



# Impact de la couverture neigeuse sur l'estimation de l'épaisseur de la banquise par altimétrie

Alexandre Hippert  
Sara Fleury  
Kévin Guerreiro  
Matthieu Chevalier  
Elena Zakharova  
Frédérique Rémy

Etude soutenue par:  
TOSCA SICKAyS (CNES)  
AST Arctique (OMP)

# Contenu de la présentation

1. Contexte: rôle de la neige sur la glace de mer
2. Impact de la couverture neigeuse sur l'estimation de l'épaisseur de la glace de mer
3. Comparaisons des hauteurs de neige issues de différents jeux de données
4. Impact des différents jeux de neige sur les épaisseurs de glace

# Contenu de la présentation

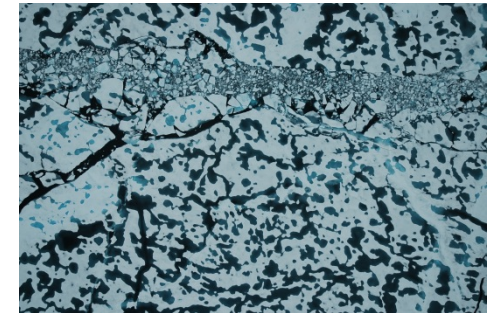
1. Contexte: rôle de la neige sur la glace de mer
  2. Impact de la couverture neigeuse sur l'estimation de l'épaisseur de la glace de mer
  3. Comparaisons des hauteurs de neige issues de différents jeux de données
  4. Impact des différents jeux de neige sur les épaisseurs de glace
- } Aspect théorique

# Contenu de la présentation

1. Contexte: rôle de la neige sur la glace de mer
  2. Impact de la couverture neigeuse sur l'estimation de l'épaisseur de la glace de mer
  3. Comparaisons des hauteurs de neige issues de différents jeux de données
  4. Impact des différents jeux de neige sur les épaisseurs de glace
- Aspect théorique
- Analyse comparative

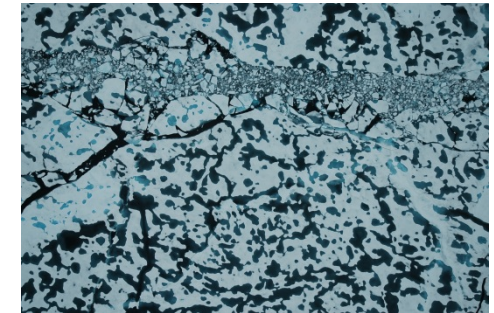
# Contexte : rôle de la neige

- **Isole la glace de l'air** → Ralenti le développement de la glace (hiver)
- **Augmente l'albédo** → Ralenti la fonte de la glace (début printemps)
- **Formation des melt ponds** → Accélère la fonte (début été)
- **Impact la circulation océanique lors du déversement de la neige fondue dans l'océan.**
- **Atténue la production primaire en limitant la pénétration des radiations solaires sous la glace**



# Contexte : rôle de la neige

- **Isole la glace de l'air** → Ralenti le développement de la glace (hiver)
- **Augmente l'albédo** → Ralenti la fonte de la glace (début printemps)
- **Formation des melt ponds** → Accélère la fonte (début été)
- **Impact la circulation océanique lors du déversement de la neige fondue dans l'océan.**
- **Atténue la production primaire en limitant la pénétration des radiations solaires sous la glace**



**+ Impact direct sur l'estimation de l'épaisseur et du volume de la glace de mer par altimétrie**



**Etude théorique :**

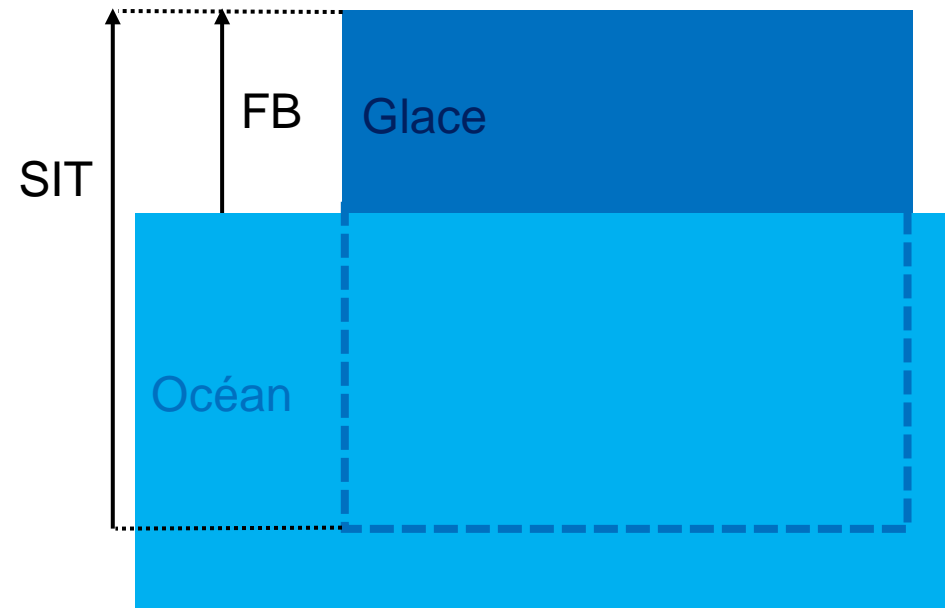
**Impact de la couverture neigeuse sur la mesure de la glace de mer par altimétrie**

# L'équation de l'hydrostatisme

$$\text{SIT} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{FB}$$

Sea Ice  
Thickness

Freeboard



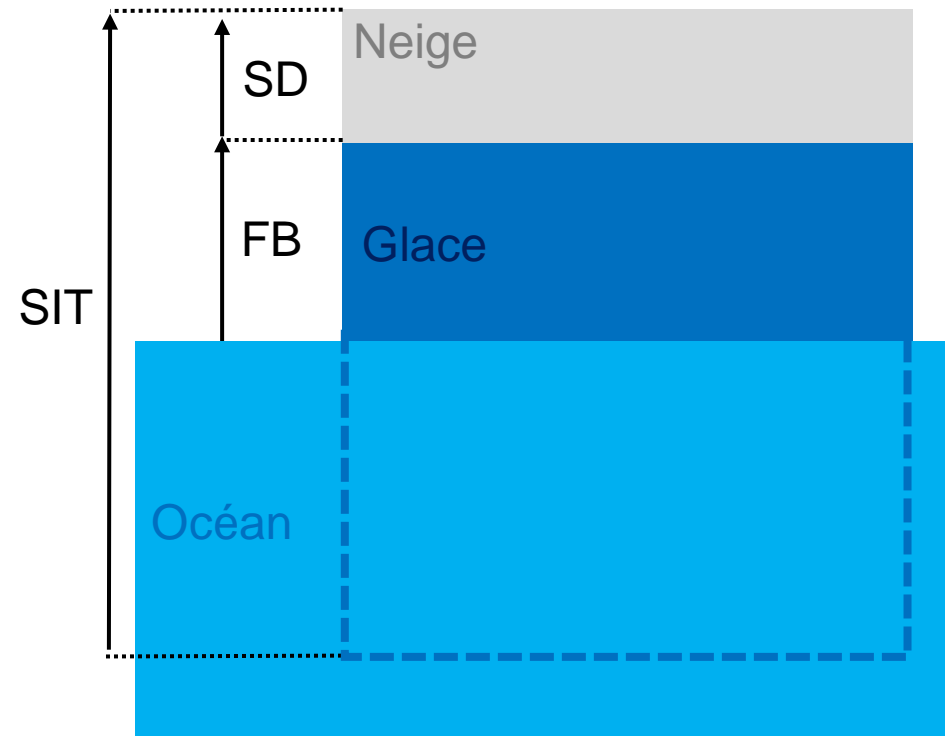


# L'équation de l'hydrostatisme

$$\text{SIT} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{FB}$$

Sea Ice  
Thickness

Freeboard



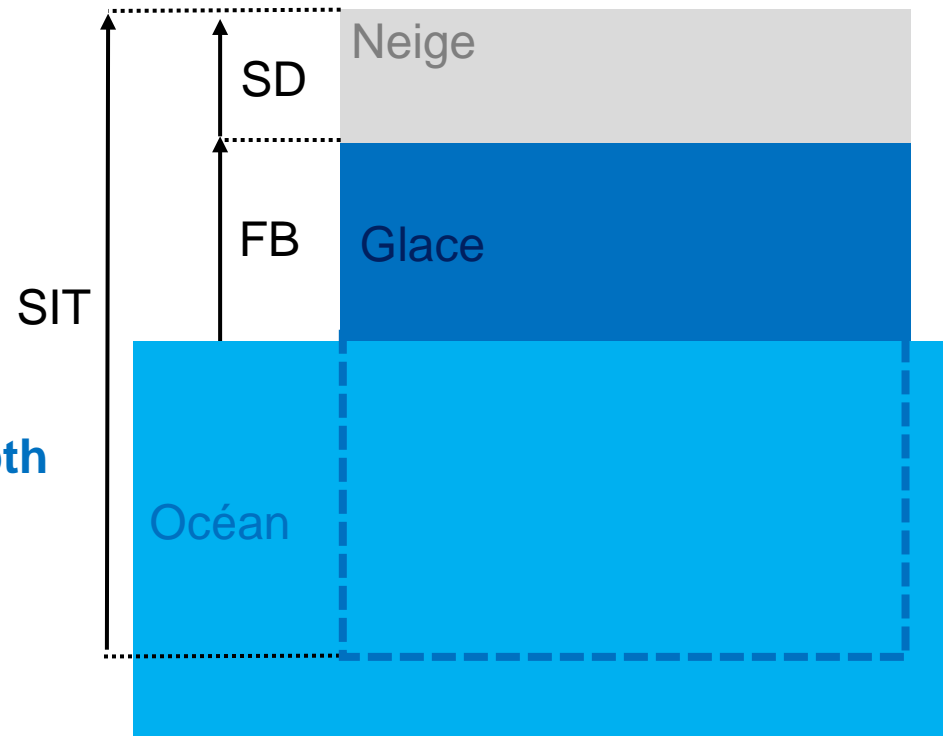
# L'équation de l'hydrostatisme avec la neige

$$\text{SIT} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{FB} + \left( \frac{\rho_s}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{SD} \quad ?$$

Sea Ice  
Thickness

Freeboard

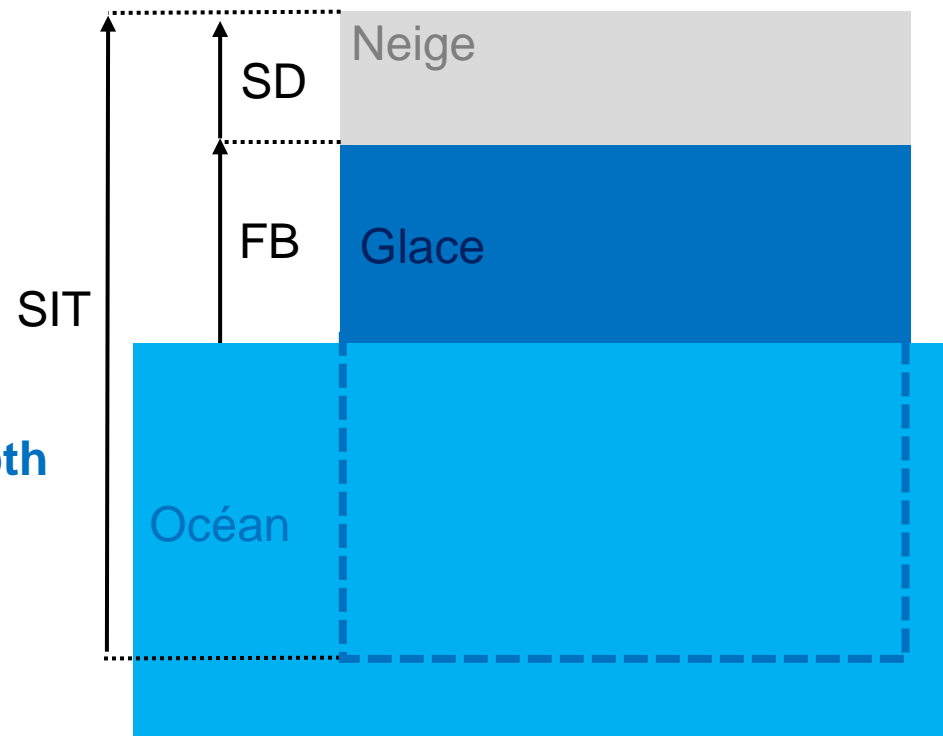
Snow Depth



# L'équation de l'hydrostatisme avec la neige

$$\text{SIT} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{FB} + \left( \frac{\rho_s}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{SD} \quad ?$$

↑ Sea Ice Thickness      ↑ Freeboard      ↑ Snow Depth



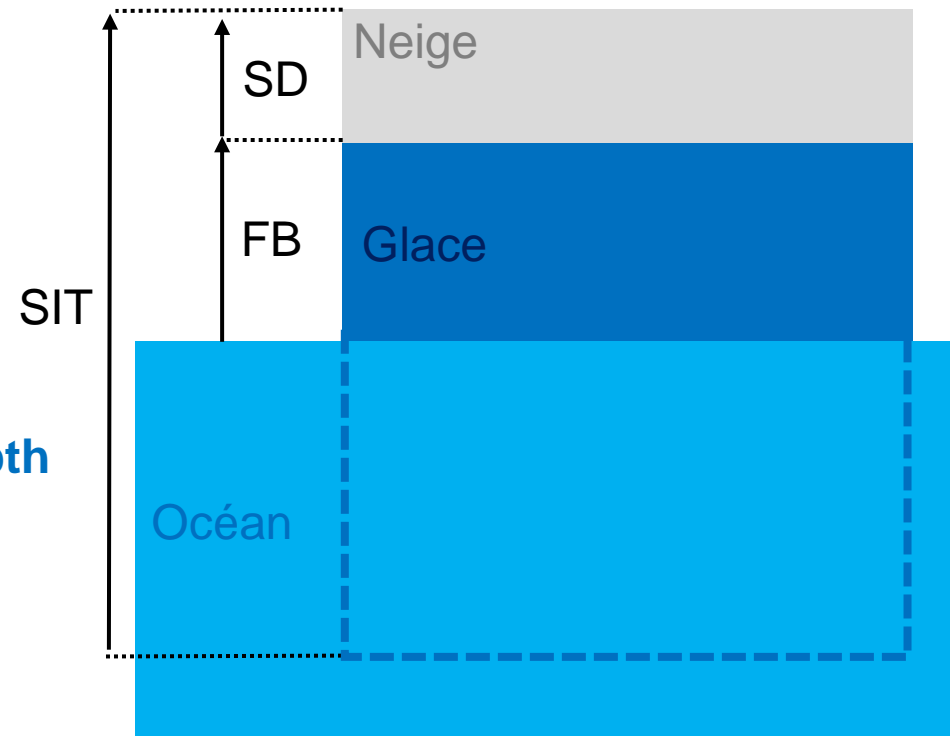
→ Dans quelle mesure la **méconnaissance de l'épaisseur de la neige SD** impacte l'estimation de l'épaisseur de la glace SIT ?

# L'équation de l'hydrostatisme avec la neige

$$\text{SIT} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{FB} + \left( \frac{\rho_s}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{SD}$$

↑                                  ↑                                  ↑

Sea Ice Thickness                          Freeboard                          Snow Depth



→ Dans quelle mesure *la méconnaissance des densités* impacte l'estimation de l'épaisseur de la glace SIT ?

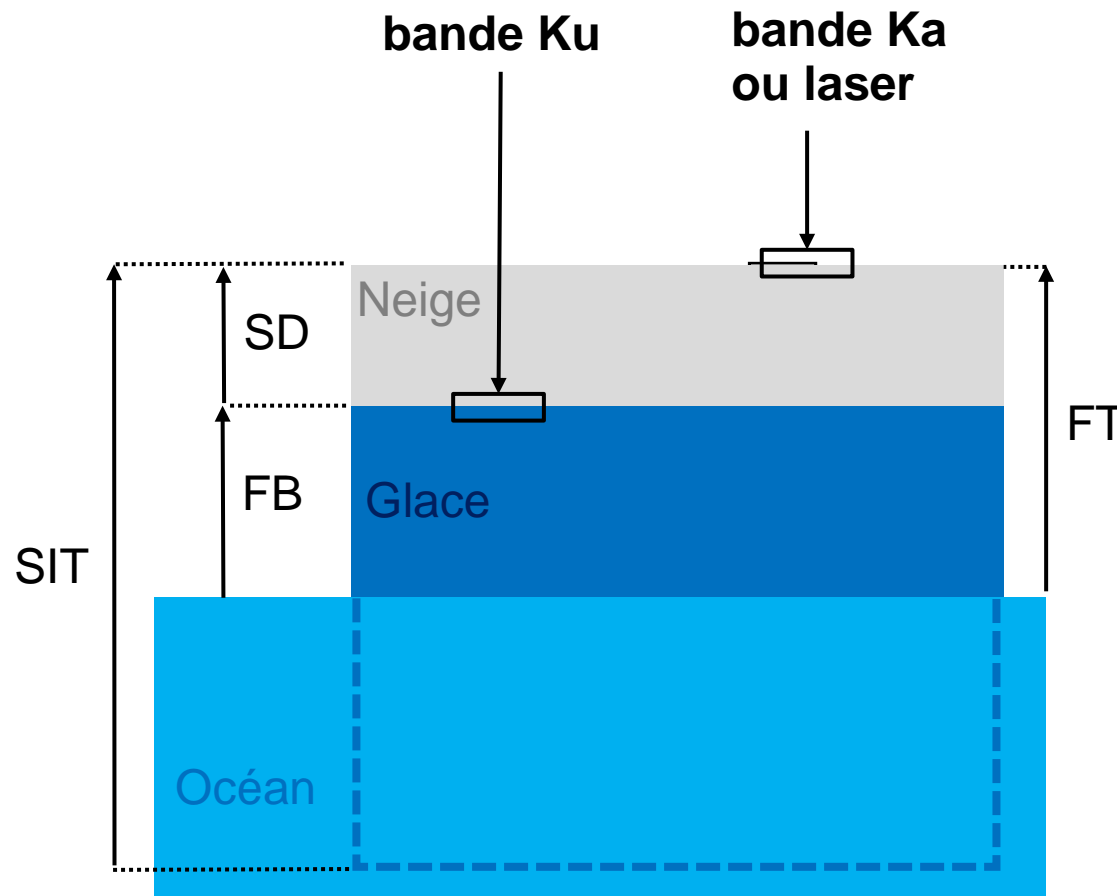
# Mesure du freeboard par altimétrie

Hypothèse de pénétration:  
interface neige/glace

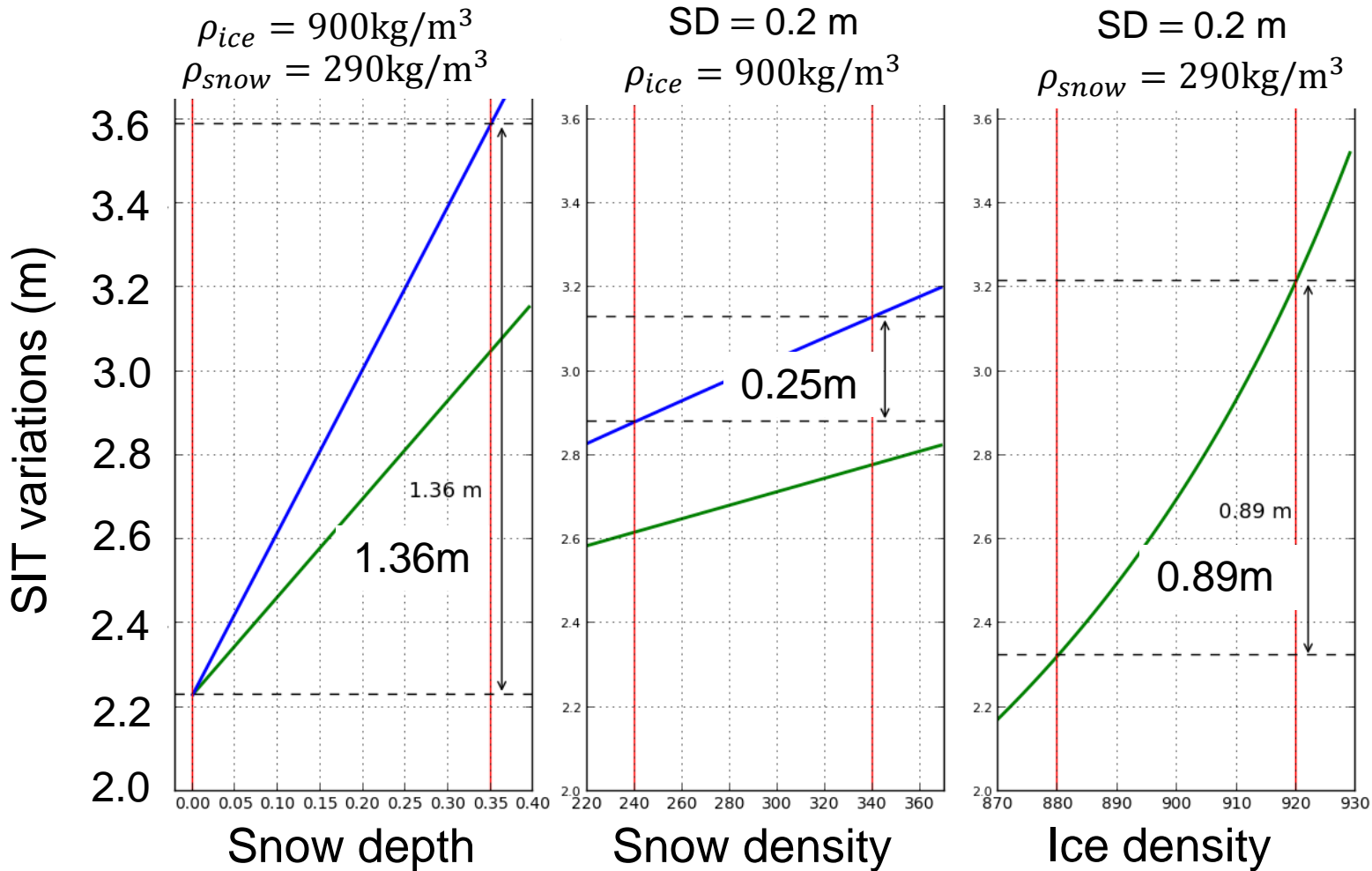
$$\text{SIT} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{FB}_m + \left( \frac{\rho_s}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{SD}$$

Hypothèse de non-pénétration:  
interface air/neige

$$\text{SIT} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{FT}_m + \left( \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w - \rho_i} \right) \text{SD}$$



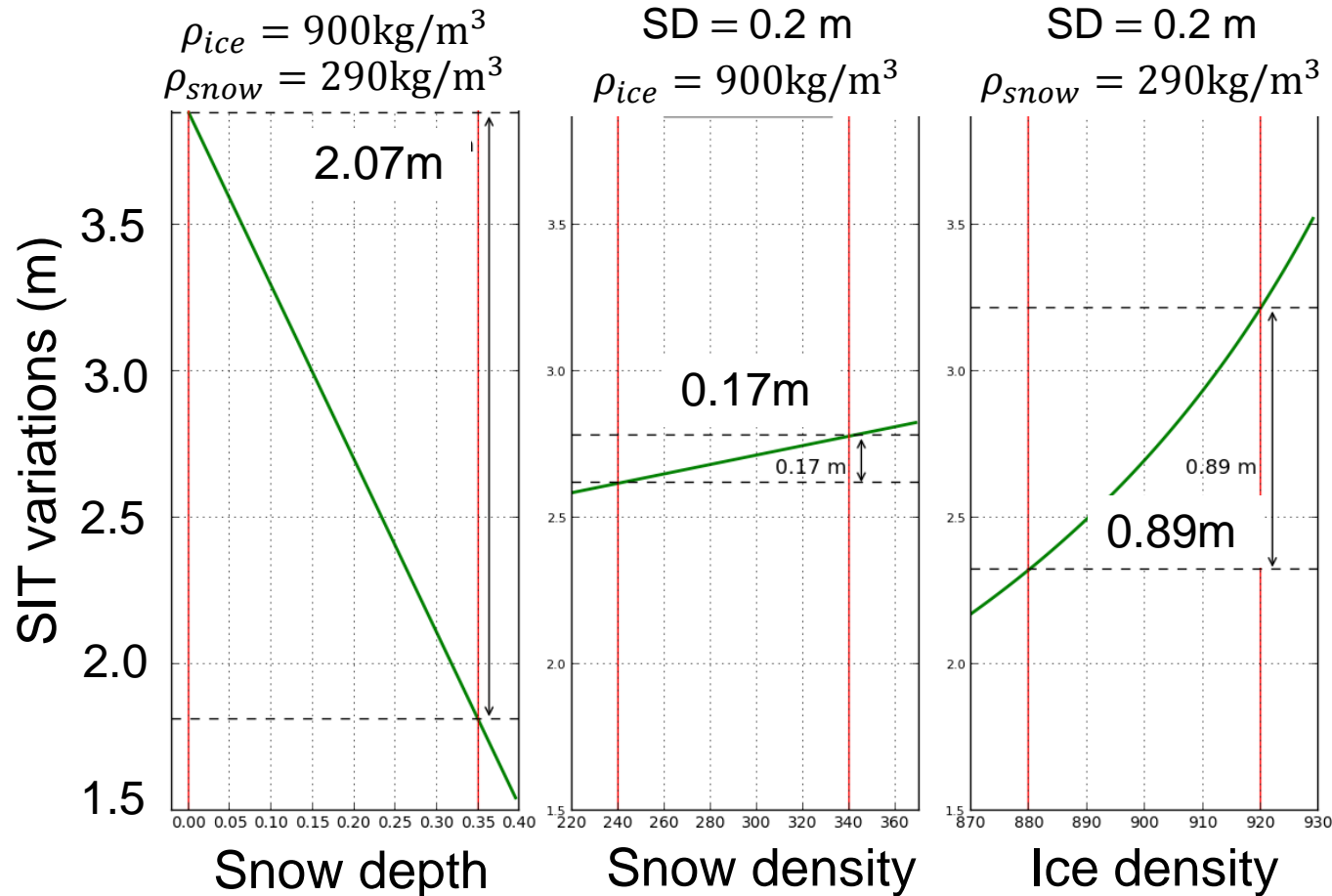
# Mesure par altimétrie Ku, **FB = 0.27 m**



→ **SD** responsable de la plus grande incertitude sur l'estimation l'épaisseur de glace (variations de plus de 1m d'amplitude)

# Mesure par altimétrie Ka ou LASER

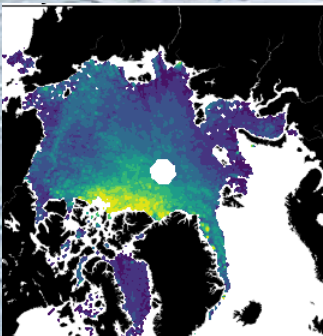
**FT = 0.57 m**



→ L'incertitude sur l'estimation de l'épaisseur de glace peut atteindre 100% du SIT (supérieur à 2 mètres)

→ Erreur de mesure plus grande en Ka qu'en Ku

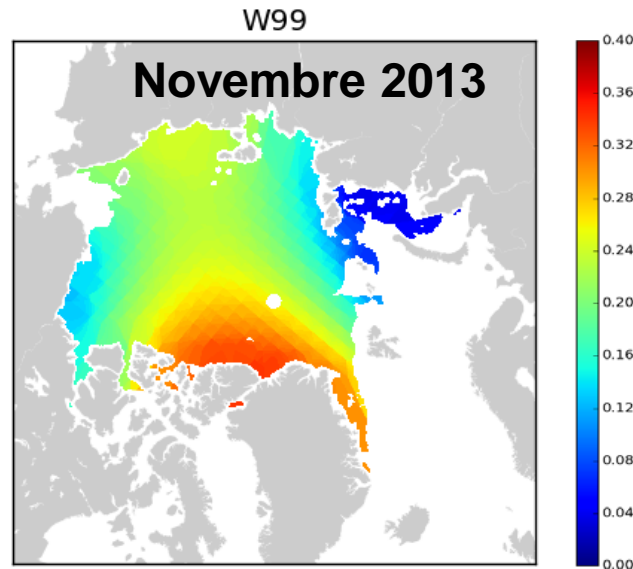
# Présentation des jeux de données





Présentation des jeux de données

# La climatologie de Warren (W99)

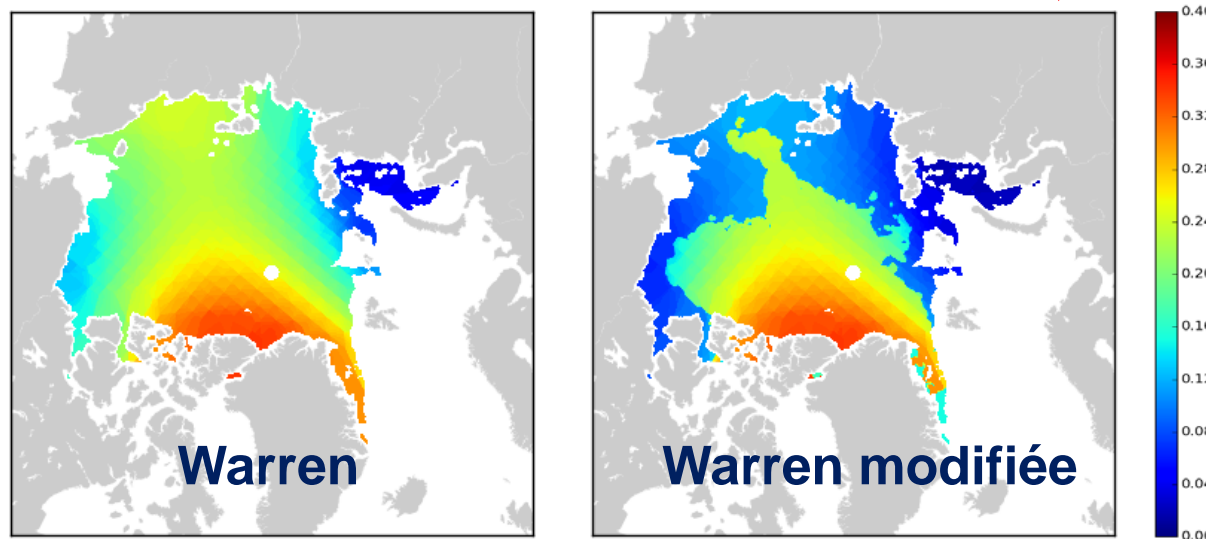
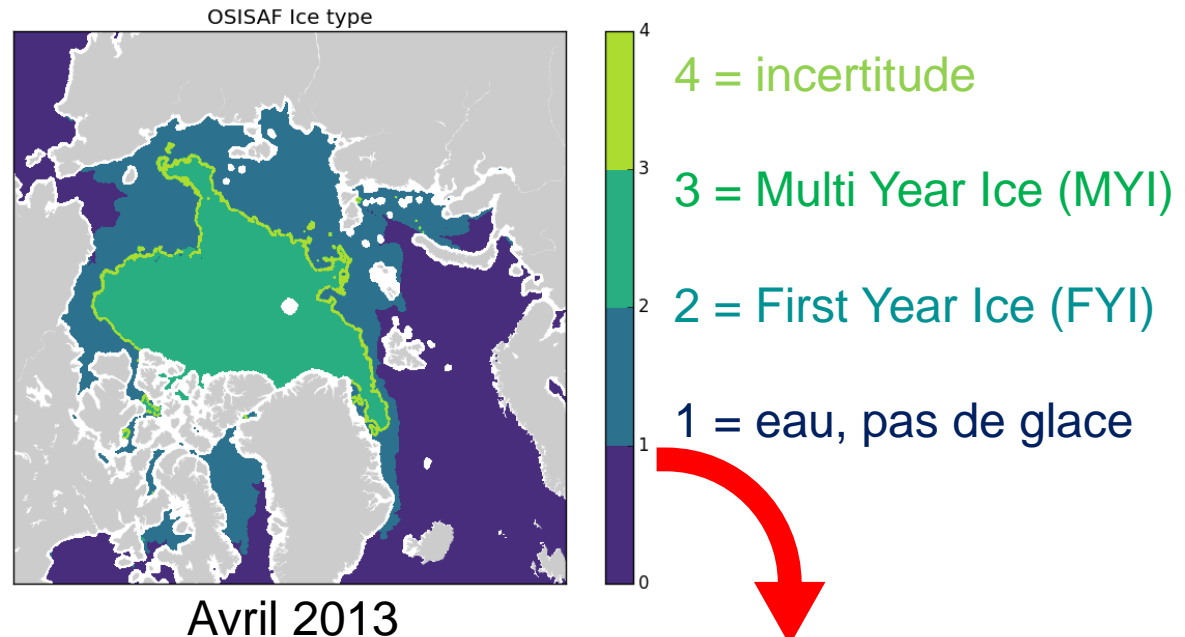


- Données de hauteurs de neige mesurées entre 1954 et 1991 sur l'Arctique (pan-arctique) par Warren
- Référence couramment employée
- Adaptation récente: utilisation d'une **climatologie modifiée** qui permet d'obtenir des hauteurs de neige qui se rapprochent des valeurs actuelles

# Présentation des jeux de données Warren modifié (W99m)

## Données OSISAF (ASCAT)

→ Relation rugosité/type  
de glace



# Présentation des jeux de données

## Neige par altimétrie: CAR

### Cryosat-2 :

- Bande Ku (f=13,6 GHz)
- Couverture : 88°

### Saral/AltiKa :

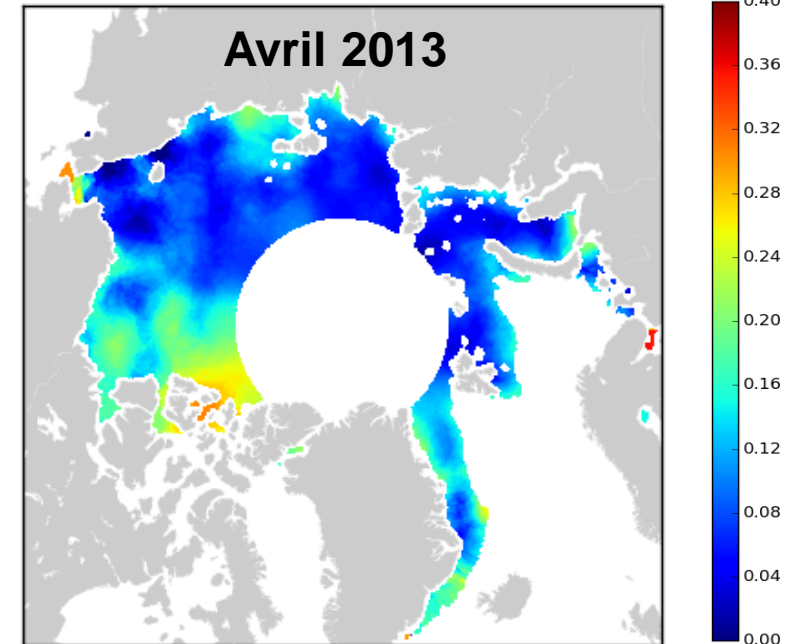
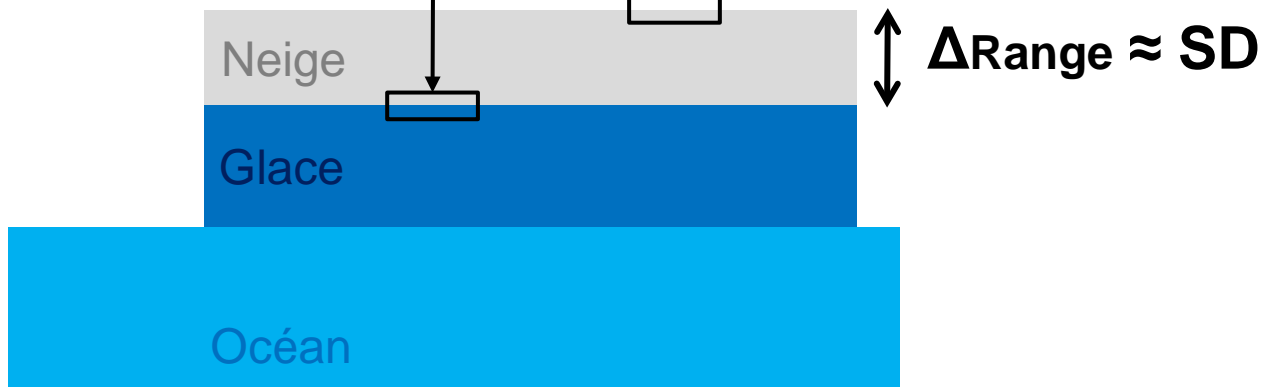
- Bande Ka (f=37 GHz)
- Couverture : 81,5°



Range Ku



Range Ka



Présentation des jeux de données

# Neige par altimétrie: CAR

## Cryosat-2 :

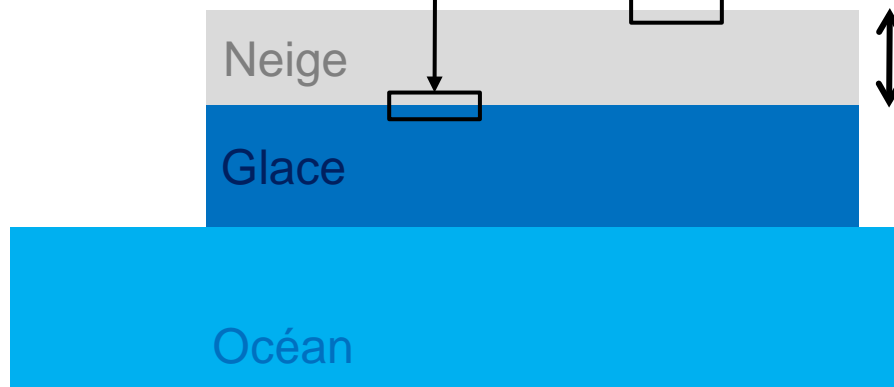
- Bande Ku (f=13,6 GHz)
- Couverture : 88°



Range Ku

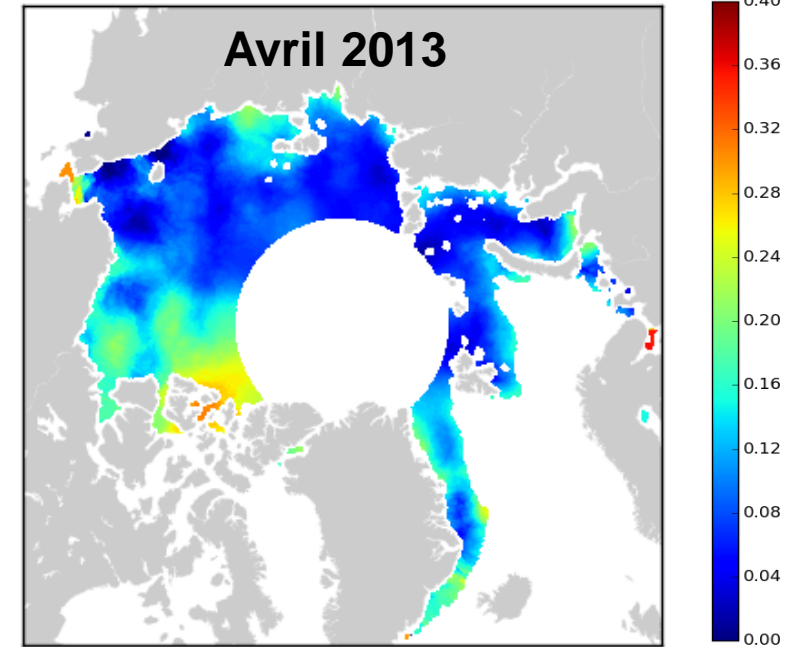


Range Ka



## Saral/AltiKa :

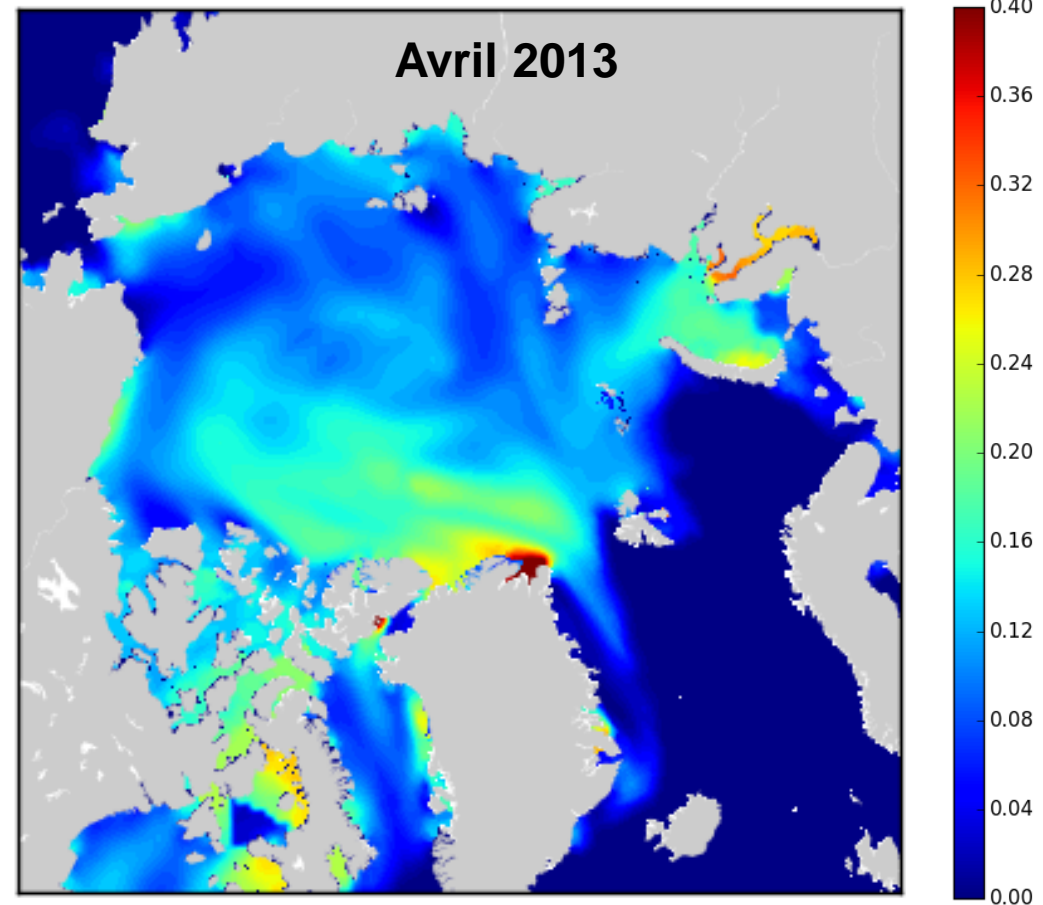
- Bande Ka (f=37 GHz)
- Couverture : 81,5°



→ Possibilité d'observation bi-fréquence de la glace de mer depuis 2013 jusqu'à 81,5°

# Neige par le modèle du CNRM

- Modèle couplé Nemo/Gelato + accumulation de neige
- Simulation de la thermodynamique pour différentes couches de neige
- Forcé par ERA Interim (ECMWF)

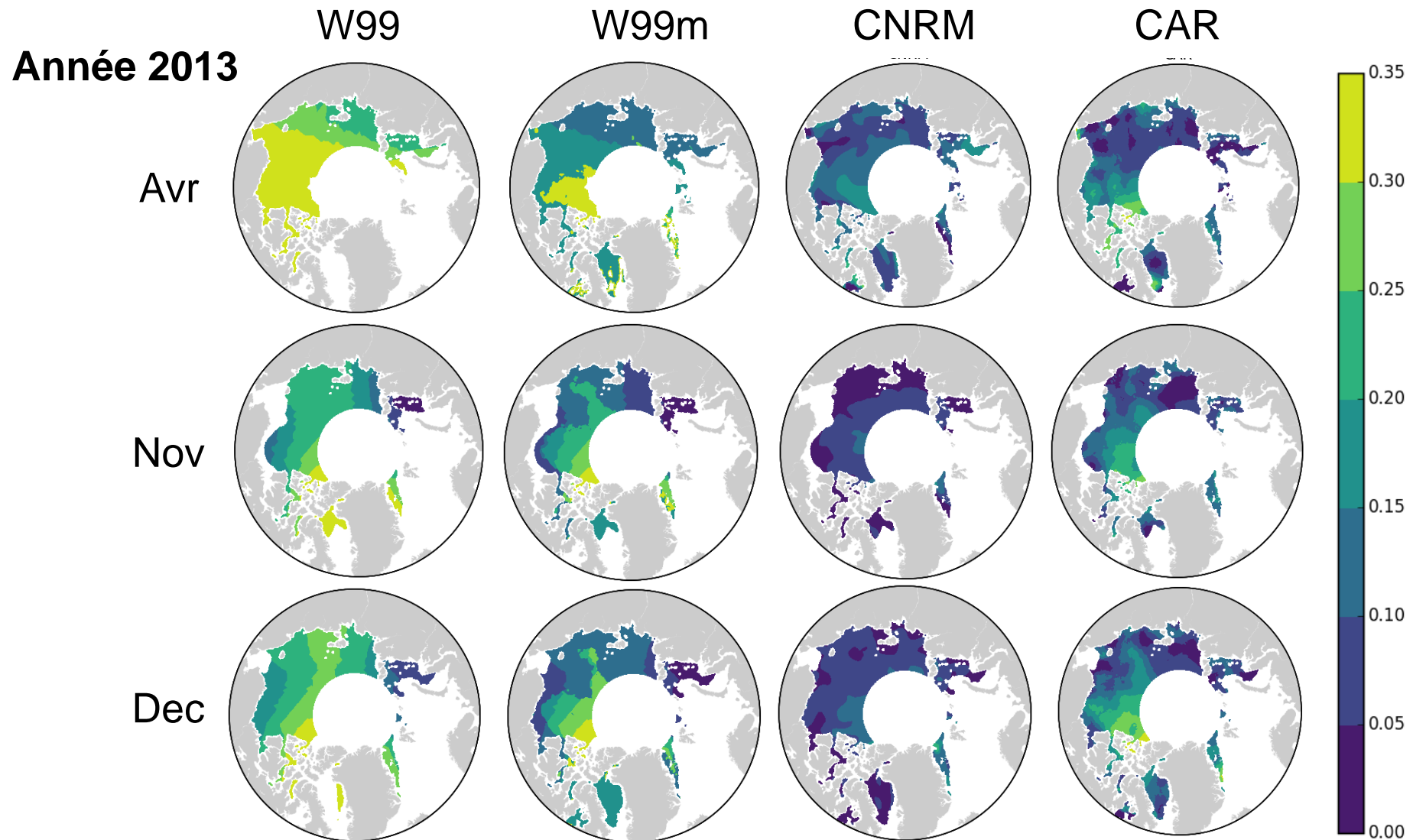




# Etude comparative des hauteurs de neiges issues de différents jeux de données

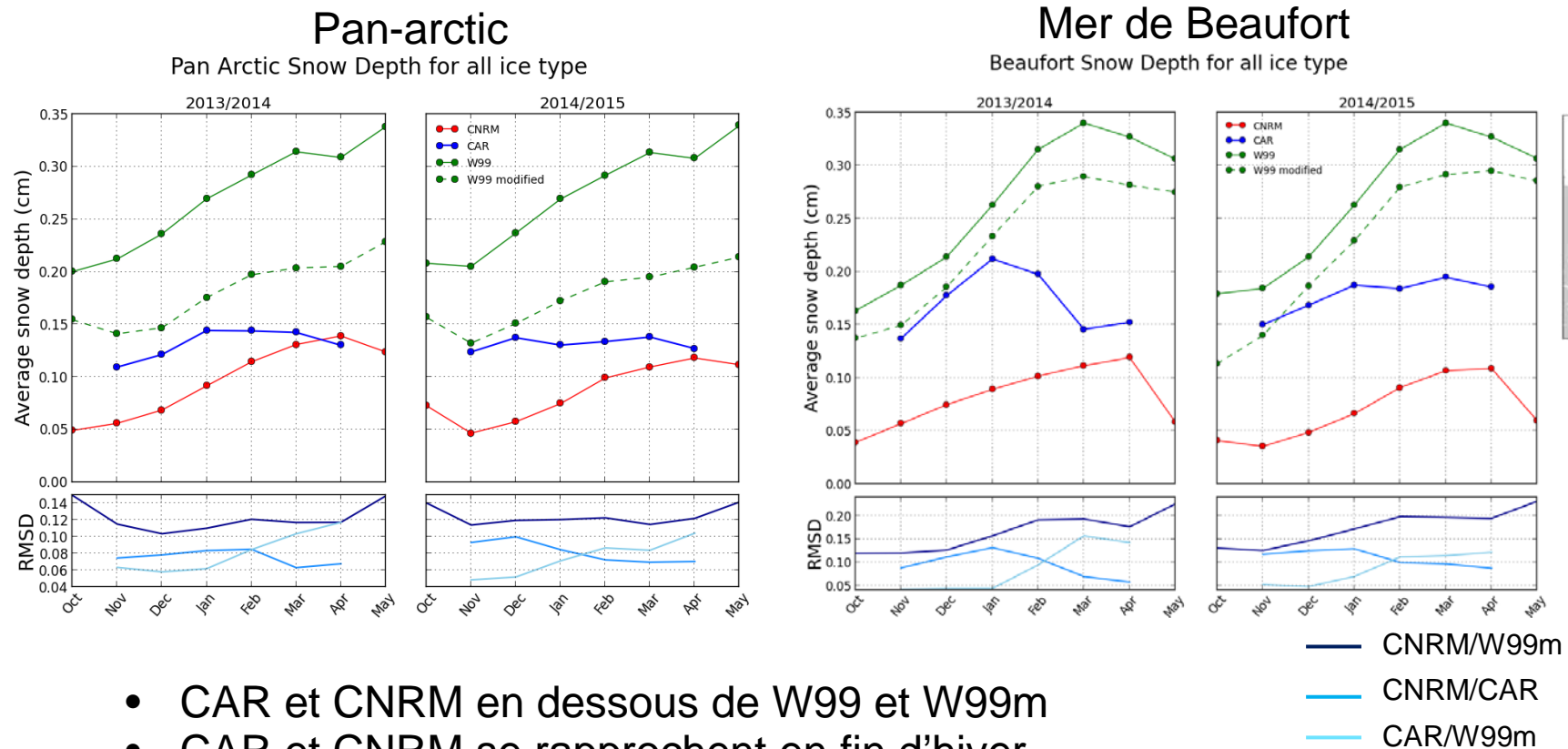
Credit: Courtesy Ted Scambos and Rob Bauer, NSIDC

# Comparaisons des hauteurs de neiges issues de différents jeux de données



# Comparaisons des hauteurs de neiges issues de différents jeux de données

## ➤ Variations des moyennes de hauteurs de neige

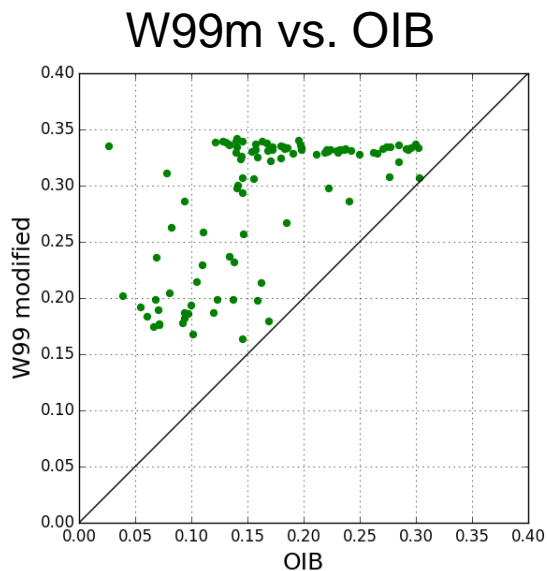
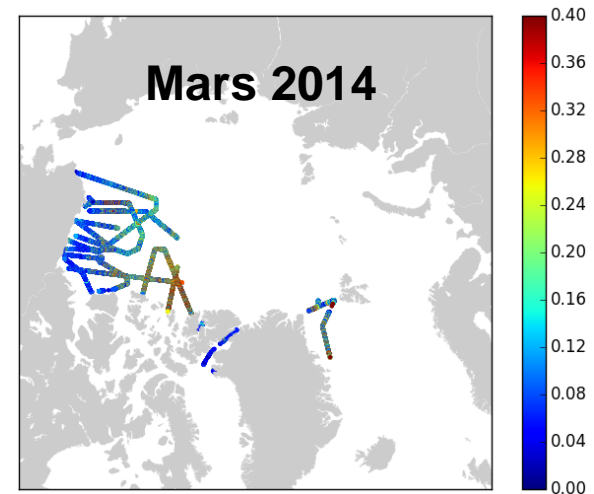


- CAR et CNRM en dessous de W99 et W99m
- CAR et CNRM se rapprochent en fin d'hiver
- Ecart de 5cm entre CAR et CNRM en début d'hiver

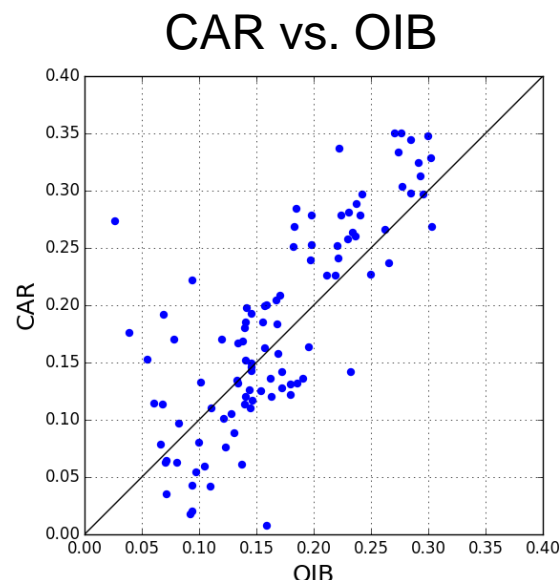


# Comparaisons des hauteurs de neiges avec les mesures aéroportées d'OIB

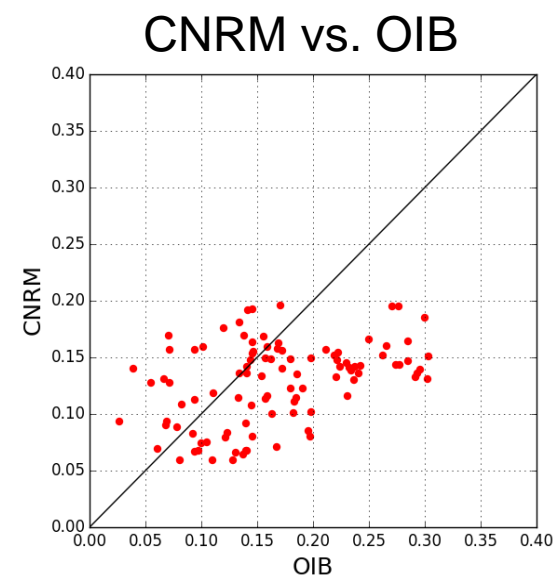
- Operation Ice Bridge (OIB): vols pour mars 2014
- Validation ou non des données de neige sur les traces OIB




$$\langle r^2 \rangle: 0.167$$



$$\langle r^2 \rangle: 0.596$$



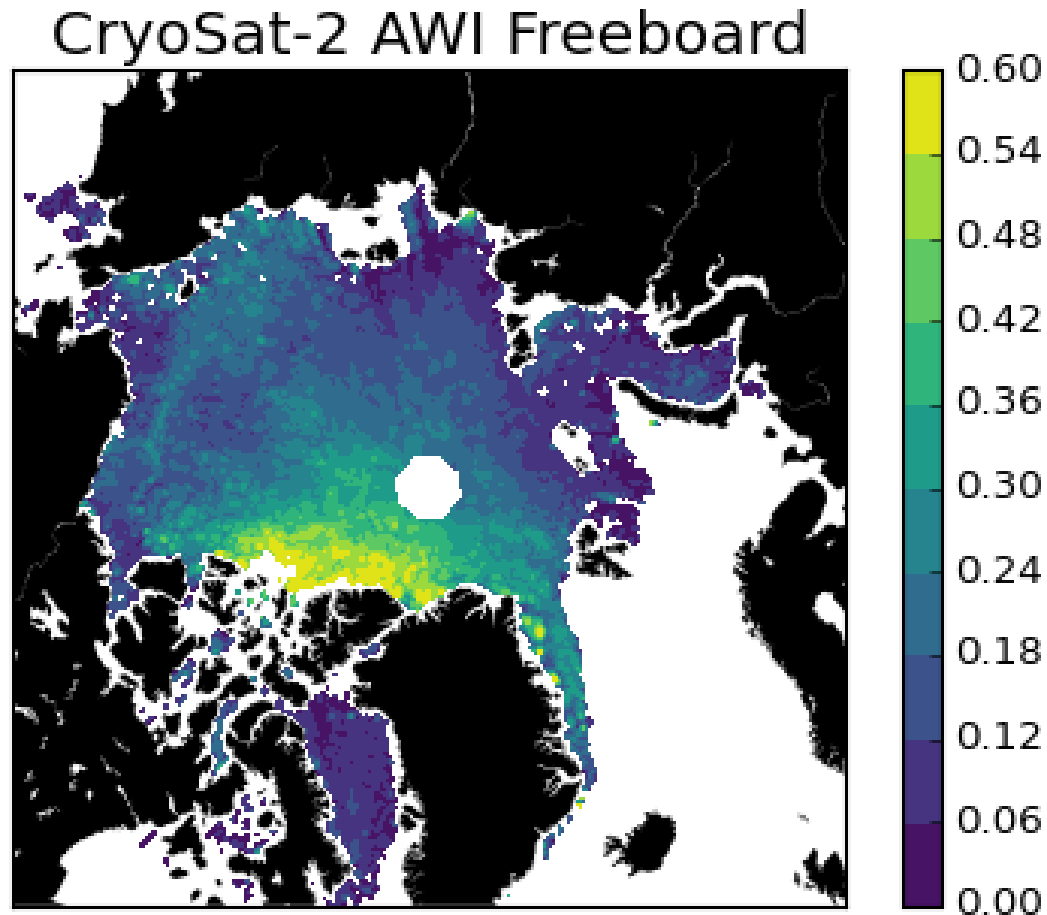
$$\langle r^2 \rangle: 0.379$$

An aerial photograph of a vast sea ice field. In the center, there are several large, jagged icebergs of varying sizes. The icebergs are white and blue, with some showing sharp peaks and others being more rounded. The surrounding sea ice is a mix of white and light blue, with some darker patches. The horizon is visible in the distance, and the sky is a clear, pale blue.

# **Estimation de l'épaisseur de glace de mer pour les différentes solutions de neige**

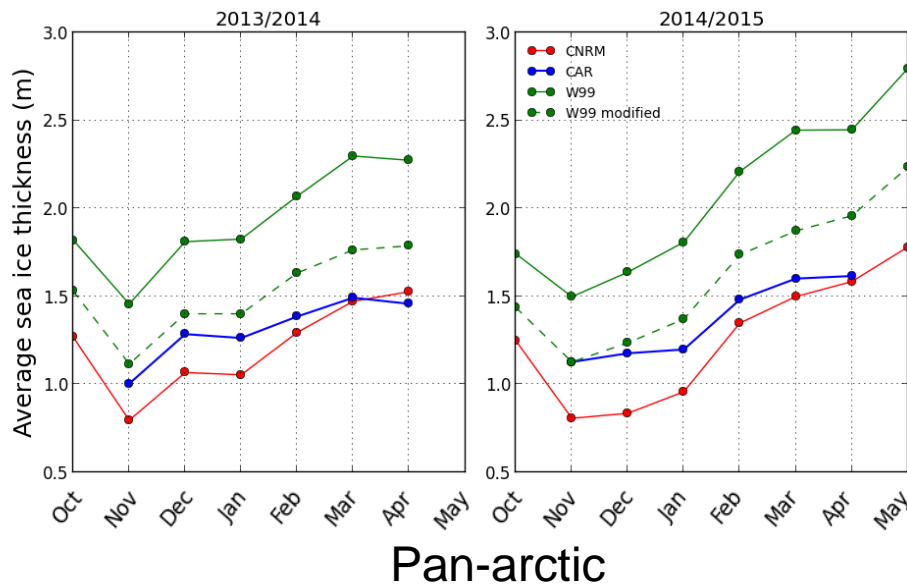
# Jeu de donnée : cartes de freeboard de Cryosat-2 de l'Alfred Wegner Institut (AWI)

- Threshold First Max Retracker (TFMRA)
- Jeu de donnée indépendant

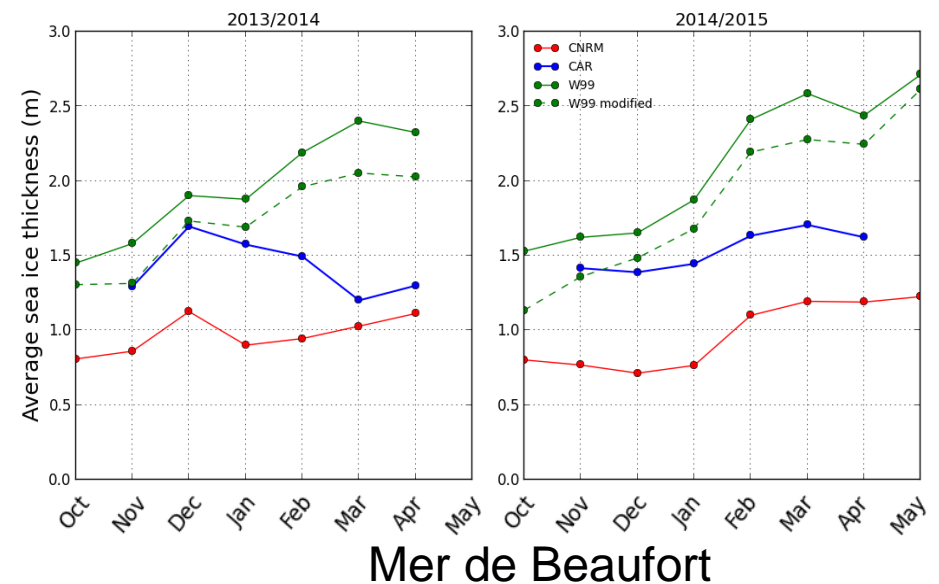


# Épaisseurs de glace pour les différentes solutions de neige

Pan Arctic Sea Ice Thickness for all ice type



Beaufort Sea Ice Thickness for all ice type



→ Différence de **50 cm** entre deux jeux de données

→ **Variation de 30% du SIT** selon le choix des épaisseurs de neige

# Conclusions et perspectives

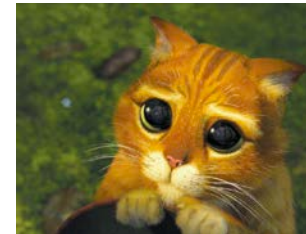
- Impact des différentes sources d'incertitudes sur la mesure de l'épaisseur de glace :
  1. Mesure du FB : 50% [Giles et al. 2008]
  2. Epaisseur de neige : 30% selon le choix du jeu de données de neige
    - Etude théorique : **>1m** en bande Ku et **>2m** en bande Ka
  3. Densité de glace (**90 cm**)
  4. Densité de neige
- Présentation de 2 nouvelles approches pour estimer l'épaisseur de neige : CNRM et CAR
- Toutes premières comparaisons à étendre sur d'autres zones (cercle polaire) et périodes (fonte), et avec d'autres data in situ.

# Conclusions et perspectives

- Apport des résultats altimétriques CAR pour la modélisation de l'épaisseur de neige sur la banquise (collaboration LEGOS/CNRM) :
  1. Impact du déplacement de la banquise sur l'accumulation de la neige (drift)
  2. Incertitude sur la ré-analyse (ECMWF)
  3. Assimilation de données altimétriques dans le modèle CNRM
- Vers une nouvelle climatologie ...
- ... ou mieux, un jeu de données de SIT basé sur des données d'épaisseur de neige et de freeboard acquises simultanément : vers un satellite Ku/Ka ?

# Conclusions et perspectives

- Apport des résultats altimétriques CAR pour la modélisation de l'épaisseur de neige sur la banquise (collaboration LEGOS/CNRM) :
  1. Impact du déplacement de la banquise sur l'accumulation de la neige (drift)
  2. Incertitude sur la ré-analyse (ECMWF)
  3. Assimilation de données altimétriques dans le modèle CNRM
- **Vers une nouvelle climatologie ...**
- **... ou mieux, un jeu de données de SIT basé sur des données d'épaisseur de neige et de freeboard acquises simultanément : vers un satellite Ku/Ka ?**





**Merci !**