

# Effondrement du glacier du Birch : modélisation des mécanismes de détachement

**Julien Brondex**<sup>1</sup>, **Adrien Gilbert**<sup>1</sup>, **Olivier Gagliardini**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, IGE, F-38000 Grenoble, France

Séminaire ROGP 14/11/2025



Le **28 Mai 2025** vers 15h30 le **glacier du Birch** s'effondre causant la destruction complète du **village de Blatten** (Valais, Suisse)



Le **28 Mai 2025** vers 15h30 le **glacier du Birch** s'effondre causant la destruction complète du **village de Blatten** (Valais, Suisse)

### Une cascade de processus :

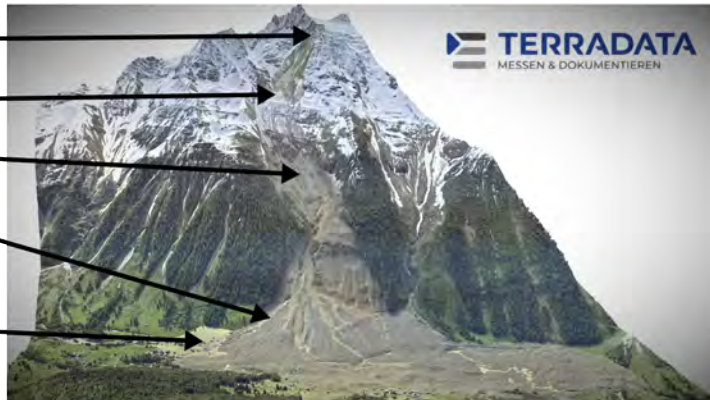
1- Effondrement d'une paroi rocheuse

2- Déstabilisation du glacier

3- Avalanche roche/glace

4- Réarrangement du dépôt

5- Formation d'un lac



Le **28 Mai 2025** vers 15h30 le **glacier du Birch** s'effondre causant la destruction complète du **village de Blatten** (Valais, Suisse)

### Une cascade de processus :

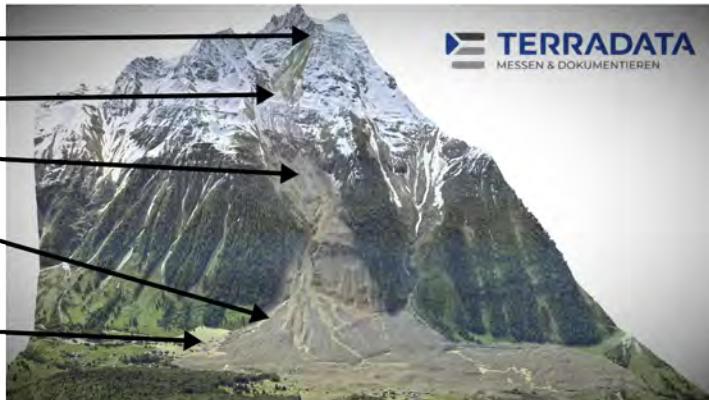
1- Effondrement d'une paroi rocheuse

2- Déstabilisation du glacier

3- Avalanche roche/glace

4- Réarrangement du dépôt

5- Formation d'un lac



Le **28 Mai 2025** vers 15h30 le **glacier du Birch** s'effondre causant la destruction complète du **village de Blatten** (Valais, Suisse)

### Une cascade de processus :

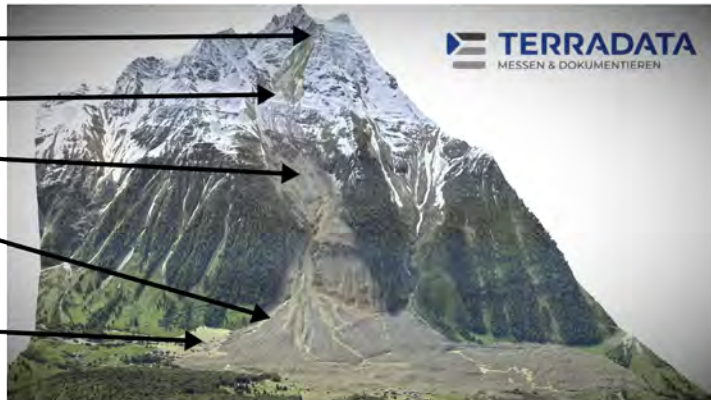
1- Effondrement d'une paroi rocheuse

2- Déstabilisation du glacier

3- Avalanche roche/glace

4- Réarrangement du dépôt

5- Formation d'un lac



### Notre objectif :

**Réanalyser** la déstabilisation du glacier du Birch afin de **calibrer nos modèles** et d'**améliorer nos capacités de prédiction**.

19 Mai 2025



**Volume du dépôt rocheux:**  
(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de m<sup>3</sup>

*Crédit: Geopraevent*

20 Mai 2025



### Volume du dépôt rocheux:

(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.5 millions de  $\text{m}^3$

Crédit: Geopraevent



21 Mai 2025



### Volume du dépôt rocheux:

(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 1.5 millions de  $\text{m}^3$

Crédit: Geopraevent



22 Mai 2025



Crédit: Geopraevent

### Volume du dépôt rocheux:

(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 1.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.3 millions de  $\text{m}^3$

23 Mai 2025



Crédit: Geopraevent

### Volume du dépôt rocheux:

(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 1.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.1 millions de  $\text{m}^3$

24 Mai 2025



Crédit: Geopraevent

### Volume du dépôt rocheux:

(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 1.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.1 millions de  $\text{m}^3$

+ 27 000  $\text{m}^3$

24 Mai 2025



Crédit: Geopraevent

### Volume du dépôt rocheux:

(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 1.5 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.3 millions de  $\text{m}^3$

+ 0.1 millions de  $\text{m}^3$

+ 27 000  $\text{m}^3$

+ 31 000  $\text{m}^3$

**24 Mai 2025***Crédit: Geopraevent***Volume du dépôt rocheux:***(estimation par analyse sismique)*+ 1.3 millions de m<sup>3</sup>+ 0.5 millions de m<sup>3</sup>+ 1.5 millions de m<sup>3</sup>+ 0.3 millions de m<sup>3</sup>+ 0.1 millions de m<sup>3</sup>+ 27 000 m<sup>3</sup>+ 31 000 m<sup>3</sup>Total au 28 Mai 25> 3.7 millions de m<sup>3</sup>**Soit :**

≈ 10 millions de tonnes



24 Mai 2025



Crédit: Geopraevent

### Volume du dépôt rocheux:

(estimation par analyse sismique)

+ 1.3 millions de  $m^3$

+ 0.5 millions de  $m^3$

+ 1.5 millions de  $m^3$

+ 0.3 millions de  $m^3$

+ 0.1 millions de  $m^3$

+ 27 000  $m^3$

+ 31 000  $m^3$

Total au 28 Mai 25

> 3.7 millions de  $m^3$

Soit :

≈ 10 millions de tonnes

### Volume du glacier :

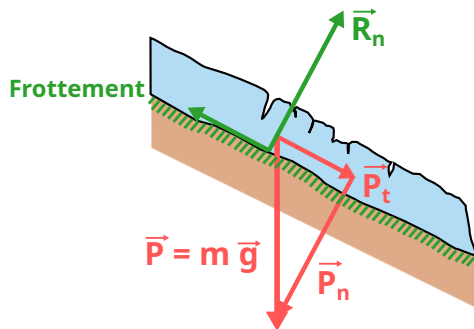
≈ 4.5 millions de  $m^3$

Soit :

≈ 4.1 millions de tonnes

## Equilibre des forces:

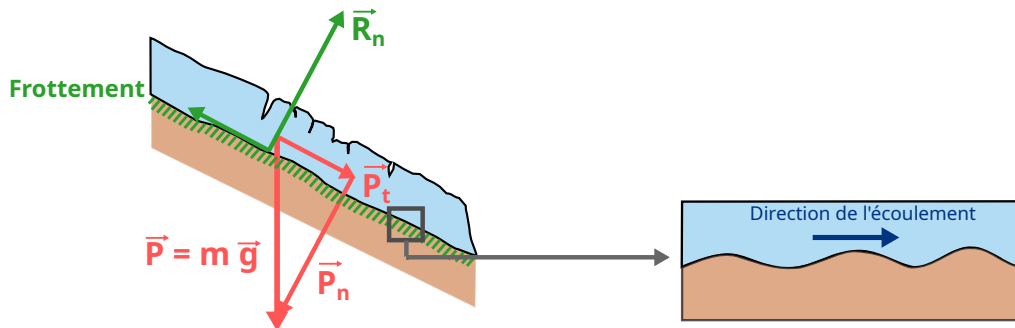
En temps normal, le **frottement de la glace** sur son socle **compense le poids du glacier** et assure sa stabilité





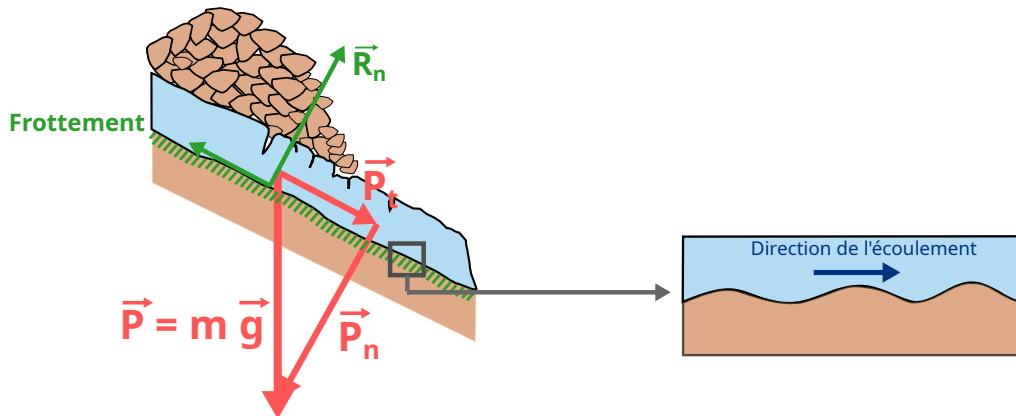
## Equilibre des forces:

En temps normal, le **frottement de la glace** sur son socle **compense le poids du glacier** et assure sa stabilité



La surcharge du dépôt rocheux induit une **très forte augmentation du poids** du glacier

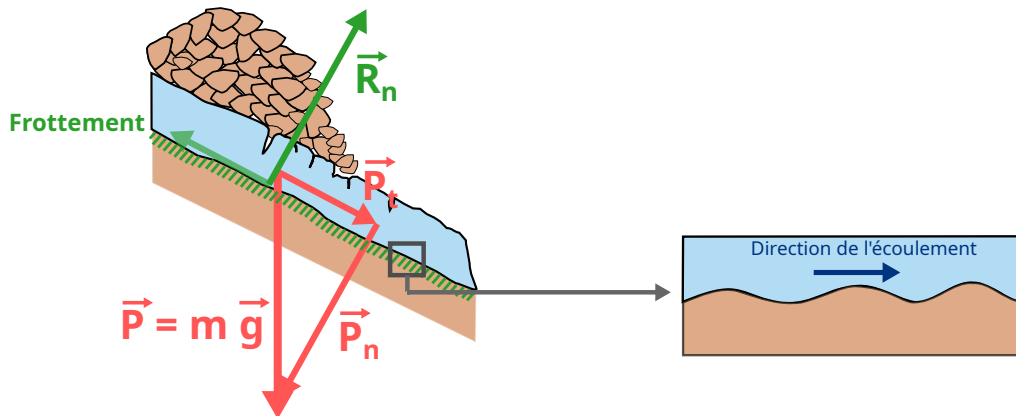
↳ L'écoulement du glacier accélère



La surcharge du dépôt rocheux induit une **très forte augmentation du poids** du glacier

↳ L'écoulement du glacier accélère

Le **frottement doit augmenter** en proportion  
pour maintenir l'équilibre des forces

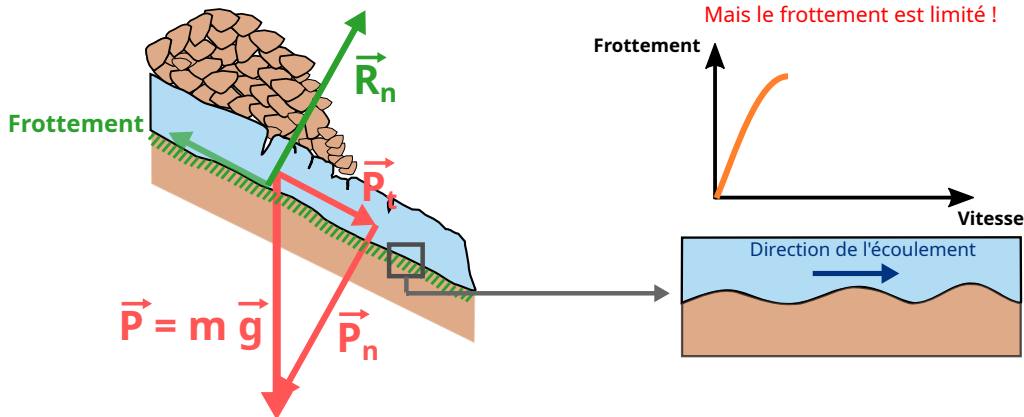


La surcharge du dépôt rocheux induit une **très forte augmentation du poids** du glacier

↳ L'écoulement du glacier accélère

Le **frottement doit augmenter** en proportion  
pour maintenir l'équilibre des forces

Mais le frottement est limité !

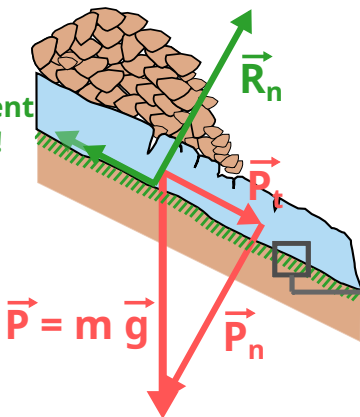


La surcharge du dépôt rocheux induit une **très forte augmentation du poids** du glacier

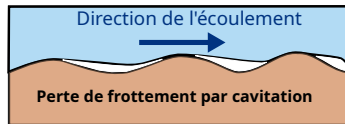
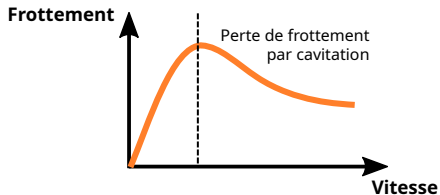
↳ L'écoulement du glacier accélère

Le **frottement doit augmenter** en proportion  
pour maintenir l'équilibre des forces

Frottement  
limité !

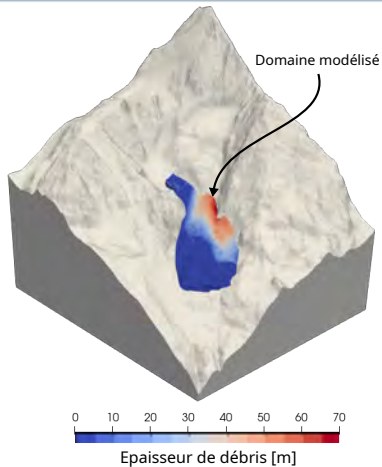


Mais le frottement est limité !





Simulations numériques !



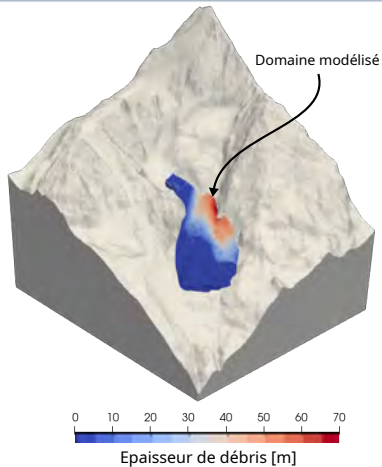


Simulations numériques !



Hypothèses de modélisation (en l'état actuel):

- Socle rocheux rigide
- Glace tempérée
- Pas de pression d'eau à l'interface glace/socle
- Surcharge du dépôt rocheux (9 Mt) appliquée en une fois







## Simulations numériques !

### Hypothèses de modélisation (en l'état actuel):

- Socle rocheux rigide
- Glace tempérée
- Pas de pression d'eau à l'interface glace/socle
- Surcharge du dépôt rocheux (9 Mt) appliquée en une fois

### Expériences numériques :

#### Simulations prognostiques avec une loi de frottement incluant la cavitation:

$$\tau_b^m = (1 - \theta) \frac{u_b}{A_s}$$

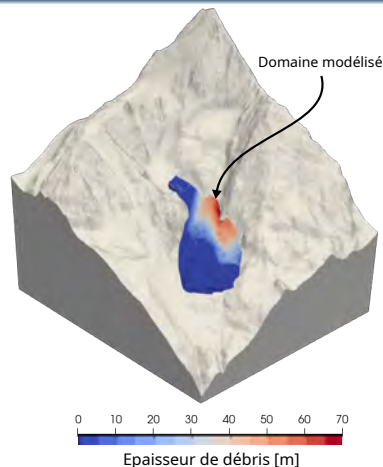
$\theta$ : état de cavitation transitoire

$\theta = 0 \rightarrow$  Pas de cavitation

$\theta = 1 \rightarrow$  Cavitation complète = 0 frottement

$\theta(t) \nearrow$  avec la vitesse basale

$\theta(t) \searrow$  avec la pression de la colonne de glace





## Simulations numériques !



### Hypothèses de modélisation (en l'état actuel):

- Socle rocheux rigide
- Glace tempérée
- Pas de pression d'eau à l'interface glace/socle
- Surcharge du dépôt rocheux (9 Mt) appliquée en une fois

### Expériences numériques :

#### Simulations prognostiques avec une loi de frottement incluant la cavitation:

$$\tau_b^m = (1 - \theta) \frac{u_b}{A_s}$$

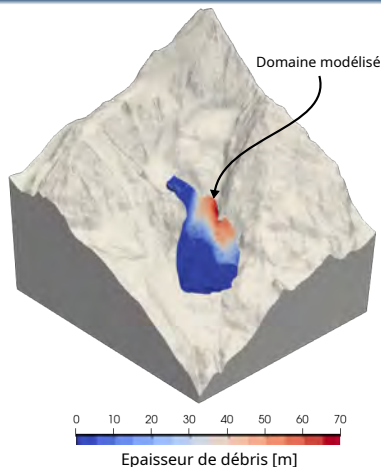
$\theta$ : état de cavitation transitoire

$\theta = 0 \rightarrow$  Pas de cavitation

$\theta = 1 \rightarrow$  Cavitation complète = 0 frottement

$\theta(t) \nearrow$  avec la vitesse basale

$\theta(t) \searrow$  avec la pression de la colonne de glace



En régime sationnaire de cavitation :  $\tau_b/N \leq C$



## Simulations numériques !



### Hypothèses de modélisation (en l'état actuel):

- Socle rocheux rigide
- Glace tempérée
- Pas de pression d'eau à l'interface glace/socle
- Surcharge du dépôt rocheux (9 Mt) appliquée en une fois

### Expériences numériques :

#### Simulations prognostiques avec une loi de frottement incluant la cavitation:

$$\tau_b^m = (1 - \theta) \frac{u_b}{A_s}$$

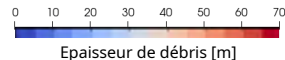
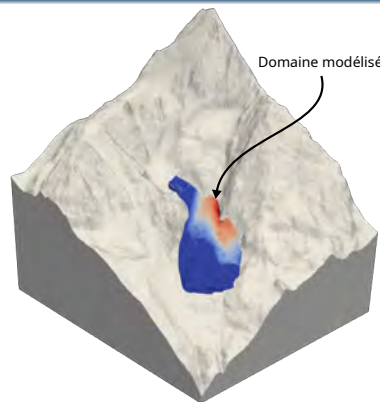
$\theta$ : état de cavitation transitoire

$\theta = 0 \rightarrow$  Pas de cavitation

$\theta = 1 \rightarrow$  Cavitation complète = 0 frottement

$\theta(t) \nearrow$  avec la vitesse basale

$\theta(t) \searrow$  avec la pression de la colonne de glace



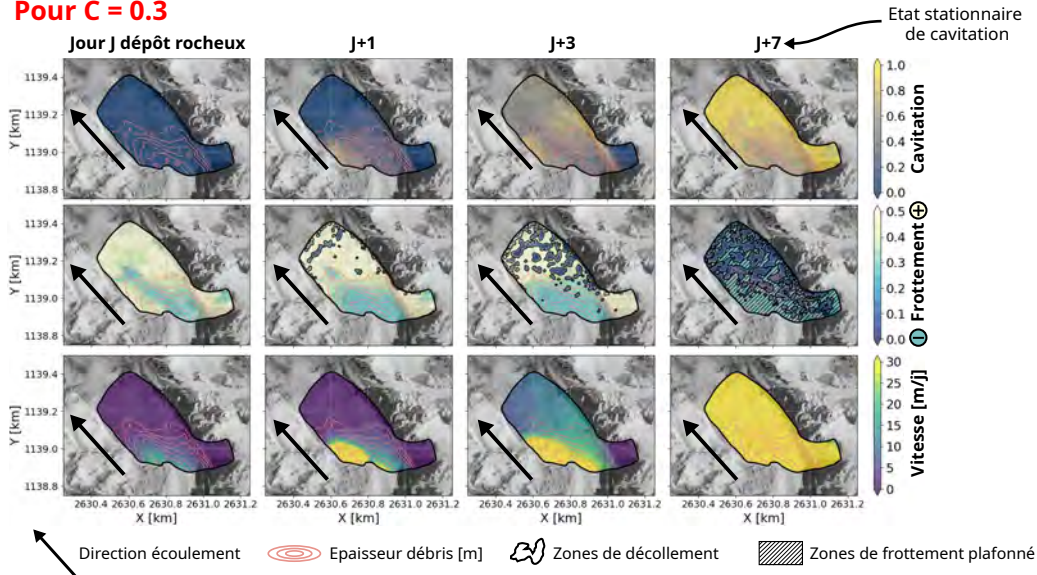
En régime sationnaire de cavitation :  $\tau_b/N \leq C$

$\rightarrow$  coefficient de frottement solide (Coefficient de Coulomb)

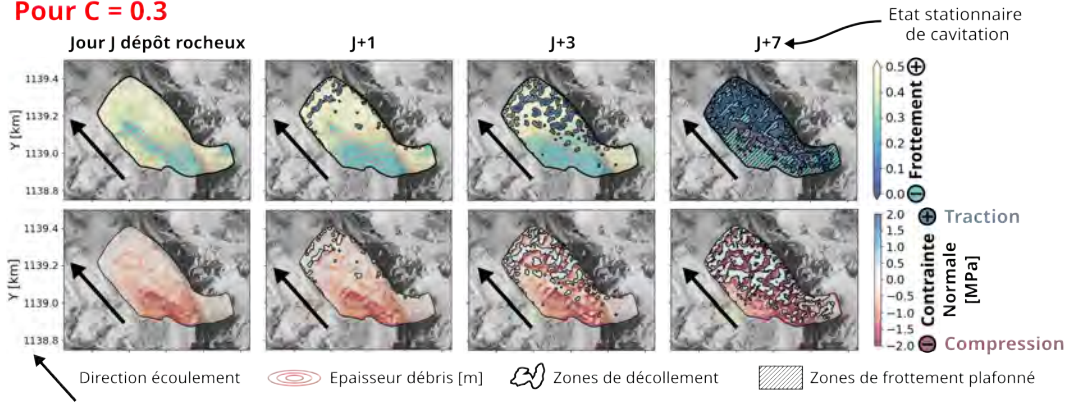
Mal contraint mais  $C \sim 0.4$

Valeurs testées de 0.3 à 0.7

**Pour  $C = 0.3$**

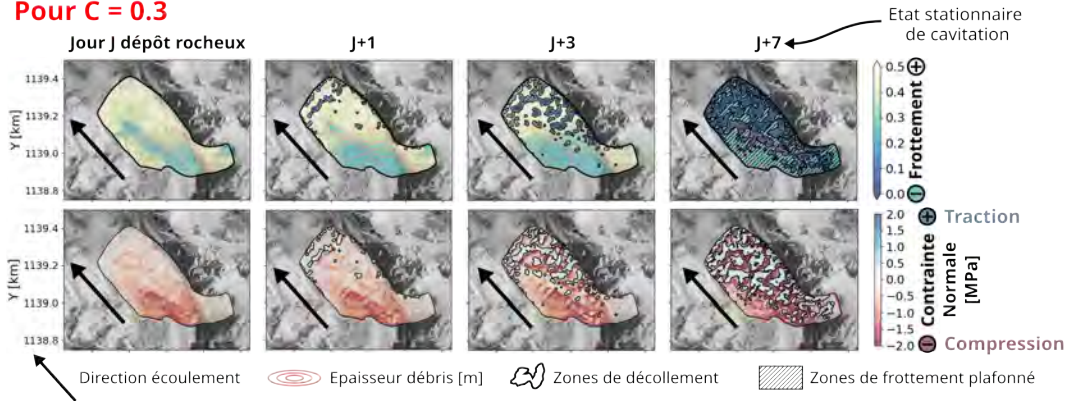


## Pour $C = 0.3$

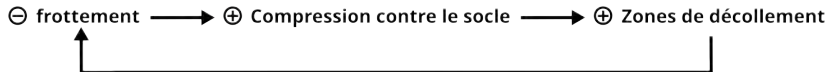


L'équilibre des forces à l'échelle globale doit être satisfait malgré le plafonnement du frottement → **Transfert de contrainte**

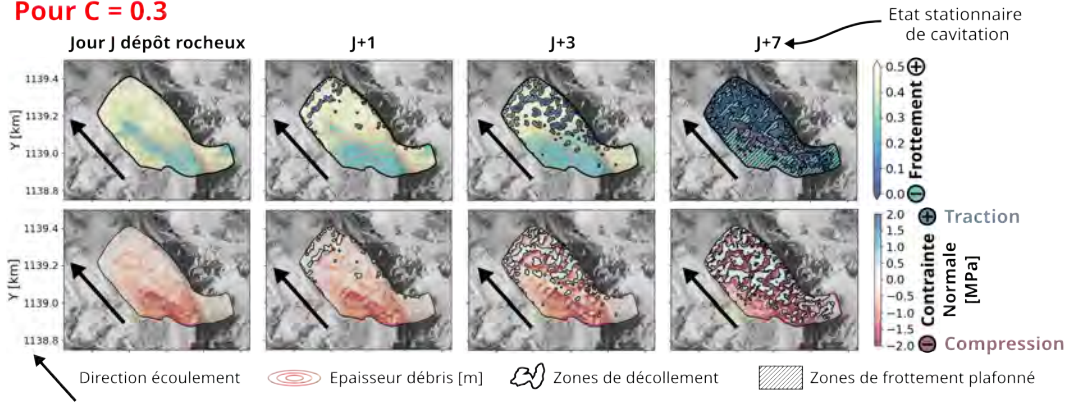
Pour  $C = 0.3$



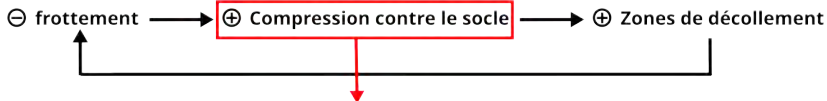
L'équilibre des forces à l'échelle globale doit être satisfait malgré le plafonnement du frottement → Transfert de contrainte



## Pour $C = 0.3$



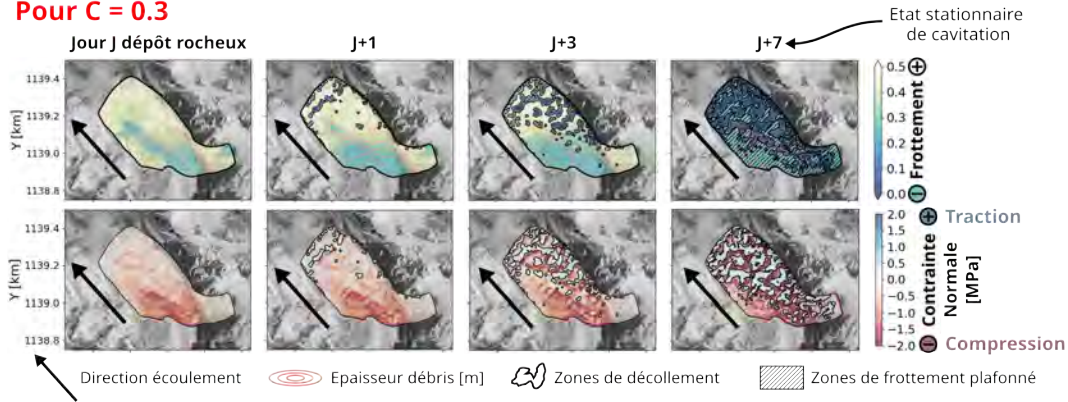
L'équilibre des forces à l'échelle globale doit être satisfait malgré le plafonnement du frottement → Transfert de contrainte



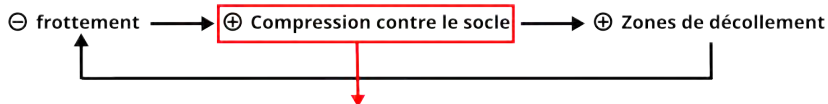
Au-delà d'un certain seuil : Rupture !



Pour  $C = 0.3$



L'équilibre des forces à l'échelle globale doit être satisfait malgré le plafonnement du frottement → Transfert de contrainte

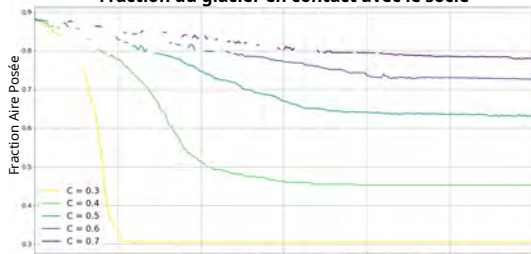


Au-delà d'un certain seuil : Rupture !

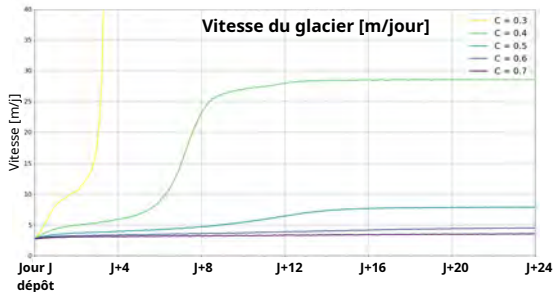
Quel seuil ? → Critère de rupture

## Résultats provisoires !

## Fraction du glacier en contact avec le socle

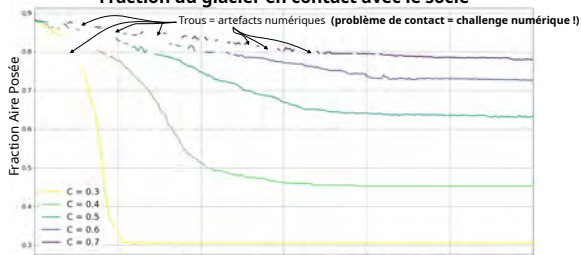


## Vitesse du glacier [m/jour]

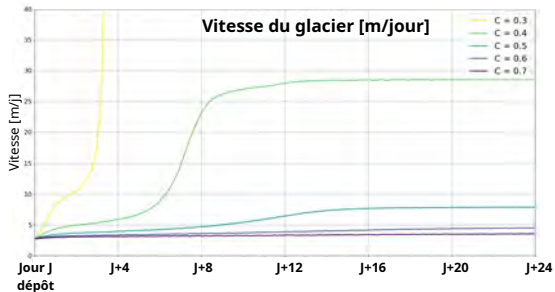


## Résultats provisoires !

## Fraction du glacier en contact avec le socle



## Vitesse du glacier [m/jour]

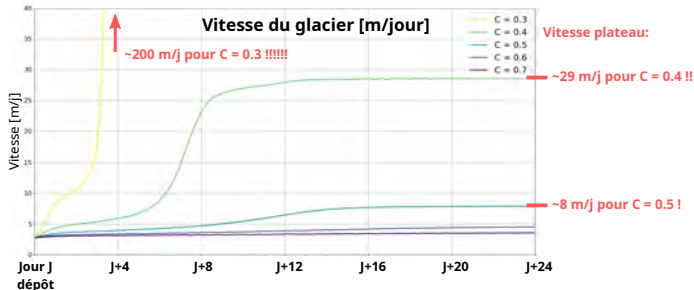


## Résultats provisoires !

## Fraction du glacier en contact avec le socle



## Vitesse du glacier [m/jour]

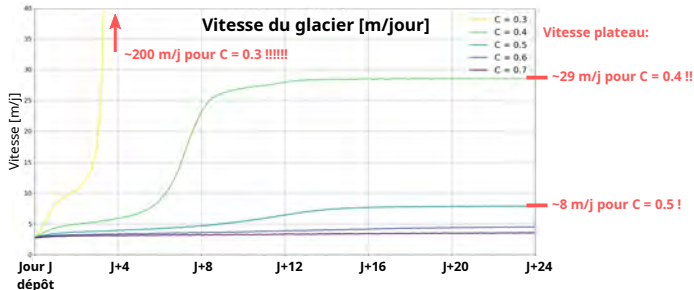


## Résultats provisoires !

## Fraction du glacier en contact avec le socle



## Vitesse du glacier [m/jour]



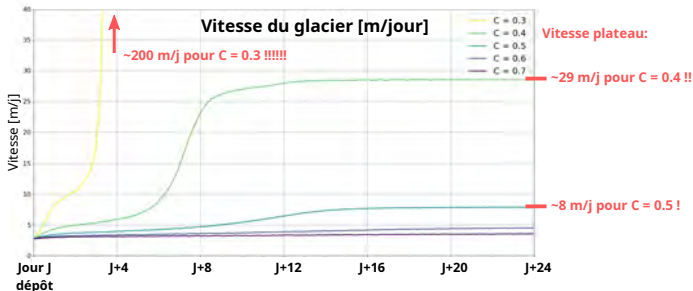
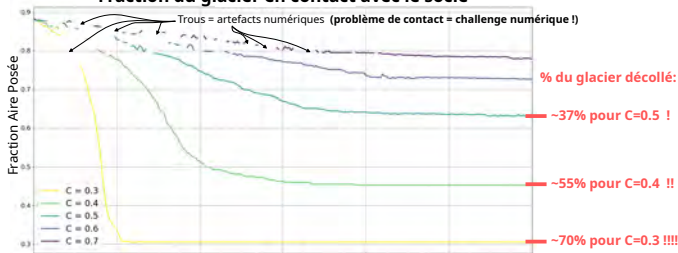
Pour  $C \leq 0.5$ , l'état stationnaire obtenu est irréaliste !



**RUPTURE !**

## Résultats provisoires !

## Fraction du glacier en contact avec le socle



Pour  $C \leq 0.5$ , l'état stationnaire obtenu est irréaliste !

**RUPTURE !**

## Résultats Modélisation

Comparaison

**Données d'Observations**  
(Disponibles Décembre 2025 ?)

Calibration

Valeur de C

Critère de rupture

En l'état actuel, notre modèle permet de :

### 1- Comprendre le mécanisme de propagation de l'instabilité





En l'état actuel, notre modèle permet de :

### 1- Comprendre le mécanisme de propagation de l'instabilité



### 2- Comprendre le mécanisme ayant mené à la rupture



En l'état actuel, notre modèle permet de :

### 1- Comprendre le mécanisme de propagation de l'instabilité



### 2- Comprendre le mécanisme ayant mené à la rupture



Aspect Qualitatif ✓

En l'état actuel, notre modèle permet de :

### 1- Comprendre le mécanisme de propagation de l'instabilité



### 2- Comprendre le mécanisme ayant mené à la rupture



Aspect  
Qualitatif



Le développement d'un **outils à capacité prédictive** doit prendre en compte **l'aspect quantitatif** :

Quelle valeur plafond pour le frottement ? → **Valeur de C**

Quand la rupture survient-elle ? → **Critère de rupture**

En l'état actuel, notre modèle permet de :

### 1- Comprendre le mécanisme de propagation de l'instabilité



### 2- Comprendre le mécanisme ayant mené à la rupture



Aspect  
Qualitatif



Le développement d'un **outils à capacité prédictive** doit prendre en compte **l'aspect quantitatif** :

Quelle **valeur plafond** pour le **frottement** ? → **Valeur de C**

Quand la **rupture** survient-elle ? → **Critère de rupture**

Les **données d'observation** vont permettre de **calibrer notre modèle**

**TRES COURT TERME:**

Il manque encore quelques ingrédients dans notre modèle :

**Evolution de la géométrie du glacier**

**Progressivité du chargement**

**Endommagement**

....

**Travail en  
cours**

### TRES COURT TERME:

Il manque encore quelques ingrédients dans notre modèle :

Evolution de la géométrie du glacier

Progressivité du chargement

Endommagement

....

Travail en  
cours

### COURT TERME:

Exploitation du modèle du Birch pour explorer des scénarios alternatifs : **Que se serait-il passé si ...**

**Même surcharge sur configuration plus ancienne du glacier ? → Travail commencé**

**Surcharge moindre ?**

**Répartition différente de la surcharge ?**

### TRES COURT TERME:

Il manque encore quelques ingrédients dans notre modèle :

Evolution de la géométrie du glacier

Progressivité du chargement

Endommagement

....

Travail en  
cours

### COURT TERME:

Exploitation du modèle du Birch pour explorer des scénarios alternatifs : **Que se serait-il passé si ...**

**Même surcharge sur configuration plus ancienne du glacier ? → Travail commencé**

**Surcharge moindre ?**

**Répartition différente de la surcharge ?**

### MOYEN/LONG TERME:

**Vers un outils de prédiction généralisable à d'autres glaciers de montagne**

# Questions ?

