

**CENTRALE  
LYON**

ÉCOLE CENTRALE LYON

UE MOS

MOS 9.1 - VISUALISATION INTERACTIVE DE DONNÉES  
RAPPORT

---

## AlpineMelt

---

*Élèves :*  
Thibaut DEJEAN

*Enseignant :*  
Romain VUILLEMOT

13 mars 2025

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Données disponibles</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Visualisation</b>	<b>6</b>
3.1	Maquette papier . . . . .	6
3.2	Résultats . . . . .	7
3.3	Limites de la visualisation . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>10</b>

# 1 Introduction

Avec l'accélération du réchauffement climatique au cours des dernières années, de nombreux éléments et paysages naturels subissent des modifications majeures. Parmi eux, les glaciers sont sûrement l'un des principaux marqueurs du réchauffement climatique. Leur fonte s'est largement accentuée au cours du siècle passé, pour atteindre des niveaux critiques en 2025. Si cela est vrai à l'échelle de la planète, c'est en particulier visible pour les glaciers proches des zones urbanisées, comme ceux du massif alpin.

Afin de comprendre pleinement le mécanisme de fonte, il est dans un premier temps nécessaire de définir ce que sont les glaciers. Un glacier est une masse de glace formée par l'accumulation, la compression et la recristallisation de la neige sur une longue période. Il s'écoule lentement, comme une rivière de glace, modelant le paysage à travers l'érosion et le transport de matériaux rocheux. Les glaciers se trouvent principalement dans les hautes montagnes et les régions polaires, où les températures permettent leur préservation. Ils jouent un rôle clé dans le cycle de l'eau et le climat global, mais subissent actuellement un recul accéléré en raison du réchauffement climatique.

Depuis plus d'un siècle, les chercheurs ont mesuré l'importance des glaciers, et ont commencé à pratiquer des relevés de masse, de volume et de surface des glaciers du massif alpins. Ces relevés permettent aujourd'hui de voir l'importance et la vitesse de la réduction des glaciers.

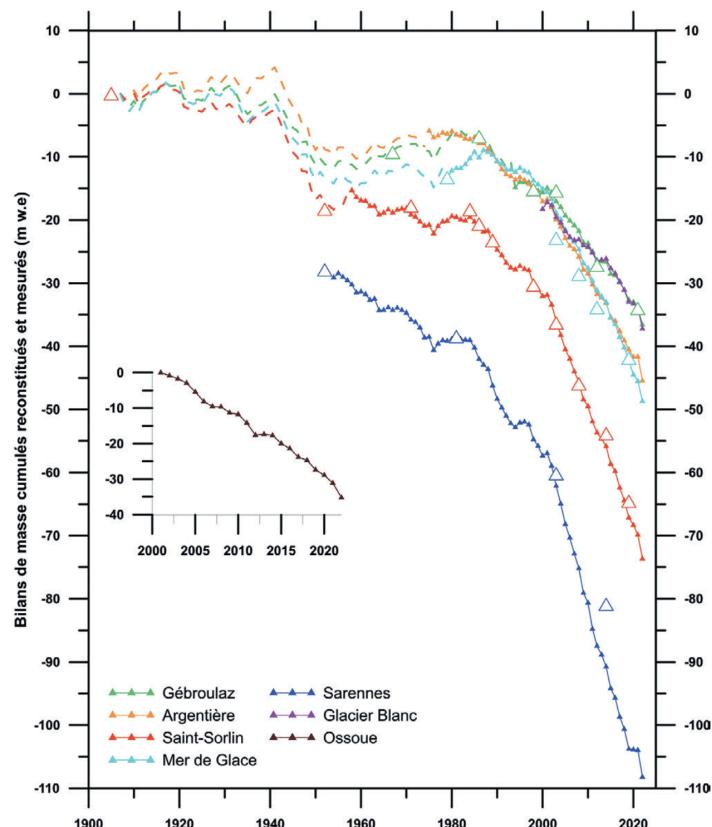


FIGURE 1 – Évolution de la masse glaciaire de glaciers des Alpes françaises

La Figure 1 montre bien l'effet du réchauffement climatique notamment dans les 50 dernières années, sur le bilan de masse des glaciers, l'un des indicateurs clés pour visualiser leur fonte.

Le contexte dans lequel s'inscrit ce travail de visualisation est donc celui de la fonte des glaciers du massif alpins et des ses vecteurs.

## 2 Données disponibles

Afin de visualiser de manière complète la fonte des glaciers alpins, la base de données de référence est la base de données GLIMS (*Global Land Ice Measurements from Space*) [1] qui contient des relevés satellites des surfaces glacières à l'échelle du globe. Idéalement, afin de visualiser la fonte des glaciers, il faudrait observer leur variation de masse. Néanmoins, ces relevés sont très complexes à pratiquer sur un grand nombre de glaciers. Pour remédier à ce problème, et afin de créer une base de données complète, les chercheurs à l'origine de la base de données GLIMS ont utilisé des images satellites pour tracer les contours des glaciers.

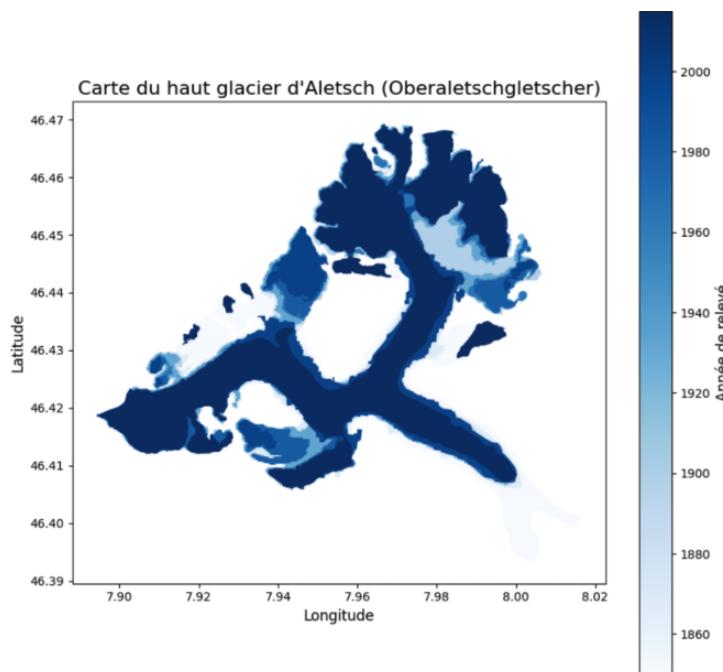


FIGURE 2 – Évolution des contours du haut glacier d'Aletsch entre 1850 et 20215, à partir des données GLIMS

La base de données GLIMS contient donc pour chaque glacier identifié par un identifiant RGI (*Randolph Glacier Inventory*), les contours du glacier, potentiellement à plusieurs dates, comme on peut le voir sur la figure 2. Cette base de données mentionne également les débris en surface, et les roches internes :

- Les contours des glaciers correspondent aux limites visibles de la masse glaciaire, souvent marquées par des crevasses, des moraines latérales et frontales, ainsi que

des zones d'ablation où la glace fond.

- Les débris en surface, sont des matériaux rocheux (cailloux, graviers, blocs) transportés et déposés par le glacier. Ils proviennent de l'érosion des parois rocheuses et peuvent influencer la vitesse de fonte en absorbant la chaleur solaire.
- Les roches internes sont des fragments emprisonnés dans la glace, arrachés au substrat rocheux lors du déplacement du glacier. Elles contribuent à l'érosion du sol sous-jacent en agissant comme du papier de verre, formant des stries et des vallées glaciaires.

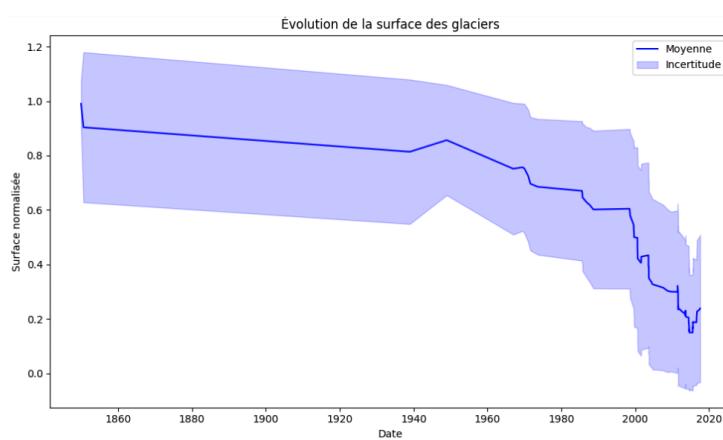


FIGURE 3 – Évolution de la surface des glaciers du massif alpin, à partir des données GLIMS, entre 1850 et 2020

La Figure 3 confirme que la surface des glaciers est un bon indicateur de la fonte des glaciers. On retrouve en effet l'allure des courbes de la figure 1, avec un baisse globale de la surface, avec une accélération à cours des 50 dernières années.

Enfin, afin de compléter notre étude sur la visualisation de la fonte des glaciers et de ses vecteurs, un autre paramètre est important à étudier : la vitesse des glaciers. La vitesse des glaciers correspond à la vitesse à laquelle ils s'écoulent sous l'effet de la gravité. Ce déplacement dépend de plusieurs facteurs (pente, épaisseur, température interne...). La base de données GLIMS ne fournissant pas d'information sur la vitesse, nous utiliserons la base de données [2] également obtenue à partir d'images satellites.

La vitesse d'un glacier influence directement sa fonte en modifiant l'exposition de la glace aux conditions climatiques. Un glacier qui se déplace rapidement amène en surface de la glace plus ancienne, qui peut fondre plus vite si les températures sont élevées. De plus, une vitesse accrue favorise la friction avec le substrat, générant de la chaleur et augmentant la présence d'eau liquide à la base, ce qui accélère encore la fonte. À l'inverse, un glacier plus lent a tendance à accumuler plus de neige en altitude, limitant en partie son recul face au réchauffement climatique.

Les Figures 4 et 5 présentent les relevés de vitesse issues de [2]. La distribution des valeurs de vitesse étant centrée sur des valeurs faibles, on appliquera une transformation

logarithmique pour l'affichage de la vitesse sous forme de heatmap.

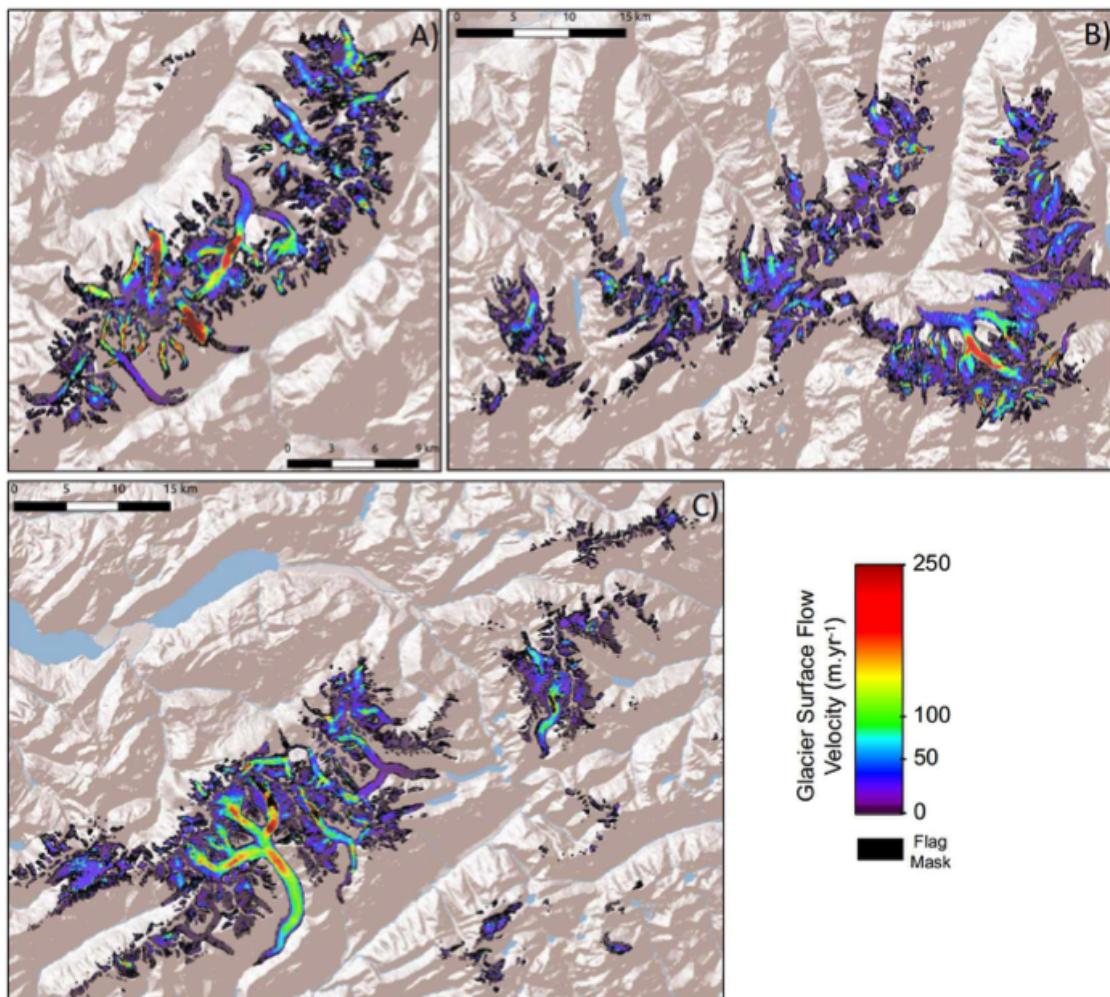


FIGURE 4 – Exemples de projection de relevés de vitesse sur carte, issue de [2]

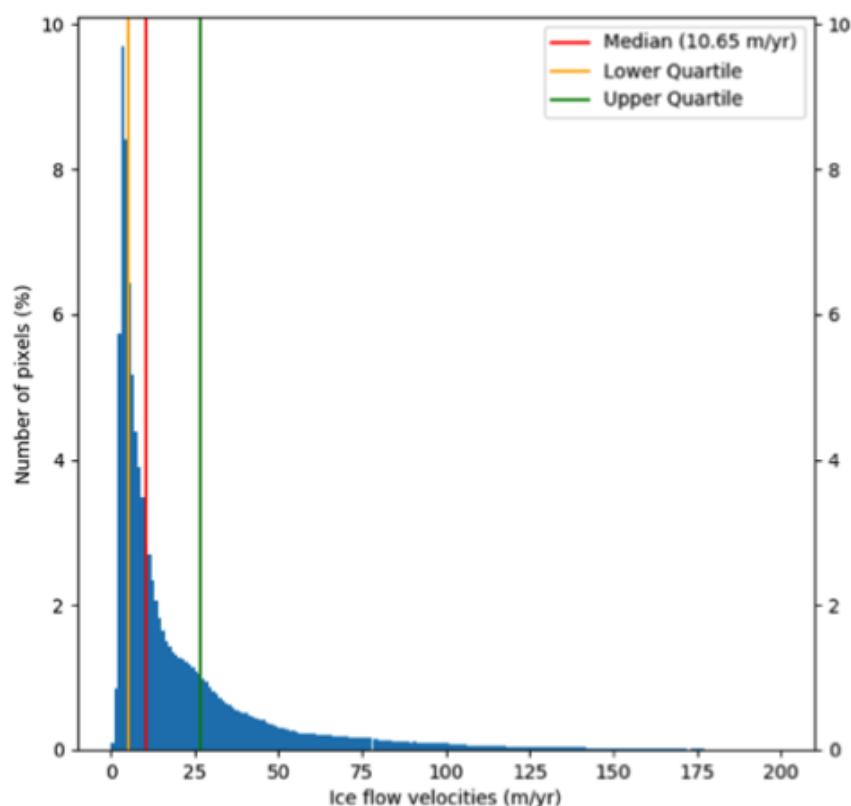


FIGURE 5 – Distribution des valeurs de vitesse, issue de [2]

## 3 Visualisation

### 3.1 Maquette papier

Dans un premier temps, avant de réaliser le travail de visualisation, une maquette papier a été réalisée afin de lister les objectifs, définir un design, et mentionner les outils. La figure 6 présente cette maquette.

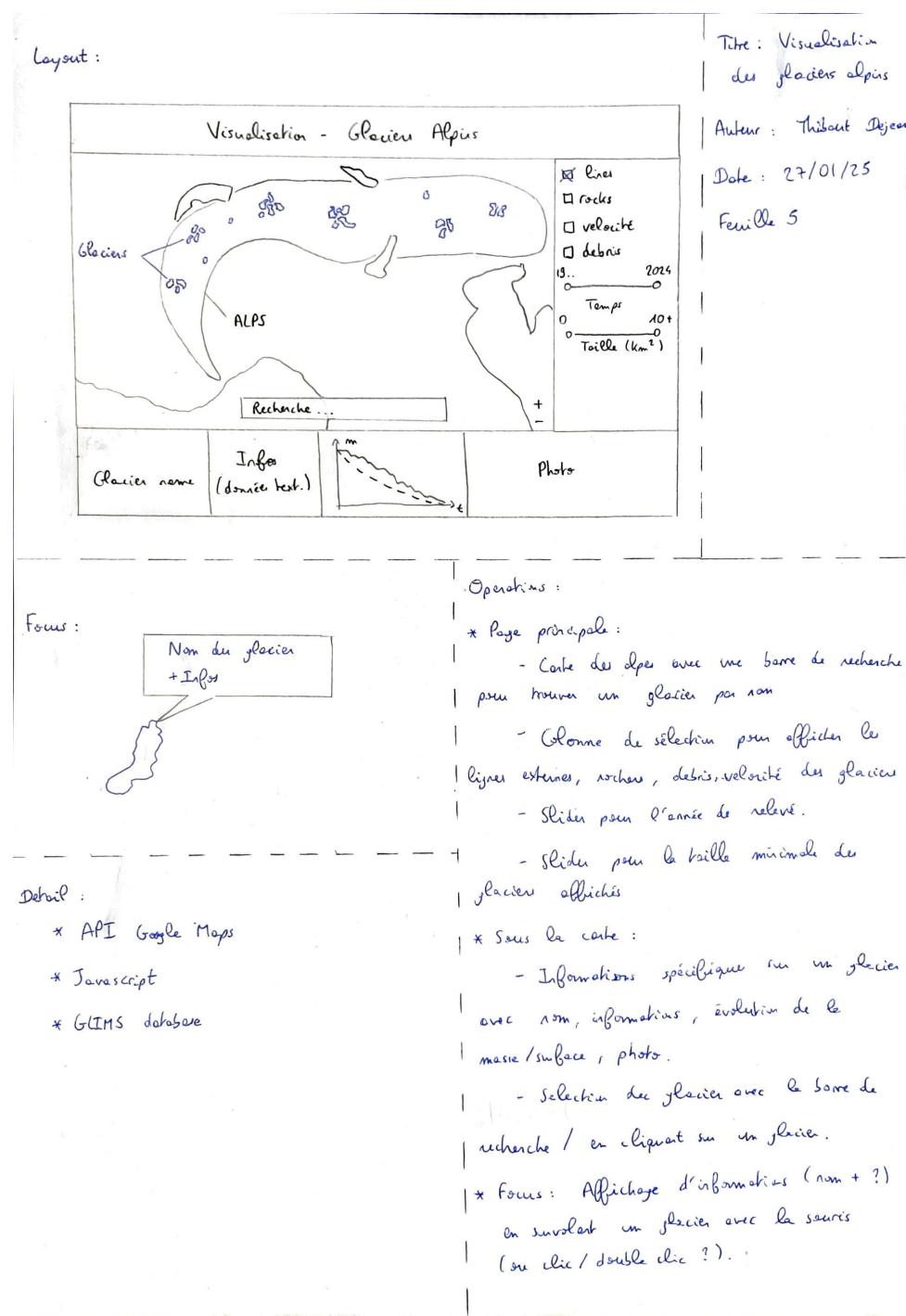


FIGURE 6 – Maquette papier de la visualisation

## 3.2 Résultats

Le résultat du travail de visualisation est un site internet, disponible à l'adresse URL : <https://thibautdejean.github.io/alpinemelt.github.io/>.

Le site se présente de la façon suivante (Figure 7), avec une barre de titre, une carte affichée grâce à l'API Google Maps, une barre de recherche, et une colonne de selection de filtres pour l'affichage sur la droite. La carte est centrée sur les Alpes pour simplifier

l'utilisation.



FIGURE 7

L'utilisateur peut sélectionner les éléments à afficher sur la carte à l'aide de la colonne de sélection sur la droite. En survolant les carrés, l'utilisateur peut afficher un tooltip indiquant des informations sur l'élément (Figure 8).



FIGURE 8

Après avoir sélectionné la catégorie "Lignes", l'utilisateur peut chercher un glacier avec la barre de recherche ou cliquer directement dessus. Cela ouvre un tooltip sur le glacier, affichant des informations sur le nom, la taille et la dernière date de relevé. Une bande d'information s'ouvre également en bas de la fenêtre, reprenant ces informations, et affichant la courbe d'évolution de la surface du glacier sélectionné (Figure 9).

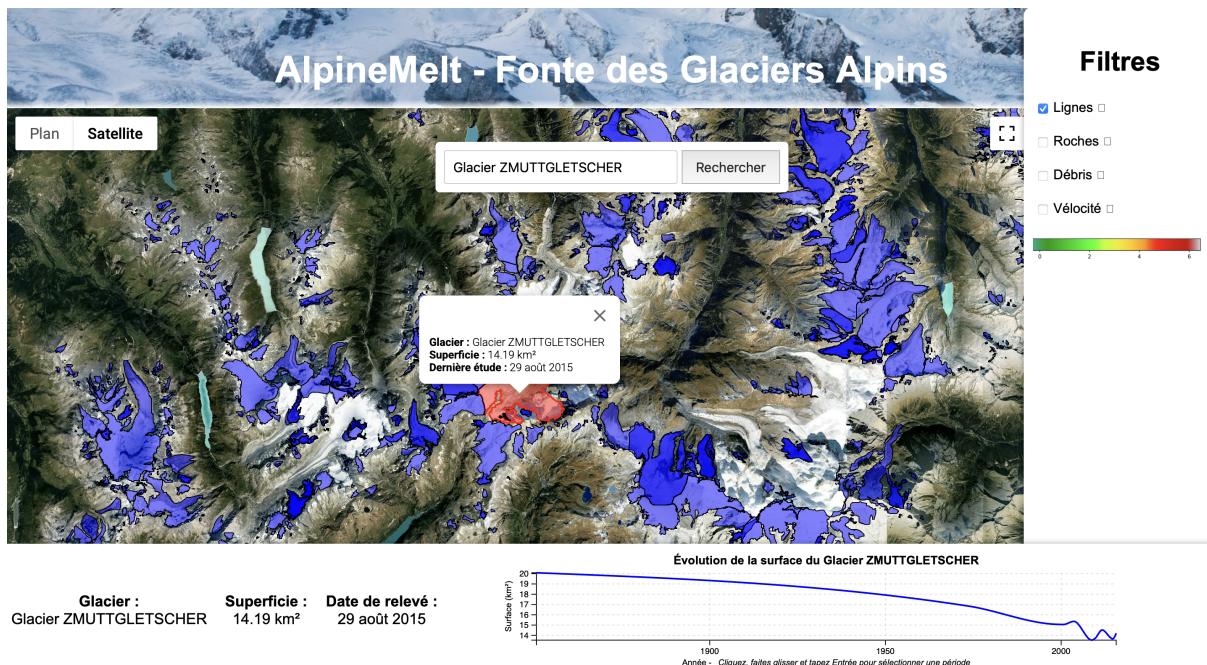


FIGURE 9

En sélectionnant les filtres "Débris" et "Roches", l'utilisateur peut également visualiser les débris à la surface des glaciers et les roches internes, comme on peut le voir sur la figure 10.

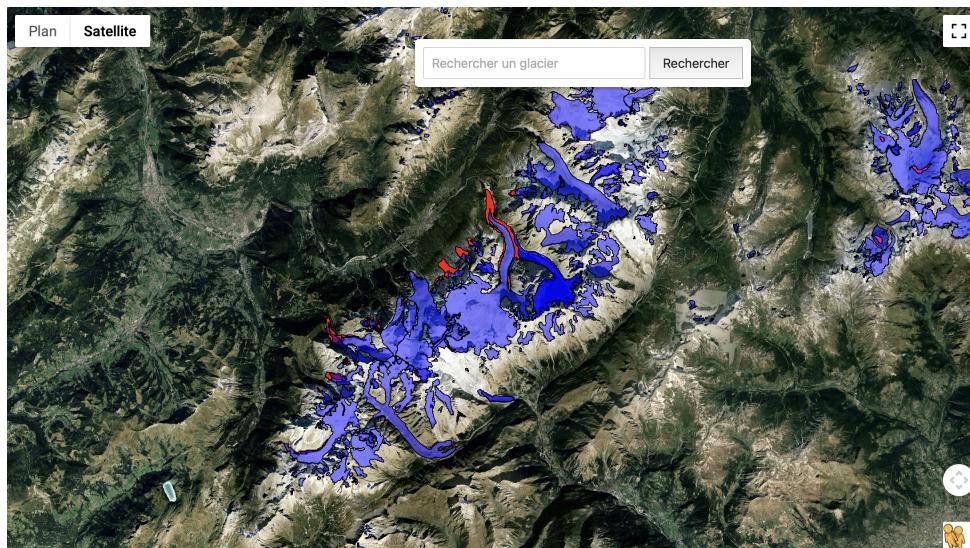


FIGURE 10

Enfin, l'utilisateur peut afficher la vitesse en cliquant sur la checkbox correspondante (Figure [site\_velo]). L'échelle placée sur la droite permet d'avoir la valeur de la vitesse logarithmique en m/an.

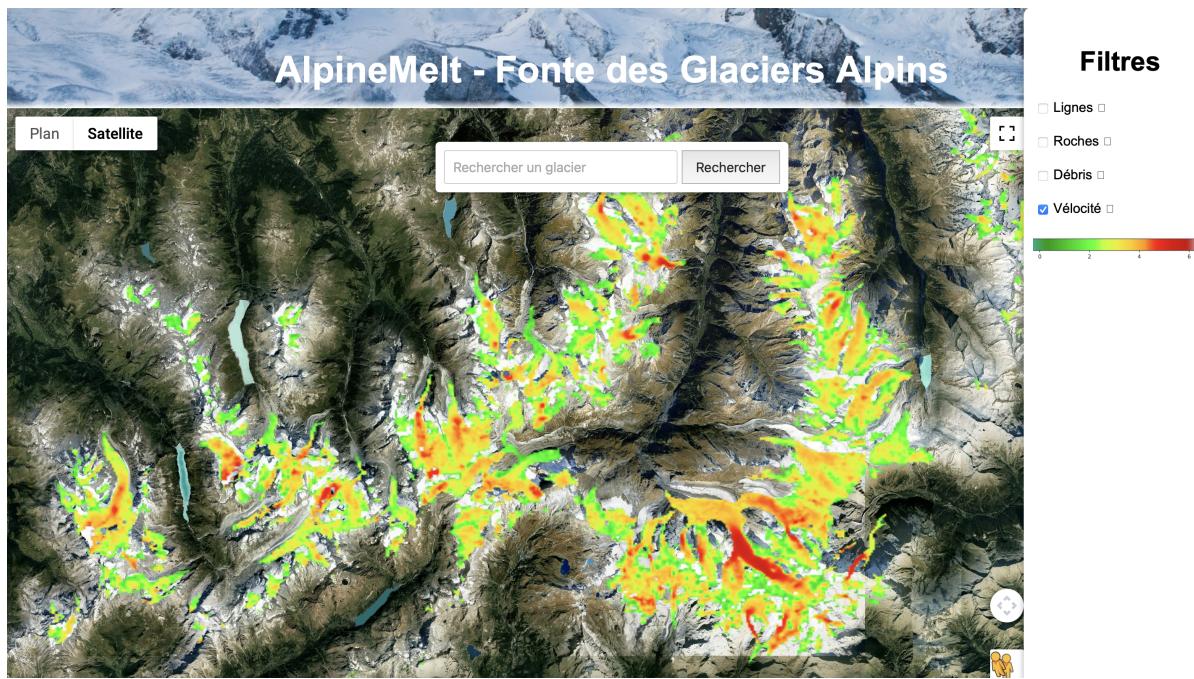


FIGURE 11

### 3.3 Limites de la visualisation

Le travail de visualisation réalisé a été fait afin de retranscrire au mieux les données disponibles, cependant, il se heurte à 2 limites principales.

La base de données GLIMS fournit les contours des glaciers à différentes dates. Cependant, pour plusieurs glaciers, on ne dispose que d'un relevé. Afin d'y remédier, nous avons essayé de retrouver les contours pour d'autres dates avec une méthode d'extrapolation. Cependant, la forme particulière, imprédictible et unique de chaque glacier rend ce travail très complexe.

Disposer de plus de données ou d'une méthode d'extrapolation fonctionnelle aurait pu permettre à l'utilisateur de visualiser directement sur la carte l'évolution des contours des glaciers, ce qui aurait été une mode de visualisation de la fonte très efficace et représentatif.

La seconde problématique est issue des données de vitesse, qui sont à l'origine d'un bug connu de la visualisation. En effet, il y a un décalage entre la position réelle des glaciers et des cartes de vitesse. Malgré des tentatives pour retrouver la projection utilisée et les positions exactes, nous n'avons pas pu assurer une superposition parfaite.

## 4 Conclusion

En conclusion, le travail réalisé permet de visualiser les données liées à la fonte des glaciers alpins de manière complète et interactive. Ce projet montre l'impact du réchauffement climatique récent sur les glaciers, ainsi que les facteurs clés influençant également leur fonte.

## Références

- [1] J S (jeffrey Stuart) KARGEL. *Global land ice measurements from space*. en. Sous la dir. de Jeffrey S KARGEL et al. 2014<sup>e</sup> éd. Geophysical Sciences. Berlin, Germany : Springer, juill. 2014.
- [2] Antoine RABATEL et al. *Annual glacier surface flow velocity product from Sentinel-2 data for the European Alps*. Version V1. 2023. DOI : 10.57745/XHQ7TL. URL : <https://doi.org/10.57745/XHQ7TL>.