

# Séminaire ROGP

-

## Détection des poches d'eau glaciaires thermiques dans les Alpes françaises

Juliette Bonnet (IGE), Bruno Demolis (ONF-RTM), Olivier Gagliardini (IGE), Adrien Gilbert (IGE), Olivier Ozenda (IGE), Manon Texier (ONF-RTM) Pierre Verry (ONF-RTM)

14 | 11 | 2025







# Contexte

Qu'est ce qu'une poche d'eau ?



# Contexte

Qu'est ce qu'une poche d'eau ?

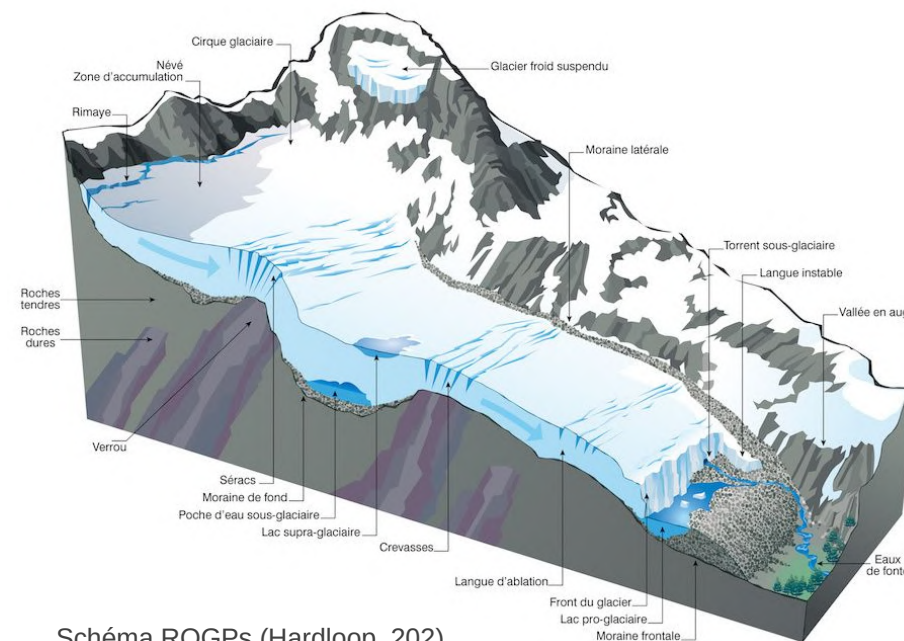


Schéma ROGPs (Hardloop, 202)





# Contexte

Qu'est ce qu'une poche d'eau ?

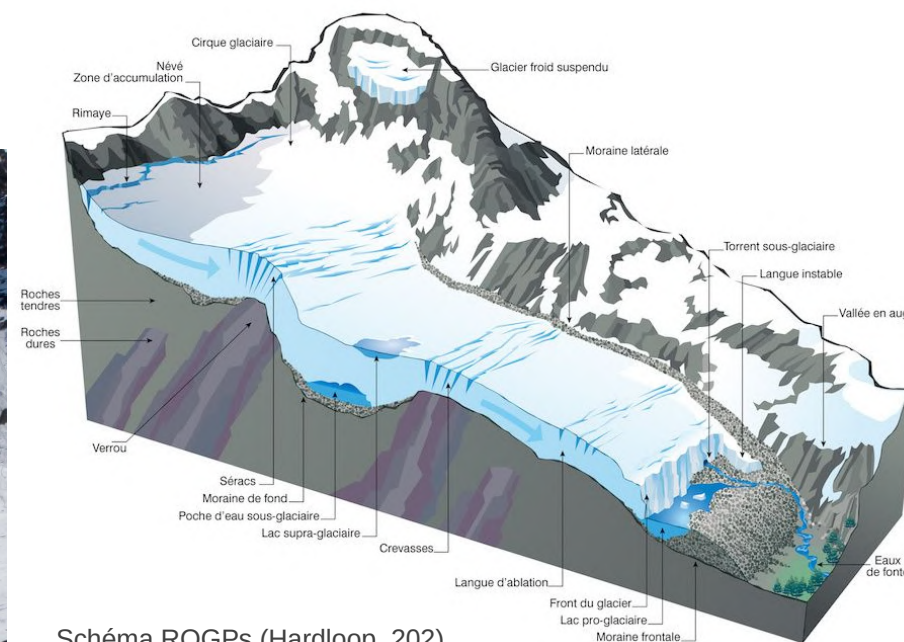


Schéma ROGPs (Hardloop, 202)



Glacier de Tête-Rousse



# Définition

*« Réservoir d'eau [d'au moins 10 000 m<sup>3</sup>], intraglaciaire ou subglaciaire, ayant le potentiel de générer une débâcle »*





# Définition

« Réservoir d'eau [d'au moins 10 000 m<sup>3</sup>], intraglaciaire ou subglaciaire, ayant le potentiel de générer une débâcle »

Poches d'eau  
thermiques

Poches d'eau  
mécaniques



# Définition

« Réservoir d'eau [d'au moins 10 000 m<sup>3</sup>], intraglaciale ou subglaciale, ayant le potentiel de générer une débâcle »

Poches d'eau  
thermiques

Poches d'eau  
mécaniques

- Formation saisonnière
  - barrière hydraulique
  - blocage de chenal
  - remplissage de crevasses
- Vidanges régulières/saisonnières
- Volumes d'eau +/-



# Définition

« Réservoir d'eau [d'au moins 10 000 m<sup>3</sup>], intraglaciale ou subglaciale, ayant le potentiel de générer une débâcle »

## Poches d'eau thermiques

- Formation pluriannuelle
- Vidanges rares
- Volumes d'eau +++

## Poches d'eau mécaniques

- Formation saisonnière
  - barrière hydraulique
  - blocage de chenal
  - remplissage de crevasses
- Vidanges régulières/saisonnières
- Volumes d'eau +/-





# Définition

« Réservoir d'eau [d'au moins 10 000 m<sup>3</sup>], intraglacière ou subglacière, ayant le potentiel de générer une débâcle »

## Poches d'eau thermiques

- Formation pluriannuelle
- Vidanges rares
- Volumes d'eau +++

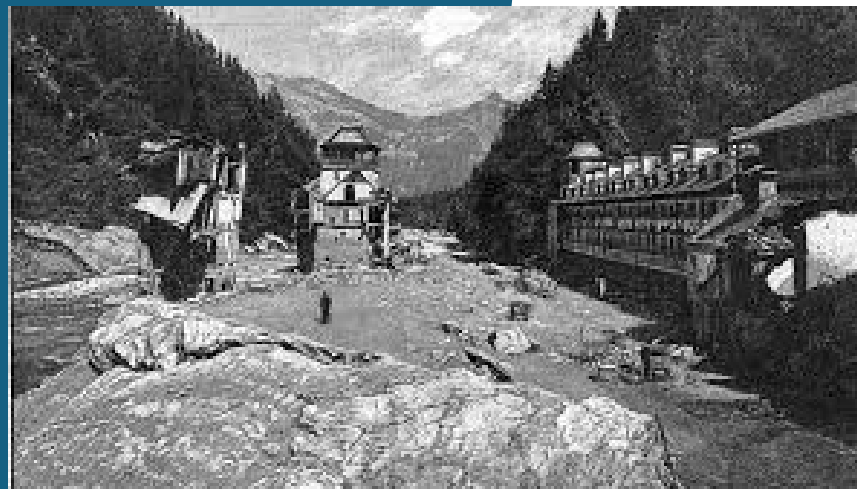
### Glacier de Tête-Rousse (1892)

- Dégâts matériels et pertes humaines (175 morts)
- lave torrentielle (1 million de m<sup>3</sup>)



## Poches d'eau mécaniques

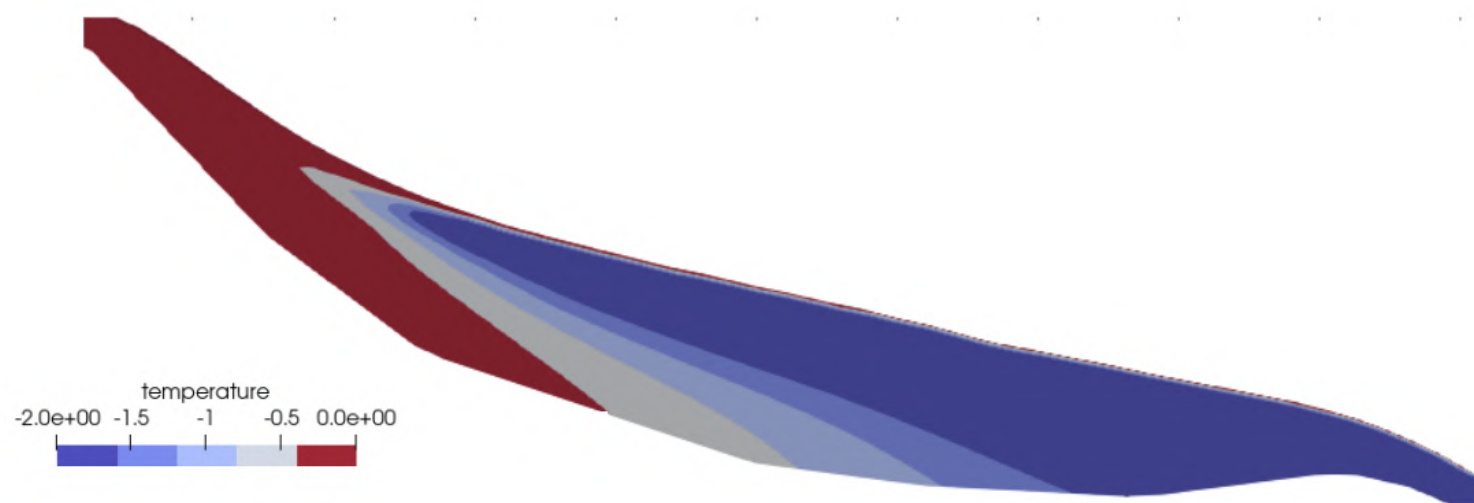
- Formation saisonnière
  - barrière hydraulique
  - blocage de chenal
  - remplissage de crevasses
- Vidanges régulières/saisonnnières
- Volumes d'eau +/-





# Définition

## Régime thermique des glaciers



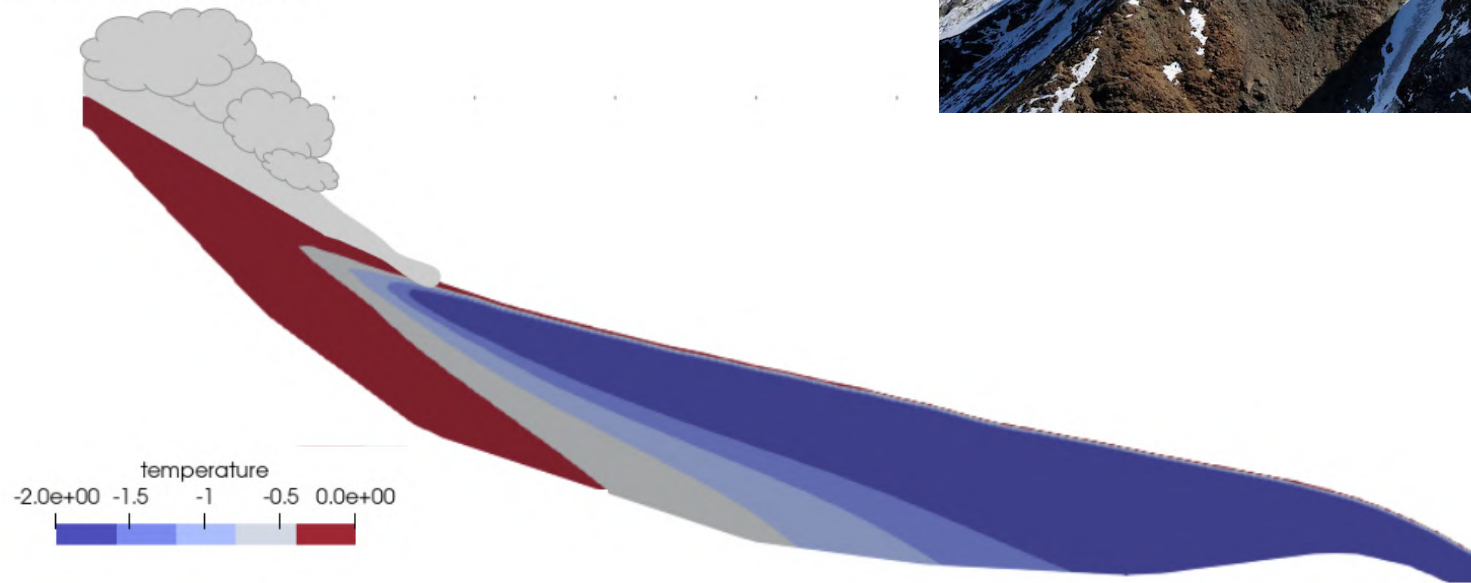


# Définition

Barrière hydraulique sur Tête-Rousse



Avalanches  
Suraccumulation neigeuse

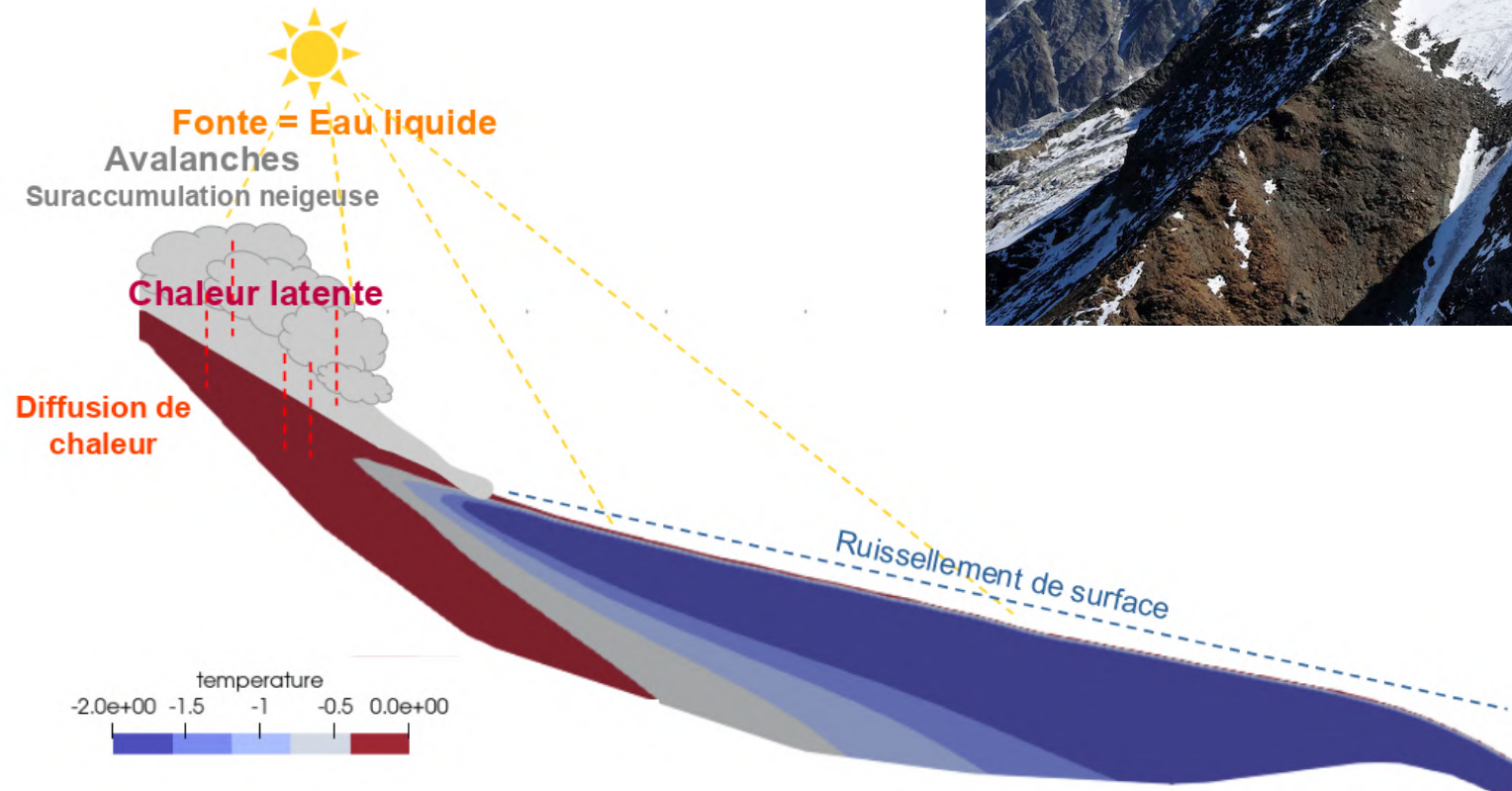






# Définition

Barrière hydraulique sur Tête-Rousse

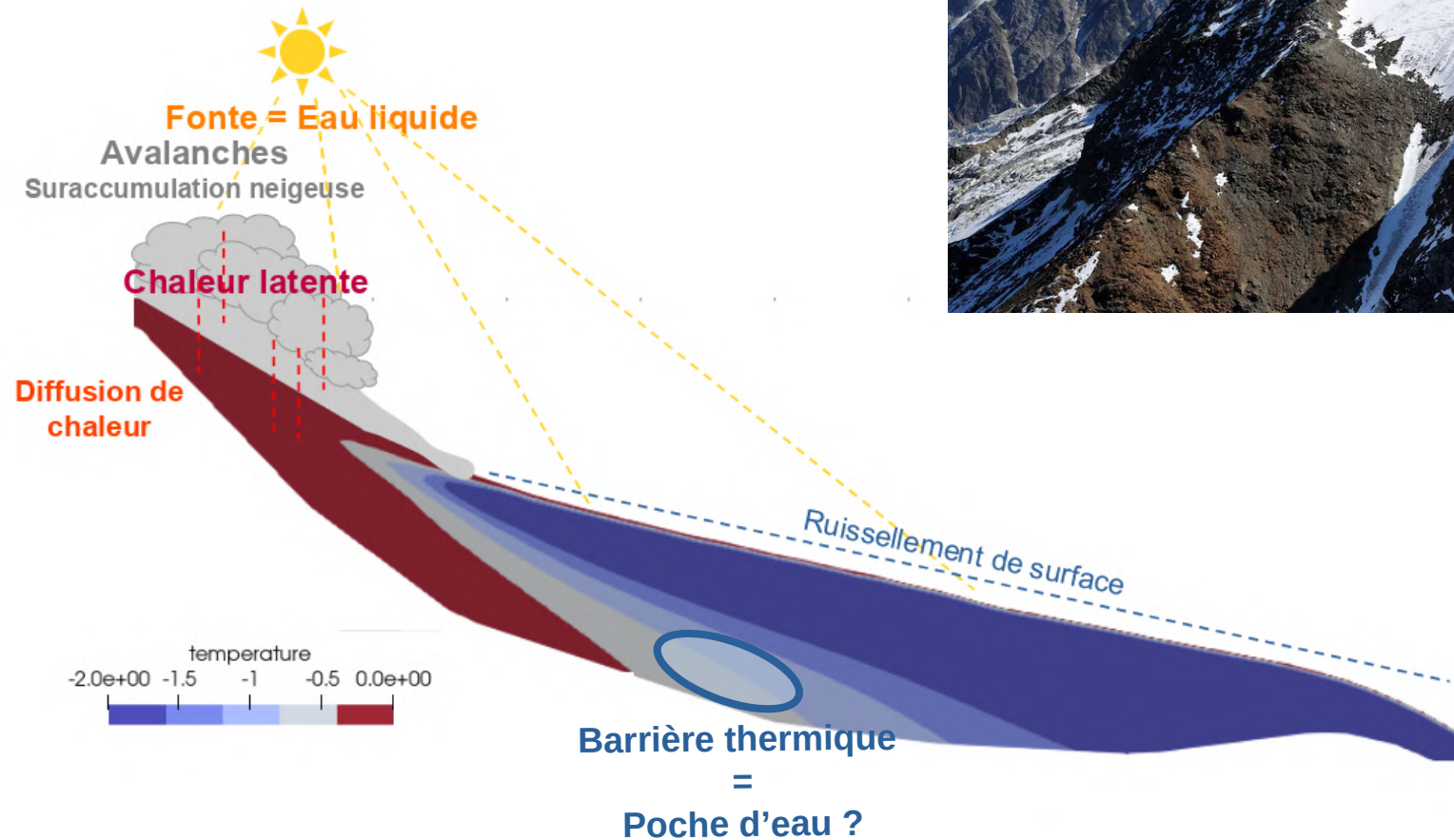






# Définition

Barrière hydraulique sur Tête-Rousse





# Méthode

De la modélisation des processus à la cartographie du régime thermique

- **Tête-Rousse: un cas unique ?**
  - Conditions analogues sur d'autres glaciers ?
  - D'autres configurations sont-elles possibles ?





# Méthode

De la modélisation des processus à la cartographie du régime thermique

- **Tête-Rousse: un cas unique ?**
  - Conditions analogues sur d'autres glaciers ?
  - D'autres configurations sont-elles possibles ?

Modélisation  
thermo-  
mécanique





# Méthode

De la modélisation des processus à la cartographie du régime thermique

- **Tête-Rousse: un cas unique ?**
  - Conditions analogues sur d'autres glaciers ?
  - D'autres configurations sont-elles possibles ?

Modélisation  
thermo-  
mécanique



Identification des  
paramètres  
géomorphologiques





# Méthode

De la modélisation des processus à la cartographie du régime thermique

- **Tête-Rousse: un cas unique ?**
  - Conditions analogues sur d'autres glaciers ?
  - D'autres configurations sont-elles possibles ?

Modélisation  
thermo-  
mécanique



Identification des  
paramètres  
géomorphologiques



Cartographie et  
classification des  
glaciers

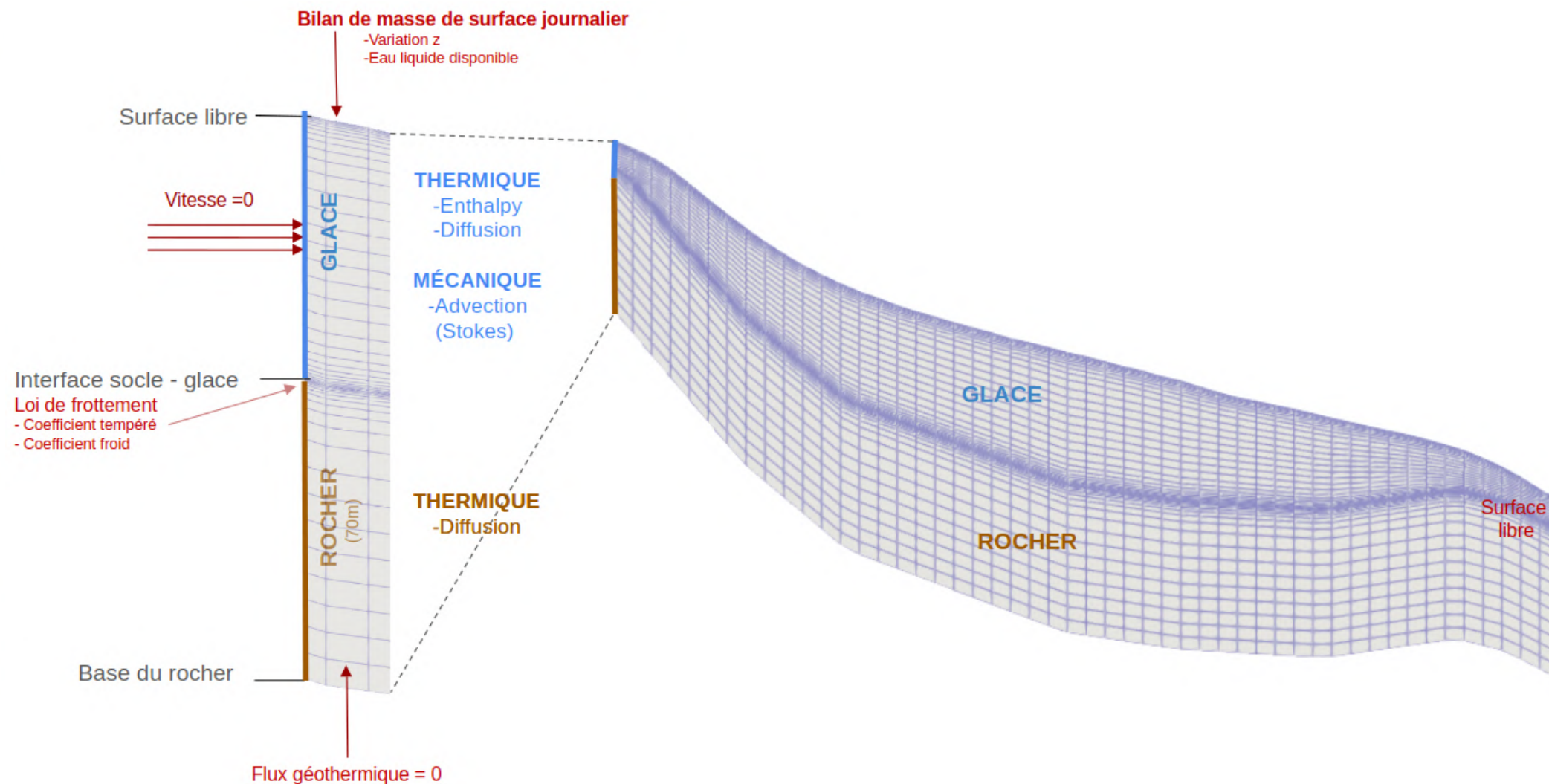






# Méthode

Modélisation 2D du régime thermique des glaciers





# Méthode

Validation du modèle



- Comparaison des bilans de masse modélisés et observés



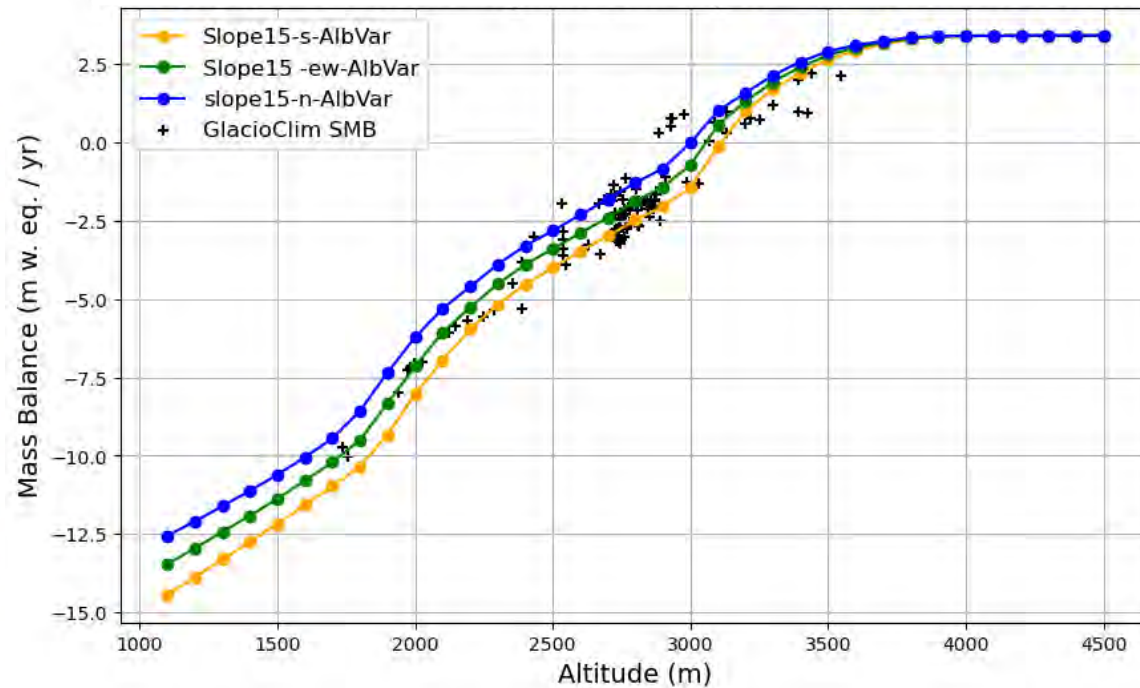
# Méthode

Validation du modèle

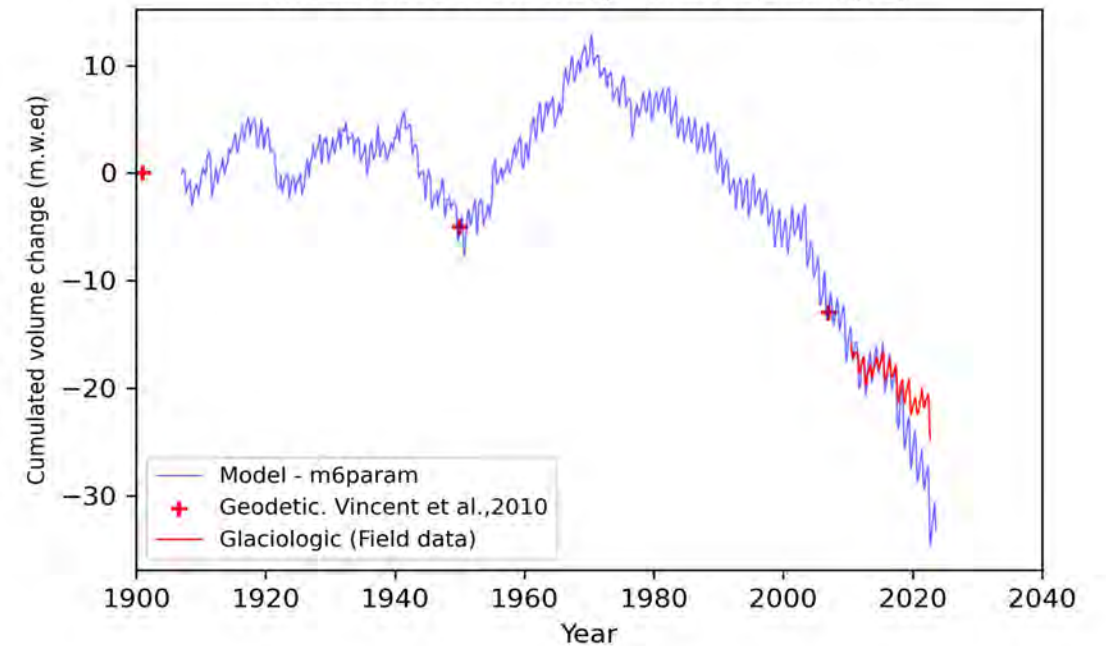


- Comparaison des bilans de masse modélisés et observés

Validation du Bilan de Masse modélisé vs observé (2000-2019)



Validation du Bilan de Masse de Tête-Rousse modélisé vs observé (1900-2022)







# Méthode

Sensibilité du régime thermique à différents paramètres : modélisations 2D de glaciers synthétiques

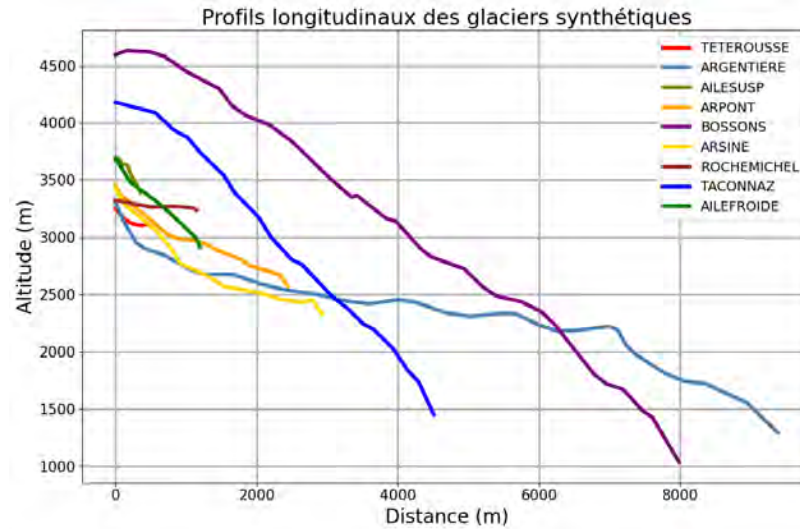


# Méthode

Sensibilité du régime thermique à différents paramètres : modélisations 2D de glaciers synthétiques

## PROFILS

- Pentes
- Longueur
- Forme



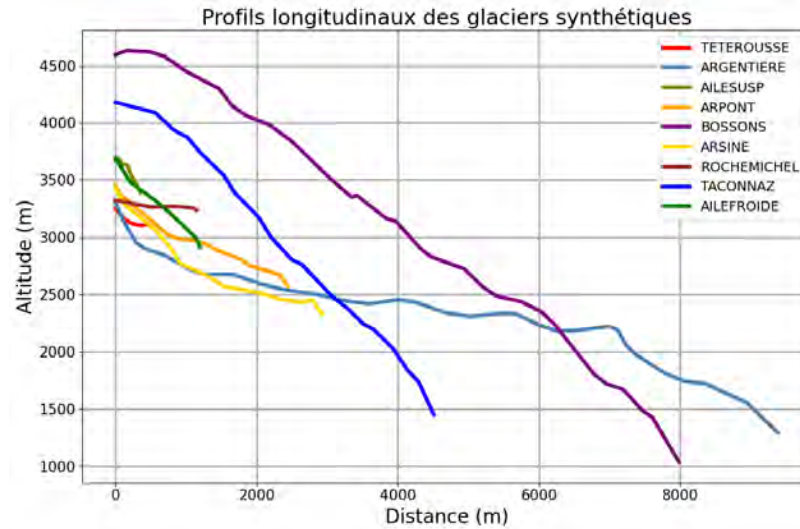


# Méthode

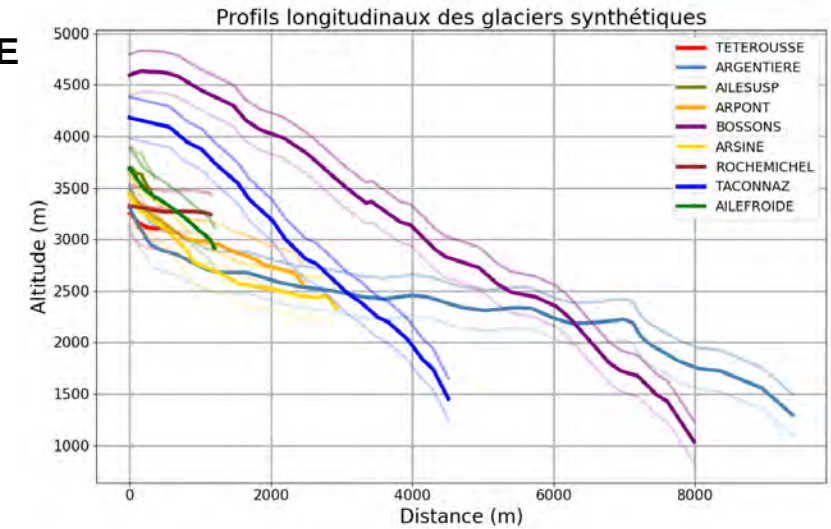
Sensibilité du régime thermique à différents paramètres : modélisations 2D de glaciers synthétiques

## PROFILS

- Pentes
- Longueur
- Forme



## ALTITUDE





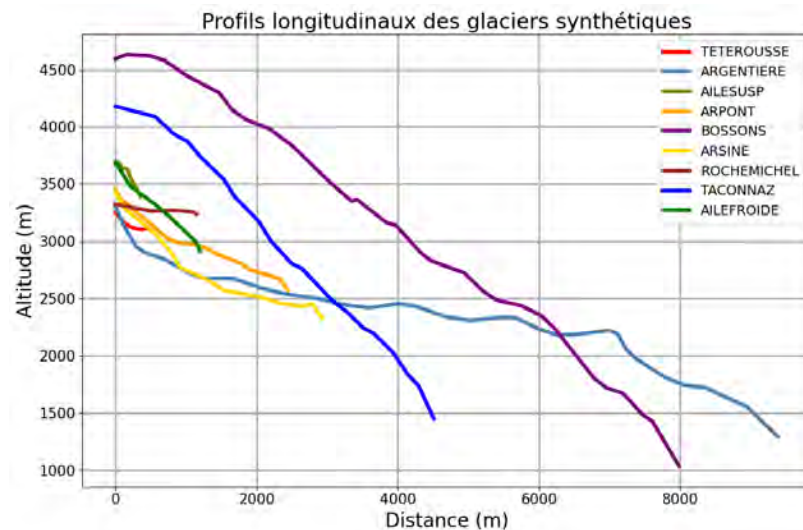


# Méthode

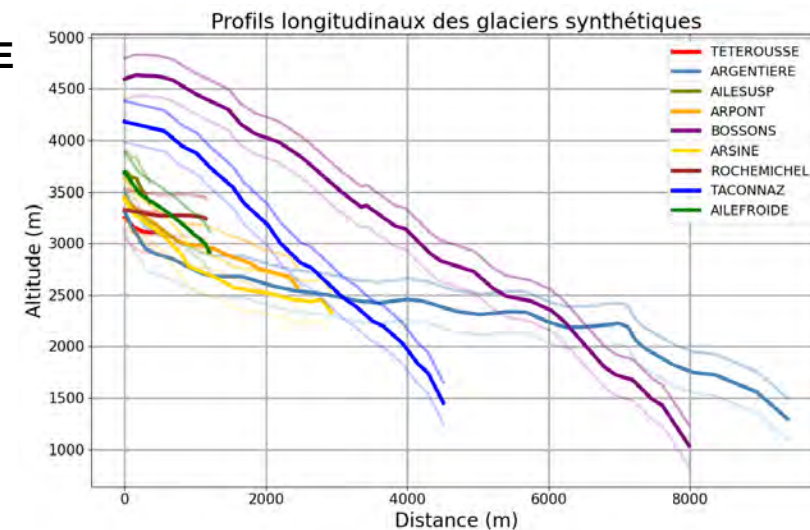
Sensibilité du régime thermique à différents paramètres : modélisations 2D de glaciers synthétiques

## PROFILS

- Pentes
- Longueur
- Forme



## ALTITUDE



## ORIENTATIONS

Ensoleillement, radiations



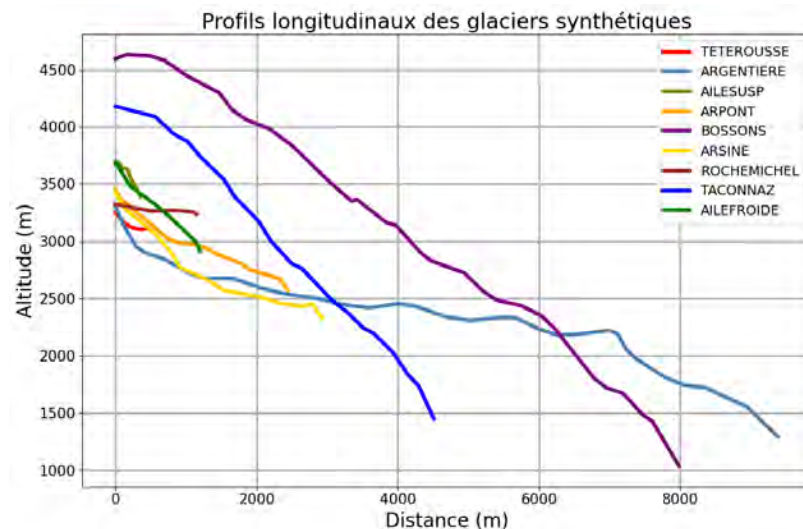


# Méthode

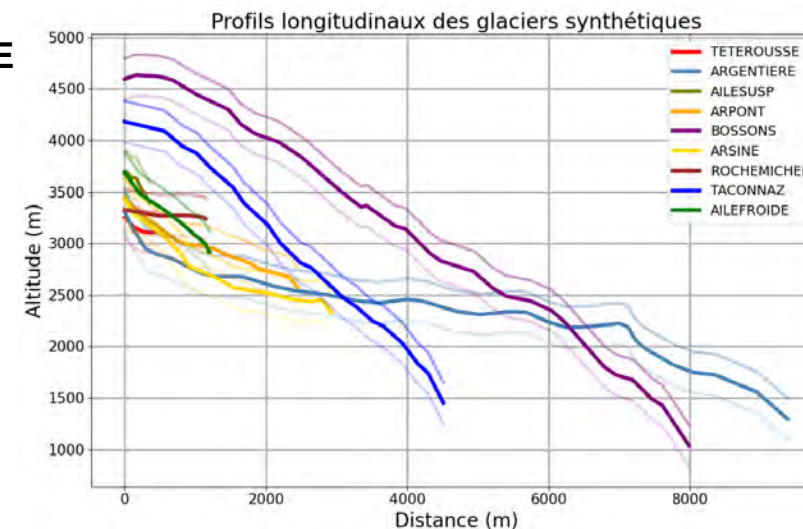
Sensibilité du régime thermique à différents paramètres : modélisations 2D de glaciers synthétiques

## PROFILS

- Pentes
- Longueur
- Forme



## ALTITUDE



## ORIENTATIONS

Ensoleillement, radiations



## ACCUMULATION NEIGEUSE

- Surraccumulation (avalanches)
- Sous-accumulation (transport par le vent)



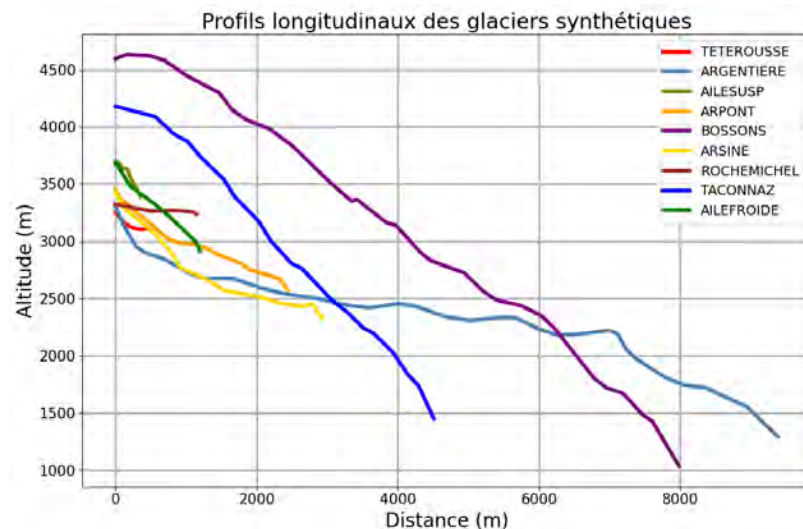


# Méthode

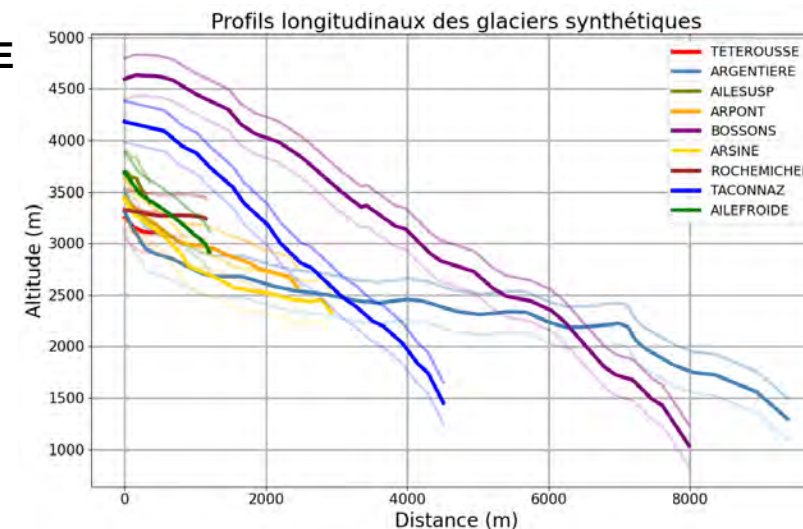
Sensibilité du régime thermique à différents paramètres : modélisations 2D de glaciers synthétiques

## PROFILS

- Pentes
- Longueur
- Forme



## ALTITUDE



## ORIENTATIONS

Ensoleillement, radiations



## ACCUMULATION NEIGEUSE

- Surraccumulation (avalanches)
- Sous-accumulation (transport par le vent)



360 simulations





# Résultats

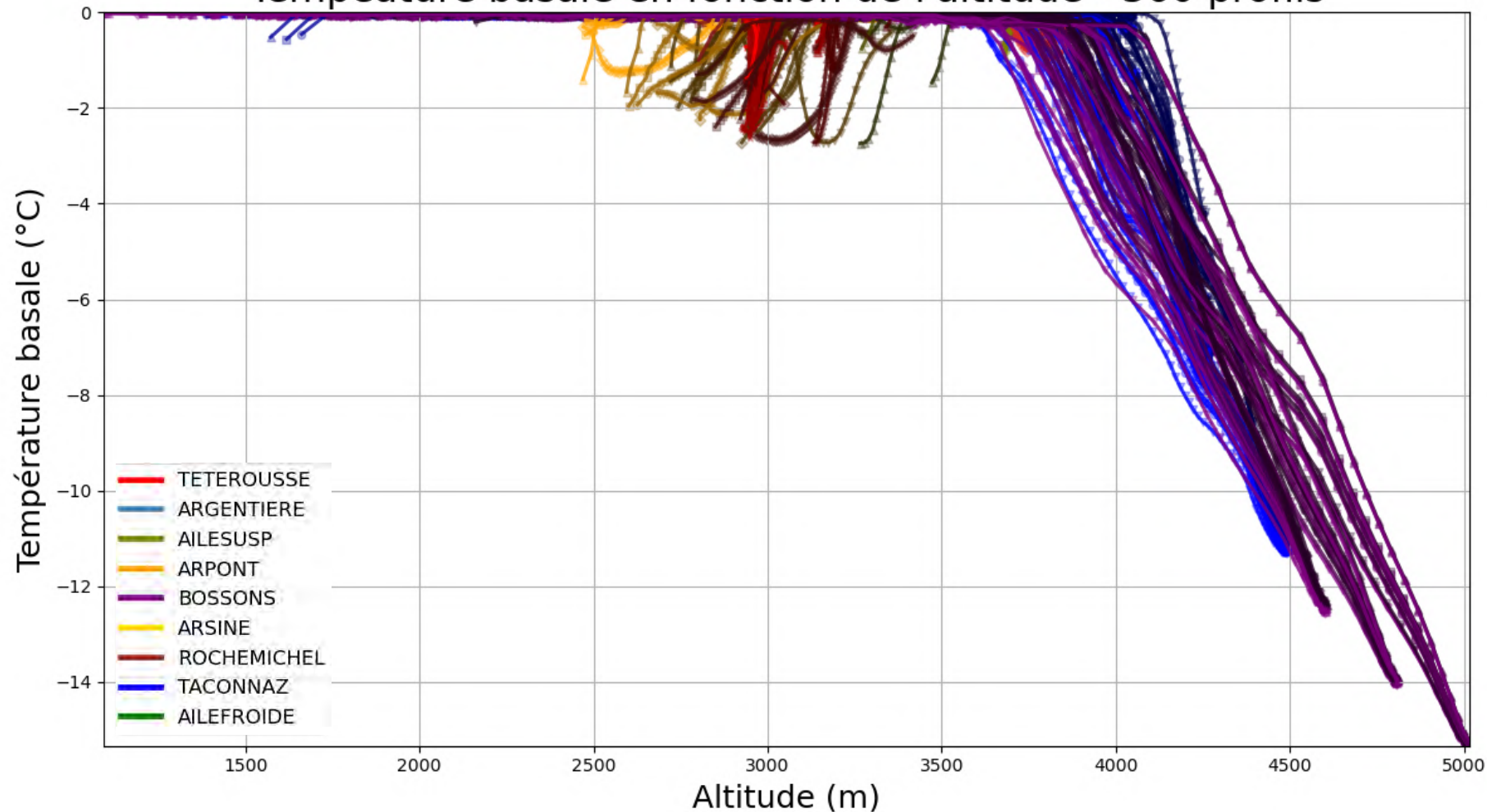
Configurations de glaciers au régime polythermal favorable au stockage d'une poche d'eau thermique



# Résultats

Configurations des glaciers polythermaux favorables au stockage d'une poche d'eau thermique

Température basale en fonction de l'altitude - 360 profils



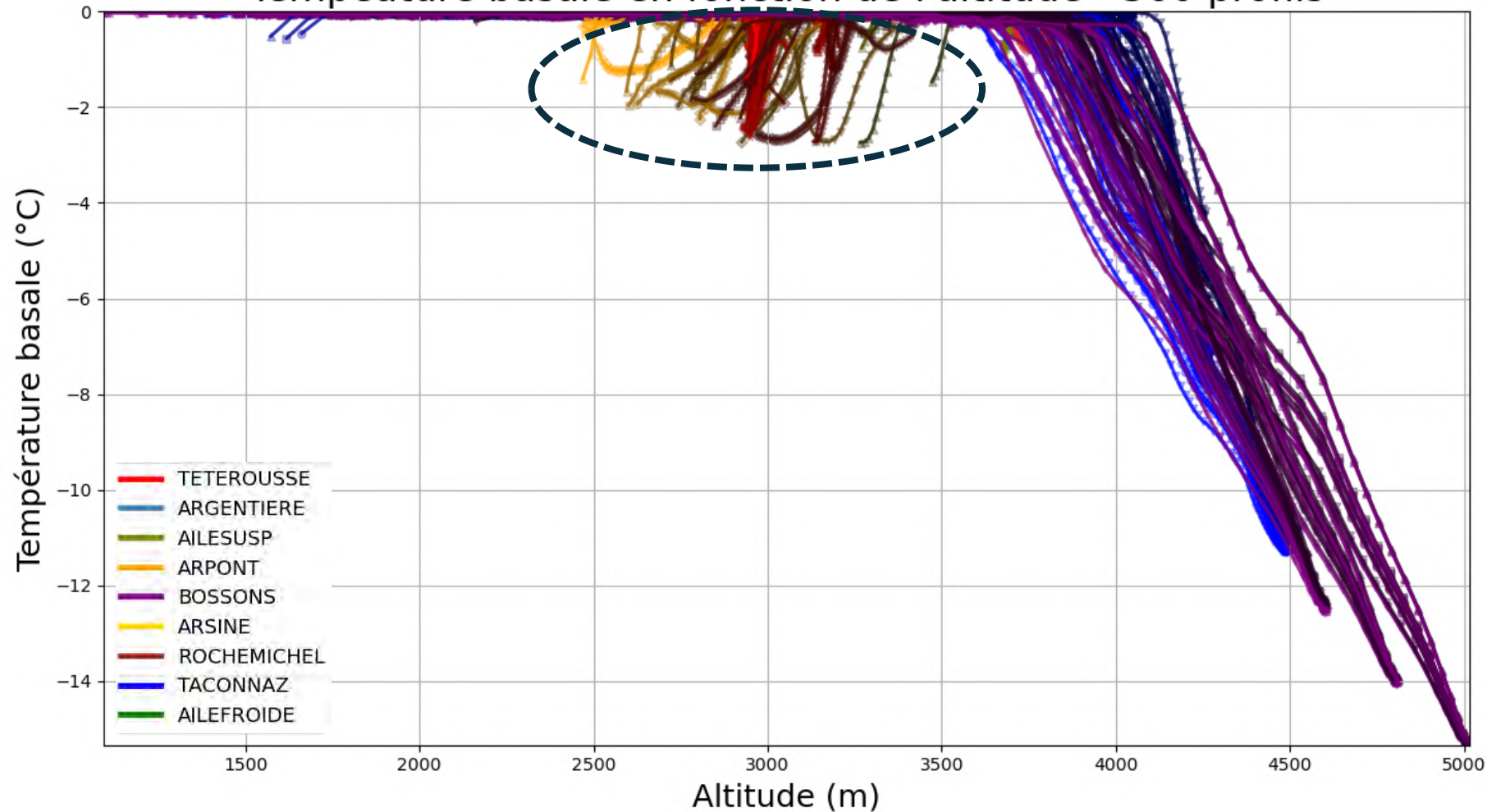
360 profils de  
température



# Résultats

Configurations des glaciers polythermaux favorables au stockage d'une poche d'eau thermique

Température basale en fonction de l'altitude - 360 profils



55 profils de  
température  
polythermaux



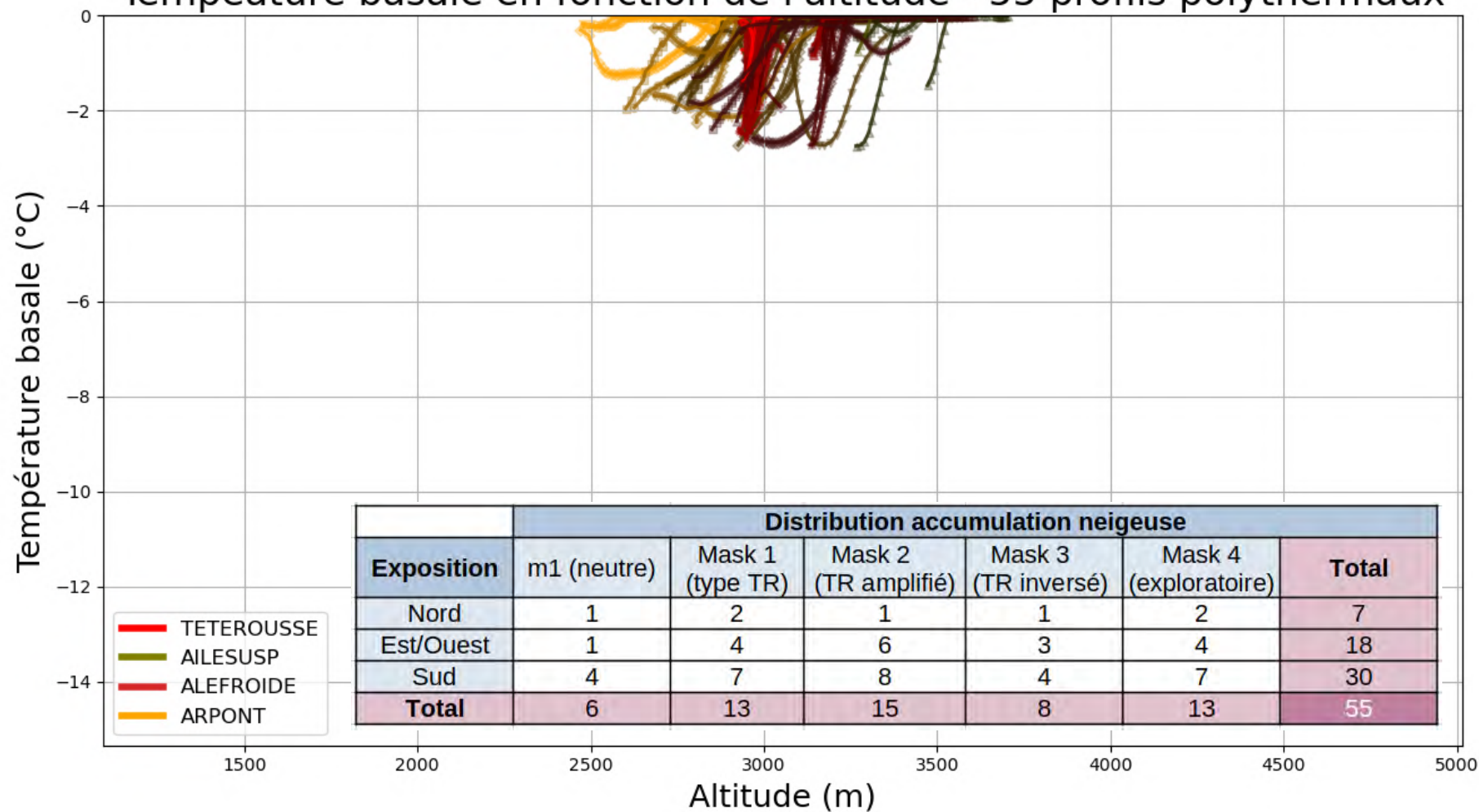


# Résultats

Configurations des glaciers polythermaux favorables au stockage d'une poche d'eau thermique

55 profils  
polythermaux type  
"Tête-Rousse"

Température basale en fonction de l'altitude - 55 profils polythermaux

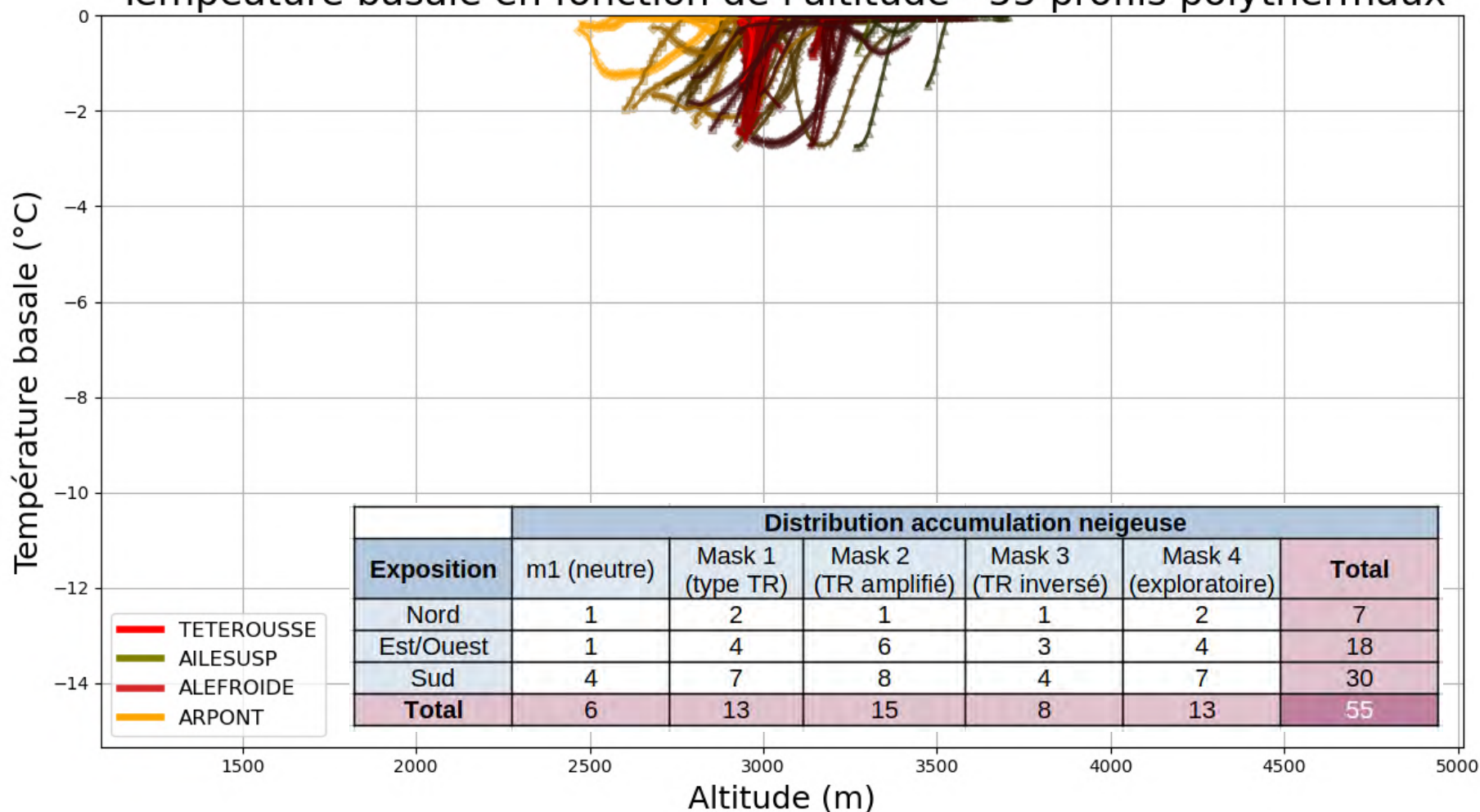




# Résultats

Configurations des glaciers polythermaux favorables au stockage d'une poche d'eau thermique

Température basale en fonction de l'altitude - 55 profils polythermaux



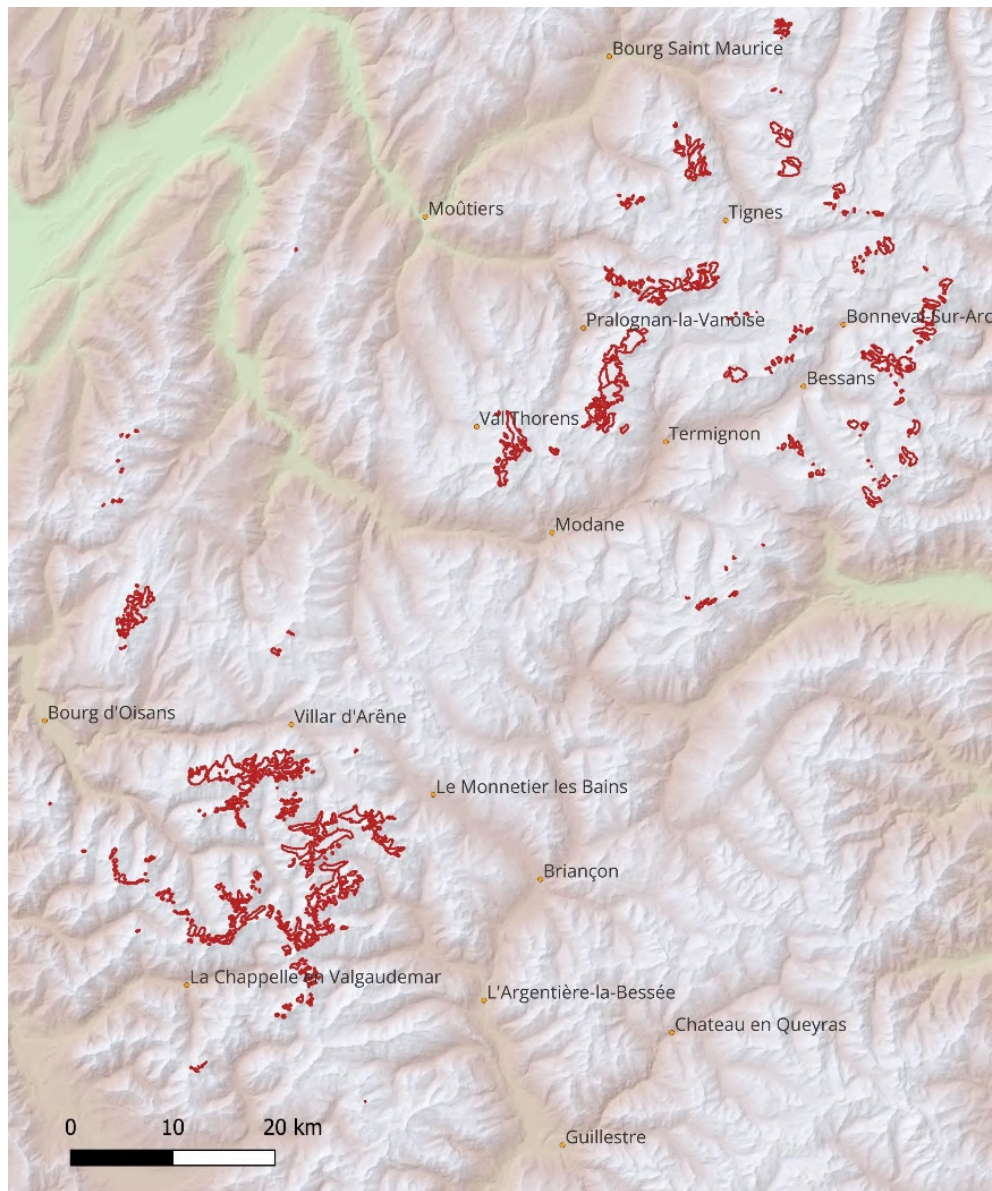
55 profils polythermaux type "Tête-Rousse"

- Petits glaciers < 3km de long
  - Altitudes 2500m-3500m
- Zone frontale en ablation (régime transitoire)



# Approche opérationnelle

Aléa Poche d'eau thermique : cartographie et classement des glaciers





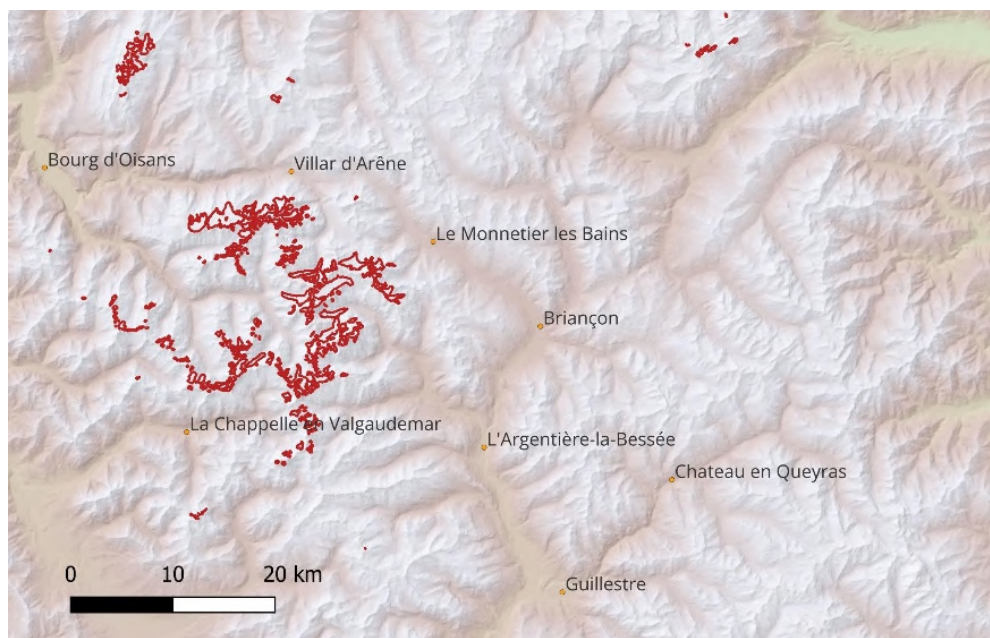


# Approche opérationnelle

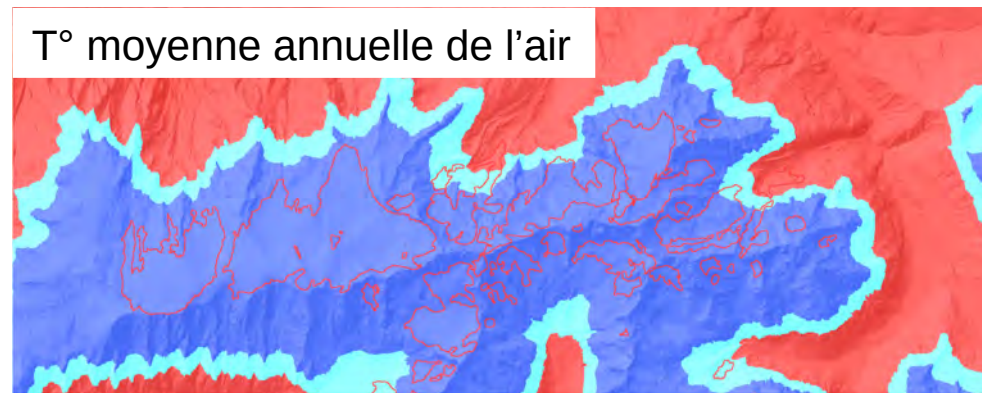
Aléa Poche d'eau thermique : cartographie et classement des glaciers

## 1. Critères déterminants

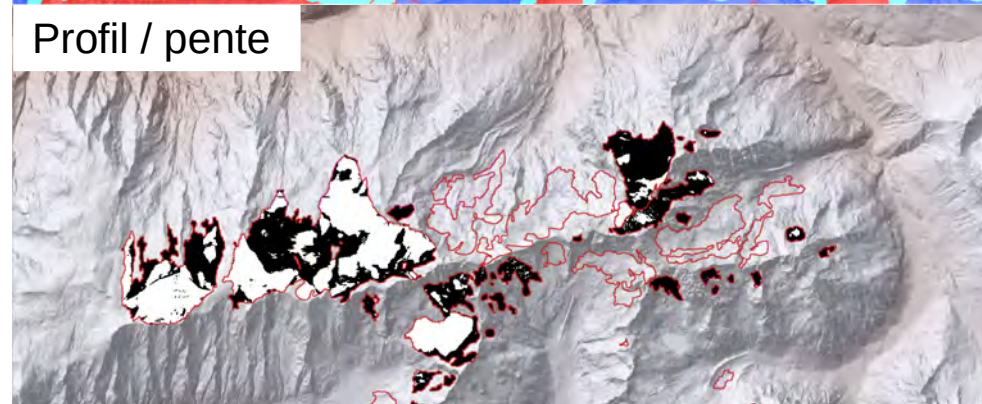
- T° de l'air au front du glacier
- Pente
- Couverture détritique



T° moyenne annuelle de l'air



Profil / pente







# Approche opérationnelle

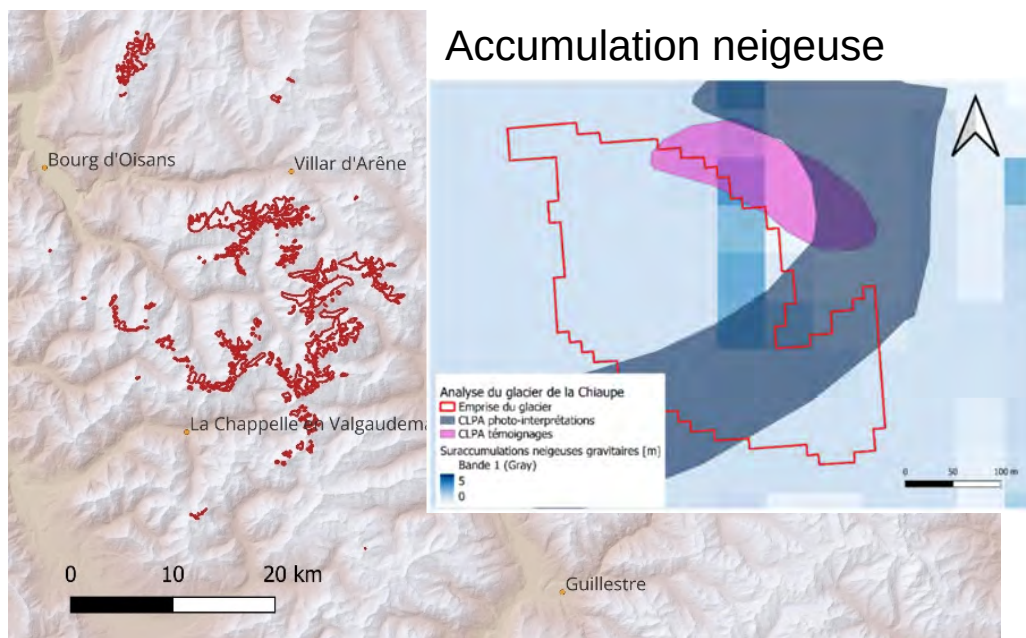
Aléa Poche d'eau thermique : cartographie et classement des glaciers

## 1. Critères déterminants

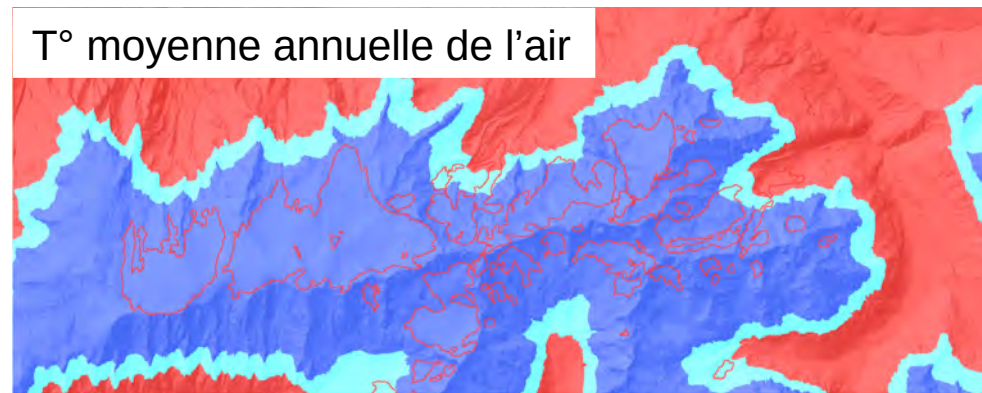
- T° de l'air au front du glacier
- Pente
- Couverture détritique

## 2. Critères supplétifs (si disponibles)

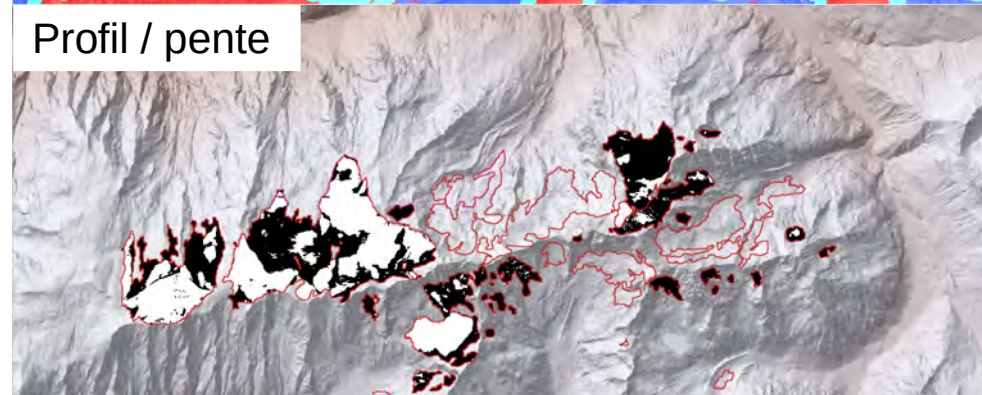
- Névée et surracumulation neigeuse
- Épaisseur de la glace au front
- Surcreusement du bedrock
- ...



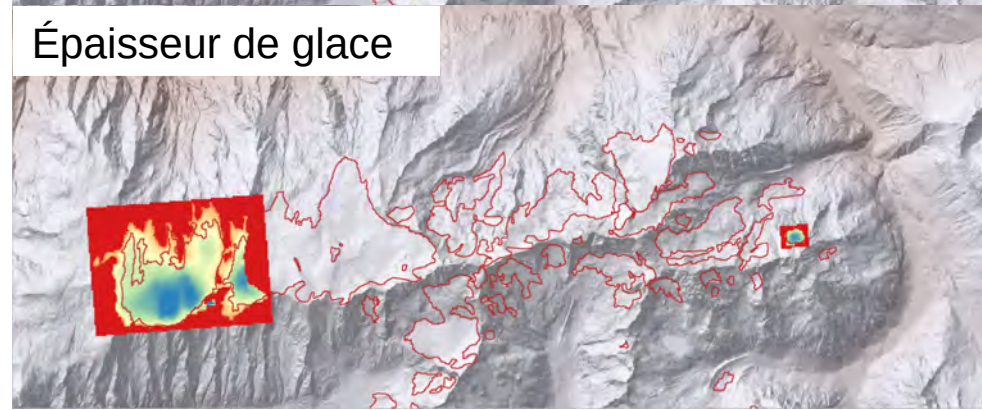
T° moyenne annuelle de l'air



Profil / pente



Épaisseur de glace







# Approche opérationnelle

## Aléa Poche d'eau thermique : cartographie et classement des glaciers

### 1. Critères déterminants

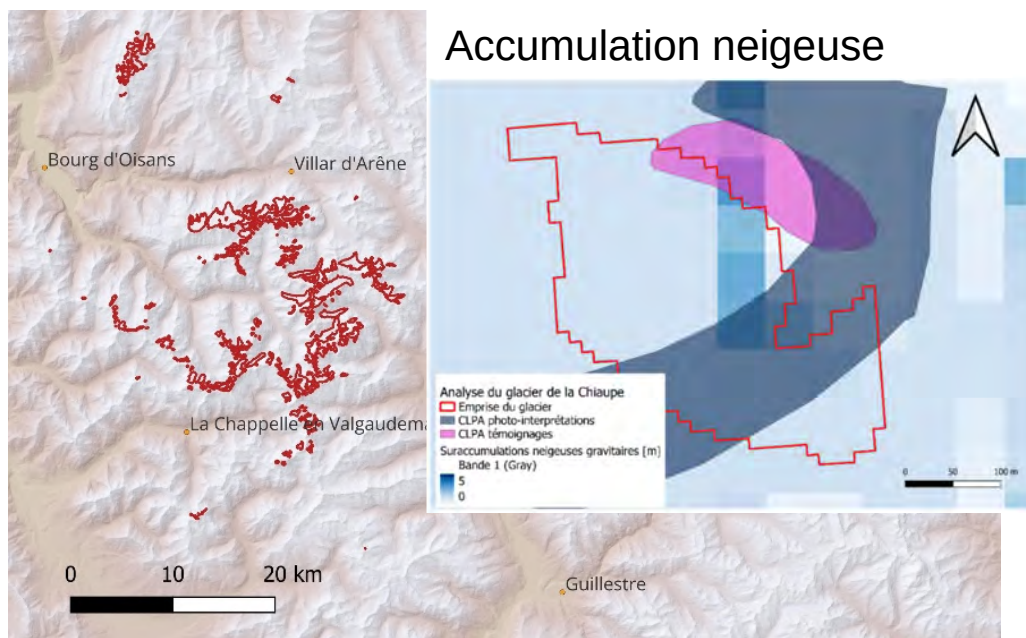
- T° de l'air au front du glacier
- Pente
- Couverture détritique

### 2. Critères supplétifs (si disponibles)

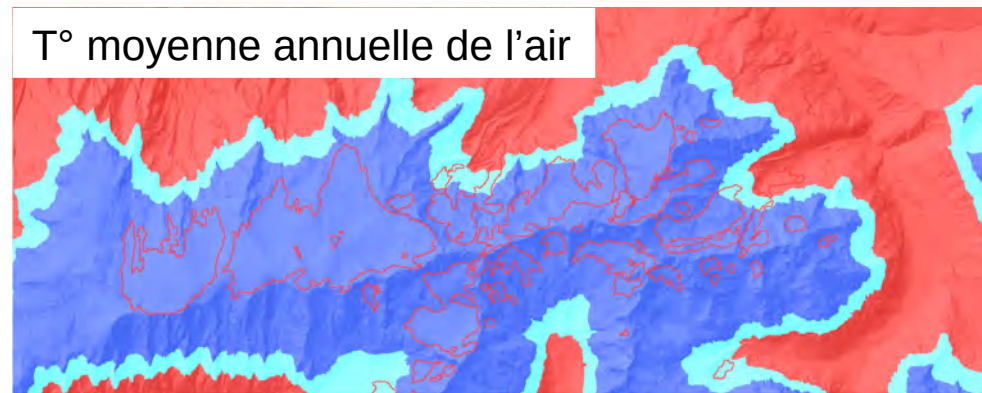
- Névée et surracumulation neigeuse
- Épaisseur de la glace au front
- Surcreusement du bedrock
- ...

### 3. Classement des glaciers

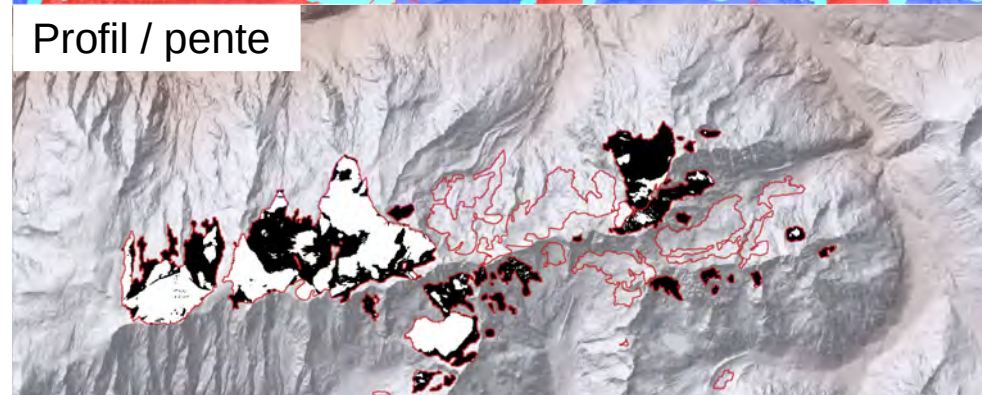
- Instrumentation ? Validation des hypothèses
- Glacier polythermal # poche d'eau thermique



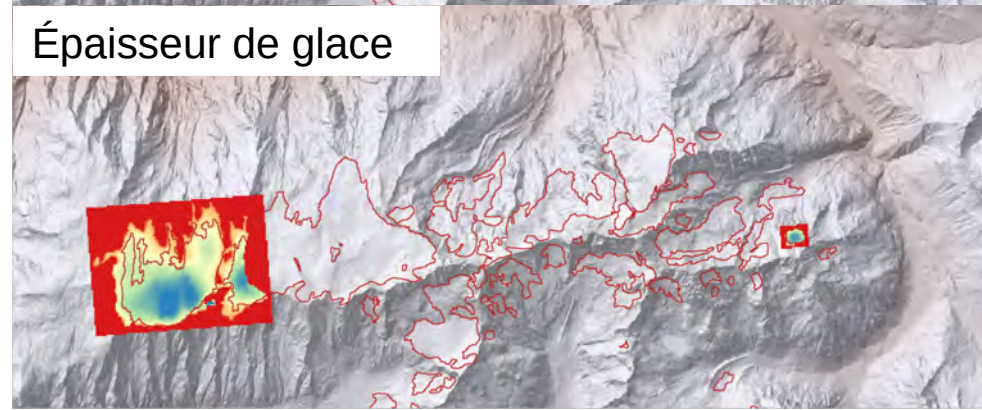
T° moyenne annuelle de l'air



Profil / pente



Épaisseur de glace







# Conclusion

## De la compréhension des processus à la cartographie opérationnelle

- **Combinaison et complémentarité des approches académiques et opérationnelles**
    - Compréhension des processus et des configurations favorables.
    - Élaboration d'une méthode de cartographie et classement relatif des glaciers
- => peu d'occurrences à susceptibilité forte dans les Alpes





# Conclusion

## De la compréhension des processus à la cartographie opérationnelle

- **Combinaison et complémentarité des approches académiques et opérationnelles**
  - Compréhension des processus et des configurations favorables.
  - Élaboration d'une méthode de cartographie et classement relatif des glaciers
  - => peu d'occurrences à susceptibilité forte dans les Alpes
- **Axes d'amélioration et limites**
  - Paramètres primordiaux indisponibles à grande échelle
  - Régime thermique polythermal  $\neq$  poche d'eau thermique





# Conclusion

## De la compréhension des processus à la cartographie opérationnelle

- **Combinaison et complémentarité des approches académiques et opérationnelles**
  - Compréhension des processus et des configurations favorables.
  - Élaboration d'une méthode de cartographie et classement relatif des glaciers
  - => peu d'occurrences à susceptibilité forte dans les Alpes
- **Axes d'amélioration et limites**
  - Paramètres primordiaux indisponibles à grande échelle
  - Régime thermique polythermal  $\neq$  poche d'eau thermique
- **Perspectives**
  - Validation des hypothèses : campagnes de mesures ?
  - De l'approche semi-automatique à l'approche statistique : Entraînement d'un modèle de machine learning
- Poches d'eau « mécaniques »





# Merci !







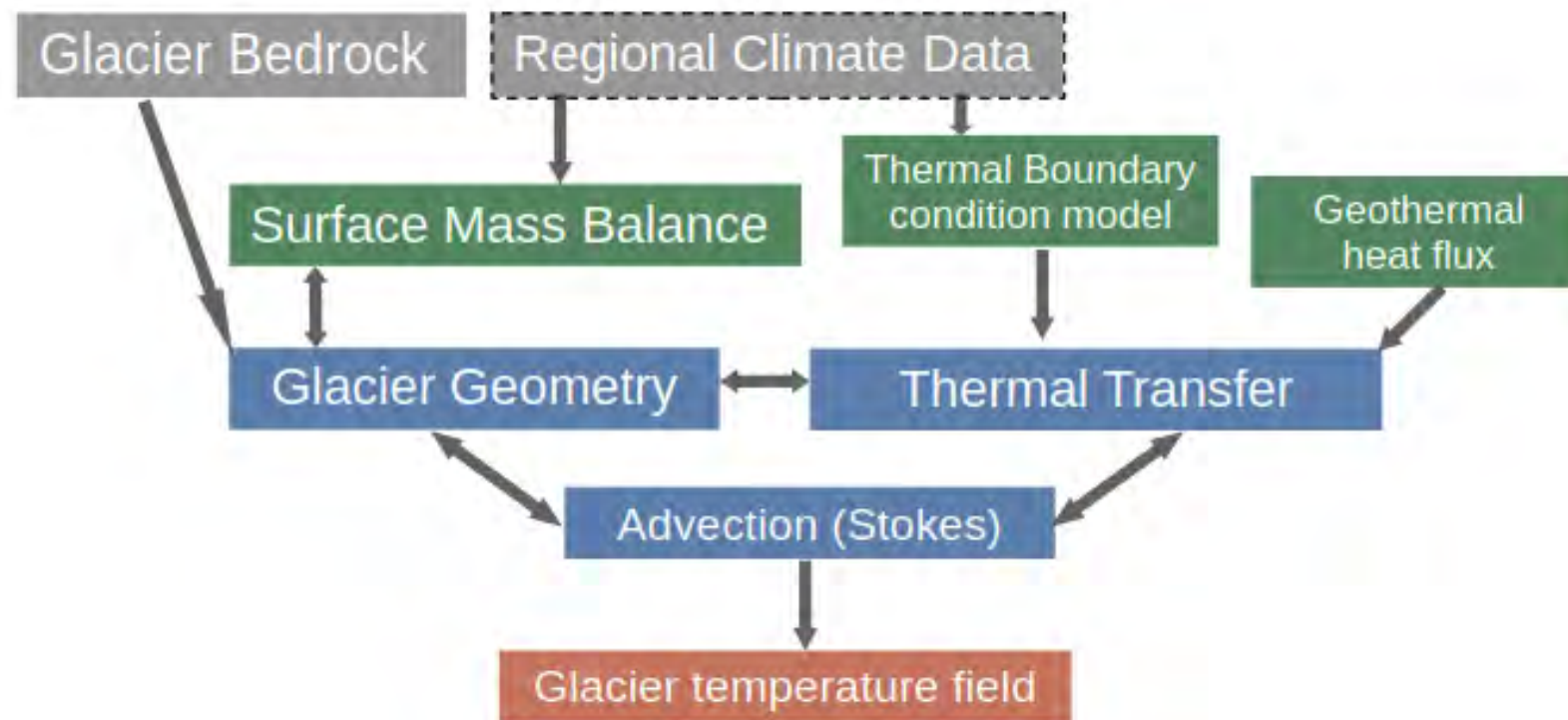
# Méthode

Modélisation du régime thermique des glaciers



## Numerical modelling

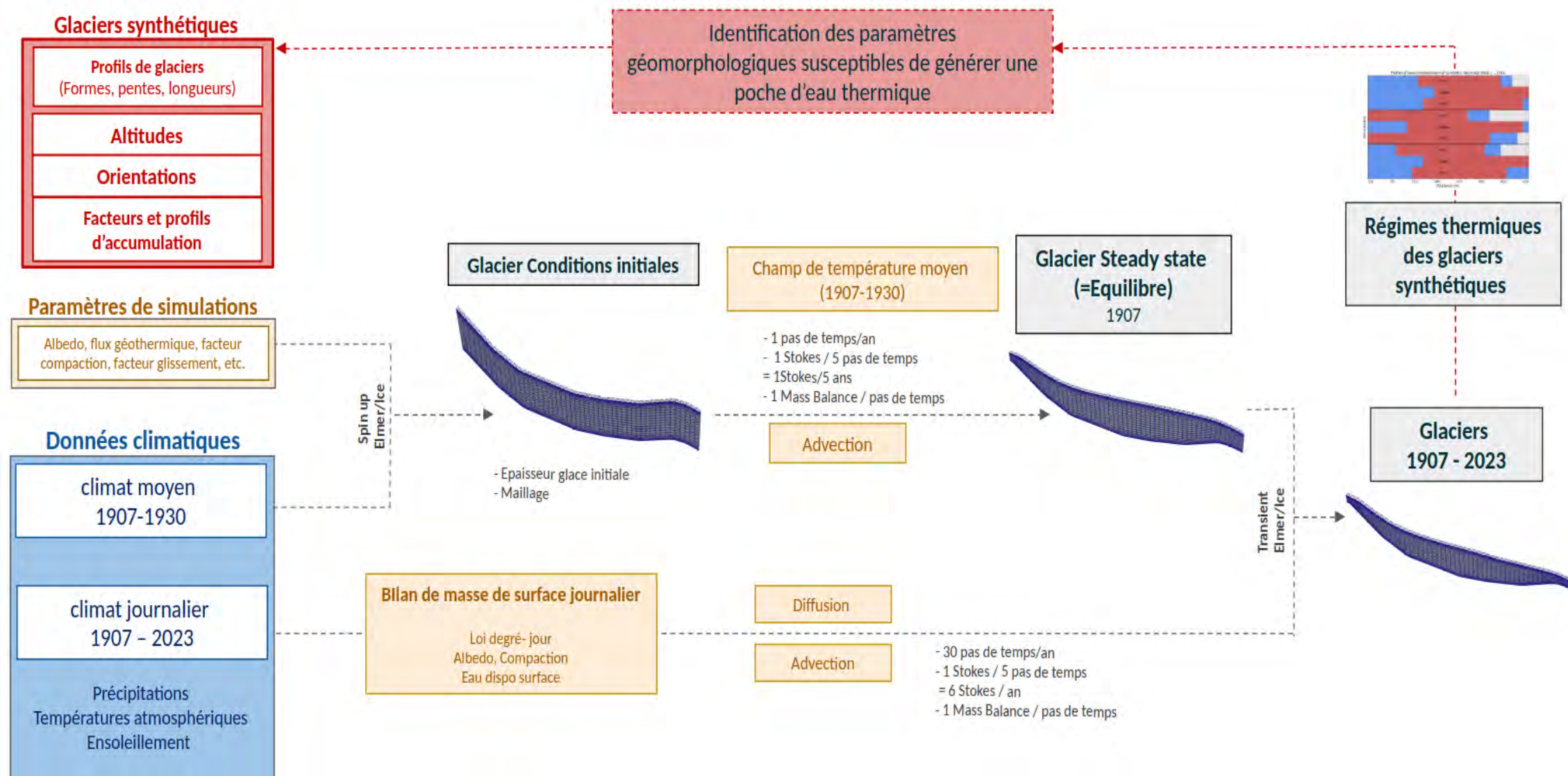
Thermo-mechanical model





# Méthode

## Identification des processus à l'origine des poches d'eau thermiques

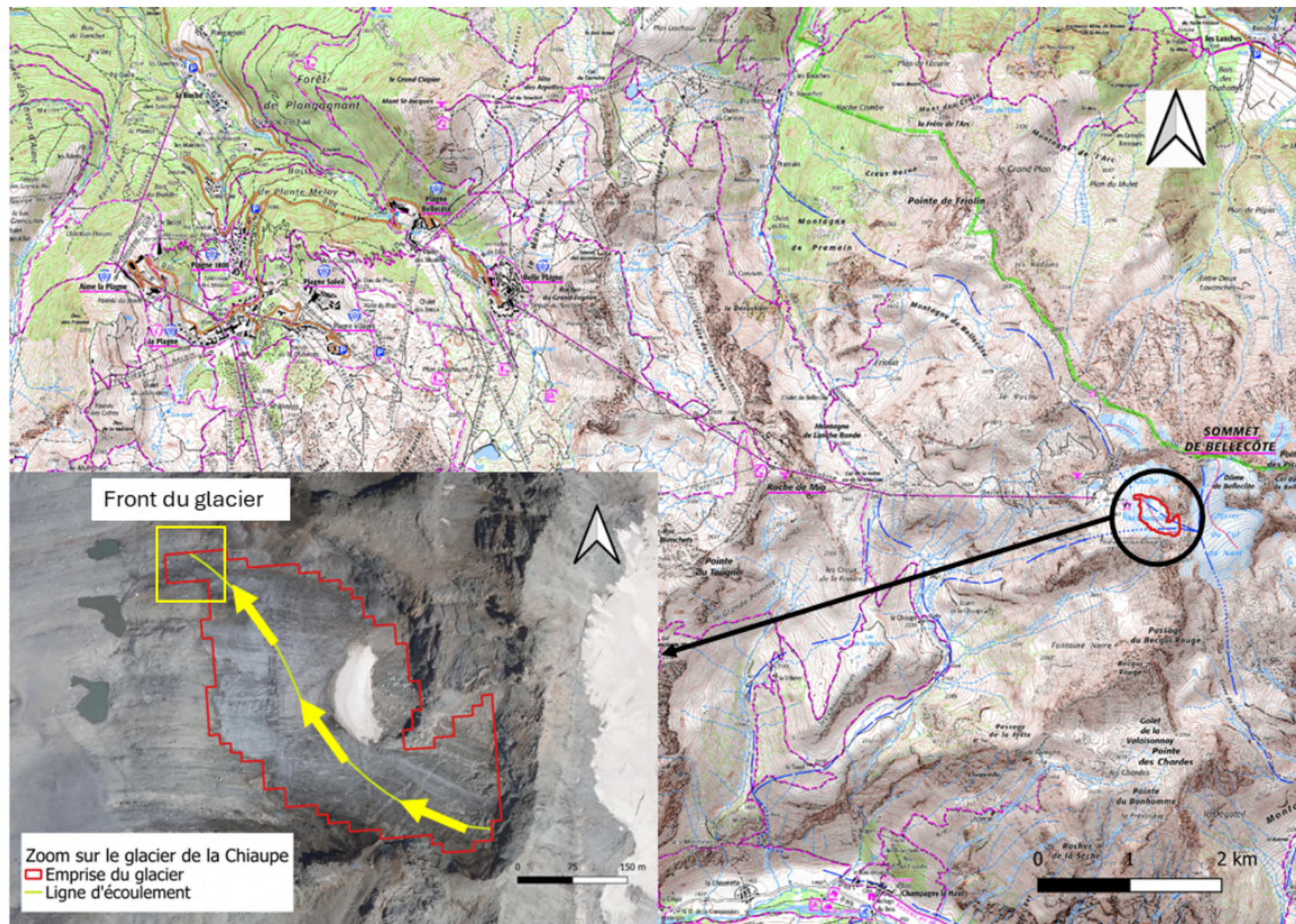






# Méthode

Identification des caractéristiques géomorphologiques favorables







# Méthode opérationnelle

Identification des caractéristiques géomorphologiques favorables

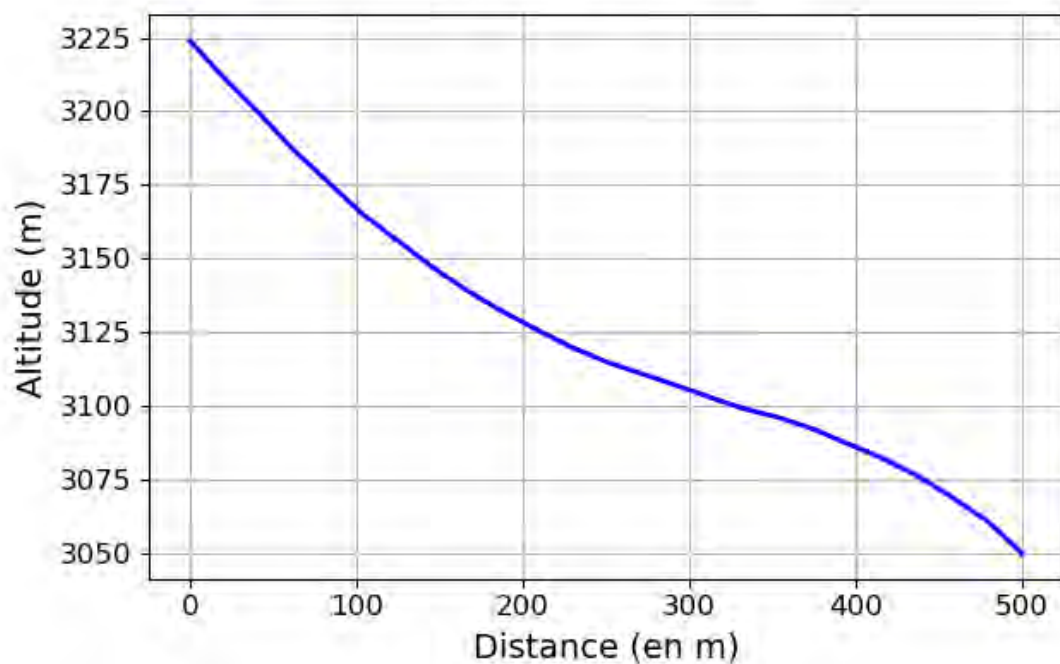
Glacier	Orient.	Pente	Massif	$I_{\text{supplétif}}$
du Chardonnet	SW	21,82	Mont Blanc	9,5
de Tête Rousse	SW	15,57	Mont Blanc	9
Glacier de la Casse déserte _1	SE	21,39	Ecrins	8
de la Rosoire 1	W	13,60	Vanoise	7,5
de la Chiaupe	W	16,90	Vanoise	7,5
de Polset 1	S	19,75	Vanoise	6
Glacier des Rouies	NE	16,51	Ecrins	5,5
Tour 1	W	18,96	Mont Blanc	5,5
Glacier du Clot de l'Homme Pelvoux Violettes _1	N	25,63	Ecrins	5
Glacier de Sialouze	SE	24,51	Ecrins	5
Glacier Supérieur des Agneaux _1 _2	SE	22,20	Ecrins	5
Glacier Supérieur d'Arsine	NW	28,00	Ecrins	4
de la Sassièrre	NW	16,91	HVI(*)	3
du Grand Col 1	N	26,62	HVI(*)	3
Glacier du Fauteuil	N	32,58	Ecrins	3



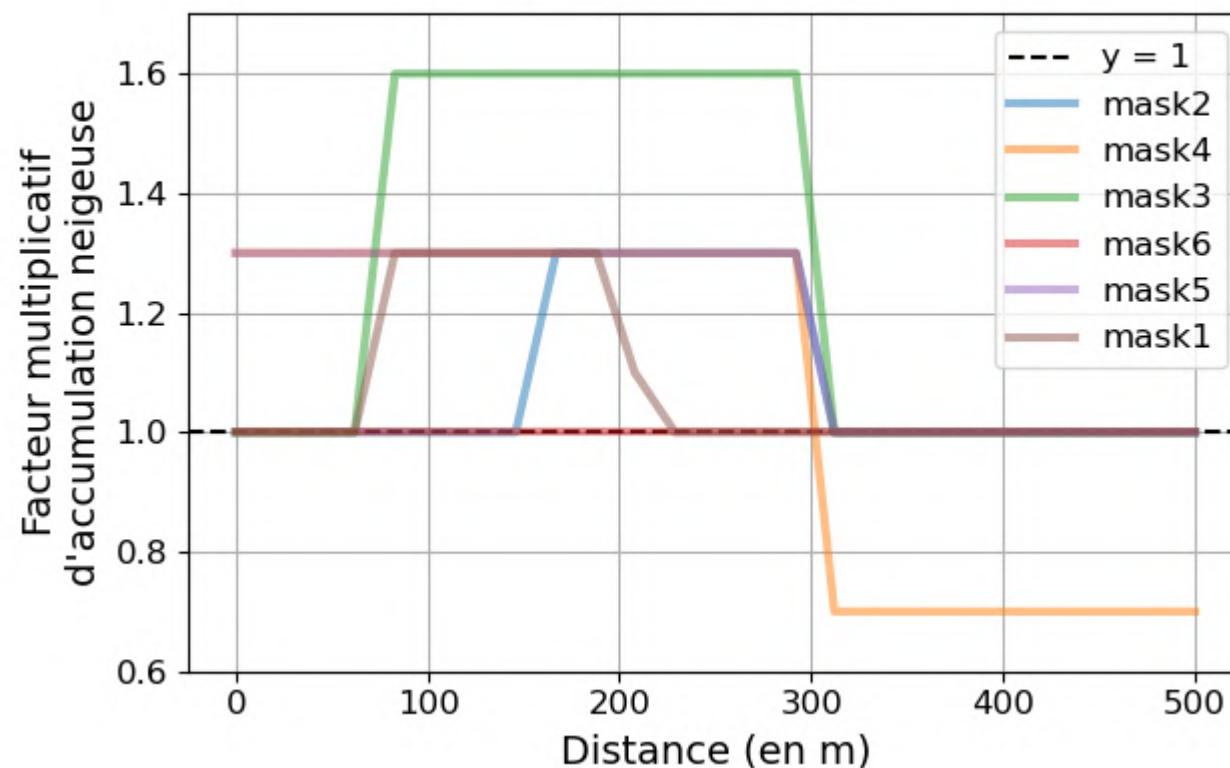
# Méthode

Identification des caractéristiques géomorphologiques favorables

Profil du bedrock du glacier de Chiaupe



Profils d'accumulation neigeuse du glacier de Chiaupe







# Méthode

## Identification des caractéristiques géomorphologiques favorables

