

Déformation de la lithosphère en arctique par suite de la fonte des glaces : exemple du Svalbard

Présenté par :

Alicia TAFFLET

Doctorante 2^{ème} année au Laboratoire GeF

le **cnam**
GeF


cnes
CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES

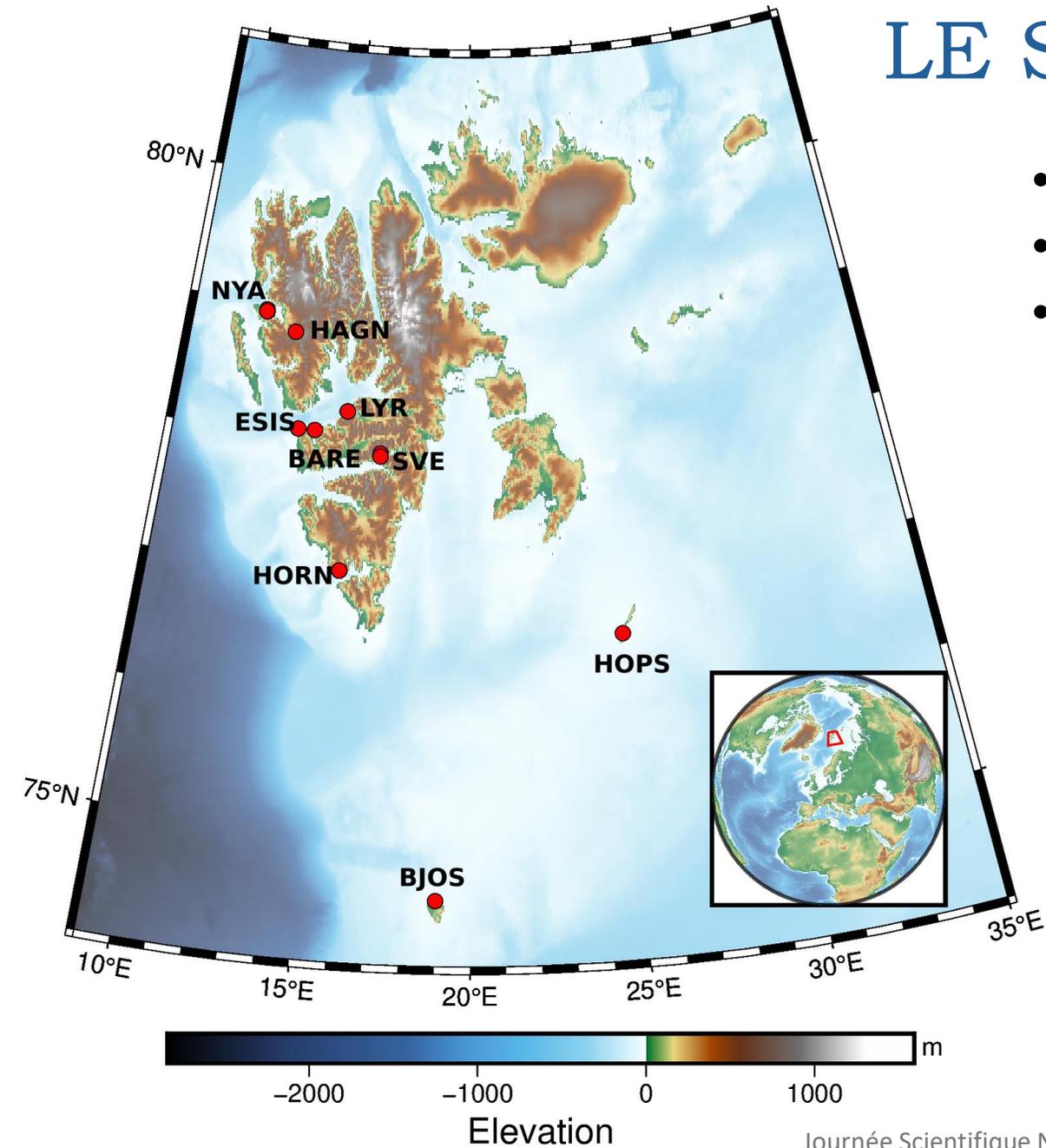
 Région
PAYS DE LA LOIRE


osuna
planètes et environnement

Journées scientifiques
Nantes Université 2025

LE SVALBARD

- Archipel norvégien situé au pôle Nord
- Recouvert à 60% de glace
- Très sensible au changement climatique

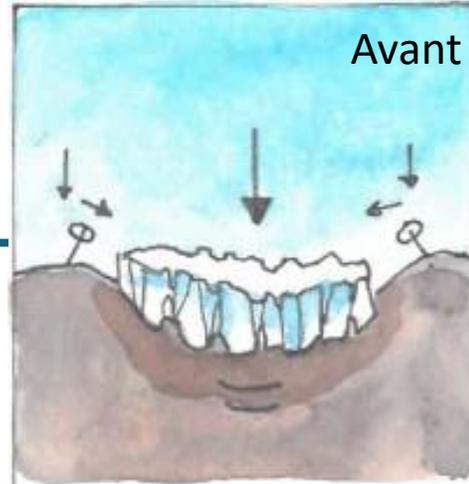


LE SVALBARD



Exemple du recul d'un glacier du Svalbard

Déflexion de la lithosphère
sous le poids d'un glacier



Soulèvement de la
lithosphère suite à la fonte
du glacier
=
Rebond isostatique

Observations : Variations des positions des stations GPS + variation du champ de gravité de la Terre

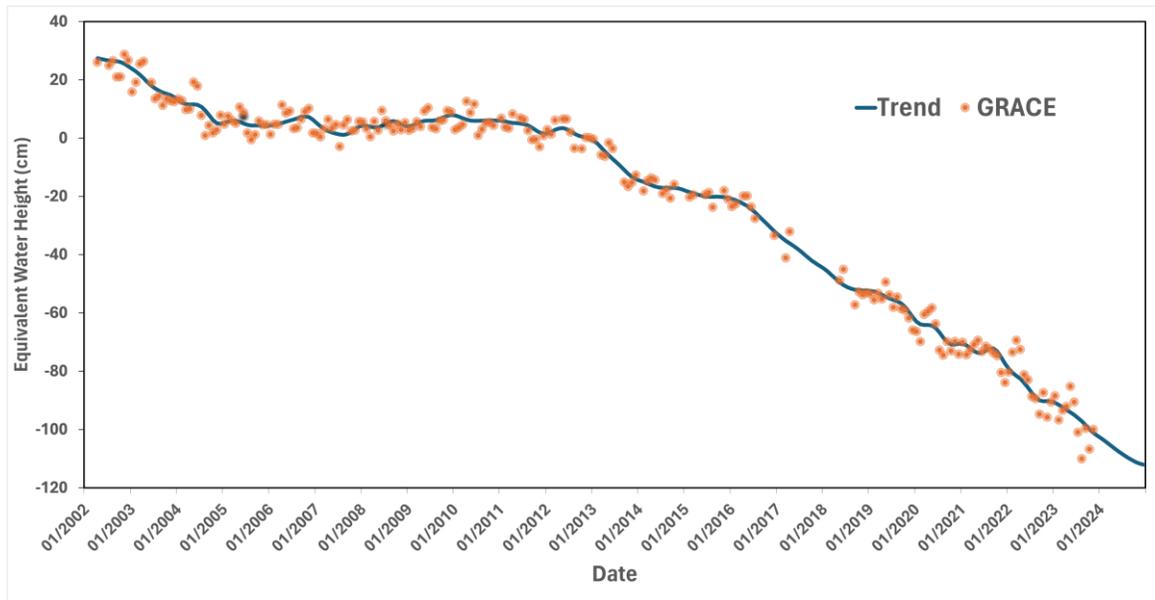
Problématique : Déformation observé = déformation GIA + déformation LIA + déformation actuelle

Sommaire

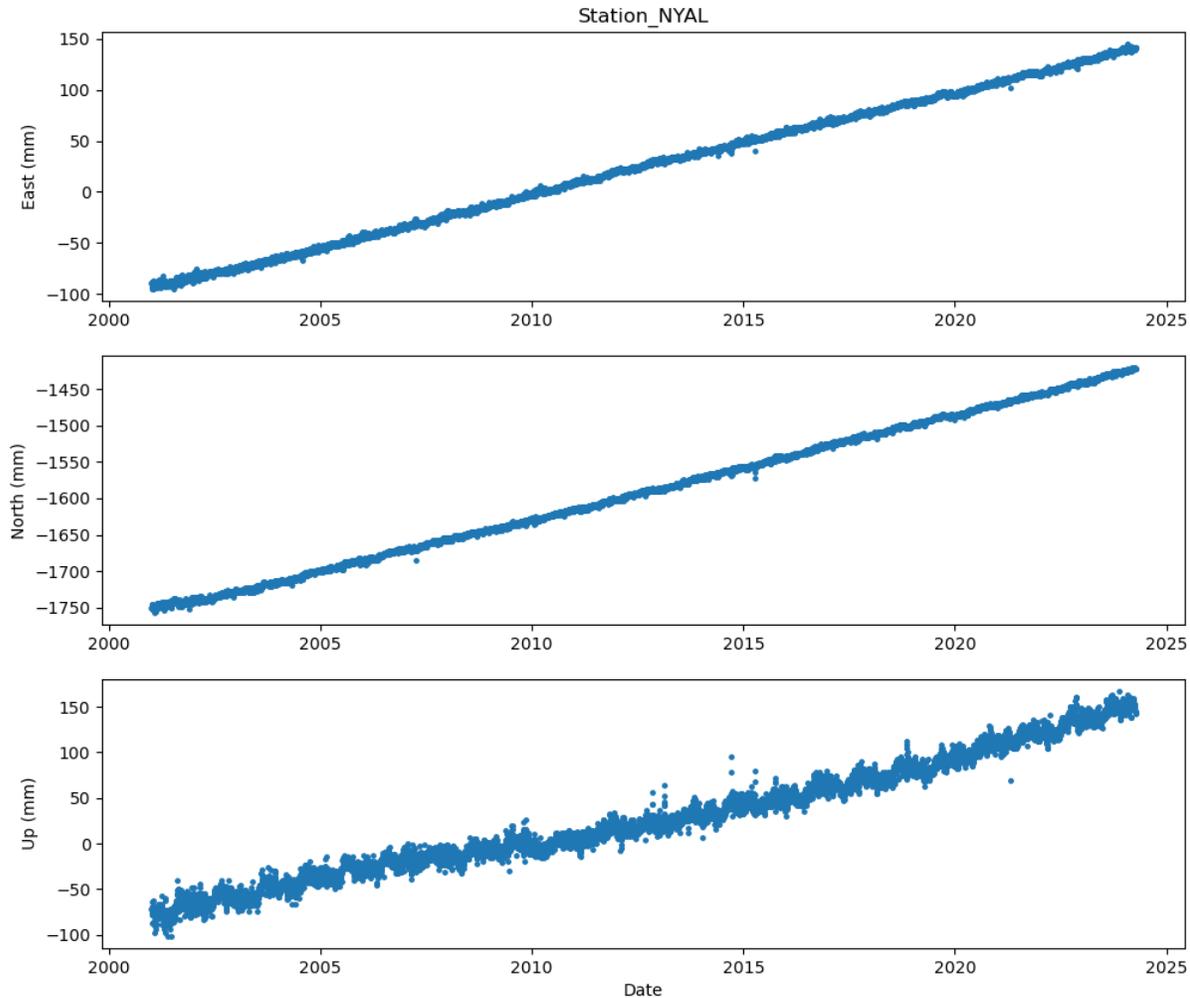


Données

- Positionnement 3D (GPS) sur 17 stations au Svalbard
- Donnée de gravimétrie spatiale GRACE et GRACE-Fo
- Modèle de GIA (Global Isostatic Adjustment)

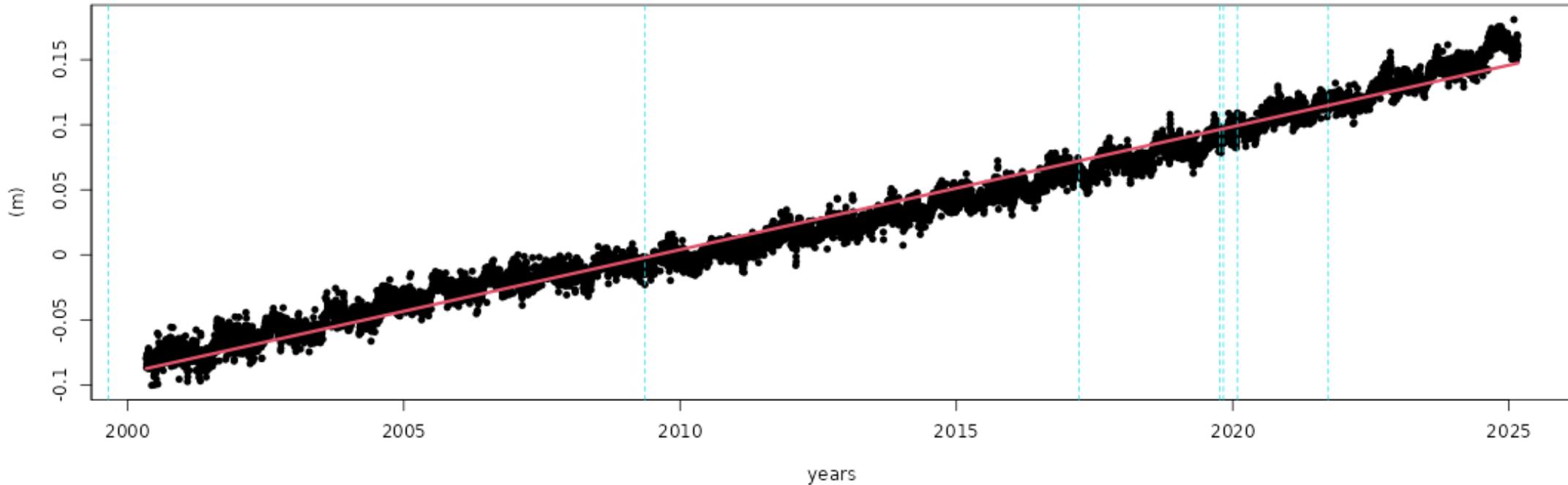


Série temporelle de gravimétrie moyenne sur le Svalbard



Exemple de série temporelle de position à Ny-Alesund

➤ Étude des vitesses verticales



- Première estimation avec une régression linéaire
 - Utilisation du logiciel SARI
 - Etude des vitesses sur des fenêtres de 3,5 ans
 - Utilisation de ces vitesses dans la modélisation

➤ Première modélisation : réponse harmonique sur un modèle plan semi-infini

Vitesse V_{up} verticale de réajustement isostatique suite à la fonte des glaces

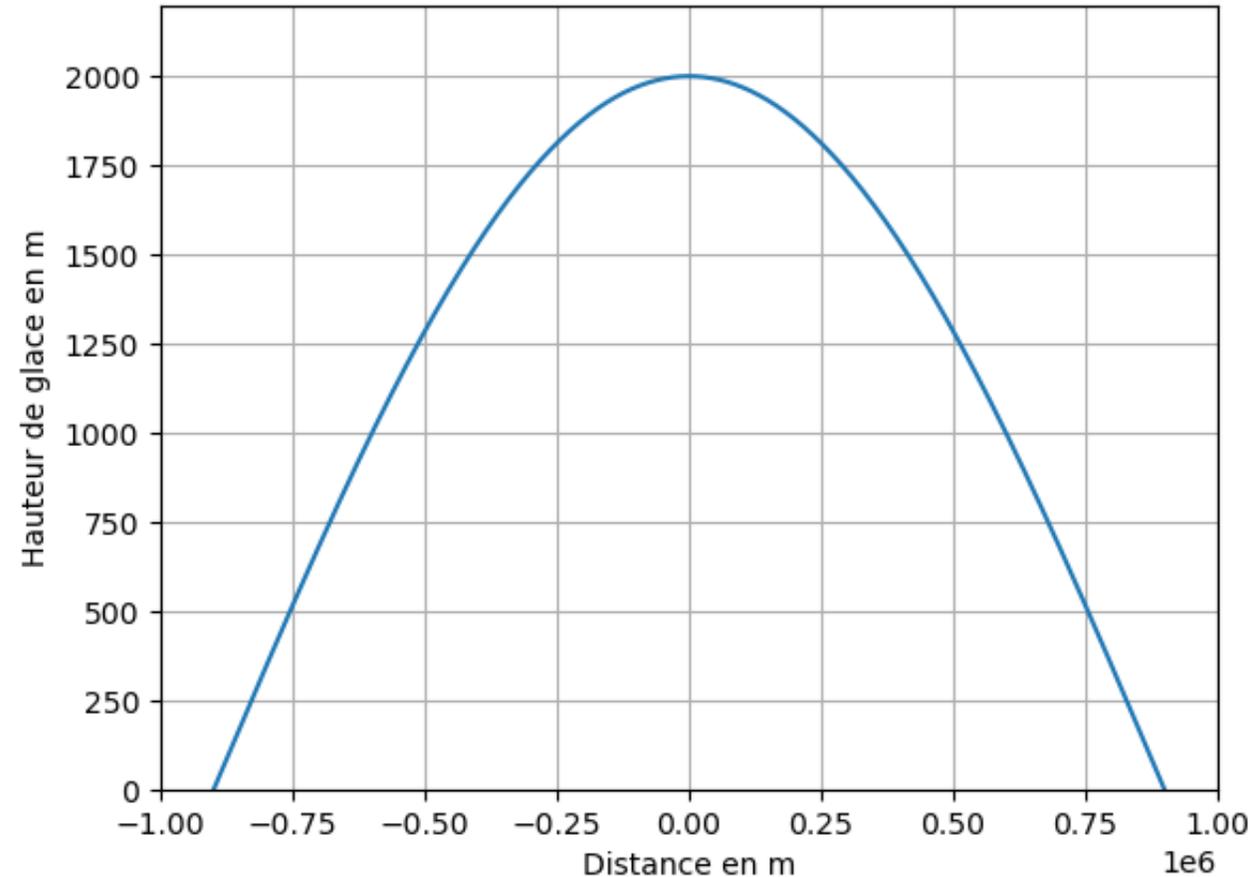
$$V_{up} = -\frac{w_m}{\tau_r} e^{-\frac{t}{\tau_r}}$$

où

- w_m est la déformation de la lithosphère juste après la déglaciation qui dépend de **l'épaisseur élastique** de la lithosphère
- τ_r est un temps de relaxation qui dépend de la **viscosité du manteau**

⇒ Paramètres physiques qui contrôlent le phénomène

Profil d'un glacier sinusoidal



➤ **Modélisation affinée : modélisation 3D avec des valeurs de topographie et de hauteur de glace réelle**

Développement d'un modèle mécanique 3D de la Terre qui prennent en compte :

- Les déformations de la lithosphère dues à la charge causée par la topographie et la glace actuelle (logiciel gflex)
- Utilisation du logiciel gflex pour estimer les déformations du à la dernière grande glaciation
- L'épaisseur élastique variable de la lithosphère dans la région du Svalbard (logiciel plateflex)
- Un modèle rhéologique réaliste du manteau de type viscoélastique

⇒ Résolution numérique pour déterminer le champ de vitesses 3D sur la Svalbard à comparer aux vitesses mesurées par géodésie spatiale

➤ Estimation des vitesses :

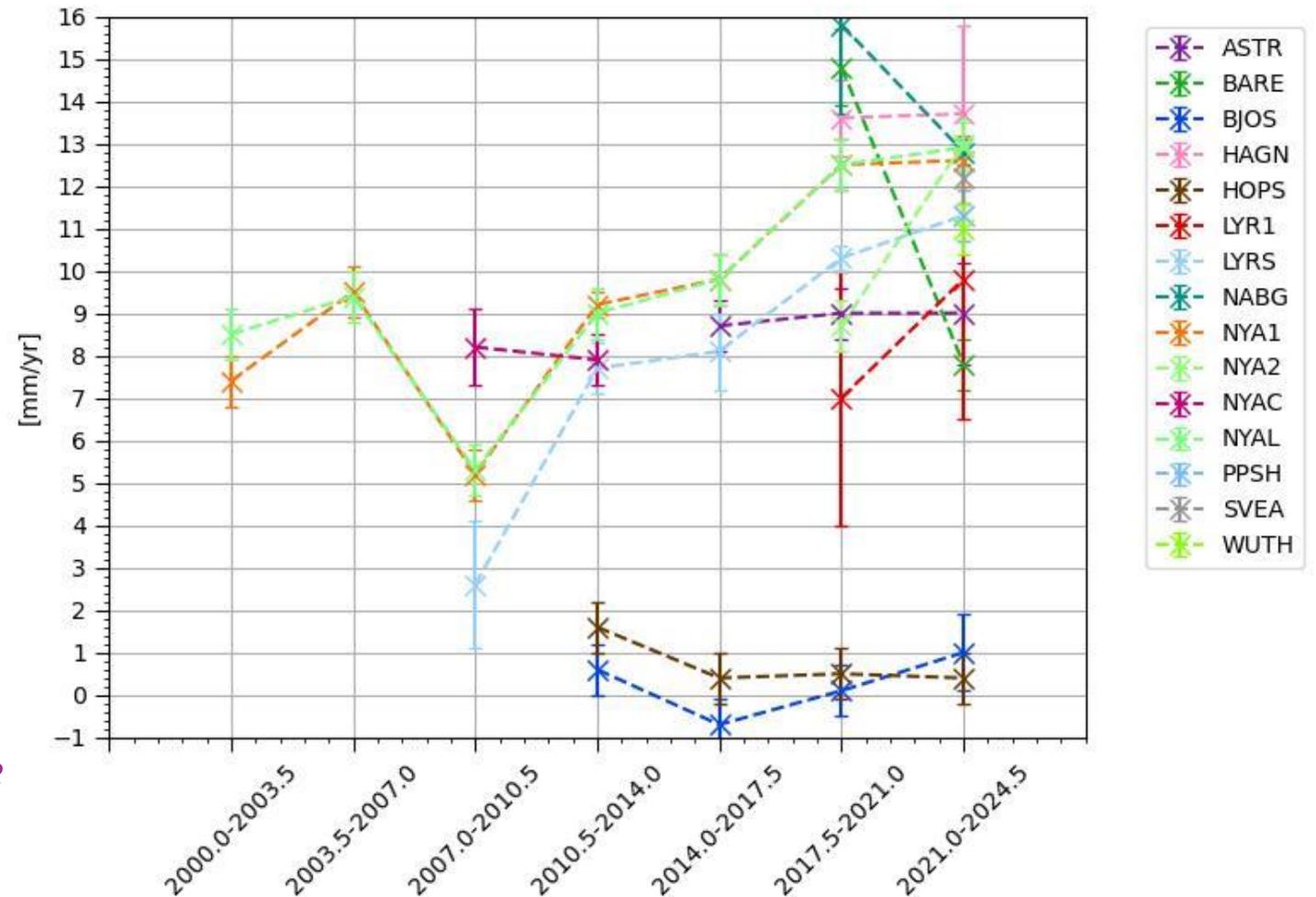
Vitesse verticale moyenne de 10 mm/an

Variation de la vitesse verticale dans le temps

Accélération observée sur plusieurs stations

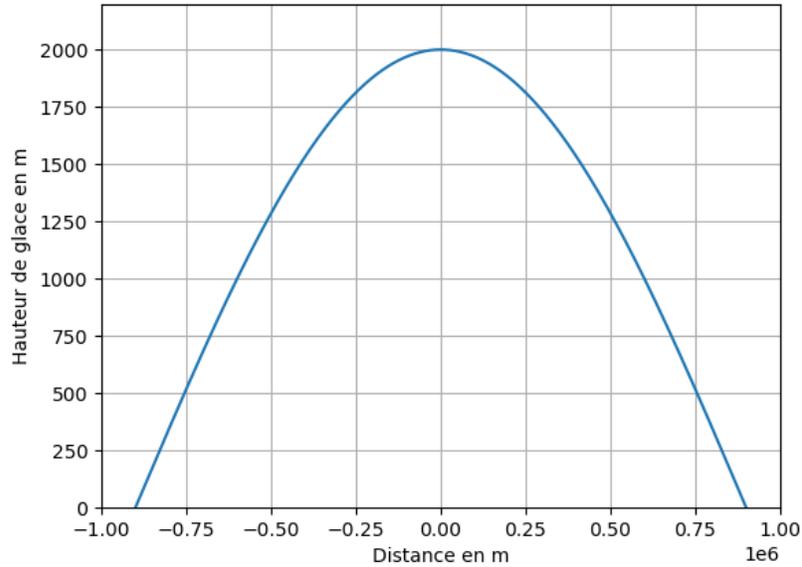
$$\underbrace{V_{obs}}_{10 \text{ mm/an}} = \underbrace{V_{GIA}}_{3 \text{ mm/an}} + \underbrace{V_{LIA}}_{??} + \underbrace{V_{Actuelle}}_{??}$$

Vertical components of velocities from Svalbard GNSS stations



➤ Résultats de la modélisation 1D

Profil d'un glacier sinusoïdal



Paramètre de glace :

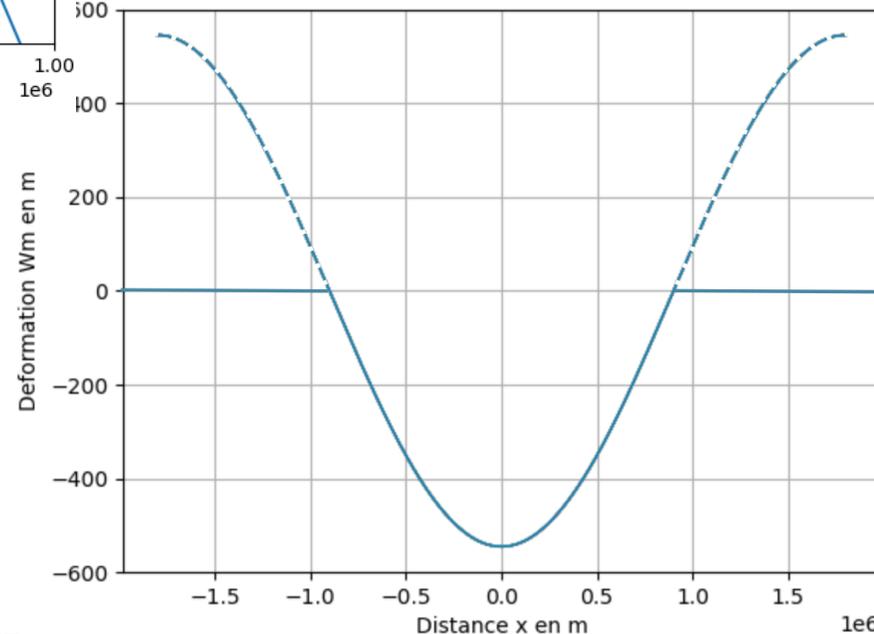
Hauteur = 2000 m

Demi longueur d'onde = 1800 km

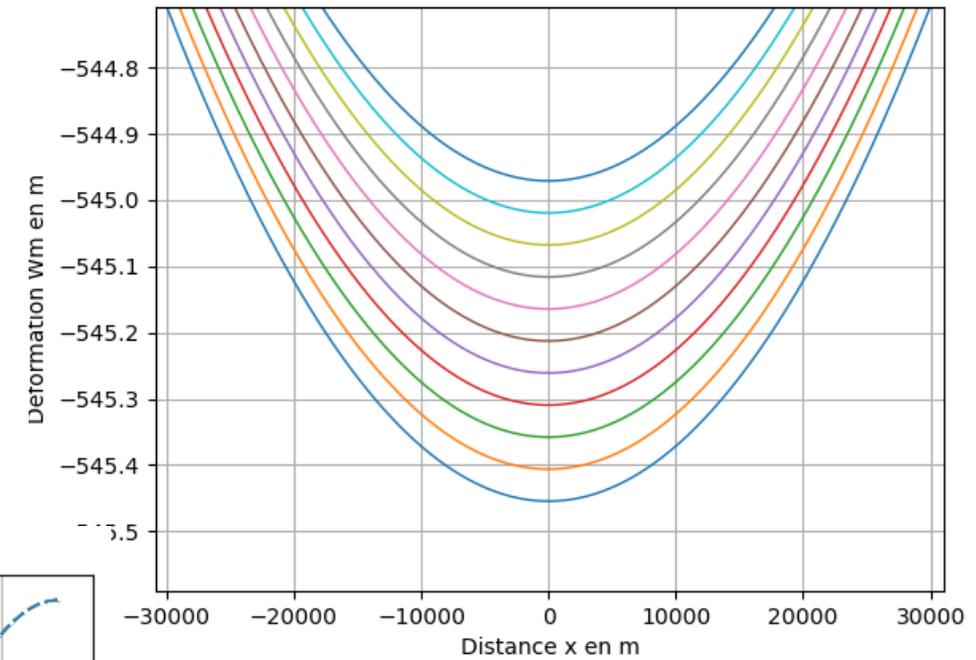
Glacier qui recouvre le Svalbard

Déformation initiale = 545 m

Profil de déformation



Profil de déformation



Evolution de la déformation sur 10 000 ans

$$V_{Modèle} = \frac{500 \text{ mm}}{10000 \text{ ans}} = 5 \times 10^{-2} \text{ mm/an}$$

$$V_{Modèle} \ll V_{Observée}$$

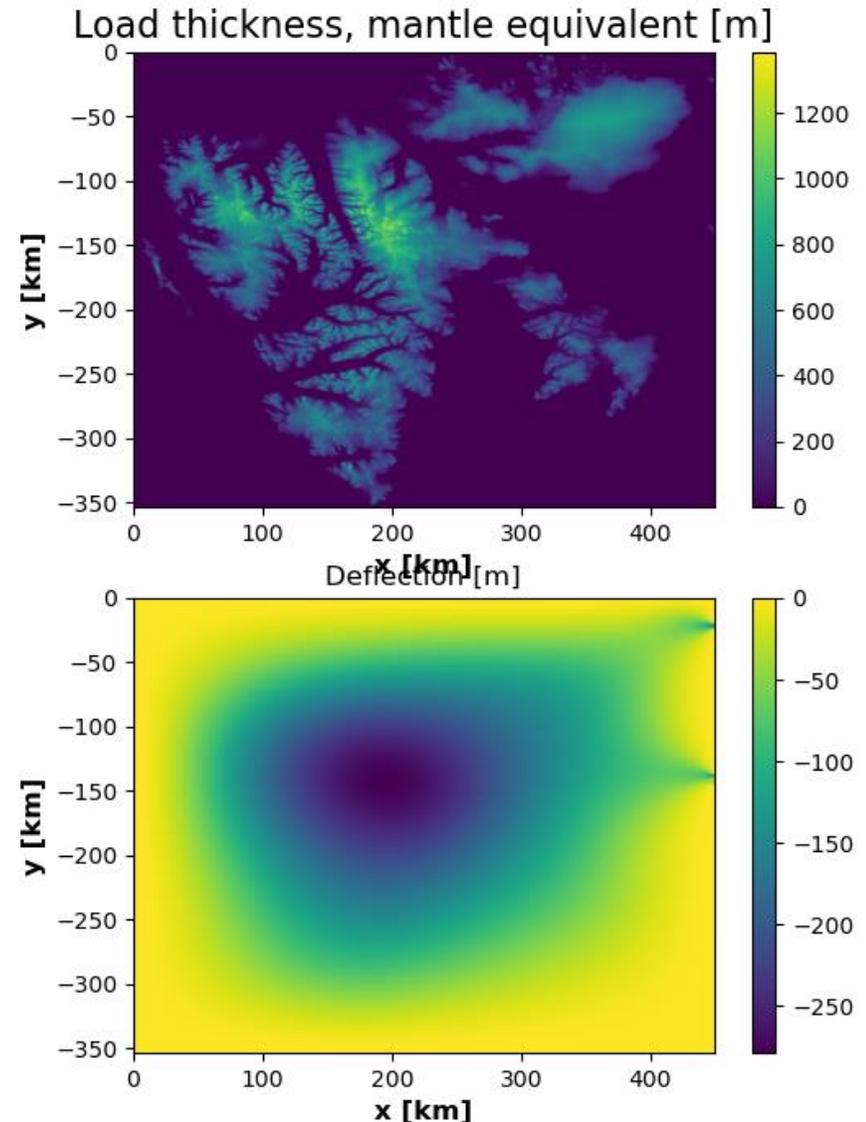
Pour avoir $V_{Modèle} \approx V_{Observée}$, il faudrait
Demi longueur d'onde = 360 000 km

➤ Résultats de la modélisation 3D

Calcul avec des grilles de topographie et de hauteur de glace réelle

Résolution de 300 m

Si aucun évènement passé alors déflexion actuelle du Svalbard ≈ 260 m au maximum



- Utiliser le logiciel plateflex pour calculer une épaisseur élastique sous le Svalbard et l'appliquer à la modélisation
- Améliorer la résolution du calcul gflex
- Estimer un champ de vitesse 3D pour comparer à nos données donc étudier les vitesses horizontales
- Utilisation des observations de gravimétrie spatiale
- Comparer avec des données in-situ (sédimentologie etc...)

A wide-angle photograph of a massive glacier, likely the Perito Moreno Glacier, flowing into a body of water. The glacier's surface is a mix of white and light blue, with visible crevasses and a dark, rocky moraine at its base. The water in the foreground is dark and calm, reflecting the sky. In the background, dark, rugged mountains rise under a sky filled with soft, white clouds. The overall scene is majestic and serene.

Merci pour votre attention

Alicia TAFFLET
Doctorante 2^{ème} année au Laboratoire GeF