



FESTIVAL
INTERNATIONAL
DE GÉOGRAPHIE
de Saint-Dié-des-Vosges

35^e édition

4, 5 & 6 oct.
2024

TERRITOIRE INVITÉ
LES ALPES

terres

Entretenir et améliorer la cartographie des glaciers



Entretenir et améliorer la cartographie des glaciers



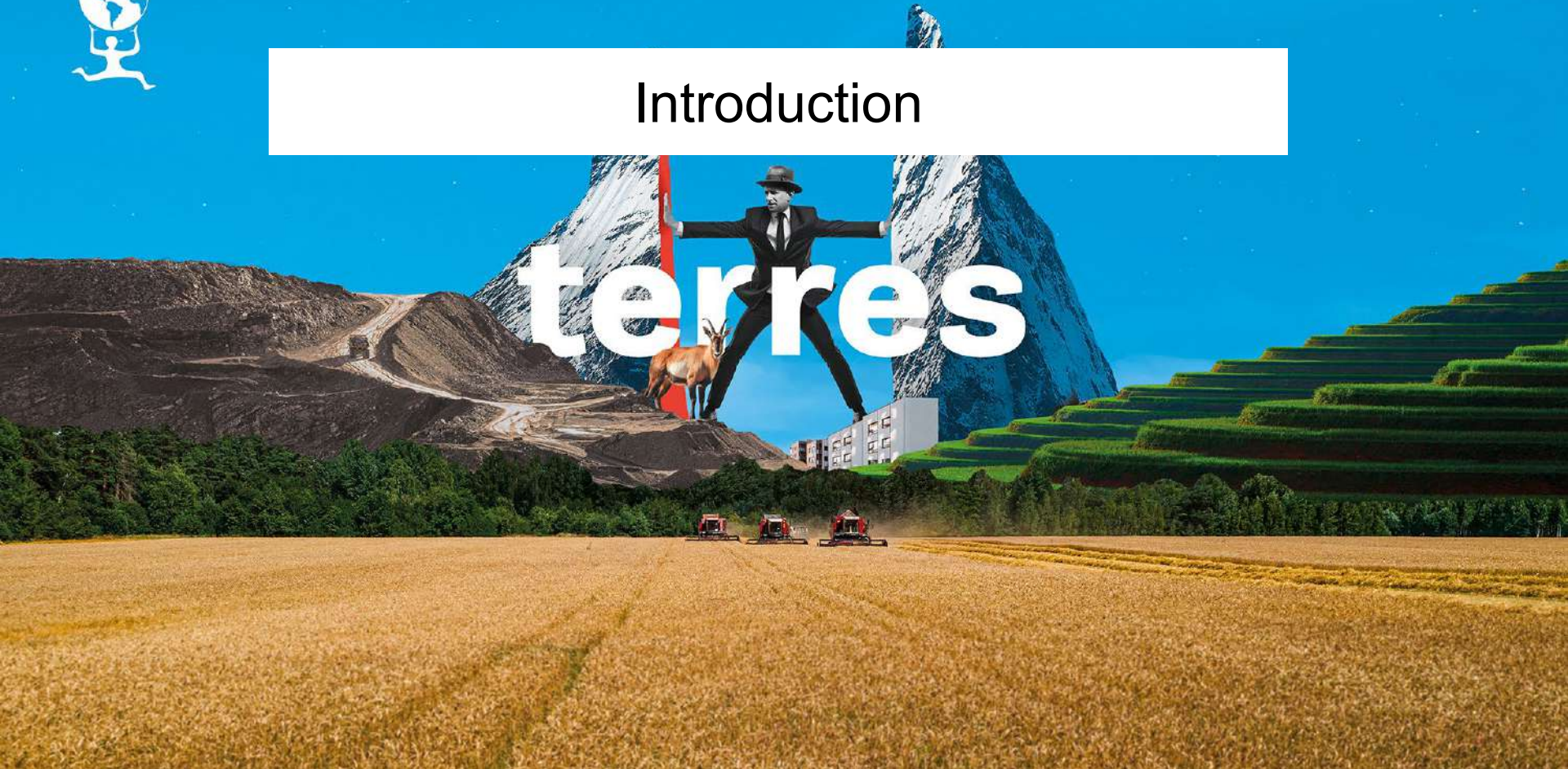
Sofiane KRIAT

Chargé de produit cartographie numérique, IGN



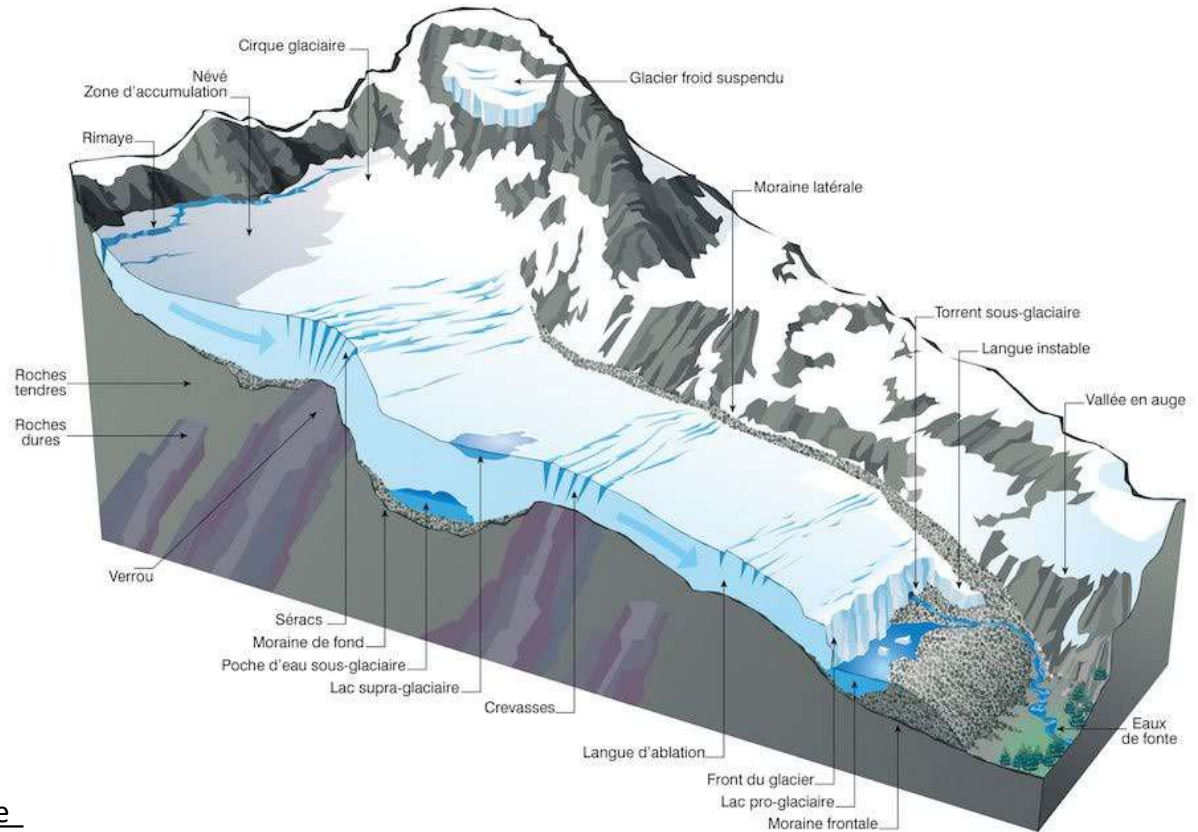
Introduction

terres



Lexique du glacier

Nevés, séracs, moraine...



Les différentes couches d'un glacier ©Graphithèque

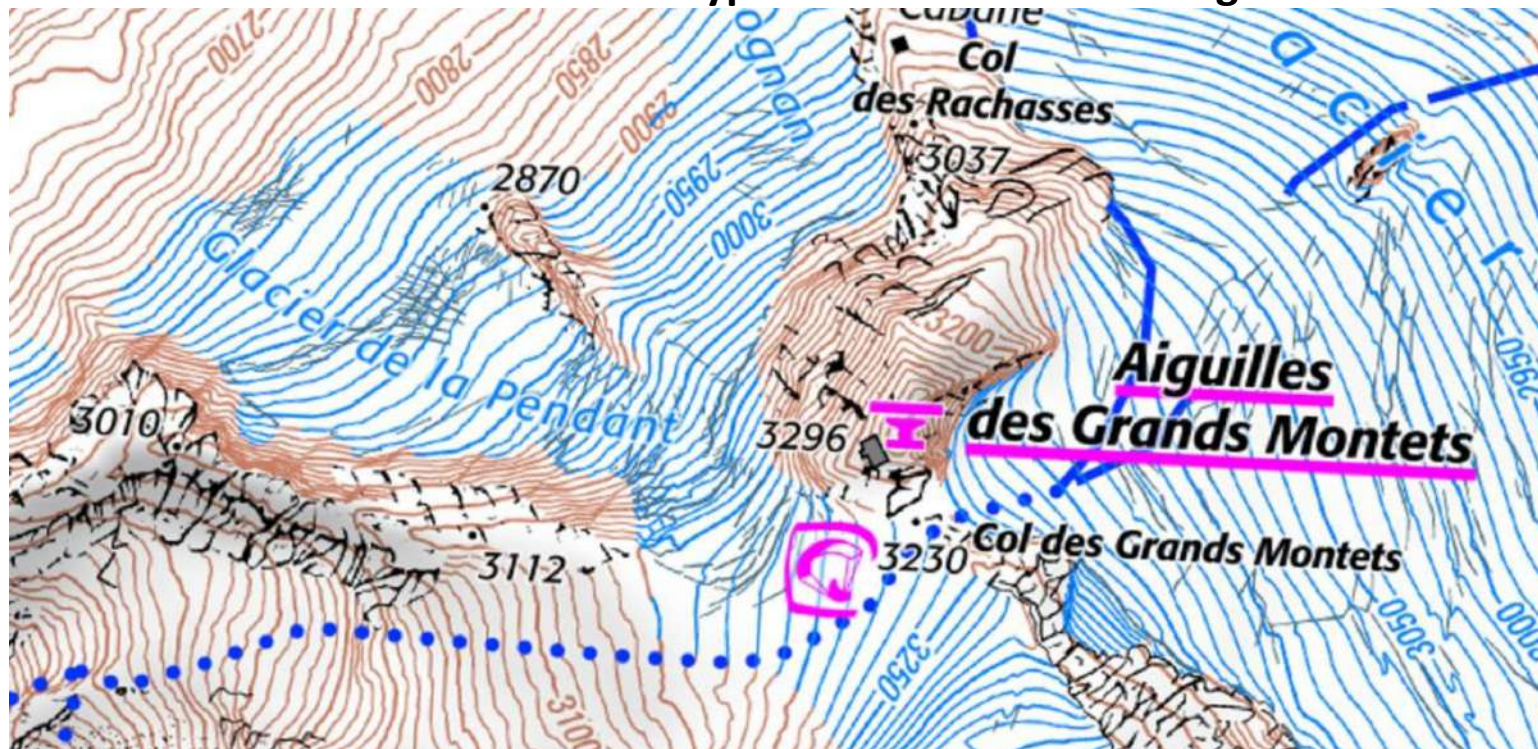
Spécifications de la carte IGN au 1 : 25 000 Type 2010 en haute montagne

Aiguille des
Grands
Montets –
Haute Savoie



Spécifications de la carte IGN au 1 : 25 000 Type 2010 en haute-montagne

Aiguille des
Grands
Montets –
Haute Savoie

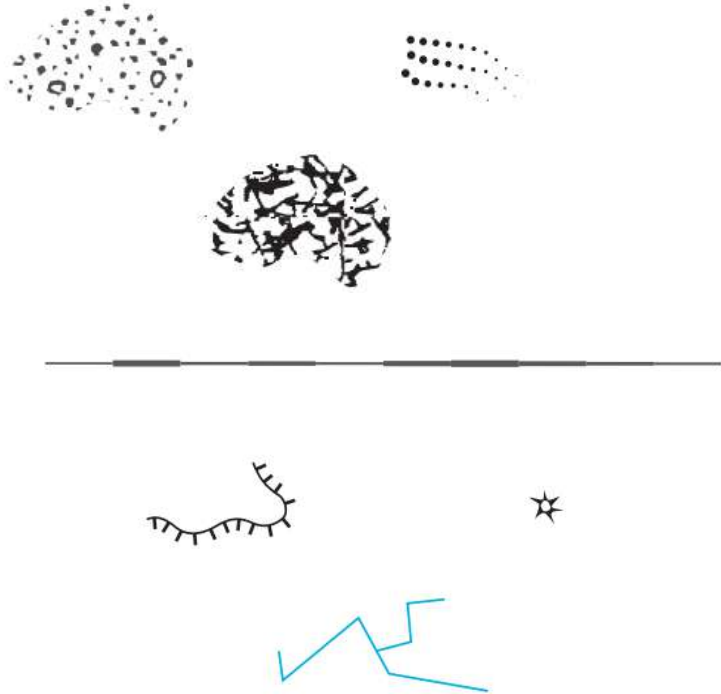


Spécifications de la carte IGN au 1 : 25 000 Type 2010 en haute montagne

Ce qu'on représente sur les cartes topographiques IGN :

- Les courbes de niveaux avec les cotes dans le sens de la pente
- Les zones de glaciers et névés permanents (aplat blanc, courbes de niveau bleues)
- Les crevasses
- Les zone de séracs.
- Les talus glaciaires
- Les zones d'éboulis qui viennent recouvrir le glacier
- Les lacs glaciaires visibles sur les photos aériennes.

Spécifications de la carte IGN au 1 : 25 000 Type 2010 en haute montagne



Éboulis et moraine. Coulée d'éboulis

Rochers : en zone sèche

Ligne descriptive en zone rocheuse

Barre rocheuse isolée. Bloc rocheux isolé

Sérac, crevasse

Spécifications de la carte IGN au 1 : 25 000 Type 2010 en haute montagne



Courbe : normale, maîtresse



Courbe : intercalaire, sous-intercalaire



Courbe de glacier : normale, maîtresse



Courbe de glacier : intercalaire, sous-intercalaire

- Courbes maîtresses tous les 50/100 mètres (suivant le relief)
- Courbes normales tous les 10/20 mètres (suivant le relief)
- Courbes intercalaires (2,5 / 5 m si utile pour décrire le paysage)

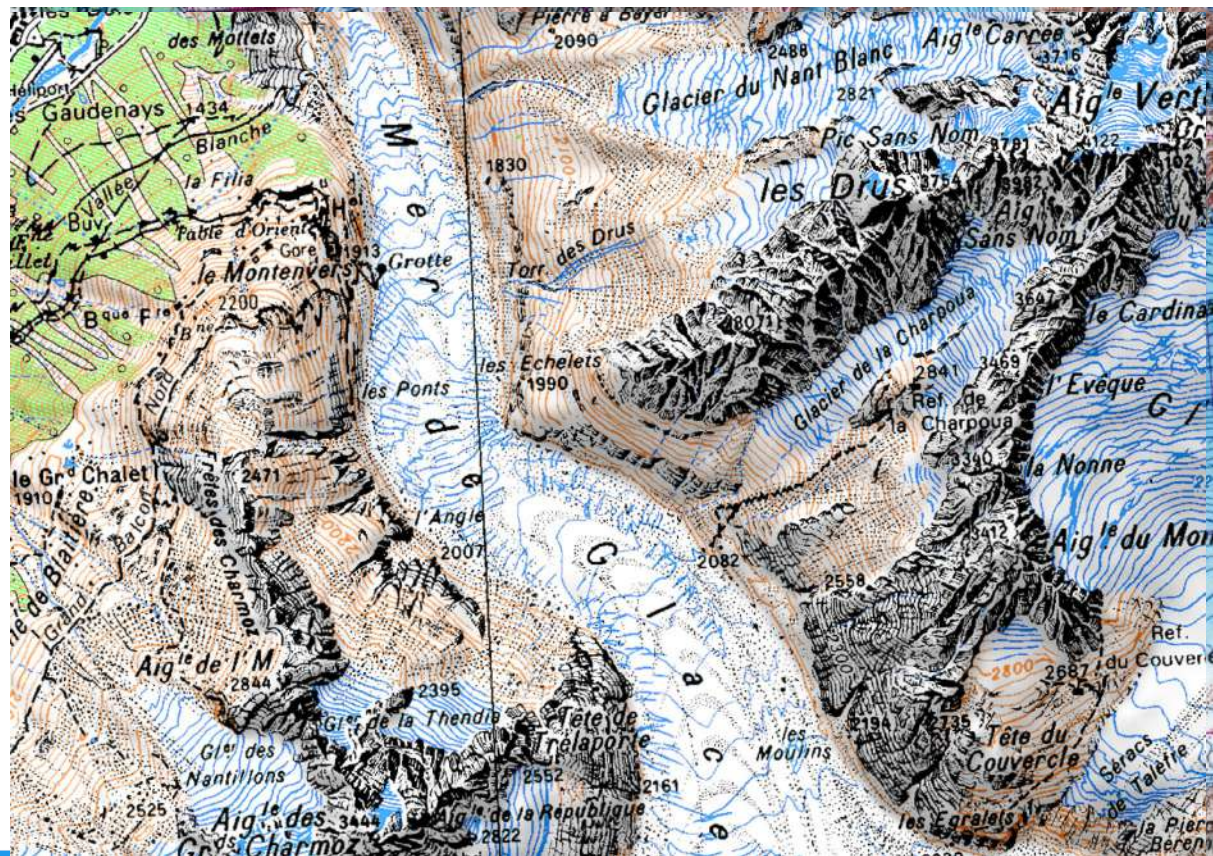
Evolution des cartes L'exemple de la Mer de Glace

Carte de l'IGN au 1 :50 000 de 1950



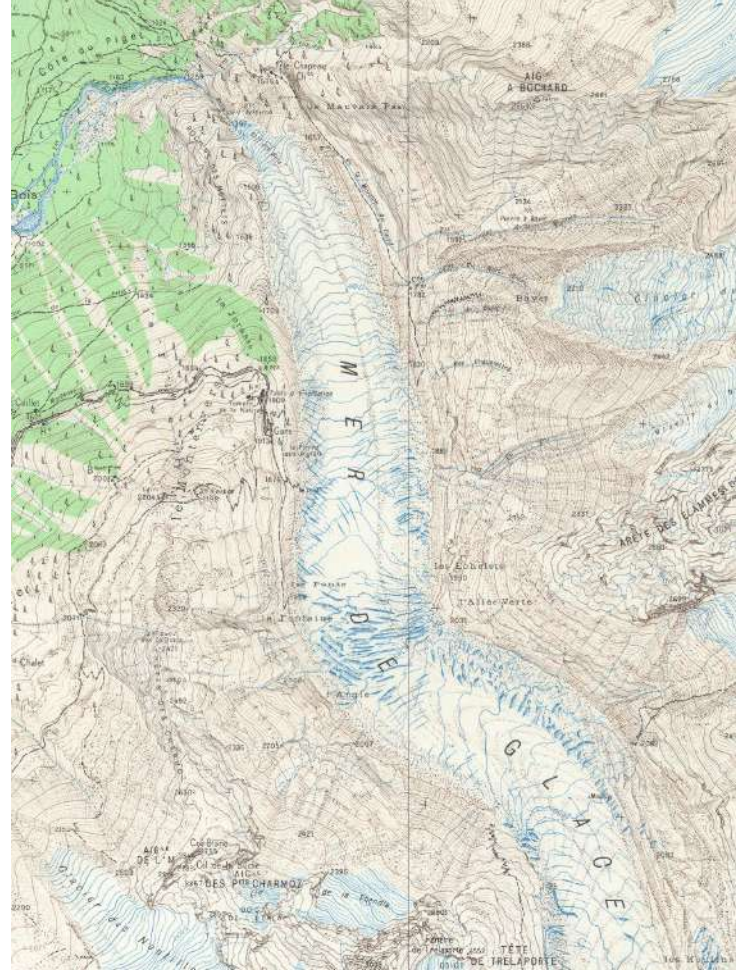
Evolution des cartes L'exemple de la Mer de Glace

Carte de l'IGN au 1 :50.000 1980



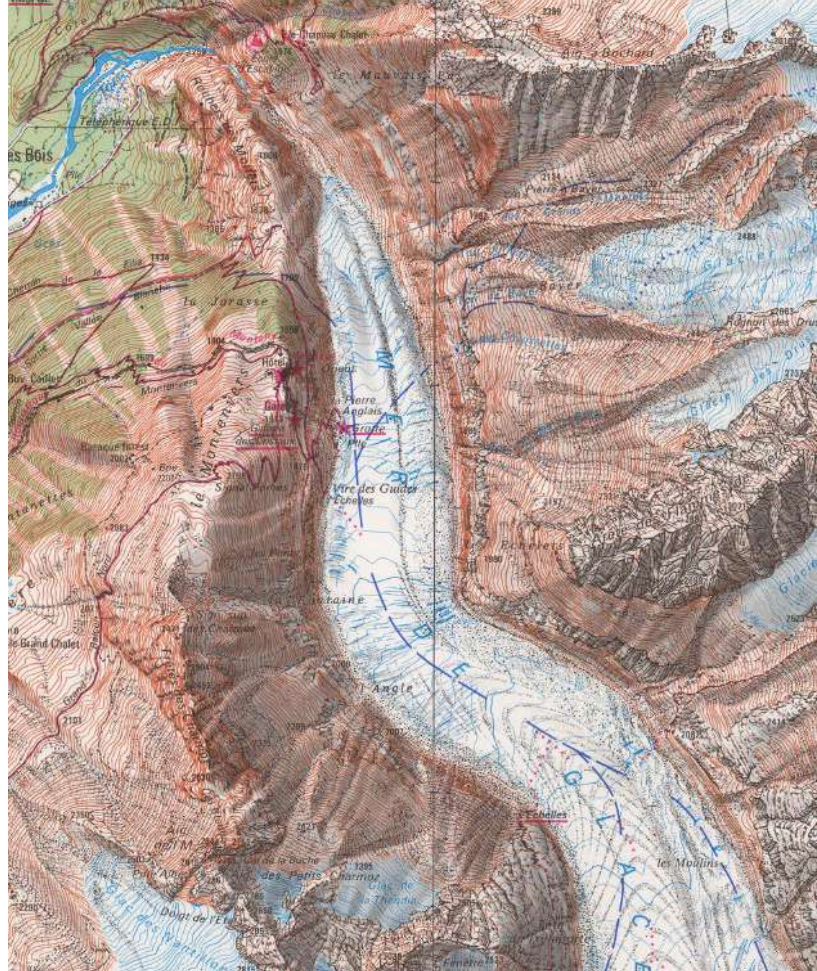
Evolution des cartes L'exemple de la Mer de Glace

Carte de l'IGN au 1 :25.000 de 1949



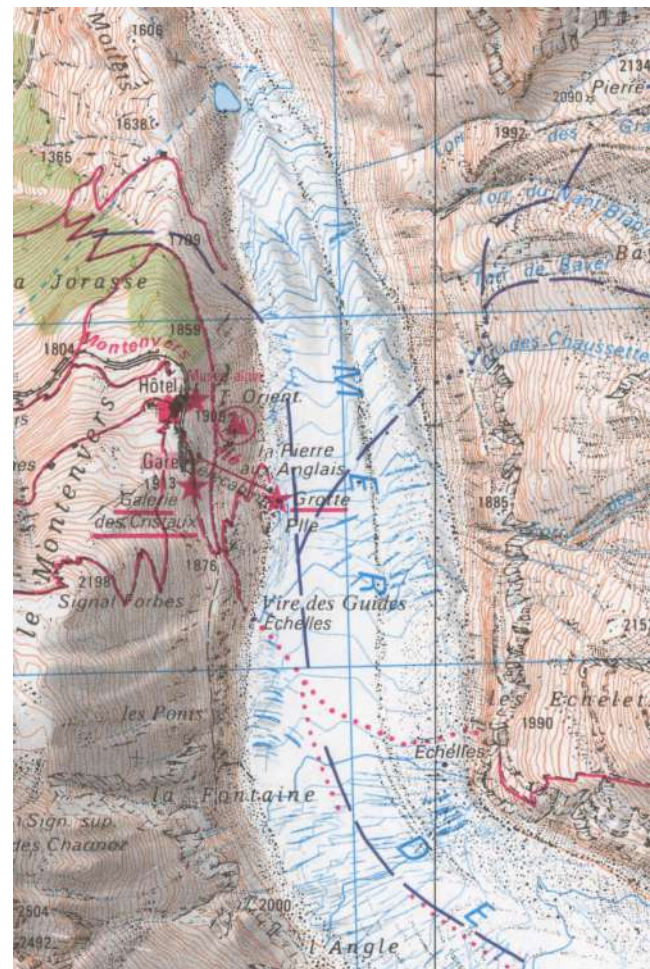
Evolution des cartes L'exemple de la Mer de Glace

Carte de l'IGN au 1 :25.000 de 1989



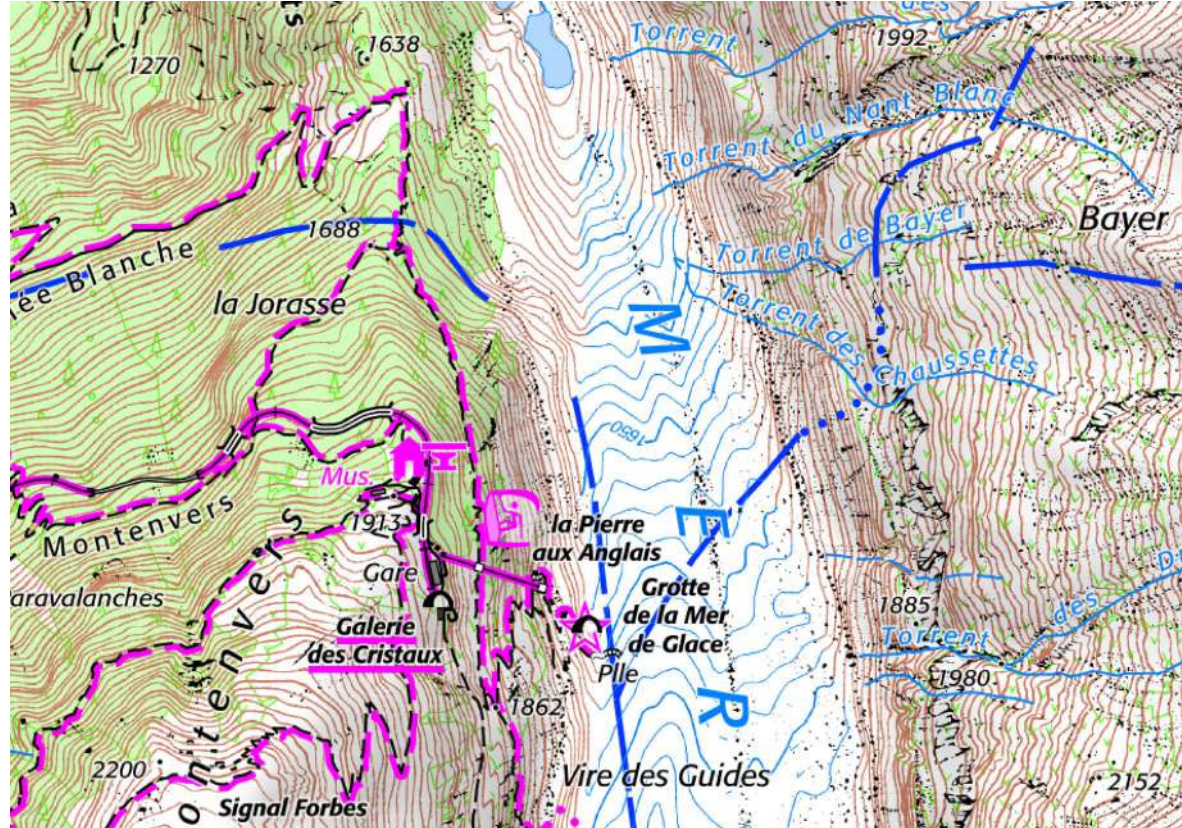
Evolution des cartes L'exemple de la Mer de Glace

Carte de l'IGN au 1 :25.000 en 2002



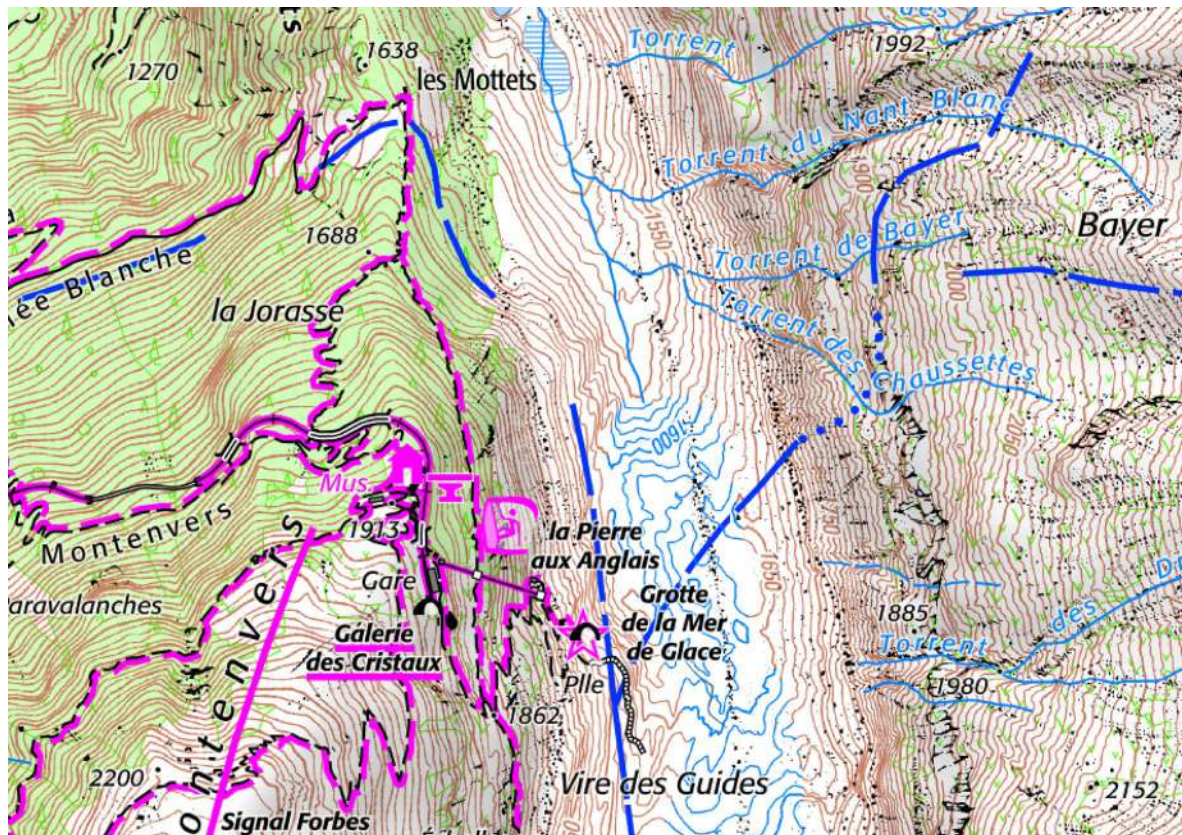
Evolution des cartes L'exemple de la Mer de Glace

Carte de l'IGN au 1 :25.000 en 2017



Evolution des cartes L'exemple de la Mer de Glace

Carte de l'IGN au 1 :25.000 actuelle





Méthodologie actuelle pour mettre à jour le relief et les glaciers

terres



Enjeu sur la mise à jour des glaciers et du relief en haute montagne

AVOIR DES CARTES A JOUR POUR

- Faciliter une pratique responsable des sports de haute montagne pour les alpinistes, randonneurs et les acteurs privés
- Aider les acteurs de la sécurité civile et les collectivités pour encadrer les pratiques sur le terrain prévenir les risques naturels et secourir les personnes
- Cartographier les changements en haute montagne dus aux changements climatiques et à l'action de l'homme et le porter à connaissance des citoyens

Cartographie de l'anthropocène



Entretien actuel des cartes 1/25 000 (papier et numérique)

- MAJ par dalle (20x20km)
- Environ 10/15% du territoire couvert chaque année
- La priorisation de la MAJ des dalles se fait en fonction
 - Cartes les plus demandées
 - Ancienneté de la carte
- Des mises à niveaux nationales se font plus régulièrement sur
 - Itinéraires balisés (GR) fournis par la FFR
 - Infos et limites administratives (fusion de communes, mairies, population)



Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers



Images aériennes



Acquisitions LiDAR IGN et
partenaires

Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers

LIDAR ou Light Detection And Ranging (mesure de distance par détection de lumière)

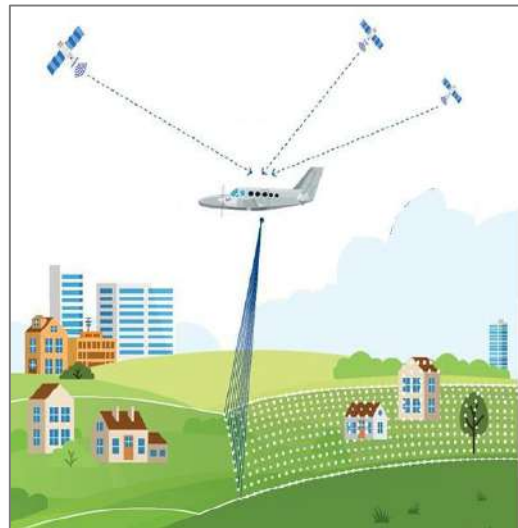
Télémetre laser

- Embarqué dans un avion, qui émet vers le sol des impulsions lumineuses (par balayage et en multi-écho)
- Programme d'acquisition DGPR 2017: 2-4 impulsions/m²
- Programme d'acquisition Lidar HD: 10-15 impulsions/m²
- Qui détecte les ondes réfléchies et enregistre leur temps de parcours (ainsi que leur intensité)

Le système lidar convertit les mesures de distance en un nuage de points :
positionnement 3D, intensité, datation...

➤ **Résultat en fin d'acquisition : Un nuage de point lidar**

Recuperation de données partenaires comme celle de l'IGE <https://www.ige-grenoble.fr/>



Acquisitions
LiDAR IGN et
partenaires

Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers



Nuage de points bruts

Une fois le nuage de point disponible, il est possible de classier la donnée . A chaque point du nuage , on y associe une classe (sol, végétation, bâti...)

- Sol
- Végétation Basse/Moyenne/Haute
- Bâti
- Sursol pérenne
- Ponts

Téléchargement des données Lidar HD : <https://geoservices.ign.fr/lidarhd>



Nuage de points classés



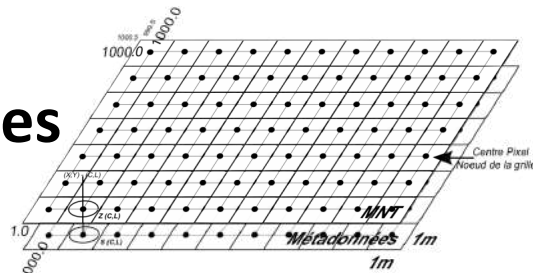
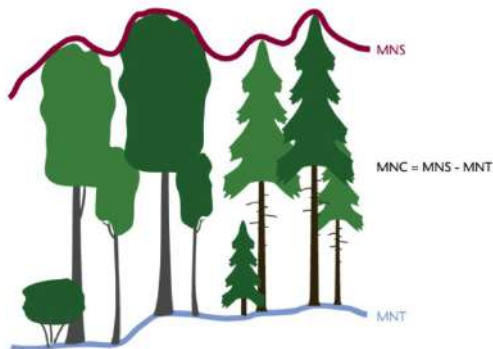
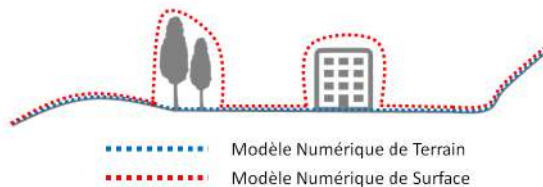
Acquisitions
LiDAR IGN et
partenaires

Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers

Les modèles numériques sont des grilles raster discrètes qui permettent la description de l'altitude du sol, des arbres, des bâtiments ...

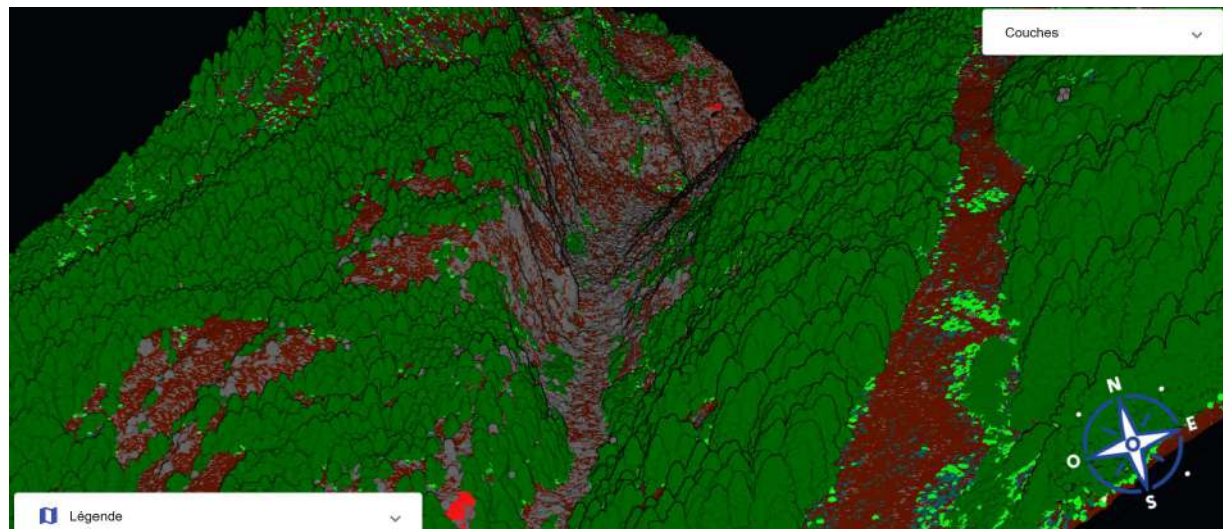
3 types de modèles numériques à l'IGN

- **MNT**: Modèle numérique de terrain (sol)
- **MNS**: Modèle numérique de surface (sol + sursol)
- **MNH**: Modèle numérique de hauteur (sursol) -
Différence de hauteur entre le MNS et le MNT



Acquisitions
LiDAR IGN et
partenaires

Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers



**Nuage de point
LiDAR HD**

Visionneuse
LiDAR HD

**Aval du Glacier
d'Argentiere
(Haute-Savoie)**



Acquisitions
LiDAR IGN et
partenaires

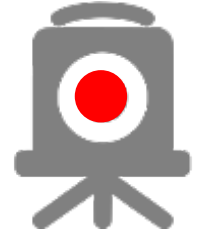
Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers



MNS brut expérimental
LIDAR HD 50cm 2022

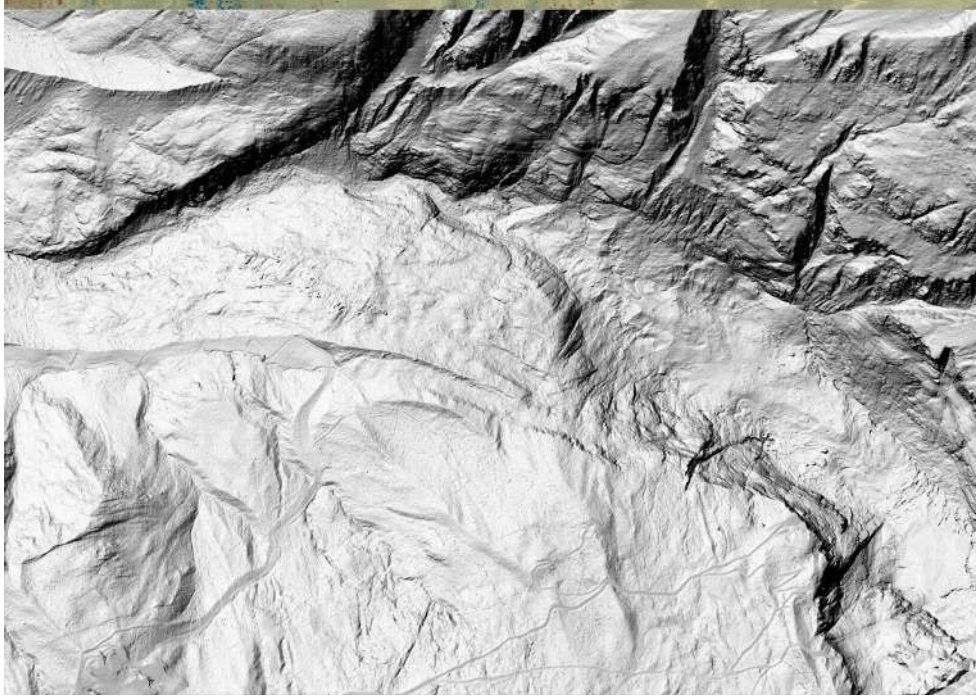
Ombrage à la volée sur
QGIS

**Aval du Glacier
d'Argentiere (Haute-
Savoie)**



Acquisitions
LiDAR IGN et
partenaires

Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers



**MNT brut expérimental
LIDAR HD 50cm 2022**

Ombrage à la volée sur
QGIS

**Aval du Glacier
d'Argentiere (Haute-
Savoie)**



Acquisitions
LiDAR IGN et
partenaires

Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers



Images aériennes

Prise de Vues Aériennes Départementales

1/3 de France par an
Vol en été (avril – octobre)
20 cm de résolution
4 canaux (RVB + IR)

Les produits en sortie

- BD Ortho
- Images orientées
- MNS de corrélation (et différentiel de hauteur)
- Occupation du sol Grande Echelle / COSIA



Glacier de l'Argentiere (Haute-Savoie)

Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers



Images aériennes BD
ORTHO 20cm 2023

Glacier d'Argentiere (Haute-Savoie)

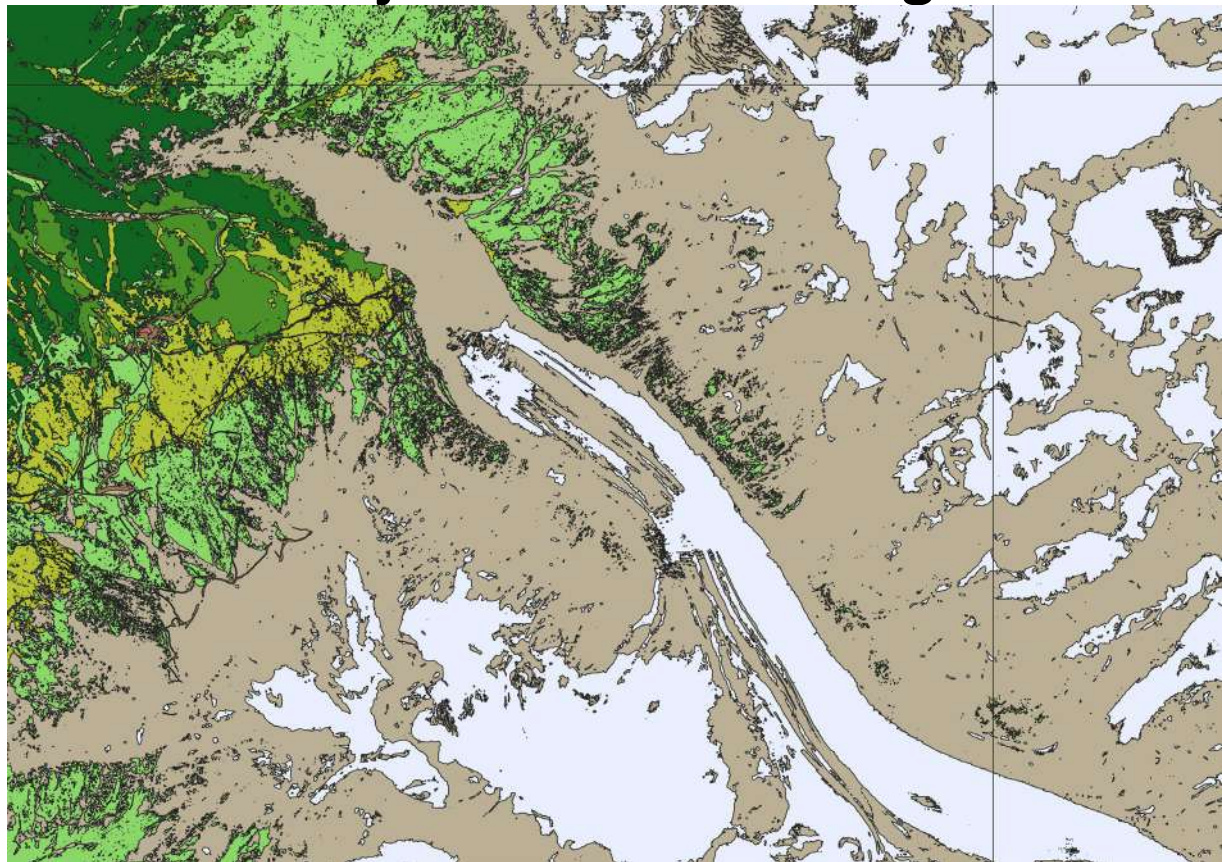


Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers

Occupation du Sol COSIA



Glacier d'Argentiere (Haute-Savoie)

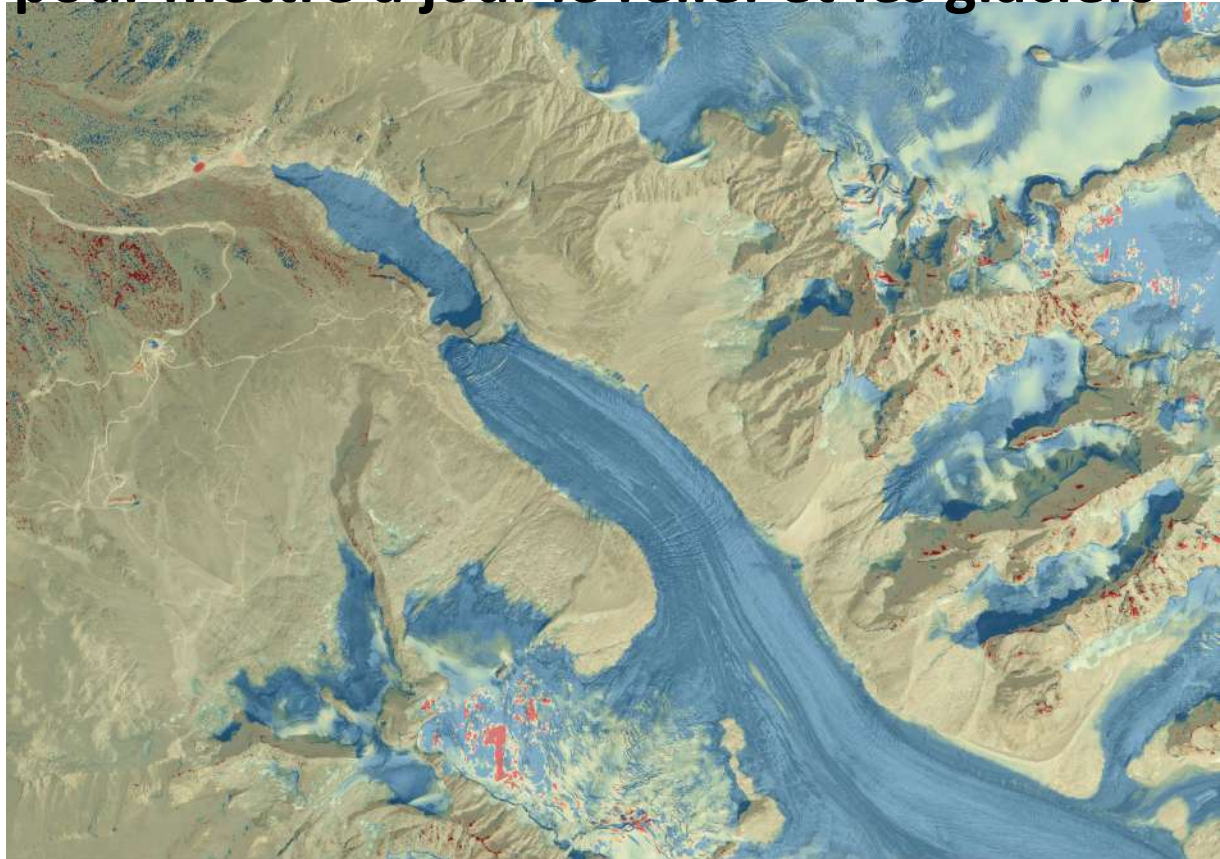


Données utiles pour mettre à jour le relief et les glaciers

Différence de hauteur (m)
entre les deux MNS 2023-2015
issu de la BD ORTHO



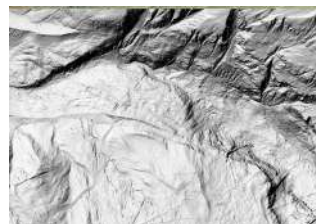
Glacier d'Argentiere (Haute-Savoie)



Methodologie actuelle pour mettre à jour le relief et les glaciers



Images aériennes

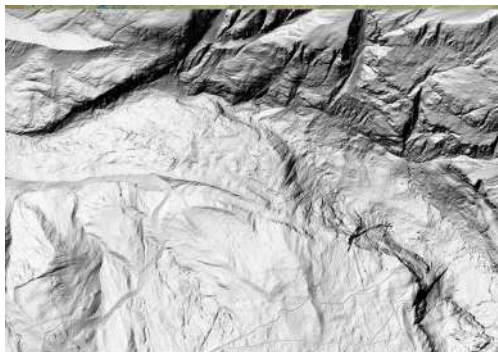


Comparaison MNT
Et anciennes cartes 1:25
000



Photo interprétation
Détourage 2D du glacier/nevé +
Saisie des crevasses et des seracs

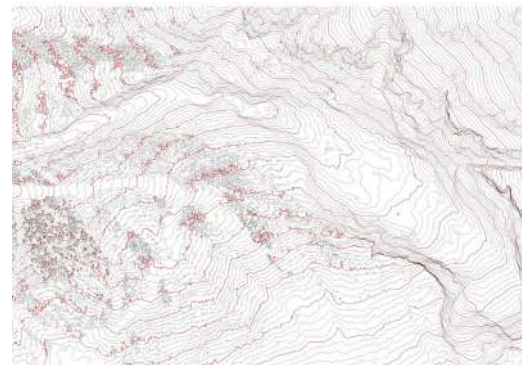
Methodologie actuelle pour mettre à jour le relief et les glaciers



Modele numérique de terrain

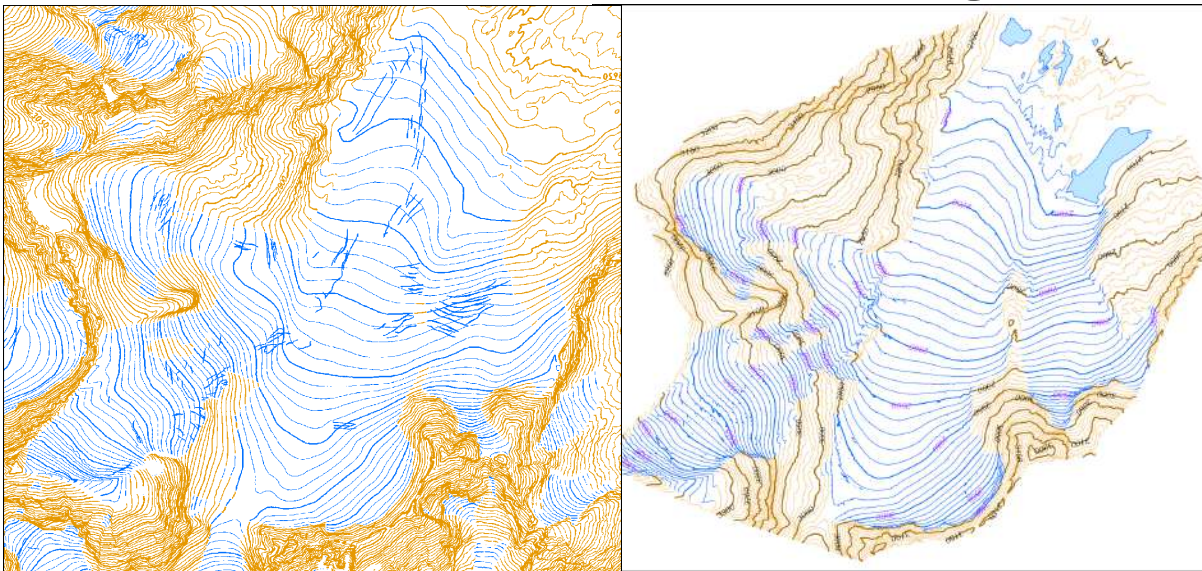


Calcul de courbes de niveaux sur ARCGIS
adaptées à la zone de travail



Courbes de niveau

Illustrations de la méthodologie actuelle



Glacier en 2011
(courbes IGN de 2005)

Glacier en 2019 (données IGE
<https://www.ige-grenoble.fr/>)
Épaisseur perdue de 30m environ en 15 ans

Glacier de St-Sorlin
(vues de travail)

Illustrations de la méthodologie actuelle



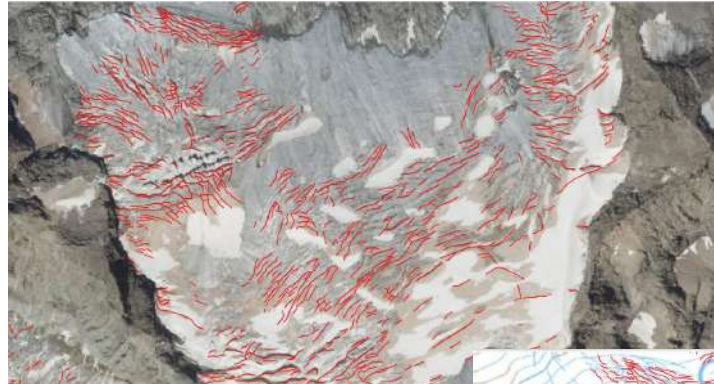
Edition 2025 en cours de
rédaction sur la Meije
dans les Ecrins

Glacier du Tabuchet
(vues de travail)

Mise à jour des courbes
et du glacier



Illustrations de la méthodologie actuelle



**Glacier du Tabuchet
(vues de travail)**

Edition 2025 en cours de rédaction sur la Meije dans
les Ecrins

Mise à jour des crevasses et seracs



Questionnements et limitations



Est-ce que ce sont des Glaciers ??

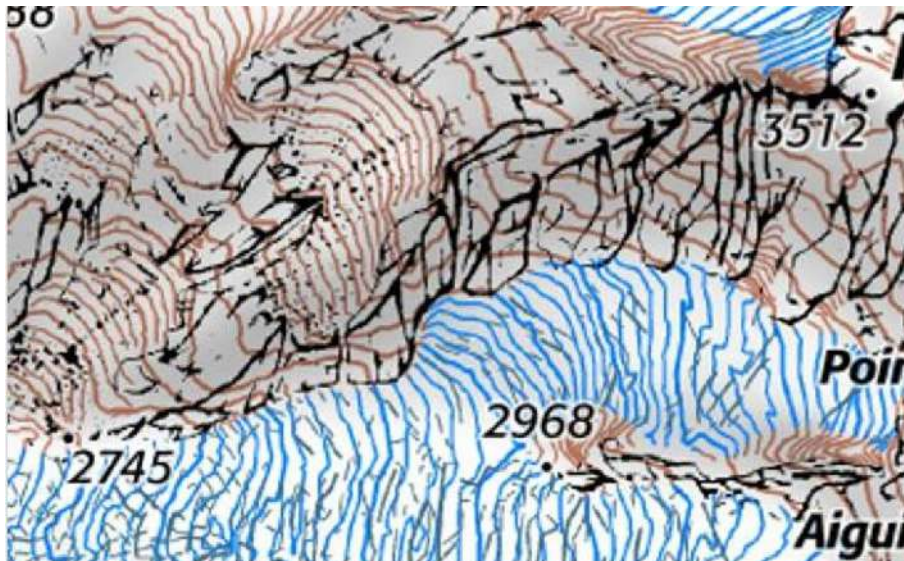
Va-t-on les cartographier?

>2000 m² : Saisie exhaustive

<2000 m² Saisie non exhaustive

22 000 m² actuellement
(à séparer en deux plus petits
glaciers ??)

Questionnements et limitations



Comment mettre à jour la cartographie des linéaires de falaises, crêtes ?

Et rendre cela lisible ?

Possible de mettre à jour les éboulis ?

Possible de mieux délimiter les différentes composantes du glaciers (moraines, glaciers...) ?

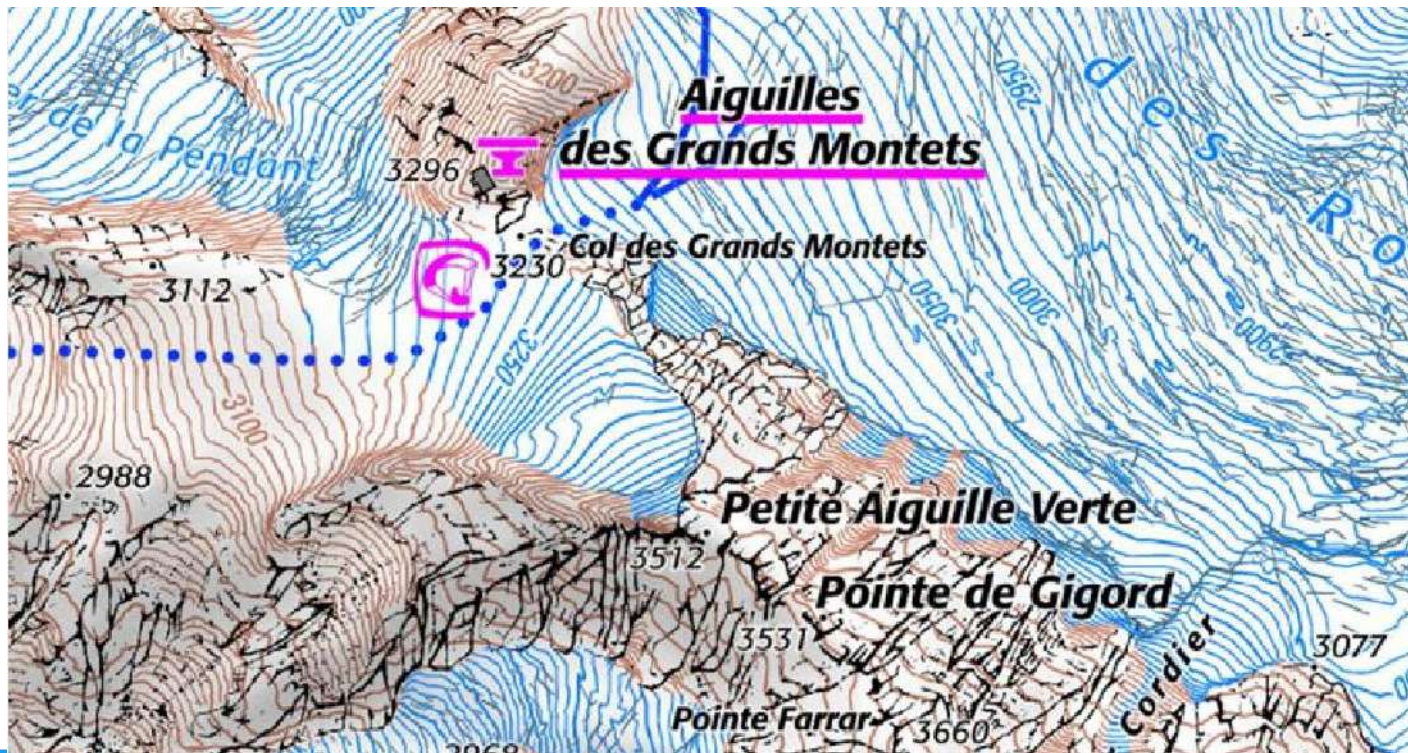


Perspectives avec l'exploitation des données Lidar HD

terres



Actualisation des courbes de niveaux?



Carte actuelle

données 2019 IGE
(<https://www.ige-grenoble.fr/>)

Aiguille des
Grands Montets –
Haute Savoie

Actualisation des courbes de niveaux

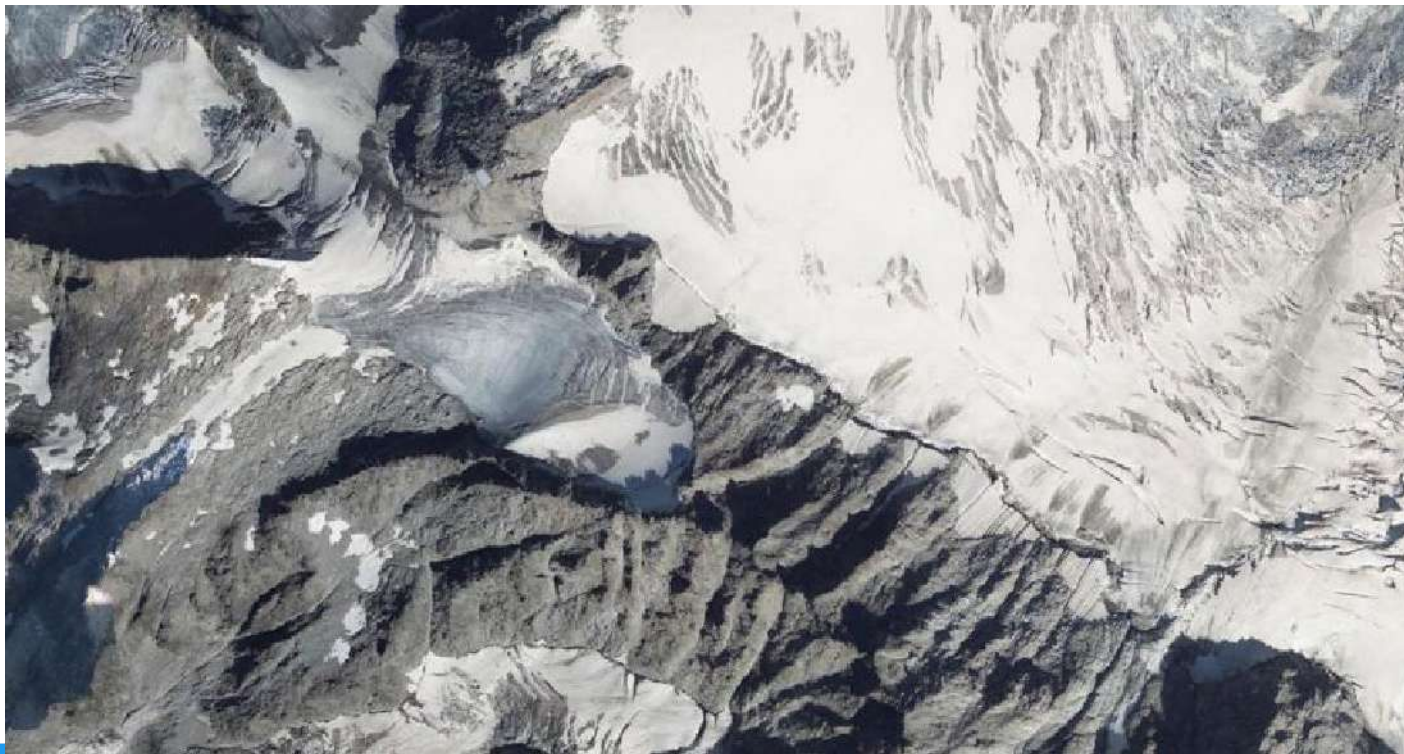
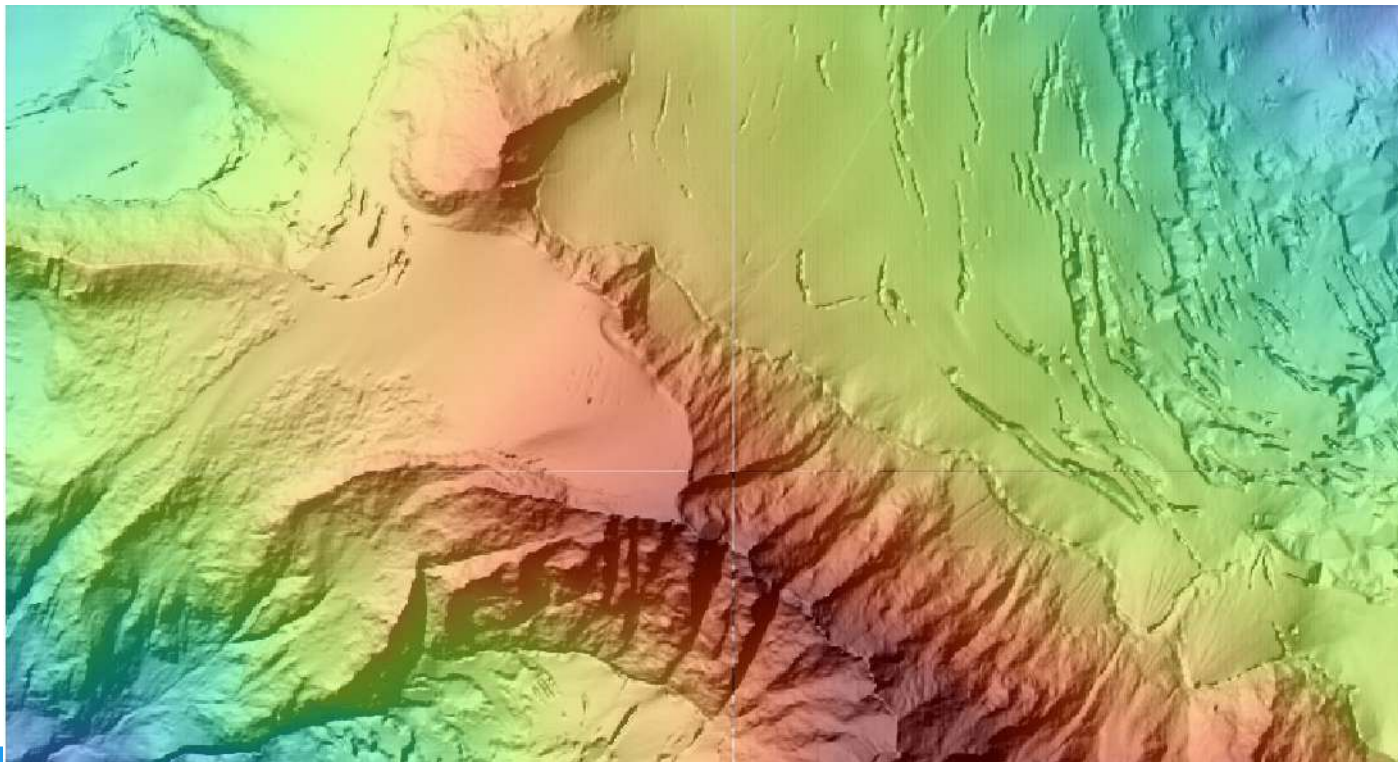


Image aérienne de
2023

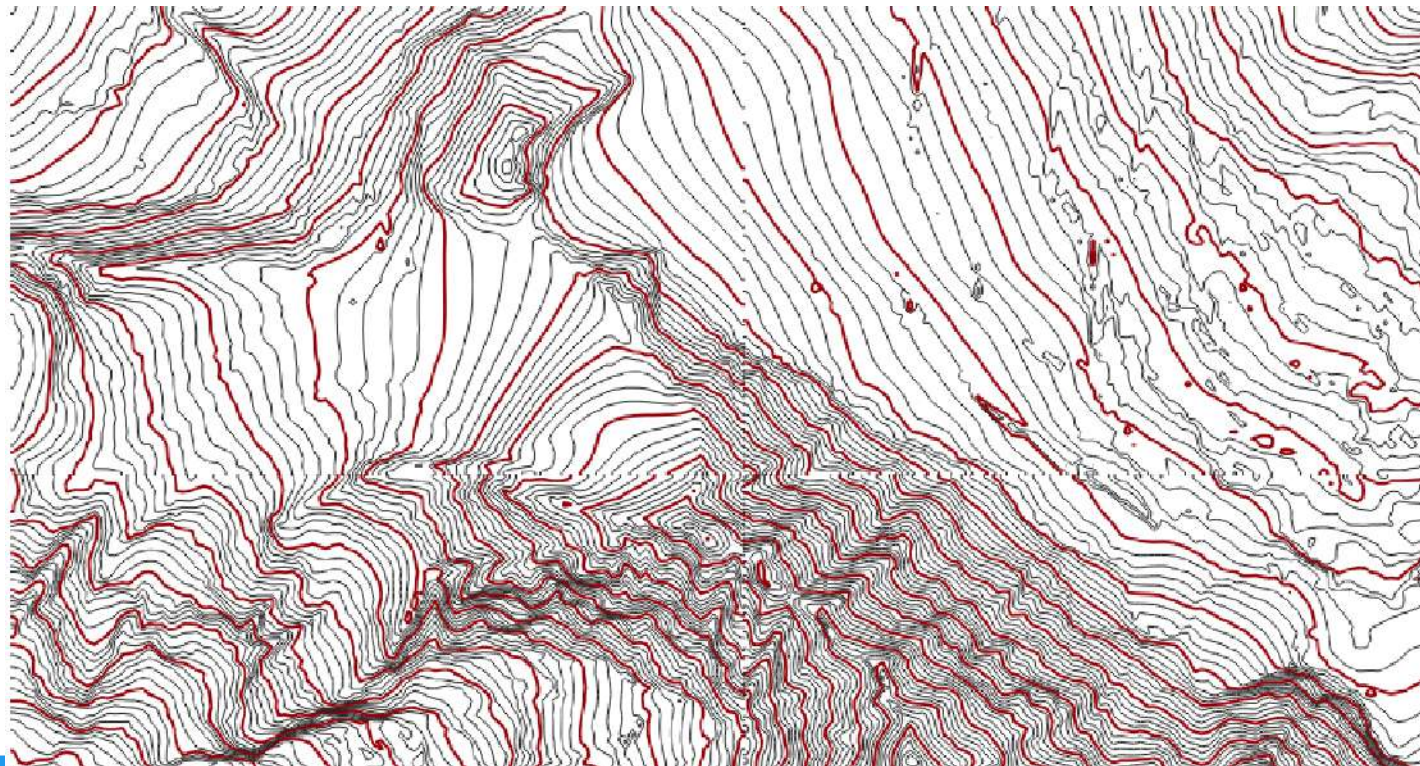
Actualisation des courbes de niveaux?



Estompage à la
volée sur QGIS

MNT brut
experimental
Lidar HD
(données 2022)

Actualisation des courbes de niveaux?



Courbes à la volée
sur QGIS

MNT brut
expérimental
Lidar HD
(données 2022)

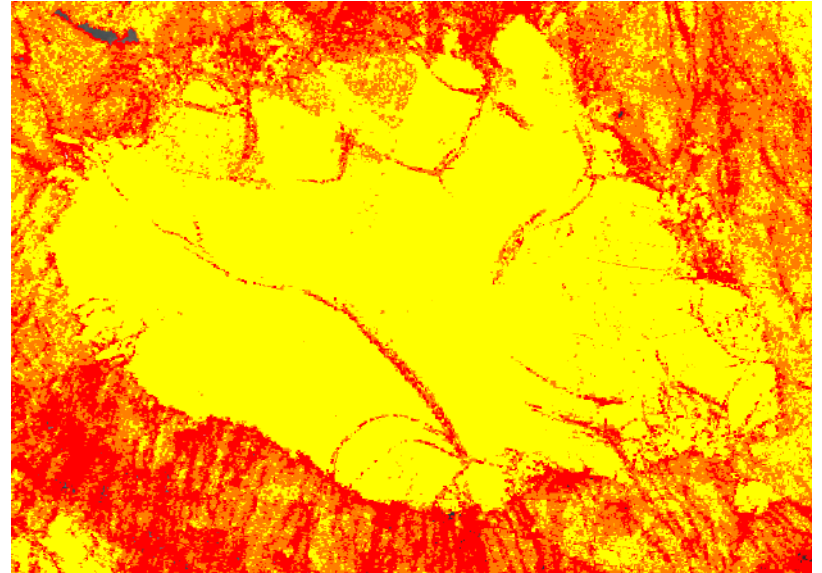
Délimitation du glacier avec l'intensité LIDAR ?

Hypothèse: le glacier réel est plus petit que celui qui a été saisi par photointerpretation

Gammes d'intensité sur Grand Glacier :

- Sur glaciers: au-delà de 40 000
- Sur failles du glacier : entre 25 000 et 35 000
- En bordure: < 35 000

Problème: d'autres points > 40 000 hors du glacier, plus diffus

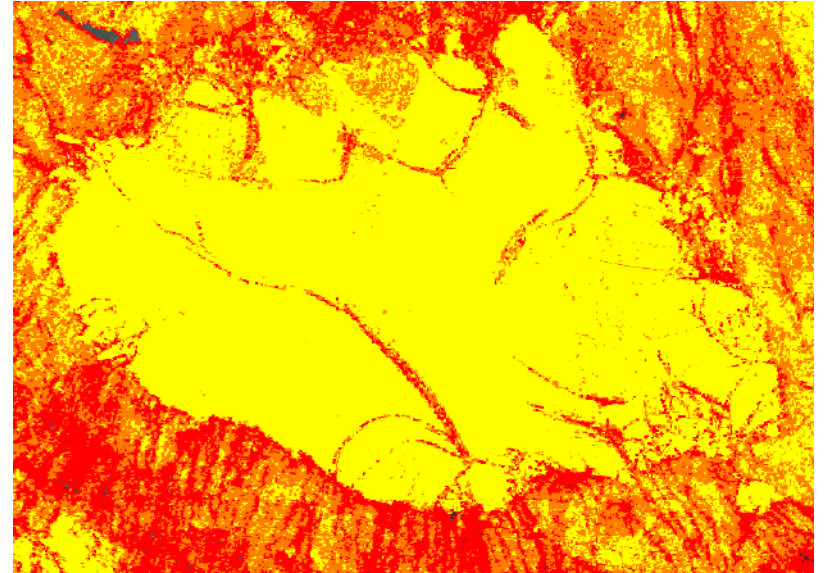


Délimitation du glacier à partir du LidarHD
(*sous cloud compare*)

Délimitation fine du glacier avec l'intensité LIDAR ?



Orthophoto_ Aout 2021



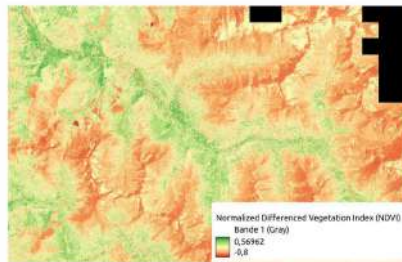
Lidar HD (juillet - sept 2021)
le Grand Glacier, 38350 Lavaldens

Détection des zones rocheuses et glaciers ?

Premier test IA mené en machine learning en croisant les jeux de données

- Utilisation du RVB issus d'orthophotos aériennes et d'indicateurs NDVI et NDSI
- Utilisation des MNT et indicateurs de textures issus du LiDAR HD

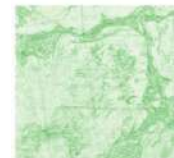
NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index)



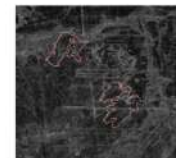
Orthophoto



Linéarité

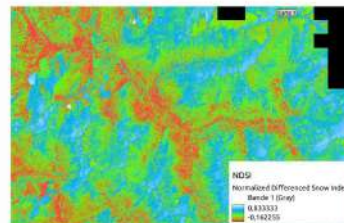


Planarité

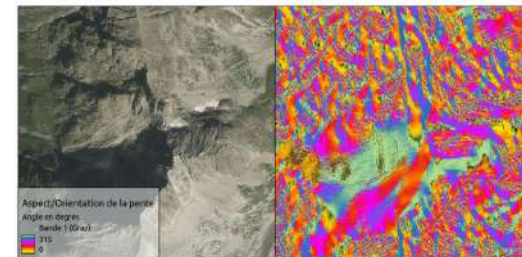


Dispersion

NDSI (Normalized Differenced Snow Index)



Aspect

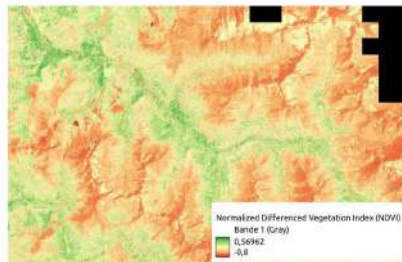


Détection des zones rocheuses et glaciers ?

Premier test IA mené en machine learning en croisant les jeux de données

- Utilisation du RVB issus d'orthophotos aériennes et d'indicateurs NDVI et NDSI
- Utilisation des MNT et indicateurs de textures issus du LiDAR HD

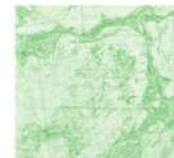
NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index)



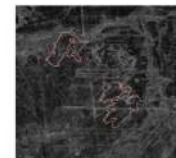
Orthophoto



Linéarité

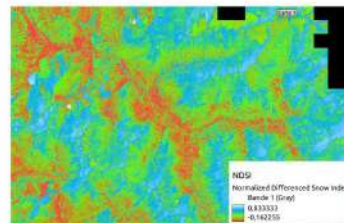


Planarité

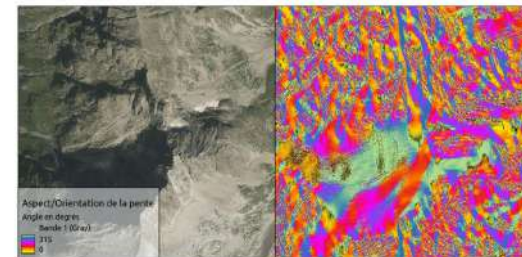


Dispersion

NDSI (Normalized Differenced Snow Index)

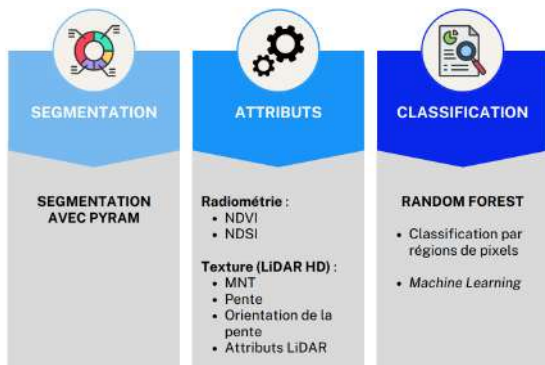


Aspect



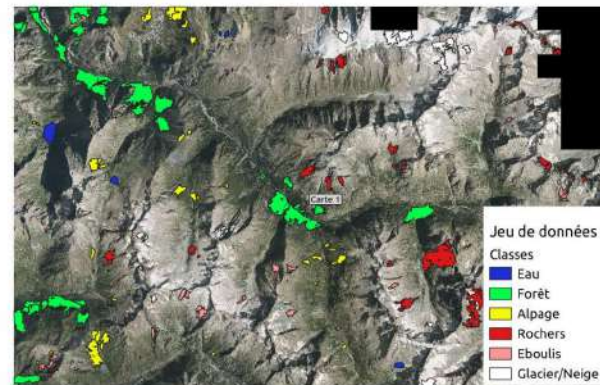
Détection des zones rocheuses et glaciers ?

Premier test IA mené en machine learning en croisant les jeux de données



Jeu de données

Classes	Label	% de surface	Polygones
Eau	1	4.7	19
Forêt	2	57.3	39
Alpage	3	16.0	39
Rochers	4	18.1	46
Eboullis	5	15.4	42
Glacier/ Neige	6	14.7	38



Détection des zones rocheuses et glaciers ?

Résultats

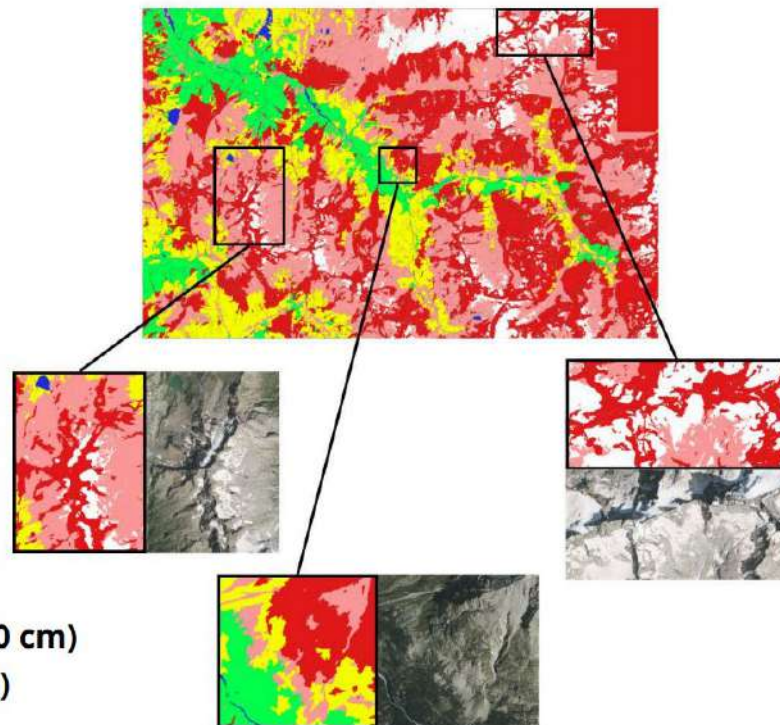
- Avec attributs du LiDAR HD

	Classes prédites					
						
Eau	 1	0	0	0	0	0
Forêt	0	 1	0	0	0	0
Alpage	0	0	 1	0	0	0
Rochers	0	0	0	 0.77	 0.23	0
Éboullis	0	0	0	0.1	 0.9	0
Glacier	0	0	0	0	0.2	 0.8

NDVI, NDSI

MNT LiDAR HD, Pente, Aspect (50 cm)

Planarité, Linéarité, Dispersion (1 m)



Perspectives avec le programme LIDAR HD

- **Innovation**

- Passer au Deep Learning et poursuivre les travaux pour mieux détecter les zones rocheuses , les éboulis? Utiliser les données COSIA?
- Utiliser une IA générative pour représenter ces informations de manière lisible pour les usagers?
 - Rochers, Cretes, Rupture de pentes

- **Méthodologie**

- Concilier au mieux photo-interpretation et detection automatisé pour pouvoir mettre à jour le plus efficacement les données en entrée de la carte.

Perspectives avec le programme LIDAR HD

- Mise à jour de l'ensemble des courbes de niveau et des estompages sur les cartes au 1/25 000
- Expérimenter autour d'une carte topographique numérique à plus grande échelle en montagne ?
 - Quelle échelle ?
 - Estompage haute résolution
 - Courbes de niveau
 - Occupation du sol plus fine?

Représentation des zones disparues sur la carte?





FESTIVAL
INTERNATIONAL
DE GÉOGRAPHIE
de Saint-Dié-des-Vosges

35^e édition

4, 5 & 6 oct.
2024

TERRITOIRE INVITÉ
LES ALPES



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

terres

IGN

INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE

CHANGER
D'ÉCHELLE

Merci pour votre attention!