juin, nous avons pu présenter, le vendredi 7 juin, notre prochaine aventure à l'ensemble des géomètres savoyards, aux acteurs du Parc National de la Vanoise, aux élus de la commune de Pralognan-la-Vanoise (73) et du département. Nous nous sommes retrouvés au refuge des Barmettes, sous la Grande Casse, afin d'en énoncer les points clés tout en mettant en valeur nos partenaires.

Pour retranscrire le travail réalisé, l'engouement derrière le projet et valoriser les paysages savoyards, un film retraçant toute l'aventure sera réalisé. Son but sera de donner envie aux spectateurs, de venir à la montagne en faisant découvrir un tout autre aspect de la profession de géomètre.

Ce projet, regroupe une multitude de thématiques. Elles vont de la recherche purement scientifique à la gestion d'un projet et d'une équipe, en passant par l'organisation de journées de communication.

Ce TFE a pour objectif de modéliser le glacier des Grands Couloirs et ses environs pour permettre aux guides de haute montagne de connaître son évolution au fil des années mais également de pouvoir rechercher une nouvelle voie d'accès au sommet de la Grande Casse via cette modélisation. Dans notre cas d'étude, une précision de l'ordre de 10 cm sera amplement suffisante pour suivre l'évolution du glacier et indiquer les endroits susceptibles d'être empruntés par l'homme. Par ce projet, nous souhaitons fédérer les géomètres savoyards autour d'un même but mais également mettre en valeur la profession et les paysages savoyards. La mesure du plus haut sommet du département s'inscrit dans cette dynamique.

Dans ce mémoire, nous reviendrons d'abord sur les méthodes utilisées pour ausculter un glacier. Nous développerons ensuite, la méthode pérenne qui sera mise en place pour modéliser le glacier des Grands Couloirs. Puis nous expliciterons la mesure du sommet de la Grande Casse. Nous clôturerons ce mémoire en expliquant la préparation du projet Grande Casse.

# I État de l'art

## I.1 Les méthodes d'auscultations

En France, et dans le monde, les glaciers font l'objet d'un suivi régulier par les glaciologues. Il existe deux méthodes pour mesurer un glacier. Pour la première, il s'agit de faire la somme de l'ablation et de l'accumulation. C'est la méthode dite glaciologique. La seconde consiste en la mesure du changement de volume. C'est la méthode dite géodésique. Il existe cependant différentes méthodes géodésiques permettant de visualiser l'évolution des glaciers.

Dans cette partie, nous énumérerons les différentes méthodes de mesure mises en place dans le monde. Elles seront illustrées par des exemples concrets permettant de mieux comprendre le mécanisme de mesure. Nous terminerons cette partie en énonçant, dans notre cas précis, les raisons pour lesquelles certaines méthodes ne peuvent être appliquées.

### I.1.1 La méthode d'auscultation glaciologique

La méthode glaciologique s'appuie sur le calcul du bilan de masse du glacier. Pour ce faire, l'ablation et l'accumulation du glacier sont additionnées. L'unité du bilan de masse  $\text{kg m}^{-2}$  est ordinairement remplacée par l'équivalent en millimètres d'eau, mm w.e. Elles sont numériquement identiques [4]. Si le bilan de masse est positif, le glacier a gagné en volume. S'il est négatif, le glacier a perdu de son volume.

Pour mesurer l'ablation, des balises sont implantées dans le glacier. Leur émergence est ensuite mesurée par GPS. Concernant la mesure de l'accumulation, des carottages sont réalisés.

L'implantation des balises au sein du glacier nécessite du matériel spécifique. Elles sont implantées grâce à une sonde projetant dans le sol, de la vapeur qui va faire fondre la glace. Un jalon est ensuite déposé dans le trou créé.

Cette méthode est utilisée par l'IGE sur la Mer de Glace depuis 1979. En 2022, le bilan de masse est de -3,64 m w.e. [5]. C'est le bilan de masse le plus élevé pour ce glacier depuis les premières mesures.

## I.1.2 Les méthodes d'auscultations géodésiques

### I.1.2.1 Auscultation via l'utilisation d'une roue de vélo



Figure 2 : Luc Moreau et le roue de vélo sous le glacier d'Argentière (Luc Moreau)

La méthode de la roue de vélo est utilisée pour mesurer le déplacement du glacier d'Argentière situé dans la vallée de Chamonix. Sous ce glacier, des galeries ont été creusées par EDF dans le début des années 1970 afin de capter l'eau de fonte du glacier. Grâce à ces galeries, une roue de vélo a pu être mise en place (Figure 2). Elle est montée sur un bras articulé qui permet à la roue d'être constamment en contact avec la partie inférieure du glacier [6]. En avançant, le glacier d'Argentière entraîne la roue. En connaissant le diamètre de la roue ainsi que le nombre de tours qu'elle a effectué, il est possible de calculer la distance parcourue par le glacier.

### I.1.2.2 Auscultation par scanner 3D

L'utilisation d'un scanner 3D permet de modéliser la surface du glacier, comme cela a été le cas pour le Grand Moulin, la crevasse la plus profonde la Mer de Glace. Pour modéliser cette crevasse, l'équipe de M. Luc Moreau a utilisé un scanner BLK2GO de la marque Leica (Figure 3). Ce BLK2GO est un scanner 3D portable petit et léger qui combine le balayage LiDAR avec la technologie SLAM.



Figure 3 : Descente du BLK2GO à l'intérieur du Grand Moulin (leica-geosystems.com)

J'ai eu la chance de rencontrer M. Farouk Kadded lors du congrès annuel des géomètres-experts de Rhône-Alpes. M Kadded travaille pour l'entreprise Leica geosystems et c'est notamment lui qui s'est occupé, avec M. Moreau, de mesurer le grand Moulin. C'est

également lui qui a en charge, depuis une vingtaine d'années, la mesure du Mont Blanc. Ayant à disposition un BLK2GO, je l'ai questionné afin de savoir si, dans mon cas précis, son utilisation pouvait être envisagée. Il m'a tout de suite dissuadé de mettre en place cette méthode, car le scanner sera dans l'incapacité de lier les images entre elles en raison de la monotonie du terrain. Cet instrument pourrait, cependant, s'avérer utile pour compléter le lever des parois rocheuses environnantes.

### I.1.2.3 Auscultation par LiDAR

Le LiDAR est une méthode de télédétection utilisant des lasers. Il peut être mobilisé lors de certaines opérations de mesure de glacier. Il peut s'agir de LiDAR aéroporté ou bien statique. Cependant, une caractéristique importante est à prendre en compte. En effet, le LiDAR utilise en général une longueur d'onde de 1,550  $\mu\text{m}$  pour mesurer. Cette longueur d'onde se révèle inutilisable lors de lever sur neige ou sur glace du fait de la transmission et de la réflexion spéculaire [7].

Cette technique d'auscultation nécessite un équipement spécialisé ainsi que des compétences techniques pour acquérir ou traiter les données. De plus, les appareils et les logiciels associés aux mesures LiDAR sont à l'heure actuelle très coûteux (entre 50 000 et 300 000€).

Le glacier Peyto au Canada a été mesuré via la méthode LiDAR aéroporté (Figure 4). Cette technique utilisée a également pu mettre en lumière les difficultés inhérentes à la haute montagne notamment dues au vent et à la météo. Lors de l'opération, le drone s'est renversé à des angles supérieurs à 30°, bien au-dessus des tolérances autorisées [8].

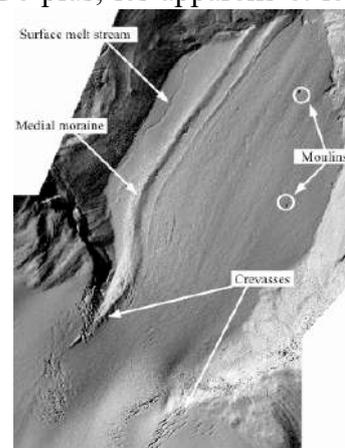


Figure 4 : Modélisation du glacier Peyto par LiDAR aéroporté (Hopkinson et al.,2001)

### I.1.2.4 Auscultation par photogrammétrie aérienne

L'auscultation par photogrammétrie permet de créer des MNT depuis les images prises par un engin volant. Ces MNT vont ensuite pouvoir être comparés les uns avec les autres pour ainsi déterminer le volume perdu.

Le lever par drone est une méthode qui se développe. Elle s'avère très utile lorsqu'il s'agit de lever de grandes étendues. Le drone peut se rendre dans des zones dangereuses, voir inatteignables, pour l'homme. Il peut prendre des vidéos ou bien des photos. La vidéo

pourra être échantillonnée par des logiciels de photogrammétrie. Pour cela, il suffit de fournir un pas d'échantillonnage qui permettra d'extraire plus ou moins d'images de cette vidéo.

Cette méthode reste relativement simple à mettre en place. En effet, elle nécessite uniquement un drone muni d'une caméra, des cibles et un GNSS. Ces derniers éléments vont servir au géoréférencement du lever. De plus, des applications facilitent le vol du drone via des suivis de plan de vol.

Le glacier du Travignolo, situé dans les Dolomites italiennes a été mesuré par cette technique. Le procédé permet d'obtenir des données de qualité suffisante pour la reconstruction photogrammétrique d'un petit glacier de montagne. Néanmoins, il faut prendre garde à la période de mesure. [9].

#### **I.1.2.5 Auscultation par images aériennes**

Cette méthode d'auscultation a l'avantage de remonter très loin dans le temps. En effet, les premières campagnes de photographies aériennes datent, pour le département de la Savoie, du début des années 1960. Grâce à ces images aériennes, il est possible créer un MNT du glacier tel qu'il était il y a 60 ans afin de le comparer au glacier actuel. Cependant, cette méthode présente des limites. En effet, elle a été mise en place dans le cadre de l'étude des glaciers de la province de Trento dans les Alpes Italiennes. Des MNT ont été conçus à partir d'une méthode automatique. Les résultats n'ont pas été très concluants. La faible qualité radiométrique des images ne permet pas de créer des MNT de bonne qualité [10].

#### **I.1.2.6 Auscultation par mesure GPS**

Cette méthode consiste à utiliser plusieurs stations GPS. Certaines sont « mobiles » et sont positionnées sur le glacier. D'autres sont « fixes » et sont placées dans des endroits qui ne sont pas susceptibles de bouger. Les stations fixes servent à trouver les coordonnées des stations mobiles via le calcul de la ligne de base [6].

Cette méthode est en place depuis 2007 sur le glacier d'Argentière dans la vallée de Chamonix. L'avancée du glacier est continuellement mesurée. Cette méthode demande une logistique conséquente puisqu'il faut se rendre certaines fois sur site pour récupérer les données ou modifier les hauteurs d'antennes afin qu'elles ne soient pas sous la neige. De plus, elle a un coût important, car il faut laisser, sur place, un certain nombre de GPS.

### I.1.3 Comparaison des méthodes d'auscultation

	Coût	Mise en œuvre	Rendu visuel	Simplicité d'utilisation	Pérennité	Précision	Temps d'acquisition
Méthode glaciologique	+	-	-	--	+	+ (<400mm w.e.)	-
Méthode de la roue de vélo	-	X	--	++	++	--	++
Méthode scanner 3D	+	-	++	-	+	+ (<40cm)	--
Méthode LiDAR	++	-	++	-	+	++ (<20cm)	--
Méthode photogrammétrie aérienne	+	+	++	+	++	++ (<20cm)	+
Méthode par images aériennes	--	++	++	++	++	-- (<1m)	++
Méthode par mesure GPS	+	+	-	+	+	+ (<10cm/jour)	+

Tableau 1 : Comparaison des méthodes d'auscultations, X : impossibilité, degré de faisabilité allant de -- (difficile) à ++ (facile).

Suite aux éléments indiqués précédemment, le tableau 1 regroupe les différentes méthodes d'auscultations et leur attribue un grade par rapport aux critères qui nous contraignent le plus dans ce projet. Nous pouvons notamment voir que la méthode de la roue de vélo est impossible dans notre cas d'étude, car le glacier étudié ne dispose pas de galerie souterraine.

Les deux méthodes qui semblent être les plus pertinentes selon les grades attribués sont les méthodes par photogrammétrie aérienne et par image aérienne. La méthode par photogrammétrie est plus coûteuse et est plus difficile à mettre en place. Cependant sa précision est de bien meilleure qualité. La méthode par images aériennes ne nécessite aucun appareil de mesure mais seulement un logiciel servant à créer des nuages de points à partir de plusieurs images. Les autres méthodes, nécessitent beaucoup de mise en œuvre et d'appareils à utiliser. De plus le coût de certaines, comme la méthode LiDAR, peut s'avérer très élevé.

Par ailleurs, la durée de mise en œuvre de la méthode choisie est une composante très importante à prendre en compte, particulièrement dans ce projet. Les méthodes qui nécessitent de stationner un appareil et de le déplacer, comme les méthodes LiDAR, scanner 3D ou bien de lever topographique classique ne peuvent être mises en place. En effet, la pente terminale du glacier nécessite l'implantation d'un bon nombre de stations afin de pouvoir lever l'ensemble des aspérités du glacier et des parois rocheuses environnantes. Ces installations ne feraient qu'accroître la durée du lever et ne peuvent être réalisées en toute sécurité.

En raison des différents arguments présentés, nous utiliserons la méthode d'auscultation par photogrammétrie aérienne pour mesurer le glacier des Grands Couloirs. Cette méthode compte un grand nombre de points positifs dont son coût peu élevé, la faible durée de lever, un rendu très visuel et une précision qui permettra au fil des années de remarquer facilement le changement de volume du glacier.

## II Mise en place de la méthode de mesure pérenne du glacier des Grands Couloirs

### II.1 Le glacier des Grands Couloirs

Le glacier des Grands Couloirs se situe au cœur du PNV. Il est situé en face ouest – sud/ouest du massif de la Vanoise. Il constitue la voie d'accès normale au sommet de la Grande Casse. Que ce soit à ski ou en alpinisme, de nombreux sportifs empruntent cet itinéraire pour se rendre sur le plus haut sommet de Savoie.

En juillet 2022, sa superficie était de de 462 000 m<sup>2</sup> (mesure Géoportail). Nous pouvons voir que depuis les années 1940, le glacier a énormément reculé. Il mesurait à l'époque 915 000 m<sup>2</sup>. La langue du glacier a reculé de plusieurs dizaines de mètres laissant apparaître en aval une épaisse couche de moraine.



Figure 5 : Grands Couloirs août 1948 (remonterletemps.ign.fr)



Figure 6 : Grands Couloirs septembre 1986 (remonterletemps.ign.fr)

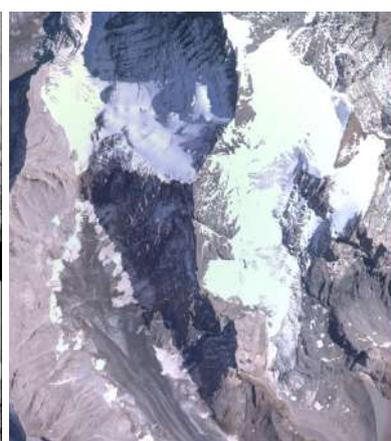


Figure 7 : Grands Couloirs août 2006 (remonterletemps.ign.fr)



Figure 8 : Grands Couloirs septembre 2008 (remonterletemps.ign.fr)



Figure 9 : Grands Couloirs août 2012 (remonterletemps.ign.fr)



Figure 10 : Grands Couloirs juillet 2022 (geoportail.gouv.fr)

On remarque qu'entre 1948 (Figure 5) et 2006 (Figure 7) le glacier a réussi à se stabiliser. Cependant, à partir de 2006 et jusqu'en 2022, le volume du glacier a fortement diminué. Les images ont toutes été effectuées à la même période pendant l'été. Nous pouvons voir sur la figure 10, prise en juillet 2022, qu'il ne reste pas de neige sur le glacier, contrairement à celle d'août 2012 (Figure 9), prise plus tard dans la saison. Nous constatons une évolution du climat due au réchauffement climatique qui impacte considérablement la fonte du glacier.

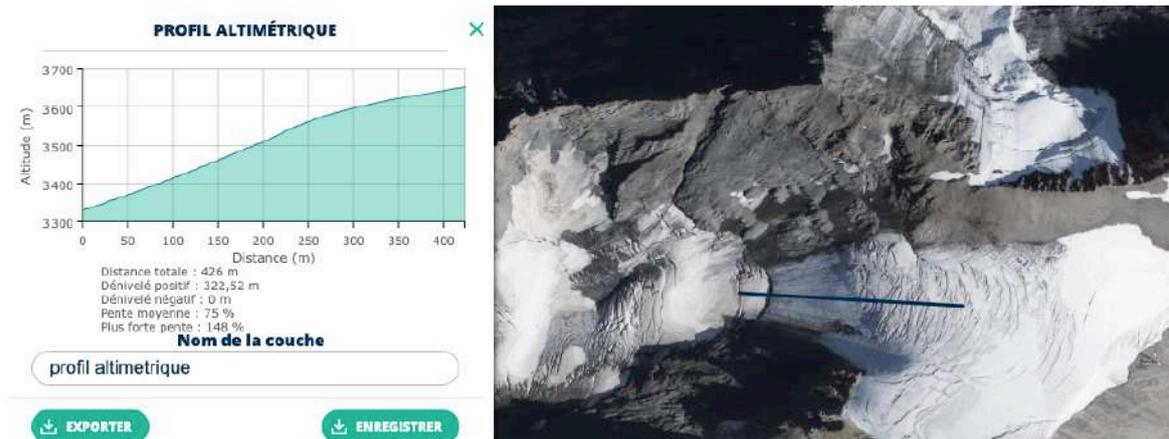


Figure 11 : Profil altimétrique de la pente terminale du glacier des Grands Couloirs (geoportail.gouv.fr)

De plus, celle-ci a entraîné une accentuation du degré de la pente terminale de l'ascension. Nous pouvons notamment remarquer ce changement radical entre les figures 8 et 10, ce qui représente une période de seulement 14 ans. La figure 11 nous montre le profil altimétrique de cette partie terminale. Nous remarquons que la pente y est en moyenne de 75% sur 426 m, avec un passage à 148%.

## II.2 Mise en place de la méthode de mesure pérenne

### II.2.1 Explication de la méthode choisie

Suite à l'étude des différentes méthodes de suivi glaciologique, nous avons choisi de nous intéresser plus particulièrement à la méthode par photogrammétrie aérienne. Cette technique permet d'obtenir des rendus très visuels qui peuvent s'avérer utiles dans la communication du PNV. De plus, le lever avec drone permet de relever une très grande zone en un minimum de temps. La technique de photogrammétrie aérienne implique le vol d'un drone, ou de tout autre engin volant, capturant des images d'un objet à modéliser.

Grâce à des logiciels de photogrammétrie, un nuage de points va pouvoir être calculé à partir des photos de l'objet.

Il est nécessaire d'avoir, sur l'objet, au moins trois points d'appuis. Ces points d'appuis (dans notre cas des cibles), sont des points distinctifs que nous pourrions retrouver facilement et qui nous permettront de géoréférencer notre nuage de points. Ce processus donne des coordonnées géographiques réelles à notre nuage de points.

Ce réseau de cibles étant pérenne, il devient également possible de comparer nos nuages de points acquis sur différentes années. Nous verrons en parties II.2.2.5 comment ces points d'appuis sont choisis et mis en place.

## II.2.2 Calcul du plan de vol du drone

Ce plan de vol va déterminer tous les paramètres nécessaires pour réaliser le vol le plus optimisé possible que ce soit en termes de qualité des données recueillies, de temps de vol et d'impact sur l'environnement.

### II.2.2.1 Zone à lever



Figure 12 : Zone à lever (géoportail.gouv.fr)

Pour ce faire, nous avons besoin des caractéristiques de la zone à lever (Figure 12). Après avoir mesuré approximativement la surface que nous souhaitons modéliser sur le site Geoportail, nous obtenons une longueur de 1 700 m. Elle correspond à la distance depuis le pied du glacier jusqu'à son sommet. Nous mesurons également une largeur de 700 m. Elle correspond à la distance maximale entre les deux parois rocheuses bordant de part et d'autre le glacier. Pour simplifier les choses, nous apparenterons la zone à un rectangle de 1 700 m par 700 m ce qui nous donne une superficie de 1 190 000 m<sup>2</sup>.

### II.2.2.2 Appareil de lever

Nous aurons également besoin des caractéristiques de l'appareil de lever. Lors de cette opération, nous utiliserons un DJI Mavic 3 gamme Entreprise qui nous sera prêté par le Lycée du Nivolet de la Ravoire (73) qui collabore avec nous sur ce projet notamment lors de la mesure du glacier. Ce DJI Mavic 3 gamme Entreprise dispose d'un capteur CMOS 4/3 de 17,3 mm par 13 mm. Ce capteur nous permet de réaliser des images de 5 280 pixels par 3 956 pixels et possède une focale de 12 mm.

### II.2.2.3 Calcul des paramètres de vol

Grâce à ces dimensions, nous pouvons calculer la taille du photosite.

$$tph = lc \times Lc$$

Avec  $tph$  la taille du photosite,  $lc$  la largeur du capteur et  $Lc$  la longueur du capteur.

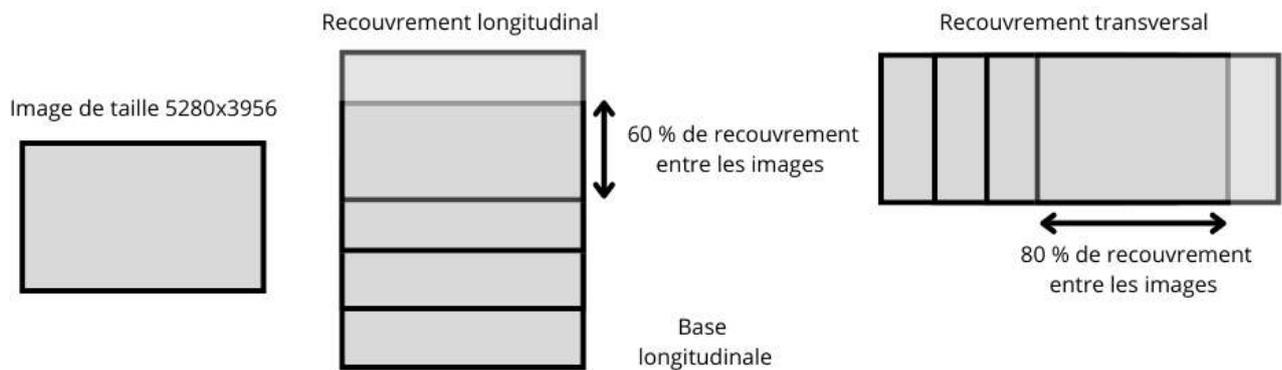


Figure 13 : Illustration du recouvrement longitudinal et transversal

Lorsque le drone prend des images, il faut obligatoirement qu'il y ait une zone commune entre chacune des photos, aussi bien dans leur longueur que dans leur largeur (Figure 13). Cette zone commune permettra par la suite de lier toutes les photos entre elles. Afin d'avoir une qualité suffisante, les taux de recouvrements longitudinaux et transversaux recommandés sont compris entre 60 et 80% [11].

Selon la législation française en vigueur, un drone ne peut voler à plus de 120 m au-dessus du sol [12]. C'est pourquoi désormais dans nos calculs, nous prendrons des hauteurs de vol variant de 10 en 10 en partant de 10 m jusqu'à 120 m.

Hauteur (m)	Taille pixel sol (m)	Base longitudinale (m)	Base transversale (m)	Nombre de bandes	Nombre de clichés par bande	Nombre de clichés total	Distance à parcourir (m)
10	0,003	2,89	4,33	163	591	96216	275804
20	0,005	5,77	8,65	82	296	24284	138252
30	0,008	8,66	12,98	55	198	10895	92401
40	0,011	11,55	17,30	41	149	6186	69476
50	0,014	14,43	21,63	33	120	3997	55721
60	0,016	17,32	25,95	28	100	2801	46551
70	0,019	20,21	30,28	24	86	2077	40001
80	0,022	23,09	34,61	21	76	1605	35088
90	0,025	25,98	38,93	19	67	1280	31267
100	0,027	28,87	43,26	17	61	1046	28210
110	0,030	31,75	47,58	16	56	873	25709
120	0,033	34,64	51,91	14	51	740	23625

Tableau 2 : Taille pixel sol, base longitudinale, base transversale, nombre de bandes, nombre de clichés par bande, nombre total de clichés et distance totale à parcourir en fonction de la hauteur de vol

Dans ce tableau 2, nous trouvons la taille pixel sol, la base longitudinale, la base transversale, le nombre de bandes, le nombre de clichés par bande, le nombre total de clichés ainsi que la distance totale à parcourir. Dans les paragraphes suivants, nous expliciterons ces différents termes.

La taille pixel sol correspond à la taille que fait un pixel au sol. Plus la taille pixel sol est faible, plus la résolution d'une image sera élevée. Elle peut se calculer par la formule :

$$tps = tph \times \frac{H}{f}$$

Avec  $tps$  la taille du pixel au sol,  $H$  la hauteur de vol et  $f$  la focale.

Nous pouvons noter que pour une hauteur de vol de 120 m, la taille du pixel au sol est de 3,28 cm. Sur une même image, nous aurons donc un écart de 3,28 cm entre chacun de nos pixels.

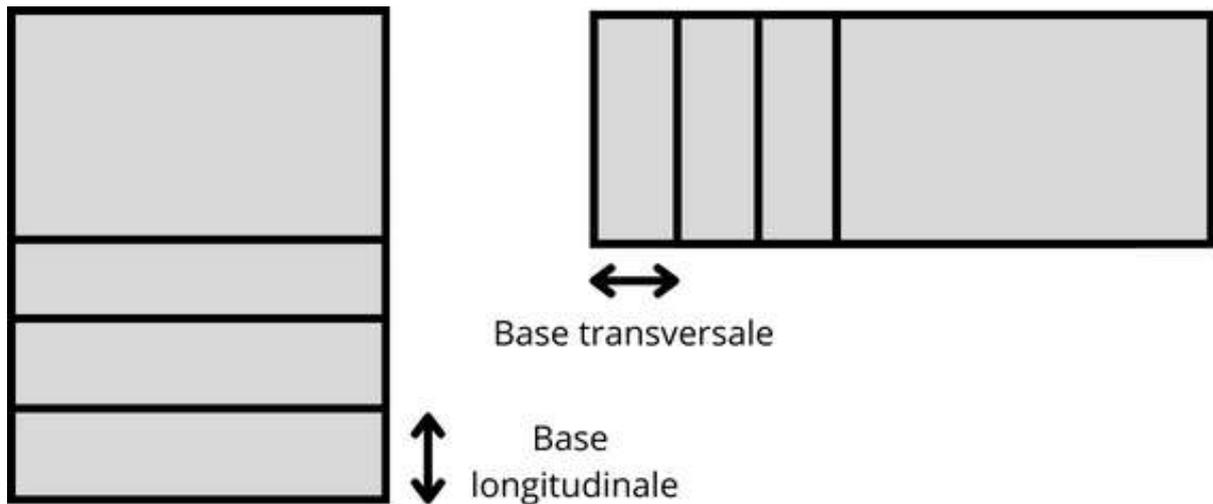


Figure 14 : Illustration de la base longitudinale et transversale

Les bases longitudinales et transversales correspondent à la distance entre le début de la première photo et le début de la seconde (Figure 14).

Le nombre de bandes représente le nombre d’allers et de retours que le drone devra effectuer.

Le nombre de clichés par bandes équivaut au nombre de photos que le drone prendra lors de ces allers et retours.

La distance à parcourir correspond au nombre total de mètres que le drone va devoir effectuer pour réaliser les prises de vues.

Une fois que la distance totale à parcourir par le drone est calculée, nous pouvons effectuer des calculs de temps de vol qui nous donneront le temps d’utilisation du drone. Pour cela, nous avons besoin d’une vitesse. Nous pouvons lire dans la documentation technique que le drone peut voler jusqu’à une allure de 15 m/s (vitesse évaluée au niveau de la mer par DJI). Cependant, par sécurité, nous écarterons cette vitesse de 15 m/s pour voler au maximum à 12 m/s.

Pour calculer ce temps de vol, nous utilisons la formule  $t = \left(\frac{d}{v}\right) / 60$

Avec  $t$  le temps en min,  $v$  la vitesse en m/s et  $d$  la distance en m.

Vitesse (m/s) Hauteur (m)	5	7	10	12
10	919,35	656,68	459,67	383,06
20	460,84	329,17	230,42	192,02
30	308,00	220,00	154,00	128,34
40	231,59	165,42	115,79	96,49
50	185,74	132,67	92,87	77,39
60	155,17	110,83	77,58	64,65
70	133,34	95,24	66,67	55,56
80	116,96	83,54	58,48	48,73
90	104,22	74,45	52,11	43,43
100	94,03	67,17	47,02	39,18
110	85,70	61,21	42,85	35,71
120	78,75	56,25	39,38	32,81

Tableau 3 : Temps de vol en min en fonction de la vitesse en m/s et de la distance en m.

Comme on peut le voir sur le tableau 3, le temps de vol maximal est de 919 min et le temps de vol minimal de 32,81 min. Le drone utilisé dans notre cas d’étude peut voler au maximum pendant 45 min avec une seule batterie. Il faudra veiller à en avoir plusieurs afin de pouvoir compléter le lever des zones manquantes. Les temps de vol inférieurs à 1 h figurent dans la zone verte. Nous constatons qu’il n’y en a aucun pour une vitesse de 5 m/s.

Cependant, du flou peut apparaître si le drone vole trop vite ce qui peut entacher la précision de notre lever. Il sera donc nécessaire de trouver la bonne vitesse d'obturation de l'appareil photo pour pallier ce problème.

L'obturateur électronique du drone a une vitesse d'obturation pouvant aller de 8 s à 1/8000 s. Cette vitesse d'obturation détermine la durée pendant laquelle la lumière atteint le capteur de l'appareil photo. Plus la vitesse est lente, plus les images risquent d'être floues.

L'effet de filé permet de déterminer le flou potentiel des images. En dessous d'un pixel, nous pouvons considérer que les photos ne seront pas floues.

$$l \text{ filé} = \frac{V \times t}{tps}$$

Avec  $l \text{ filé}$  l'effet de filé en pixel,  $V$  la vitesse de l'appareil de m/s,  $t$  le d'exposition du capteur en s et  $tps$  la taille du pixel au sol en m.

Pour 7 m/s	
Hauteur (m)	
Ouverture	120
0,001	0,213
0,0005	0,107
0,000333333	0,071
0,00025	0,053
0,0002	0,043
0,000166667	0,036
0,000142857	0,030
0,000125	0,027
1	213,394

Tableau 6 : Effet de filé en pixel pour une vitesse de 7 m/s

Pour 10 m/s					
Hauteur (m)					
Ouverture	80	90	100	110	120
0,001	0,457	0,406	0,366	0,333	0,305
0,0005	0,229	0,203	0,183	0,166	0,152
0,000333333	0,152	0,135	0,122	0,111	0,102
0,00025	0,114	0,102	0,091	0,083	0,076
0,0002	0,091	0,081	0,073	0,067	0,061
0,000166667	0,076	0,068	0,061	0,055	0,051
0,000142857	0,065	0,058	0,052	0,048	0,044
0,000125	0,057	0,051	0,046	0,042	0,038
1	457,273	406,465	365,819	332,562	304,849

Tableau 5 : Effet de filé en pixel pour une vitesse de 10 m/s

Pour 12 m/s						
Hauteur (m)						
Ouverture	70	80	90	100	110	120
0,001	0,627	0,549	0,488	0,439	0,399	0,366
0,0005	0,314	0,274	0,244	0,219	0,200	0,183
0,000333333	0,209	0,183	0,163	0,146	0,133	0,122
0,00025	0,157	0,137	0,122	0,110	0,100	0,091
0,0002	0,125	0,110	0,098	0,088	0,080	0,073
0,000166667	0,105	0,091	0,081	0,073	0,067	0,061
0,000142857	0,090	0,078	0,070	0,063	0,057	0,052
0,000125	0,078	0,069	0,061	0,055	0,050	0,046
1	627,117	548,728	487,758	438,982	399,075	365,819

Tableau 4 : Effet de filé en pixel pour une vitesse de 12 m/s

Dans les tableaux 4, 5 et 6, les zones vertes correspondent à l'erreur de filé inférieure à 1 pixel. Les vitesses d'obturation qui permettent de respecter cette erreur sont celles comprises entre 1/1000 s et 1/8000 s.

Après avoir effectué ces différents calculs, nous pouvons en conclure qu'une utilisation du drone à une hauteur supérieure à 70 m et à une vitesse entre 7 et 12 m/s offrirait des images de qualité (tps entre 1,9 et 3,3 cm). Il sera cependant possible de réduire le temps

de vol en modifiant la hauteur et la vitesse du drone. Ces modifications ne devraient pas avoir d'influence significative sur la qualité des images recueillies.

Cependant, ces résultats restent purement théoriques. En montagne, les conditions peuvent être très compliquées et changeantes. C'est pourquoi il sera nécessaire d'effectuer, dans un premier temps, des tests sur le terrain afin de confirmer les données énoncées plus haut.

De plus, maintenir une même hauteur lors de l'ensemble du lever dans une zone qui présente des changements de topographie brusque peut s'avérer très difficile.

#### II.2.2.4 Schéma de vol

Nous allons dorénavant étudier le schéma de vol du drone ainsi que son lieu de départ.



Figure 15 : Emprise du lever et zone de départ

Nous pouvons voir sur la figure 15, l'étoile orange qui matérialise la zone de départ envisagée pour le décollage du drone. Elle se situe loin des sentiers de randonnée sur un replat afin que les usagers du parc soient moins intrigués par le décollage. Cette position peut être amenée à changer étant donné que le parc est susceptible de nous contraindre à décoller depuis une zone de leur convenance.

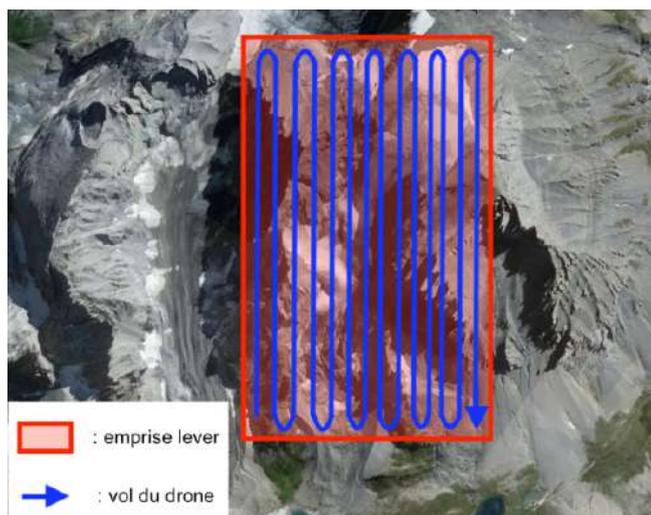


Figure 16 : Emprise du lever et chemin du drone

Sur la figure 16 est explicité le chemin que suivra le drone. Pour une hauteur de vol de 120 m, le drone effectuera sept allers-retours. Le chemin pourrait être amélioré en effectuant un second vol, cette fois-ci, dans le sens de la largeur. Cela permettrait de récolter davantage d'images et de combler certaines zones où les données sont difficiles à acquérir. Par manque de temps, et toujours dans l'optique de préserver la quiétude des espèces animales, nous ne ferons qu'un seul cheminement.

### II.2.2.5 Mise en place des cibles

Nous allons maintenant étudier le positionnement des cibles sur les parois rocheuses qui serviront de points d'appui pour géoréférencer notre nuage de points. Leur position et leur nombre (10 cibles) ont été établis après discussion avec le PNV et les guides. Cependant, la position peut, elle, encore évoluer en fonction de l'accessibilité et de la sécurité de chaque zone.

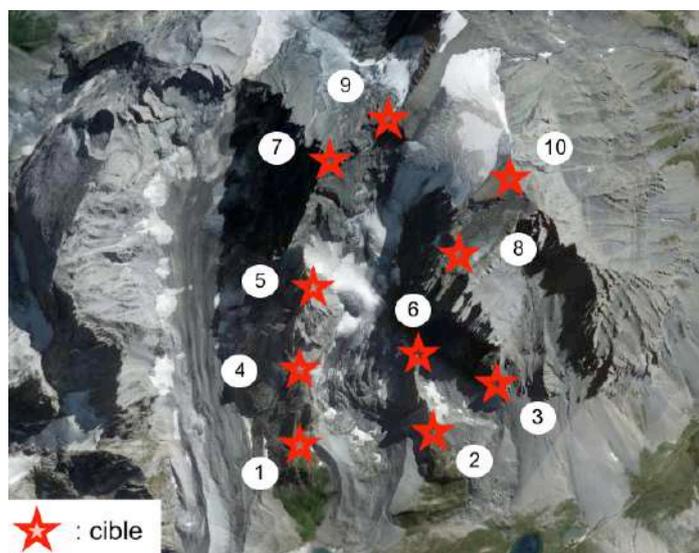


Figure 17 : Positionnement théorique des cibles sur les parois rocheuses

Nous pouvons voir sur la Figure 17 que les cibles sont idéalement réparties autour du glacier, ce qui permettra un calage en coordonnées de bonne qualité. Les cibles 1,2 et 3 sur la Figure 17 sont placées à un endroit qui n'est pas voué à bouger ou à se détériorer. Nous sommes certains qu'elles resteront en place, quels que soient les conditions climatiques, les éboulements ou autre phénomène naturel. Nous pourrons donc toujours nous recalculer. De plus, lors de chaque mesure, des cibles seront mises en place sur le glacier. Elles seront ensuite démontées à la fin du lever, elles serviront uniquement de point de contrôle.

Les cibles que nous allons mettre en place autour du glacier seront noires et blanches et mesureront 80 cm par 80 cm (Figure 18). Elles seront en Dibond, un panneau sandwich composé de deux panneaux en aluminium avec un noyau en polyéthylène. Ce type de panneau est rigide et léger. Il résistera très bien sous le poids de la neige. Les cibles carrées seront vissées sur un fer à béton (Figure 19) grâce à deux U (Figure 20). Ce fer sera lui maintenu dans la paroi après avoir été inséré dans un trou et collé avec du scellement chimique. Cette méthode de fixation permettra de maintenir le système de géoréférencement en place durant une longue période tout en résistant aux différentes intempéries.

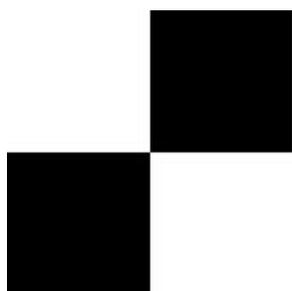


Figure 20 : Cible de photogrammétrie qui sera fixé sur le fer à béton



Figure 19 : fer à béton (sinnet.fr)



Figure 18 : Vis de fixation en U (amazon.fr)

Toutes ces données nous permettent de réaliser un lever efficace et sans danger dans un laps de temps très court. La technique de photogrammétrie par drone est idéale dans des lieux très techniques comme ici à la Grande Casse.

## III Mesure du sommet de la Grande Casse

### III.1 La Grande Casse

#### III.1.1 Présentation

La Grande Casse (Figure 21) est un sommet savoyard du massif de la Vanoise situé dans les Alpes françaises. Avant que l'accès soit rendu difficile par la fonte du glacier, ce sommet, peu connu du grand public constituait un itinéraire de choix pour les skieurs et les alpinistes.

Le sommet de la Grande Casse a été gravi pour la première fois le 8 août 1860 par Michel Croz, Etienne Favre et William Matthews.



Figure 21 : Le sommet de la Grande Casse vu depuis la station de Tignes (Max Guinchard)

### III.2 Mesure et modélisation du sommet

#### III.2.1 Estimation de l'altitude

L'altitude du sommet de la Grande Casse est actuellement annoncée à 3 855 m [3]. Il est le point culminant de la Savoie. Avant de nous rendre au sommet pour effectuer nos mesures, nous avons souhaité vérifier si cette altitude est probable ou non.

Pour ce faire, nous avons utilisé les données LiDAR HD de l'IGN. Elles sont disponibles en open source ce qui permet à tout un chacun de manipuler ces nuages de points.

Après avoir téléchargé les dalles qui concernent la Grande Casse (Figure 22), nous avons nettoyé le nuage de points en gardant uniquement les points les plus hauts (au-dessus de 3 800 m) pour alléger le projet.

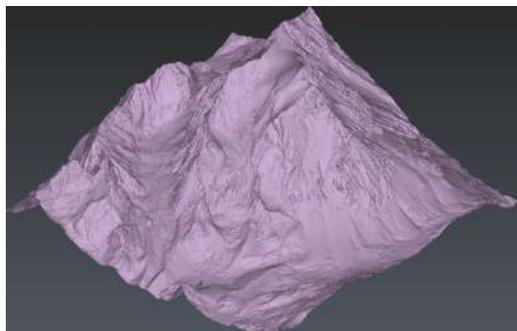


Figure 22 : Nuage de points complet de la Grande Casse

Nous avons ensuite exporté ce nuage de points au format .txt afin de pouvoir le lire dans un tableur.

Nous remarquons que le point le plus haut du nuage de points est situé à 3 855,28 m au-dessus du niveau de la mer. La précision du LiDAR HD de l'IGN est meilleure que 10 cm en Z (RGF93 Lambert 93 IGN69) [13]. Ce résultat est très proche de l'altitude (normale) officielle de la Grande Casse.

Nous pouvons également vérifier notre estimation sur un autre sommet voisin, la pointe Matthews. Elle est située à quelques dizaines de mètres de la Grande Casse. Son altitude est officiellement annoncée à 3 783 m. Encore une fois, dans notre tableur, nous observons que le point du sommet de la pointe Matthews sur le nuage de points est mesuré à 3 783,40 m, ce qui nous donne un écart de 40 cm par rapport à la mesure officielle contrairement à celle de la Grande Casse où il n'est que de 28 cm.

Ces écarts peuvent s'expliquer par la précision du LiDAR (de l'ordre de 10 cm) qui peut accentuer ou diminuer l'altitude de la mesure. Mais d'autres phénomènes entrent en ligne de compte. Il se peut, que lors de la mesure par LiDAR, il restait de la neige au sommet. La mesure n'a donc pas été directement prise sur le rocher qui constitue le réel point culminant de la Savoie.

Nous pouvons donc conjecturer que 3 855 m, au mètre près, constitue l'altitude réelle de la Grande Casse.

### **III.2.2 Mesure du sommet**

Afin de vérifier nos précédents dires, une mission de mesure du sommet a été organisée. Une équipe de six personnes, constituée de Frédéric Burnier Framboret (Géomètre-Expert), Antoine Burnier Framboret (pisteur secouriste), Frédéric Dumont (Géomètre-Expert), Aymeric Richard (géomètre), Farouk Kadded (représentant Leica) et moi-même a été chargée de cette mission. Lors de notre ascension, nous avons été accompagnés par six guides d'Albertville (73) et de Pralognan-la-Vanoise. Du fait de la difficulté actuelle de la partie finale de l'ascension par sa raideur, les guides ont décidé, dorénavant, de ne prendre qu'une seule personne au sein d'une même cordée.

Cette montée au sommet de la Grande Casse s'est déroulée les 5 et 6 juillet 2024. Le 5 a eu lieu la montée jusqu'au refuge du col de la Vanoise pour y passer la nuit. La journée du 6 a été consacrée à la montée, à la mesure et à la redescente de la Grande Casse.

#### **III.2.2.1 Matériel utilisé**

Pour cette mesure et dans le cadre de notre partenariat avec la marque Leica, M. Kadded nous a accompagnés avec un GS18 I. Ce GNSS permet, en plus de mesurer des points en temps réel et en post traitement, de capturer le site en images grâce au capteur photo présent dans la tête.

#### **III.2.2.2 Méthode de mesure utilisée**

Pour mesurer l'altitude du sommet de la Grande Casse, nous avons utilisé la méthode par post traitement statique. Elle permet de calculer les coordonnées d'un point à partir de données brutes observées et enregistrées par plusieurs récepteurs GNSS. Elle procure également les meilleures précisions (de l'ordre du cm) avec des logiciels dédiés [14].

Nous avons stationné pendant deux heures le GNSS (durée minimale obligatoire pour faire officialiser une mesure par l'IGN) sur le point le plus haut du sommet. Avant notre départ, nous avons envisagé deux méthodes de mise en station. La première consistait à simplement planter la canne de 1 m du récepteur dans la neige et de la maintenir verticalement en tassant la neige tout autour. Pour que cette méthode fonctionne, il faut qu'une quantité suffisante de neige soit présente au sommet. En cas de neige trop importante rendant la mesure du caillou lui-même impossible, il faudrait cresser pour l'atteindre. S'il y a trop peu de neige, la canne pourrait ne pas se maintenir à la verticale. La seconde méthode consistait à placer la tête GNSS sur une canne de 2 m maintenue par un porte jalon. Cette

seconde méthode serait difficile à mettre en œuvre si le vent souffle trop fort, ce qui risquerait de faire tomber le récepteur.

Compte tenu de la situation au sommet lors de notre expédition du 6 juillet, nous n'avons pu mettre aucune de ces méthodes en place. Le vent soufflait trop fort pour faire tenir le GNSS sur une canne. Il ne restait également plus de neige au sommet. Nous avons donc dû improviser. Il a été décidé de placer directement la tête du GS18i sur le point le plus haut (Figure 23). La compensation automatique de niveau de la tête GNSS a permis de ne pas altérer les mesures.



Figure 23 : Le GS18i posé sur le point le plus haut de la Grande Casse (Farouk Kadded)

### III.2.2.3 Traitement des données

Une fois les données brutes acquises, les mesures qui concernent l'altitude ont été envoyées à l'IGN afin qu'il puisse les traiter et officialiser l'altitude du sommet de la Grande Casse.

## **IV Préparation du projet Grande Casse**

En tant que coordinateur du projet, cette phase a fait partie intégrante de mon TFE. Ce projet a nécessité beaucoup de travail en amont afin qu'il puisse prendre forme. Il nous tenait à cœur de donner le maximum pour qu'il puisse faire sa place dans le monde des géomètres comme cela est le cas pour la mesure du Mont Blanc.

### **IV.1 Recherche de partenaires**

Le projet Grande Casse est un projet onéreux en raison notamment du coût des prestations des guides, de la réalisation du film et des cibles de photogrammétrie. Cet ensemble d'éléments nous oblige à réunir des partenaires à même de nous fournir un soutien financier en échange de certaines contreparties. Dans le support de présentation que j'ai créé, j'ai inséré un planning et un budget chiffré. J'ai ensuite transmis ce support à bon nombre d'entreprises pouvant être intéressées par ce projet.

J'ai pu me rendre au congrès des Géomètres Experts Rhône-Alpes avec M. Burnier Framboret. Généralement, lors de ces événements les entreprises du monde de la topographie réalisent des stands pour promouvoir leurs innovations. En amont, j'ai imprimé des prospectus afin de les distribuer et d'expliquer le projet aux personnes présentes. J'ai notamment pu le présenter directement à Mme la présidente de l'Ordre des Géomètres Experts.

A l'heure actuelle, nous comptons neuf partenaires qui nous ont permis d'avancer sur notre projet. Cependant, nous n'avons pu clôturer ce budget. Nous espérons qu'après notre expédition au sommet de la Grande Casse, d'autres entreprises auront envie de prendre part à l'aventure.

### **IV.2 Promotion du projet**

En vue de notre recherche de partenaires et de notre envie de faire connaître notre projet, notre profession et notre département, nous avons écrit un communiqué de presse que nous avons envoyé à plusieurs journalistes. Bon nombre d'entre eux ont répondu présents. M. Burnier Framboret a eu l'occasion de parler du projet sur la radio France Bleu, des articles sont parus dans Le Dauphiné Libéré, dans La Savoie et dans Montagne Leaders. Nous avons

eu droit à la première page de la Vie Nouvelle. Une vidéo a également été tournée par le journal Savoie News lors de la journée du 7 juin<sup>1</sup>.

Afin de le valoriser, j'ai souhaité créer une réelle identité autour du projet. J'ai entrepris pour cela de concevoir un logo (Figure 24). Il reprend le drapeau de la Savoie, le glacier des Grands Couloirs et le sommet de la Grande Casse. Il nous permet d'uniformiser nos documents et de marquer l'esprit des personnes.



Figure 24 : Logo du projet Grande Casse avec le drapeau de la Savoie placé sur le plus haut sommet du département

Grâce à ces nombreux articles, nous pourrions mettre en avant notre récente visibilité afin de donner envie à d'autres partenaires de nous rejoindre.

### **IV.3 Journée du 7 juin 2024**

La journée du 7 juin a pris place lors de la semaine des Géomètres Experts organisée par l'UNGE du 3 au 9 juin. Lors de cette semaine, chaque UNGE départementale pouvait promouvoir une action ou un projet afin de mettre en valeur la profession. Dans notre cas, l'UNGE 73 a choisi de communiquer sur le projet Grande Casse.

En tant que coordinateur du projet, j'ai donc eu la tâche d'organiser cette journée de promotion du projet.

Avec M. Burnier Ramboret, nous souhaitons planifier une grande journée de présentation en présence de l'ensemble des cabinets de géomètres adhérents à l'UNGE 73. Nous nous sommes rendus à l'assemblée générale de l'organisation afin d'évoquer notre idée. Les représentants des cabinets étaient tous ravis.

Le projet ayant pour thématique la montagne et l'alpinisme, nous voulions rendre cette journée immersive. C'est pourquoi notre choix de lieu s'est porté sur le refuge du col

---

<sup>1</sup> Annexe 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

de la Vanoise situé au pied du glacier des Grands Couloirs. Il accueille les skieurs et alpinistes lorsqu'ils souhaitent effectuer la montée à la Grande Casse.

Je me suis chargé de prendre contact avec le gardien de ce lieu afin d'organiser la journée et de savoir s'il était possible de réserver le repas pour 100 personnes le midi. Ils ont immédiatement adhéré à notre projet et se sont déclarés enchantés de nous accueillir.

Je me suis ensuite occupé de sonder les cabinets afin d'obtenir le nombre de personnes qui souhaitaient participer à cette journée. Cette étape a nécessité du temps, les Géomètres Experts ayant beaucoup de travail, les réponses par mail se sont étalées sur quelques semaines sans pour autant mettre en péril la réservation définitive du repas au refuge.

Approchant de la semaine des Géomètres Experts, nous avons rencontré un imprévu. En effet, la météo particulièrement atypique du mois de mai n'a pas permis la fonte de la neige sur le chemin qui mène au refuge à 2 500 m d'altitude. Nous avons donc dû identifier une autre option. Nous avons choisi de nous rendre au refuge des Barmettes situé un peu plus bas dans la vallée mais qui possède également une superbe vue sur la Grande Casse. Malheureusement, le refuge ouvrait ses portes pour la saison seulement le 8 juin. Nous avons dû négocier l'ouverture prématurée du restaurant en évoquant le fait que de nombreux journalistes seraient présents pour couvrir l'événement. Nous avons réussi à obtenir l'ouverture du bar et de la terrasse mais pas celle de la cuisine. Pour simplifier les choses nous avons décidé que dorénavant les personnes devraient apporter leur pique-nique.

Après avoir réussi à trouver un endroit propice pour réaliser la journée, j'ai pu établir le programme en indiquant le lieu de rendez-vous et les conditions d'accès au refuge. La montée s'effectue par un petit sentier de montagne nécessitant 1 h de marche. Conscients que certains des géomètres ne sont pas à l'aise en montagne, nous avons cherché une solution permettant à tous, d'accéder au refuge. Le télésiège du Génépi permet de monter depuis le parking des Fontanettes, lieu de rendez-vous du matin, jusqu'au refuge des Barmettes. Cependant, celui-ci aussi n'ouvrait que le lendemain. J'ai donc entrepris de demander à la mairie s'il était possible d'ouvrir pour nous le télésiège pendant une heure le temps que toutes les personnes puissent monter. Nous avons réussi à obtenir l'ouverture du télésiège entre 9 h 30 et 10 h30.

Le jour venu, nous avons tous pu nous rendre au refuge et débiter les présentations<sup>2</sup>. Nous avons été honorés de la présence de M. Herve Gaymard président du conseil départemental et de M. Vincent Rolland député de la deuxième circonscription de la Savoie.

Cette journée s'est très bien passée, nous avons eu de très bons retours de la part de tous les collaborateurs.

## IV.4 Discussions et rencontre avec le PNV

### IV.4.1 Le PNV

Le Parc National de la Vanoise a été créé le 6 juillet 1963, ce qui en fait le premier parc national de France. Il prend place au sein du massif de la Vanoise en Savoie



Figure 25 : Situation du Parc National de la Vanoise (vanoise-parcnational.fr)

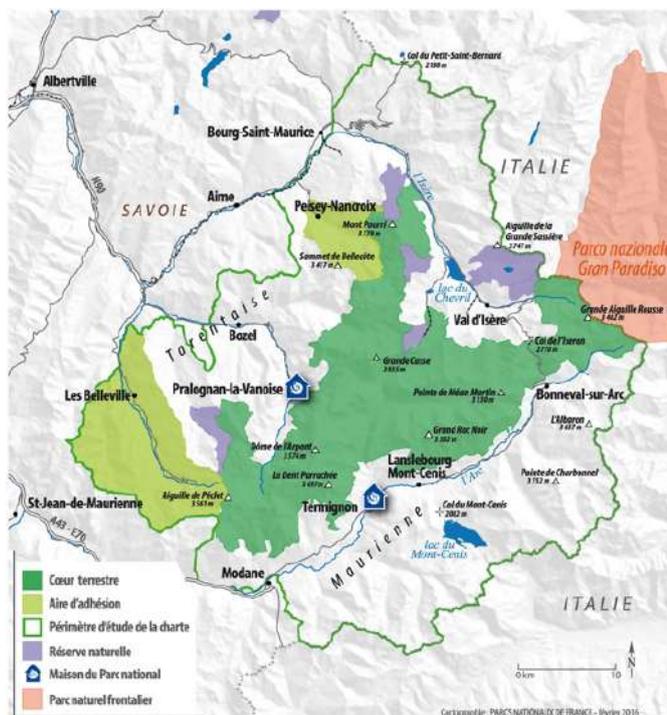


Figure 26 : Emprise du Parc National de la Vanoise (géo.data.gouv)

(Figures 25 et 26). Sa superficie totale est de 534 km<sup>2</sup>, il constitue un formidable terrain de jeux pour ceux qui apprécient la montagne et la nature.

<sup>2</sup> Annexe 1

Le PNV a mis en place une charte et des réglementations strictes afin de préserver son environnement. Par exemple, il n'est pas permis de faire voler des aéronefs en dessous de 1 000 m au-dessus du sol, de réaliser des prises de vues commerciales ou encore d'effectuer des travaux en cœur de parc. Cependant, il est possible d'obtenir des autorisations pour déroger à chacune de ces règles, à condition que la demande soit justifiée.

L'obtention de ces dérogations est obligatoire dans notre projet, étant donné que nous voulons effectuer le lever du glacier par drone, mais également documenter nos mesures. Nous devons indiquer ces éléments dans notre demande d'autorisations.

#### **IV.4.2 Création du dossier de demandes de dérogations**

Comme indiqué précédemment, il est nécessaire de monter un dossier suffisamment solide afin d'obtenir les dérogations qui nous permettraient de mener à bien notre projet.

Tout d'abord, j'ai contacté directement par mail l'administration du PNV afin d'avoir des éclaircissements sur les différents points qui nécessitent une justification. Afin de faciliter les discussions et de pouvoir exprimer chacun de nos arguments, nous nous sommes rendus, avec M. Burnier Framboret et Mme Blanc maire de Pralognan-la-Vanoise, au siège du parc à Chambéry (73).

Beaucoup d'éléments sont ressortis de cet échange, notamment le fait que l'opération qui pose le plus de problème est le vol du drone. Il sera donc bénéfique, dans le dossier, de démontrer la raison pour laquelle cette méthode est la meilleure.

Les personnes avec qui j'ai pu échanger m'ont également informé que les autorisations étaient, en général, données pour des travaux à caractères scientifiques faisant l'objet de mémoire ou de thèse. Il faudra alors exprimer, au sein du dossier, le caractère scientifique de notre projet, mais également expliquer le fonctionnement du TFE afin que le PNV trouve un réel intérêt à ces mesures du glacier.

Le dossier fourni au PNV a été divisé en plusieurs chapitres (Figure 27).

## Table des matières

<i>Préambule</i> .....	3
<i>Chapitre 1. Description du projet</i> .....	4
1.1. Localisation et objectifs.....	4
1.2. La partie scientifique.....	4
1.3. La partie économique et adaptation au changement climatique.....	5
1.4. La partie promotionnelle du territoire.....	5
<i>Chapitre 2. Calcul du plan de vol pour le lever par drone</i> .....	6
<i>Chapitre 3. Incidences du projet sur l'environnement</i> .....	11
3.1. Incidences sur le paysage et le patrimoine.....	11
3.2. Incidences sur les milieux physiques.....	11
3.3. Incidences sur la biodiversité.....	11
3.3.1. Incidence sur la flore.....	12
3.4. Incidences sur la population et la santé.....	12
3.4.1. Activités touristiques.....	12
3.4.2. Biens matériels.....	12
3.5. Incidences sur la santé.....	13
3.5.1. Incidences sur la sécurité publique.....	13
<i>Conclusion</i> .....	14

Figure 27 : Plan du dossier fourni au PNV

Pour débiter, le préambule explique l'origine du projet ainsi que le principe du TFE. Le chapitre 1 est consacré à la présentation du projet en trois parties. Une première partie est dédiée à l'aspect scientifique, une seconde à l'aspect économique et à l'adaptation au changement climatique et enfin, une dernière partie à l'aspect promotionnelle du territoire.

Le chapitre 2 est lui constitué des calculs du plan de vol du drone. Cette partie est très importante, car elle permet de mettre en lumière le faible temps de vol nécessaire à l'opération, mais apporte également une partie plus technique.

Le chapitre 3 comporte une étude d'impact essentielle à la motivation de notre demande. Dans cette étude, nous pouvons retrouver notamment des calculs sur le bruit émis par le drone, mais également son impact sur la faune et la flore.

Nous terminons par une conclusion permettant de clore le dossier et de rappeler les points clés de cette demande.

Avant de transmettre ce dossier écrit par mes soins aux administrateurs du parc, nous avons demandé conseil à des personnes extérieures pour les points à améliorer.

### IV.4.2.1 Le bruit

Ce qui semble être le principal souci dans le parc de la Vanoise concerne la préservation de la faune et de la flore. Les mesures doivent être effectuées sans déranger les différents organismes vivant sur place.

Le bruit émis par le drone est important quand il vole à proximité de personnes ou d'animaux. Cependant, il suit une fonction logarithmique, ce qui veut dire que plus le drone sera haut ou loin, plus le bruit sera atténué. Nous parlons ici d'une atténuation de 6 db à chaque fois que la distance double.

Pour calculer cette atténuation, nous utilisons la formule de Zouboff [15]:

$$\text{Atténuation (en db)} = 23 \times \log\left(\frac{\text{distance nouvelle (en m)}}{\text{distance de référence (en m)}}\right)$$

Hauteur (m)	Bruit émis (db)
60	44
70	43
80	41
90	40
100	39
110	38
120	37

Tableau 7 : Bruit émis en db par rapport à la hauteur de vol en m

Selon la documentation technique fournie par DJI, le constructeur du drone, le Mavic 3 gamme entreprise émet 85 db. Un niveau de 40 db correspond à l’environnement sonore d’un bureau ou d’un appartement tranquille [16]. Ce seuil est atteint à partir d’une hauteur de vol de 90 m (Tableau 7). Certes, nous ne pouvons descendre en dessous de 37 db correspondant à une hauteur de vol maximale légale de 120 m. Cependant, le bruit a considérablement diminué en comparaison des 85 db initiaux. De plus, le vol ne durera que quelques heures pour limiter la gêne.

#### IV.4.2.2 Points clés de la demande de dérogation

Notre demande de dérogation s’appuie sur deux modalités clés présentes dans la charte du PNV. Elles pourraient nous permettre d’obtenir l’autorisation de survol en cœur de parc.

Ce projet a été mis en place suite à la fonte du glacier des Grands Couloirs, qui a pour conséquence la difficulté accrue de l’accès à la Grande Casse. L’ouverture d’une nouvelle voie d’accès permettrait de passer outre ce problème en empruntant un itinéraire différent.

##### Modalité 33 relative au survol

I. – Le directeur peut délivrer des autorisations dérogatoires individuelles de survol du cœur du parc à une hauteur inférieure à 1 000 mètres du sol des aéronefs motorisés :

- 1° Pour les missions de service public réalisées par l’établissement public du parc national ou pour son compte, les missions scientifiques, les missions publiques de couverture photo-aérienne ;
- 2° Pour les besoins des travaux autorisés, de la maintenance d’équipements d’intérêt général et le ravitaillement des alpages et des refuges.

L’autorisation dérogatoire individuelle peut comprendre des prescriptions relatives à l’itinéraire et au couloir de vol, à l’altitude, au lieu de pose, au nombre et à la fréquence des rotations, et précise notamment les périodes et lieux.

Figure 28 : Modalité 33 relative au survol en coeur de parc (vanoise-parcnational.fr)

##### Modalité 22 relative aux travaux, constructions et installations pour l’aménagement et l’entretien des espaces, sites et itinéraires destinés à la pratique des sports et loisirs de nature non motorisés

II. – Les travaux liés à la pratique de l’alpinisme peuvent être autorisés lorsqu’ils ont pour objet d’installer des dispositifs facilitant la progression des alpinistes en situation d’autonomie ou leur permettant de s’assurer afin de contourner un obstacle récent sur un itinéraire classique ou d’emprunter une voie nouvelle dont la création est imposée par un changement de terrain.

Figure 29: Modalité 22 relative aux travaux en coeur de parc (vanoise-parcnational.fr)

La modalité 33 I. – 1° (Figure 28) explique que le directeur du parc peut délivrer des autorisations de survol pour les besoins de travaux approuvés.

La modalité 22 II. (Figure 29) indique que des travaux liés à la pratique de l'alpinisme peuvent être autorisés lorsqu'ils ont pour objet d'installer des dispositifs permettant de s'assurer afin de contourner un obstacle récent sur un itinéraire classique.

La voie des Grands Couloirs étant l'itinéraire principal pour monter au plus haut sommet de Savoie, il est possible d'obtenir une autorisation de travaux pour contourner la dernière partie très raide du glacier.

En nous appuyant sur ces deux modalités, il sera donc possible d'obtenir l'autorisation de survol qui nous permettra de modéliser les Grands Couloirs dans un délai de 5 mois après dépôt de notre dossier. L'absence de réponse passée ce laps de temps signifiera que notre demande a été refusée [17].

## Conclusion

Dans ce mémoire, nous avons pu montrer comment mettre en place la mesure pérenne du glacier des Grands Couloirs ainsi que la méthode de lever utilisée pour déterminer l'altitude de la Grande Casse. La mesure de ce sommet a eu lieu le 6 juillet. Sa réalisation tardive est due aux conditions météo, aux disponibilités des guides et du refuge. Cette opération ne nécessite aucune autorisation particulière, contrairement à la modélisation du glacier. En effet, le fait que le glacier soit situé dans le PNV nous a particulièrement compliqué la tâche. L'obtention d'autorisations dérogatoires de la part du Parc est un procédé qui prend du temps. Cependant, les discussions sont toujours en cours et en bonne voie dans l'optique de pouvoir mesurer, une unique fois, le volume du glacier en compagnie des élèves du lycée du Nivolet de la Ravoire. A l'heure actuelle, nous n'avons pu mettre en évidence des résultats concrets car la mission n'a pas encore été réalisée sur le terrain.

Après avoir étudié et comparé différentes méthodes d'auscultations de glaciers, et en tenant compte des contraintes du terrain, il a été démontré que la méthode par photogrammétrie aérienne était la plus adaptée à notre cas d'étude. Cette technique nous permet d'atteindre notre objectif de précision de lever de l'ordre de 10 cm. Ensuite, des recommandations concernant le vol du drone, la position, le nombre et l'installation des cibles de géoréférencement ont été élaborées. Par ailleurs, un travail approfondi sur l'étude de la charte du PNV a permis de mettre en évidence les points clés afin de motiver les demandes de dérogations dans le dossier que j'ai rédigé et soumis au parc. En combinant notamment les deux modalités évoquées précédemment, il sera possible d'effectuer la mise en place des cibles et de mesurer une première fois, par drone, le glacier. La pérennité de la mesure du glacier des Grands Couloirs par drone n'est pas encore acquise. Le PNV soutient que le projet ne revêt pas un caractère suffisamment scientifique pour attribuer des autorisations de survol tous les deux ans car il n'est pas porté par des laboratoires scientifiques reconnus. Sans soutien de la part de laboratoire comme EDYTEM ou IGE, les futures mesures peuvent d'ores et déjà être abandonnées. Nous espérons que par le rayonnement qu'aura ce projet sur le public, nous pourrions obtenir ce soutien.

La méthode développée dans ce rapport permettra aux élèves et aux guides d'effectuer la première modélisation du glacier. Je serai tout de même présent pour superviser les différentes phases du projet comme la mise en place des cibles par les guides.

Ce projet a permis de réunir autour d'un même événement, l'ensemble des géomètres savoyards, les élus du département, de la commune de Pralognan-la-Vanoise ainsi que nos partenaires. Par ce projet, nous souhaitons avant tout mettre en valeur la profession de géomètre et les paysages de Savoie. Cela semble chose faite. Grâce à notre action du 7 juin 2024, de nombreux journaux savoyards ont rédigé des articles sur cette mesure. De plus, le film qui sera réalisé prochainement montrera une autre facette de la profession au travers de cette magnifique aventure, à la fois humaine et scientifique.

## Bibliographie

1. Francou B, Vincent C. Les glaciers à l'épreuve du climat. IRD Edition. 2007. 274 p. (Référence).
2. Cook SJ, Jouvét G, Millan R, Rabatel A, Zekollari H, Dussaillant I. Committed Ice Loss in the European Alps Until 2050 Using a Deep-Learning-Aided 3D Ice-Flow Model With Data Assimilation. *Geophys Res Lett* [Internet]. déc 2023 [cité 9 avr 2024];50(23). Disponible sur: <https://hal.science/hal-04381073>
3. IGN. 3533 est tignes pralognan-la-vanoise. 1985.
4. Glossaire des glaciers | Réseau des relevés glaciologiques suisse GLAMOS [Internet]. Glossaire des glaciers | Réseau des relevés glaciologiques suisse GLAMOS. [cité 4 juill 2024]. Disponible sur: <https://swiss-glaciers.glaciology.ethz.ch/fr/glossaire>
5. Données des Alpes [Internet]. Service d'Observation GLACIOCLIM. [cité 21 juin 2024]. Disponible sur: <https://glacioclim.osug.fr/Donnees-des-Alpes>
6. Garnier R. Suivi des variations du glissement du glacier d'Argentière par GPS haute fréquence [Internet] [other]. Institut des sciences de la terre (ISterre), 1381 rue de la Piscine, 38610 Gières; 2017 [cité 20 févr 2024]. p. 67. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01835477>
7. Singh VP, éditeur. *Encyclopedia of snow, ice and glaciers*. Dordrecht: Springer; 2011. 1253 p. (Encyclopedia of earth sciences series).
8. Hopkinson C, Demuth M, Sitar M, Chasmer L. Applications of airborne LiDAR mapping in glacierised mountainous terrain. In: *IGARSS 2001 Scanning the Present and Resolving the Future Proceedings IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat No01CH37217)* [Internet]. Sydney, NSW, Australia: IEEE; 2001 [cité 3 avr 2024]. p. 949-51. Disponible sur: <http://ieeexplore.ieee.org/document/976690/>
9. *Photogrammétrie par drone d'un petit glacier de montagne - Mise au point et application d'un protocole assurant la reproductibilité de levés répétés à intervalles saisonniers et interannuels*. 2018;
10. Poli D, Casarotto C, Strudl M, Bollmann E, Moe K, Legat K. USE OF HISTORICAL AERIAL IMAGES FOR 3D MODELLING OF GLACIERS IN THE PROVINCE OF TRENTO. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci*. 14 août 2020;XLIII-B2-2020:1151-8.
11. *cours\_6\_7\_8.pdf* [Internet]. [cité 17 août 2024]. Disponible sur: [https://par.moodle.lecnam.net/pluginfile.php/891742/mod\\_resource/content/0/cours\\_6\\_7\\_8.pdf](https://par.moodle.lecnam.net/pluginfile.php/891742/mod_resource/content/0/cours_6_7_8.pdf)
12. *Drone : règles de pilotage à respecter* [Internet]. [cité 17 août 2024]. Disponible sur: [https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F35675/0\\_1](https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F35675/0_1)
13. *LiDAR HD Version 1.0 - Descriptif technique*. 2022;

14. Post-traitement – AFT [Internet]. [cité 22 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.aftopo.org/lexique/post-traitement/>
15. Bruit et vibrations : les moyens pour atténuer les émissions sonores [Internet]. [cité 17 août 2024]. Disponible sur: <http://www.onas.nat.tn/Ar/image.php?id=268>
16. guide-decibels.pdf [Internet]. [cité 23 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.journee-audition.org/pdf/guide-decibels.pdf>
17. Autorisation de travaux en cœur de Parc | Parc national de la Vanoise [Internet]. [cité 17 août 2024]. Disponible sur: <https://www.vanoise-parcnational.fr/fr/parc-national-de-la-vanoise/demarches-administratives/autorisation-de-travaux-en-coeur-de-parc>

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation du glacier des Grands Couloirs et du sommet de la Grande Casse (geoportail.gouv.fr) .....	7
Figure 2 : Luc Moreau et le roue de vélo sous le glacier d'Argentière (Luc Moreau).....	10
Figure 3 : Descente du BLK2GO à l'intérieur du Grand Moulin (leica-geosystems.com).....	10
Figure 4 : Modélisation du glacier Peyto par LiDAR aéroporté (Hopkinson et al.,2001).....	11
Figure 5 : Grands Couloirs août 1948 (remonterletemps.ign.fr) .....	14
Figure 6 : Grands Couloirs septembre 1986 (remontterletemps.ign.fr).....	14
Figure 7 : Grands Couloirs août 2006 (remonterletemps.ign.fr) .....	14
Figure 8 : Grands Couloirs septembre 2008 (remonterletemps.ign.fr).....	14
Figure 9 : Grands Couloirs août 2012 (remonterletemps.ign.fr) .....	14
Figure 10 : Grands Couloirs juillet 2022 (geoportail.gouv.fr).....	14
Figure 11 : Profil altimétrique de la pente terminale du glacier des Grands Couloirs (geoportail.gouv.fr) .....	15
Figure 12 : Zone à lever (géoportail.gouv.fr) .....	16
Figure 13 : Illustration du recouvrement longitudinal et transversal .....	17
Figure 14 : Illustration de la base longitudinale et transversale.....	18
Figure 15 : Emprise du lever et zone de départ .....	21
Figure 16 : Emprise du lever et chemin du drone .....	22
Figure 17 : Positionnement théorique des cibles sur les parois rocheuses .....	22
Figure 18 : Cible de photogrammétrie qui sera fixée sur le fer à béton.....	23
Figure 19 : Fer à béton (sinnet.fr) .....	23
Figure 20 : Vis de fixation en U (amazon.fr).....	23
Figure 21 : Le sommet de la Grande Casse vu depuis la station de Tignes (Max Guinchart).....	24
Figure 22 : Nuage de points complet de la Grande Casse .....	25
Figure 23 : Le GS18i posé sur le point le plus haut de la Grande Casse (Farouk Kadded).....	27
Figure 24 : Logo du projet Grande Casse avec le drapeau de la Savoie placé sur le plus haut sommet du département .....	29
Figure 25 : Situation du Parc National de la Vanoise (vanoise-parcnational.fr) .....	31
Figure 26 : Emprise du Parc National de la Vanoise (géo.data.gouv).....	31
Figure 27 : Plan du dossier fourni au PNV .....	33
Figure 28 : Modalité 33 relative au survol en coeur de parc (vanoise-parcnational.fr .....	34
Figure 29: Modalité 22 relative aux travaux en coeur de parc (vanoise-parcnational.fr).....	34

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des méthodes d'auscultations, X : impossibilité, degré de faisabilité allant de -- (difficile) à ++ (facile). .....	13
Tableau 2 : Taille pixel sol, base longitudinale, base transversale, nombre de bandes, nombre de clichés par bande, nombre total de clichés et distance totale à parcourir en fonction de la hauteur de vol.....	18
Tableau 3 : Temps de vol en min en fonction de la vitesse en m/s et de la distance en m. ....	19
Tableau 4 : Effet de filé en pixel pour une vitesse de 7 m/s .....	20
Tableau 5 : Effet de filé en pixel pour une vitesse de 10 m/s .....	20
Tableau 6 : Effet de filé en pixel pour une vitesse de 12 m/s .....	20
Tableau 7 : Bruit émis en db par rapport à la hauteur de vol en m.....	34

## Table des annexes

Annexe 1 : Journée de présentation du projet Grande Casse du 7 juin 2024 lors de la semaine des Géomètres Experts (Max Guinchart) .....	43
Annexe 2 : Article de journal et vidéo concernant le projet Grande Casse (savoie-news.fr) .....	44
Annexe 3 : Article de journal concernant le projet Grande Casse (francebleu.fr) .....	45
Annexe 4 : Article de journal concernant le projet Grande Casse (Le Dauphiné Libéré) .....	46
Annexe 5 : Article de journal concernant le projet Grande Casse (La Savoie) .....	47
Annexe 6 : Une du magazine la vie nouvelle concernant le projet Grande Casse (La Vie Nouvelle) .....	48
Annexe 7 : Article de journal concernant le projet Grande Casse paru au lendemain de l'expédition au sommet (Le Dauphiné Libéré) .....	49

**Annexe 1 : Journée de présentation du projet Grande Casse du 7 juin 2024 lors de la semaine des Géomètres Experts (Max Guinchard)**



Cette image a été prise lors de la présentation du projet au refuge des Barmettes en compagnie des élèves du lycée du Nivolet, des géomètres savoyards et des élus du départements et de Pralognan-la-Vanoise.

## Annexe 2 : Article de journal et vidéo concernant le projet Grande Casse (savoie-news.fr)

# SAVOIE NEWS

L'actualité avec vous.

Pour la recherche  
c'est par ici !

A LA UNE

SPORT

CULTURE/LOISIRS

ÉCONOMIE

SOCIÉTÉ

AGENDA



Le 07/06/2024 à 20:00

## **Savoie** Nouvelle route d'accès à la Grande Casse : un projet étudiant innovant

Dans le cadre de la Semaine des Géographes Experts, un étudiant propose de créer une nouvelle voie d'accès à la Grande Casse est prévu pour son projet de fin d'études.

L'objectif est de faciliter l'accès tout en respectant les impératifs écologiques et de durabilité.

Le projet combine études géographiques et technologies modernes pour une solution innovante au bénéfice des chercheurs, des touristes et des communautés locales, tout en faisant découvrir le métier de géographe

Cet article est également accompagné d'une vidéo qui suit entièrement la journée de présentation du projet du 7 juin 2024 avec notamment des interviews. <https://www.savoie-news.fr/reportages/>

**Annexe 3 : Article de journal concernant le projet Grande Casse  
(francebleu.fr)**

ENVIRONNEMENT

# **La Grande Casse, le plus haut sommet de Savoie va avoir droit à sa modélisation par drone**

 Pralognan-la-Vanoise

De [Anabelle Gallotti](#)

Vendredi 7 juin 2024 à 6:37

Par [France Bleu Pays de Savoie](#)



## **La Grande Casse en Vanoise qui culmine sur nos vieilles cartes IGN à**

Cet article paru sur France bleu, explicite le projet et en annonce également les étapes. Il a été accompagné d'un passage à la radio de M. Burnier Ramboret pour présenter plus en détail ce que nous souhaitons effectuer. <https://www.francebleu.fr/>

## Annexe 4 : Article de journal concernant le projet Grande Casse (Le Dauphiné Libéré)

Le Dauphiné Libéré  
Samedi 8 Juin 2024

Votre région Politique & Territoires | 7

Pralognan-la-Vanoise | Champagny-en-Vanoise

### Les géomètres-experts s'intéressent au plus haut sommet de la Savoie

Les 5 et 6 juillet, les géomètres-experts de Savoie vont mesurer le sommet de la Grande Casse. Une initiative qui leur permettra également de modéliser le glacier des Grands Couloirs et la paroi rocheuse pour découvrir de nouvelles voies d'accès.

Dans le Parc national de la Vanoise, à cheval sur les communes de Pralognan-la-Vanoise et Champagny-en-Vanoise, la Grande Casse constitue le point culminant de la Savoie. Comme pour le mont Blanc en Haute-Savoie, le syndicat des géomètres-experts 73 a décidé de mesurer le sommet du massif de la Vanoise. Un événement imaginé dans le cadre de la semaine nationale des géomètres-experts (du 3 au 9 juin). « C'est très symbolique, indique Frédéric Burnier Framboret, PDG de MesurAlpes et maire d'Albertville. C'est l'occasion de mettre en lumière notre profession. La dernière

mesure de la Grande Casse date d'une vingtaine d'années. On ne devrait pas avoir de surprises sur la hauteur, c'est un caillou. Mais on vise une précision au centimètre. » - Ce sera plus une mesure de communication », confirme Max Guinchard, étudiant à l'École supérieure d'ingénieurs géomètres et topographes (Le Mans) et coordinateur du projet.

#### « Trouver de nouvelles voies d'escalade »

Elle sera effectuée les 5 et 6 juillet prochains. « On posera notre station au GPS au sommet, explique le jeune homme de 22 ans. On mesurera pendant près de deux heures, tout en prenant les coordonnées GPS des sommets alentour. On devrait avoir un résultat précis dans les jours qui suivent. » Ce projet va également permettre de mieux connaître le glacier des Grands Couloirs, situé sur la face sud-ouest de la Grande Casse. « Jusqu'alors, on



Le projet de mesure de la Grande Casse a été présenté ce vendredi 7 juin. Archives photo Le DL/Thierry Guillot

pouvait monter toute l'année, explique Frédéric Burnier Framboret. Mais avec la fonte du glacier, les pentes se raidissent et des crevasses se forment. De juillet à octobre, on ne peut plus y accéder en ski de randonnée. »

L'objectif sera de réaliser une modélisation du glacier des Grands Couloirs et de la paroi rocheuse. « On pourra ainsi identifier les passages compliqués et trouver de nouvelles

voies d'escalade qui étaient empruntées auparavant, complète l'édile. C'est un travail que l'on mène en partenariat avec le bureau des guides d'Albertville. À terme, l'idée serait d'équiper une nouvelle voie sans pour autant en faire une via ferrata. Elle serait réservée à des personnes aguerries accompagnées de professionnels. » Pour réaliser ce nouvel itinéraire par les crêtes qui permettra aux guides d'avoir une activité continue

tout au long de l'année, il faudra obtenir des autorisations spéciales du parc de la Vanoise. Mais Frédéric Burnier Framboret n'est pas inquiet. « Le but du parc c'est de protéger la nature, l'environnement, mais également l'écosystème qui y travaille, dont font partie les guides. » Cette opération permettra également d'évaluer l'évolution du glacier des Grands Couloirs, puisque le projet a pour intention de le modéliser, via un drone, de façon périodique. Des modélisations successives qui pourront être comparées afin d'évaluer sa perte volumique, et ainsi obtenir des éléments de prédictions.

« On aimerait pouvoir fournir toutes ces données scientifiques à des chercheurs ou des universités qui seraient intéressés », conclut Frédéric Burnier Framboret. Un film documentaire sera réalisé à des fins pédagogiques pour laisser un témoignage de cette aventure.

● Jérôme Pena

**Critérium du Dauphiné**  
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES  
DU 2 AU 9 JUIN 2024

**NON. LES COUREURS N'ONT PAS BESOIN D'UN COUP DE MAIN**

AU PASSAGE DES COUREURS LA SÉCURITÉ, C'EST L'AFFAIRE DE TOUS.

#Dauphiné

La Région  
Auvergne-Rhône-Alpes

LCL

ODIMYS

SKODA

SAVOIE MONT BLANC

Starbini

LE DAUPHINÉ

SAVOIE

franceinfo

41434000

SAVOIE

# Annexe 5 : Article de journal concernant le projet Grande Casse (La Savoie)

Tarentaise

LA SAVOIE  
Jeudi 13 juin 2024 11

## Le « projet Grande Casse » dévoilera l'altitude du plus haut sommet de Savoie

C'est le 7 juin, durant la Semaine nationale des géomètres-experts, que le « projet Grande Casse » a été dévoilé : une nouvelle campagne de mesures, prévue en juillet, du plus haut sommet de Savoie, et notamment le recul du glacier et son épaisseur.

TARENTAISE/VANOISE

**A**fin de célébrer la Semaine nationale des géomètres-experts, l'Union de la profession (Unge, Union nationale des géomètres-experts de Savoie) avait convié le public en altitude, à Pralognan-la-Vanoise, pour dévoiler son « projet Grande Casse ». L'objectif ? Réaliser en juillet une nouvelle campagne de mesures du plus haut sommet de Savoie.

Une expédition prévue les 5 et 6 juillet

La Grande Casse se situe au cœur du Parc national de la Vanoise, sur trois communes : Pralognan-la-Vanoise à l'ouest, Champagny-en-Vanoise au nord et Val-Cenis au sud.

Max Guinchard, qui coordonne ce projet pour l'Unge 73, explique que « le projet Grande Casse » effectuera les 5 et 6 juillet, avec six géomètres et six guides. L'objectif est de réaliser une mesure du plus haut sommet savoyard, et aussi de mobiliser le glacier des Grands Couloirs afin de visualiser son évolution. Avec le réchauffement climatique, l'accès au sommet devient problématique ; cela permettra également de visualiser les pertes, dans le but de trouver une nouvelle zone d'accès ».

Des étudiants intégrés au projet Grande Casse

Le projet a également intégré des élèves du lycée du Nivolet, en BAC Pro Technicien Géomètre Topographe. Ces derniers ont étudié les conditions de vol de photogram-



Vendredi 7 juin, lors de la présentation du « projet Grande Casse » au refuge des Barmettes.

métrie pour un drone. La zone est interdite, cependant une demande de dérogation est possible. En effet, au cœur du parc national, l'engin volant pourrait être nocif pour la faune : envoi des oiseaux (éché de reproduction), attaques de rapaces, blessures des volatiles ou endommage-

ment du drone. En effet, dans la zone, quatre espèces ont pu être observées : l'aigle royal, le chocard à bec jaune, le vautour fauve et le tétras lyre.

À l'inverse du mont Blanc, dont le sommet est en glace et dont on mesure les fluctuations tous les deux ans, la Grande Casse présente une

zone sommitale rocheuse. Son altitude, actuellement estimée à 3 855 m, ne devrait pas varier de beaucoup de centimètres.

Mesurer l'impact du changement climatique

L'autre mesure attendue est celle du glacier des Grands

Couloirs. « En été, c'est une course qui se fait en 1,5 jour, explique Jean-Pierre Favre, du bureau des guides. La première demi-journée permet de rejoindre le refuge du Col de la Vanoise, à 2 517 m. Le lendemain, vers 4 heures du matin, on commence par longer le pied de la Grande Casse, puis c'est une course glacière, en crampons,

par la voie normale des Grands Couloirs. Ce n'est pas un sommet déboulonné : la pente est raide, surtout la partie médiane avant le col, avec une pente à 45 degrés. La difficulté se concentre à la descente ; il faut bien savoir cramponner. L'ascension est devenue compliquée avec la fonte du glacier ».

LOREN HERRERO

### Projet de fin d'études, la mise en place de mesures pérennes

Max Guinchard est étudiant à l'École supérieure d'ingénieurs géomètres et topographes. Son sujet de fin d'études a porté sur la mise en place de mesures pérennes du glacier des Grands Couloirs, incluant la mesure de la Grande Casse. Ce sujet a été impulsé par Frédéric Burnier Rambrot, géomètre expert et maire d'Albertville. Début juillet, le jeune homme et cinq géomètres, tous encadrés avec un guide, vont monter au sommet de la Grande Casse. « Je vais installer un GPS en stabilité durant deux heures. Les données seront ensuite en-



Max Guinchard est étudiant géomètre.

coyées à l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière). Ces données GPS par satellite et celles des stations altimètre rendront possible une mesure au centimètre près. Le vol du drone pourrait se dérouler en septembre. Les images prises permettront d'avoir un modèle numérique de terrain ».

### Une ascension contrariée par le réchauffement

Jean-Pierre Favre a obtenu son diplôme de guide en 1972. Il exerce encore son activité au bureau des guides de Pralognan-la-Vanoise. L'accompagnateur expérimenté est aussi l'un des trois seuls guides à compter plus de 2 000 ascensions de la Grande Casse. « Avant, dans les années 90-95, on montait la Grande Casse jusqu'en septembre. Aujourd'hui la course s'effectue entre le 15 juin et le 15 juillet. La langue glacière a énormément reculé et laisse apparaître des rochers, des zones empierrées menées par le glacier. Il y a de perpétuelles chutes de pierres et le reste du



Jean-Pierre Favre, guide de haute montagne.

glacier est très souvent en glace. L'ascension peut se faire uniquement quand il reste de la neige d'hiver, en rive droite ; après ce n'est plus faisable. Dans les années 2000, l'itinéraire a déjà été adapté », explique le guide. Il devrait retourner au sommet début juillet afin d'accompagner les géomètres.

### Un sommet en « Terre d'alpinisme »

Le territoire Cœur de Vanoise, formé par les communes de Pralognan-la-Vanoise, Le Planay et Champagny-en-Vanoise, s'étend sur 195 km<sup>2</sup> au cœur du massif de la Vanoise. Il a été labellisé « Terre d'alpinisme » en août 2022.

« En plus des trois communes, on compte également le Club alpin français Vanoise Tarentaise et le bureau des guides de Pralognan-la-Vanoise. Cette distinction, reconnue au patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'Unesco, permet de communiquer et d'être crédibles. La dynamique de territoire a permis d'instaurer des cycles d'escalade dans les écoles. Plusieurs événements culturels et sportifs ont déjà eu



Théo Claude est coordinateur du label « Terre d'alpinisme ».

lieu. Le prochain rendez-vous est fixé du 28 au 30 juin avec le Camp Vanoise, un festival d'escalade à Pralognan-la-Vanoise. Et plusieurs projets sont en réflexion sur le territoire : une via ferrata dans les gorges de Balandaz, ou encore une sille de bloc à Champagny-en-Vanoise, en lien avec le pôle France de cascade de glace », indique Théo Claude, président du CAF Vanoise Tarentaise.

**Annexe 6 : Une du magazine la vie nouvelle concernant le projet Grande Casse (La Vie Nouvelle)**



Une du magazine la vie nouvelle concernant le projet Grande Casse et nous allouant une double page.

## Annexe 7 : Article de journal concernant le projet Grande Casse paru au lendemain de l'expédition au sommet (Le Dauphiné Libéré)

Montagne

### DL Le plus haut sommet de Savoie a gagné 23 centimètres: La Grande Casse culmine à 3 855,23 mètres

C'est une première dans l'histoire de La Grande Casse. Ce samedi 6 juillet, six géomètres-experts ont atteint le plus haut sommet de Savoie pour déterminer sa nouvelle mesure officielle : 3 855,23 mètres d'altitude, soit 23 centimètres en plus par rapport à la dernière estimation.

Juliette Bernard - 07 juil. 2024 à 18:44 | mis à jour le 07 juil. 2024 à 18:44 - Temps de lecture : 2 min



Dans cet article nous retrouvons l'annonce de l'altitude du sommet. Cependant, il ne s'agit pas l'altitude calculée par post traitement. Il est également annoncé que la Grande Casse aurait « gagné » 23 cm. Nous ne sommes pas en mesure de dire si elle a gagné ou perdu en altitude depuis la dernière mesure. <https://www.ledauphine.com/>

## **Mise en place d'une méthode de mesure pérenne du glacier des Grands Couloirs et mesure du sommet de la Grande Casse.**

**Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Paris 2024**

---

### **RESUME**

Le réchauffement climatique impacte très fortement la fonte des glaciers. Le but de ce travail a été d'étudier les différentes techniques d'auscultations glacières et de mettre en place celle qui semble être la plus propice à notre cas d'étude avec les contraintes liées à la localisation du glacier des Grands Couloirs au sein du Parc National de la Vanoise. La mise en place et la pérennisation de la méthode par photogrammétrie aérienne permettra un suivi pluriannuel du glacier des Grands Couloirs. La comparaison des nuages de points acquis au fil des années montrera l'évolution de ce glacier et aidera les guides dans leur recherche d'une nouvelle voie d'accès au sommet de la Grande Casse. La mesure centimétrique de la Grande Casse a permis de mettre en lumière la profession de géomètre expert et de promouvoir le département de la Savoie.

**Mots clés : glacier, sommet, Grande Casse, photogrammétrie aérienne, nuage de points.**

---

### **SUMMARY**

Global warming is having a major impact on glacier melt. The aim of this work was to study the different glacier monitoring techniques and to implement the one that seemed to be the most suitable for our case study, considering the constraints linked to the location of the Grands Couloirs glacier within the Vanoise National Park. The implementation and perpetuation of the aerial photogrammetry method will enable multi-year monitoring of the Grands Couloirs glacier. The comparison of point clouds acquired over the years will show the evolution of this glacier and help guides in their search for a new access route to the Grande Casse summit. The centimetric measurement of Grande Casse has highlighted the profession of surveyor and promoted the Savoie department.

**Key words : glacier, summit, Grande Casse, Drone, aerial photogrammetry, point cloud.**