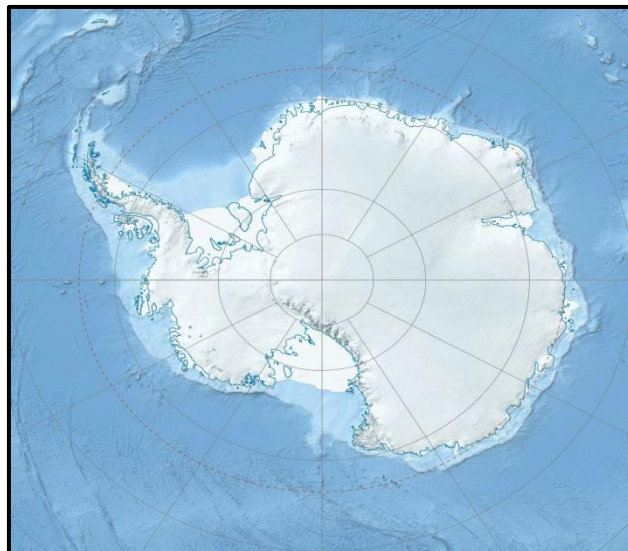


# R&T CNES : Méthode d'élaboration d'un MNT sur l'Antarctique



*Aublanc J. ; Schaeffer P. ; Thibaut P. : **CLS**  
Boy F. ; Guillot A. : **CNES**  
Remy F. ; Blumstein D. : **LEGOS***

# Objectifs

## Définir une méthode de production d'un modèle numérique de terrain de l'Antarctique à partir de données altimétriques

Deux tâches principales :

- Définir les méthodes de traitement (avec corrections associées) et générer les jeux de données qui seront utilisés dans la tâche 2 (AltiKa / Cryosat-2 / Sentinel-3A)
- Investiguer les méthodes permettant de générer un MNT Antarctique à partir de données alti de caractéristiques variées (Ku/Ka, LRM/PLRM/SAR).

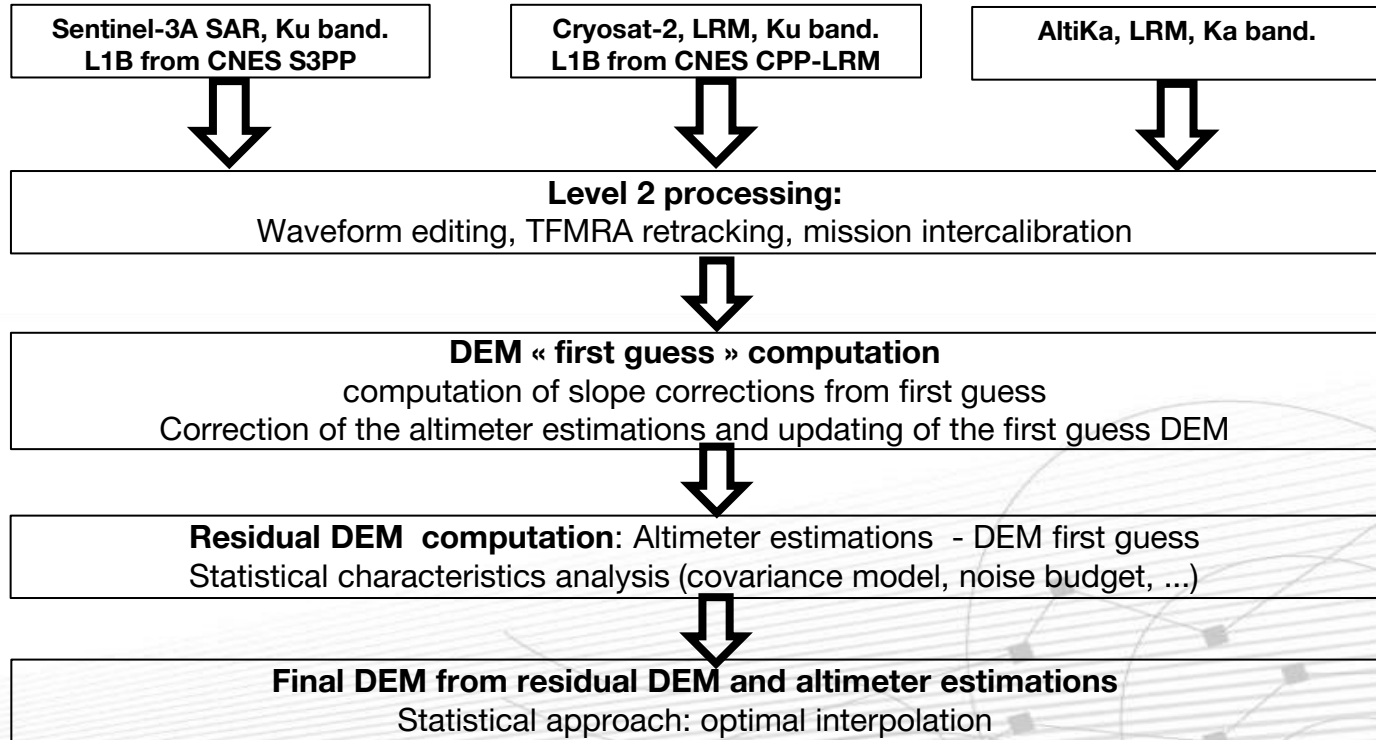


**Etude en cours (fin en Novembre 2017).**

# Plan de la présentation

- 1 – Génération du MNT (plan de travail)**
- 2 – Présentation des données altimétriques utilisées**
- 3 – Traitement des données**
- 4 – Analyses préliminaires**

# Génération du MNT – plan de travail



# Présentation des données altimétriques

## Cryosat-2

Génération du  
MNT

**Mode LRM, bande Ku.** Couverture du continent en LRM jusqu'à **88°**, mais partielle car le mode SARin est utilisé sur les marges. **Mission géodésique** => très bonne couverture spatiale des mesures.

Données  
altimétriques

**En noir la couverture Cryosat-2 d'un premier jeu de données.**

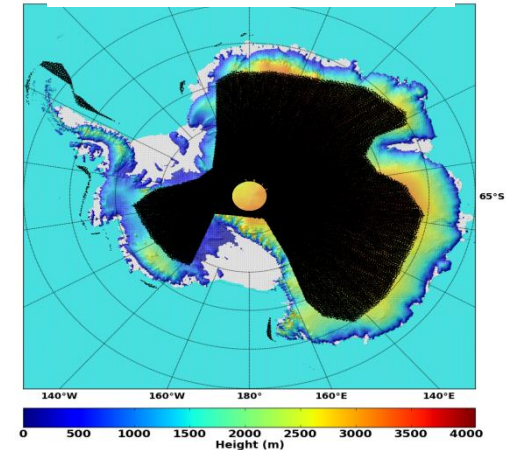
Mesures acquises entre le 1er Janvier / 31 Décembre 2015. **29 928 160** mesures acquises en mode LRM à 20Hz

Données LIB issues de l'algorithme CNES CPP LRM

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires

CS-2 satellite passes (black)



*En fond : carte d'élévation BEDMAP2 (Fretwell et al., 2013)*

# Présentation des données altimétriques

## AltiKa

Génération du  
MNT

Mode LRM, bande Ka. Couverture du continent jusqu'à 81.5°. Mission répétitive

Données  
altimétriques

**En vert la couverture AltiKa d'un premier jeu de données.**

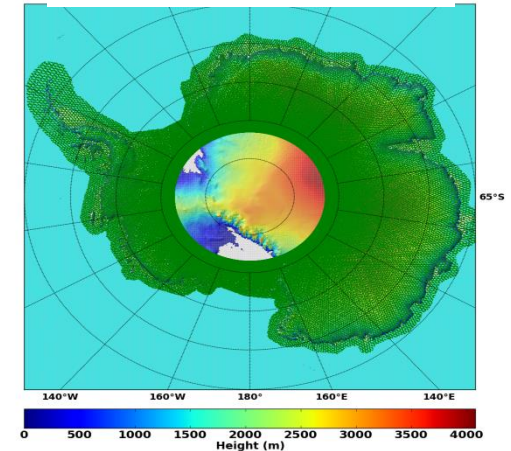
Les mesures ont été acquises entre le 1er Janvier / 31 Décembre 2015. **82 267 950** mesures acquises en mode LRM à 40Hz.

Données LIB issues du traitement bord instrument

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires

AltiKa satellite passes (green)



*En fond : carte d'élévation BEDMAP2 (Fretwell et al., 2013)*

# Présentation des données altimétriques

## Sentinel-3A

Génération du  
MNT

Mode SAR, bande Ku. Couverture du continent jusqu'à 81.5°. Mission répétitive.

Données  
altimétriques

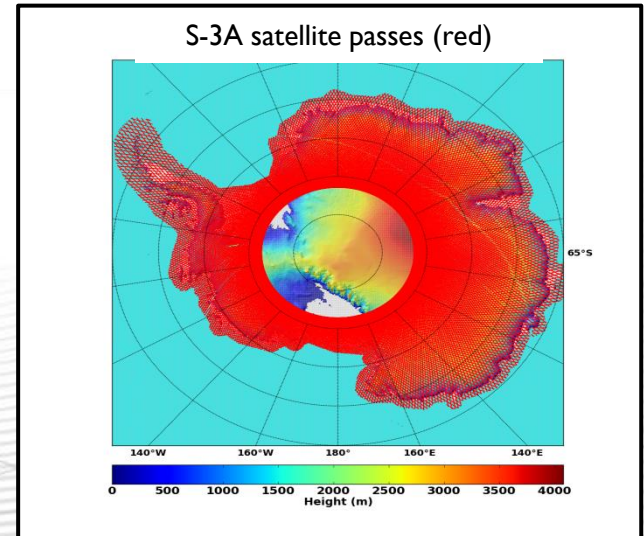
**En rouge la couverture Sentinel-3A d'un premier jeu de données.**

Les mesures ont été acquises entre le 24 Avril et le 5 Novembre 2016 (7 mois). **32 004 252** mesures acquises en mode LRM à 20Hz

Données LIB issues de l'algorithme CNES S3PP

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires



*En fond : carte d'élévation BEDMAP2 (Fretwell et al., 2013)*

# Présentation des données altimétriques

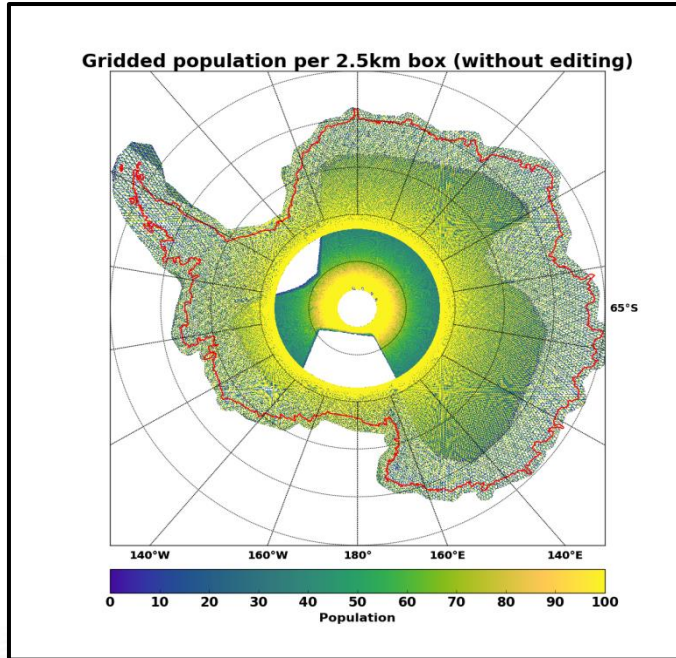
## Couverture des 3 missions

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires



### Conclusion

Sans les données SARin Cryosat-2, la couverture spatiale des mesures altimétriques disponibles ne permet pas de réaliser un MNT sur les marges.

En attendant de récupérer et traiter les données SARin Cryosat-2, le MNT sera construit sur le patch d'acquisition Cryosat-2 LRM.

Le MNT sera construit avec des données acquises sur un an (2016).

*Nbre de mesure des 3 missions sur une grille de 2.5km*



# Traitement des données

## Résumé des principaux traitements

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement  
des données

Analyses  
préliminaires

- Editing des mesures altimétriques :
  - ❑ Pour AltiKa : editing des mesures acquises avec un fort dépointage
  - ❑ Pour les 3 missions : editing des échos acquis par un algorithme de classification des échos développé à CLS
- Estimation de la distance altimétrique avec le retracking TFMRA [Helm et al., 2014]
- Intercalibration des missions
- A partir d'une première ébauche générée avec Cryosat-2 : correction de l'effet de la pente topographique sur l'élévation estimée (en cours)

# Editing Cryosat-2 par la classification des échos

## Classification des formes d'onde : Cryosat-2

Génération du MNT

Classes majoritaires & pourcentage de présence

Données altimétriques

**OK**



66%

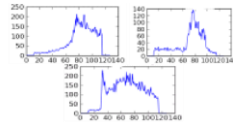


15%

Traitement des données

**NOK**

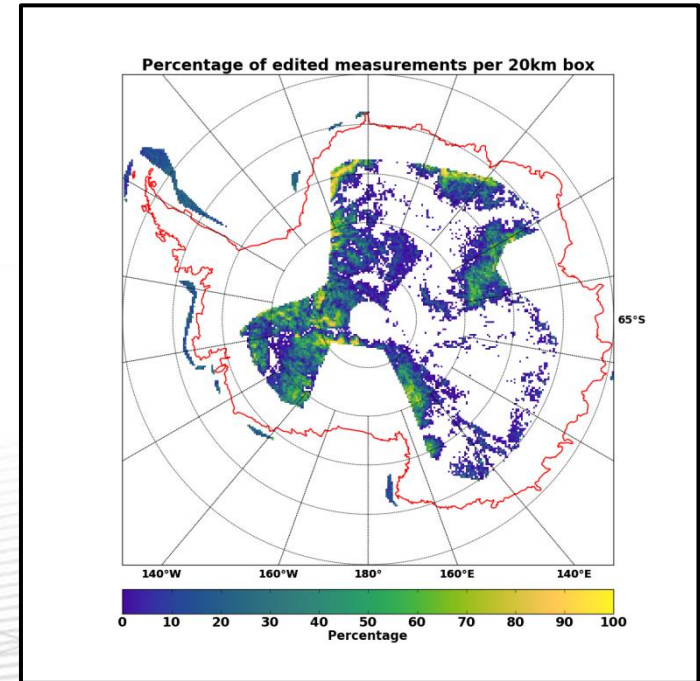
Formes d'onde inclassables



11%

Analyses préliminaires

Au total, environ 11% des données sont éditées par la classification



Carte des mesures invalides (%) sur une grille de 20km

# Editing AltiKa par la classification des échos

## Classification des formes d'onde : AltiKa

Génération du MNT

Classes majoritaires & pourcentage de présence

Données altimétriques

**OK**



32%



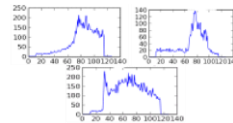
21%



7%

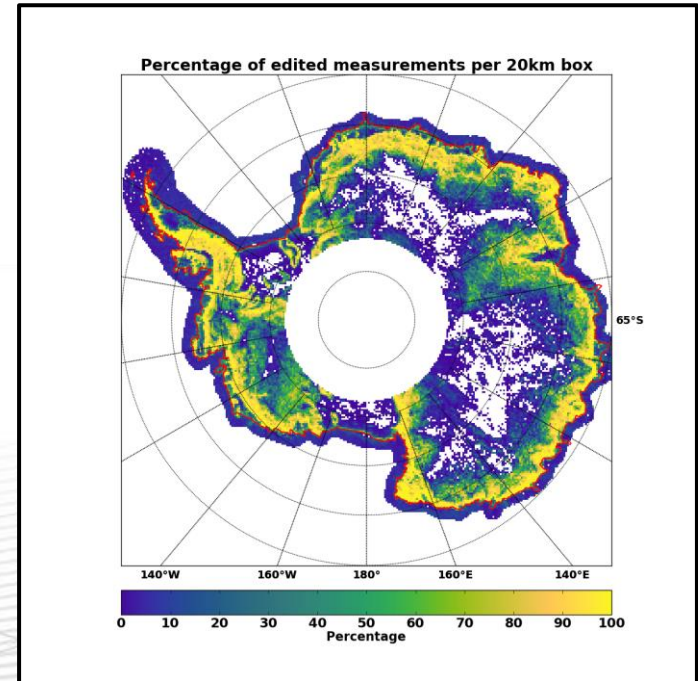
**NOK**

Formes d'onde inclassables



20%

Au total, environ **27%** des données sont éditées par la classification, essentiellement sur les marges



Carte des mesures invalides (%) sur une grille de 20km

# Editing Sentinel-3A par la classification des échos

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement  
des données

Analyses  
préliminaires

L'algorithme de classification des échos SAR a été finalisé récemment à CLS.

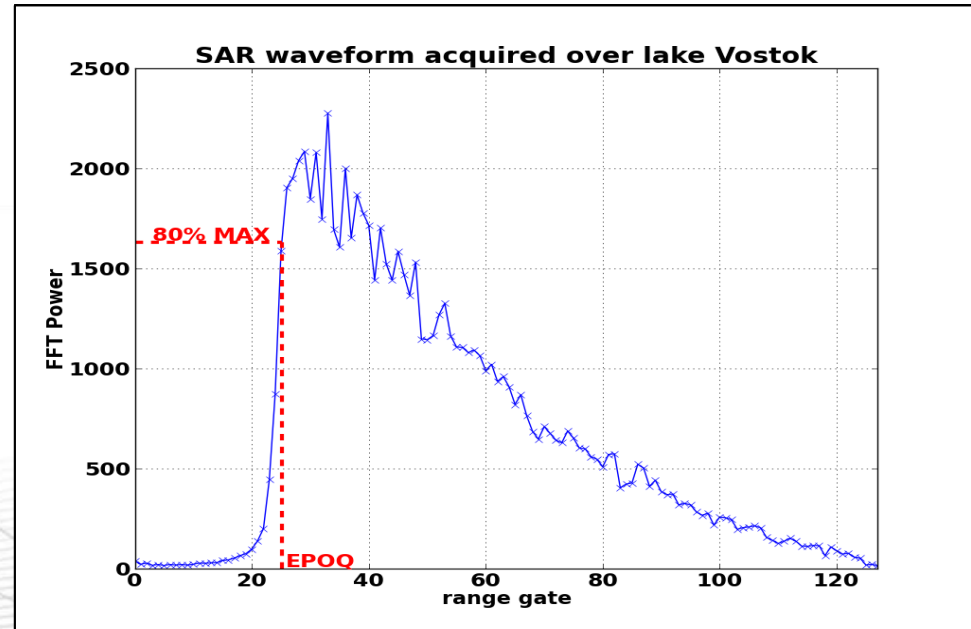
=> Classification à venir pour les échos SAR Sentinel-3A

# Estimation de la distance altimétrique par retracking

Le retracking TFMRA (Threshold First Maximum Retracker Algorithm) est inspiré des travaux de Veit Helm [2014]. Il s'agit d'un retracking à seuil « amélioré ».

- 1 - Mesure à retracker
- 2 - Sur-échantillonnage x10
- 3 - Lissage
- 4 - Calcul de l'énergie max
- 5 - Position du point époque sur l'écho SAR initial à « MAX \* threshold »

**Algorithme simple mais robuste et relativement peu sensible à l'effet de pénétration si correctement paramétré**



Exemple d'utilisation du retracking TFMRA sur un écho SAR Sentinel-3A

Génération du MNT

Données altimétriques

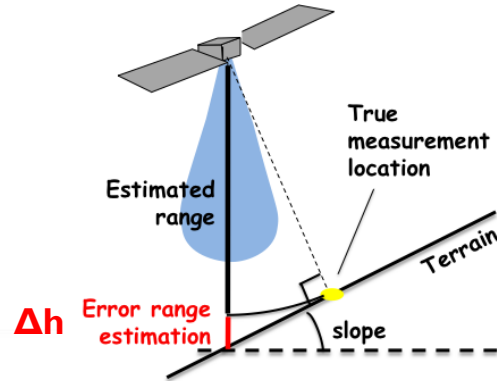
Traitement des données

Analyses préliminaires

# Correction de l'effet de pente

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques



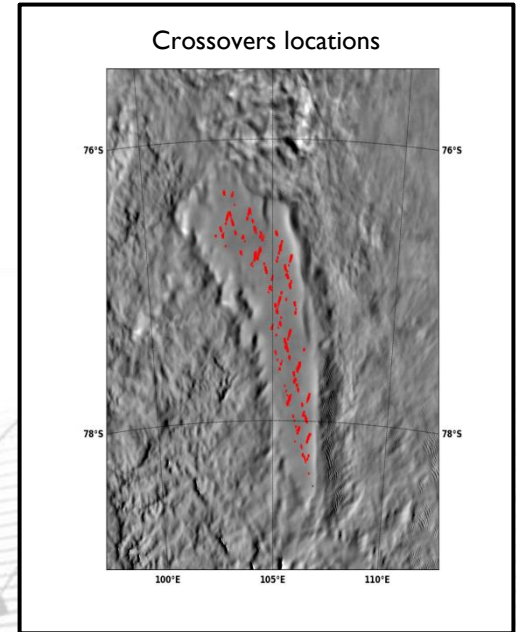
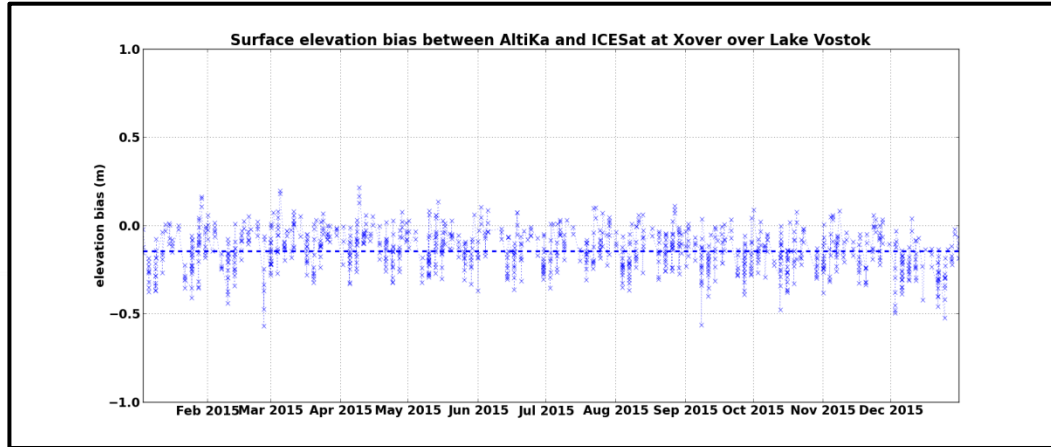
A partir d'une première ébauche, utilisation de la méthode directe.  
La mesure est corrigée de  $\Delta h = (s^2 * H_e) / 2$

$s$  = surface slope  
 $H_e$  = effective altitude of satellite

Il est prévu de prendre en compte l'effet de la courbure topographique

# Biais Altika / ICESat sur le lac Vostok

## 1114 Xovers Altika / ICESat (35m location)



Median bias between Altika and ICESat elevation estimations : **-14.5cm.**  
Standard deviation : **11.5cm**

*(Median bias with Bamber DEM is -5.7cm at the Xovers locations)*

Génération du  
MNT

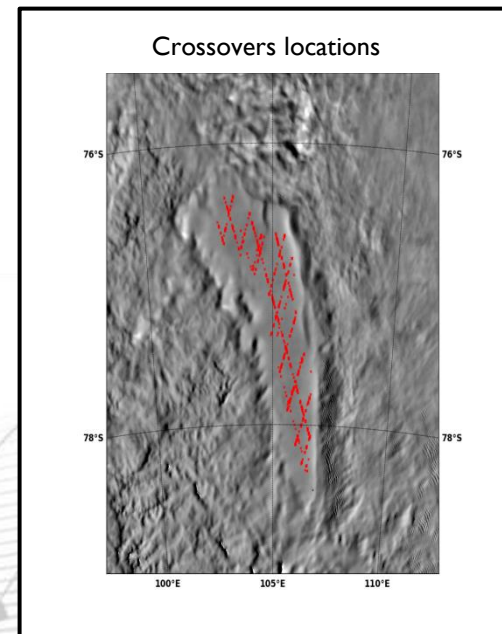
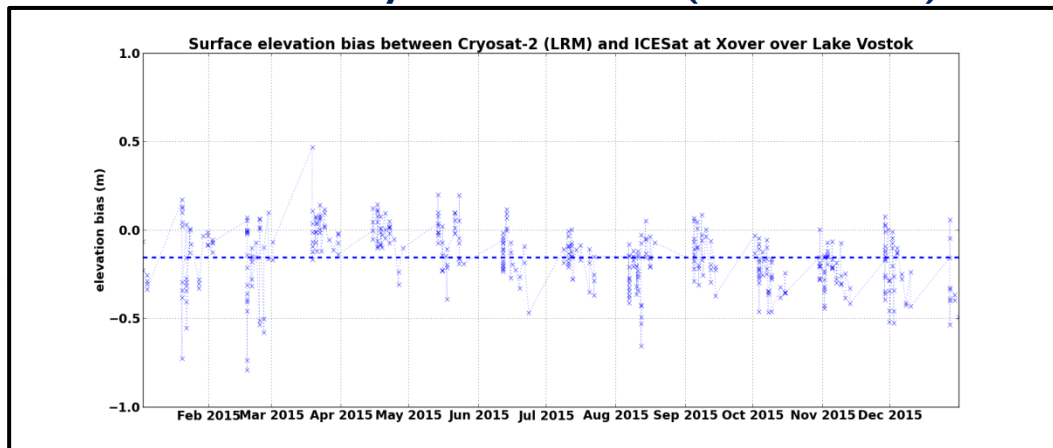
Données  
altimétriques

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires

# Biais Cryosat-2 / ICESat sur le lac Vostok

## 45 | Xovers Cryosat-2 / ICESat (35m location)



Median bias between Cryosat-2 and ICESat elevation estimations : **-15.4cm**  
Standard deviation : **16.7cm**

*(Median bias with Bamber DEM is -5.4cm at the Xovers locations)*

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

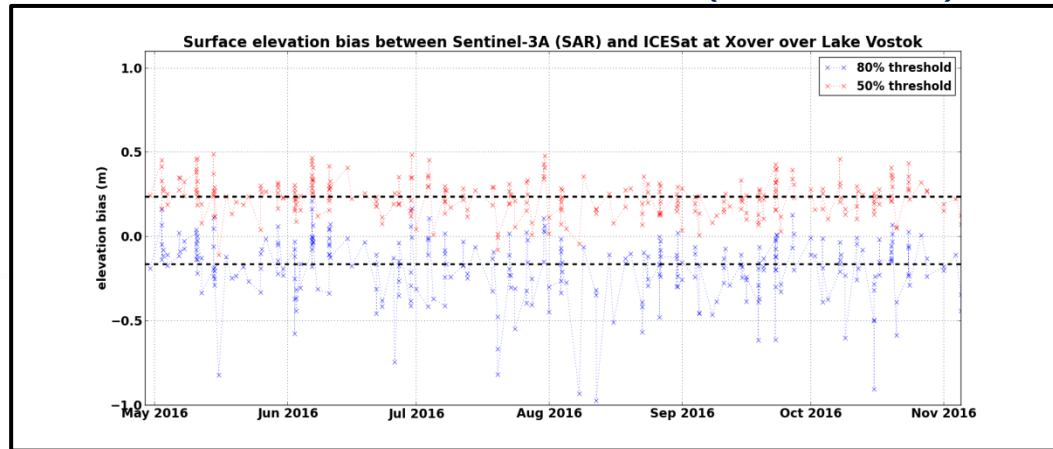
Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires



# Biais Sentinel-3A / ICESat sur le lac Vostok

## 307 Xovers Sentinel-3A / ICESat (35m location)



### **80% threshold :**

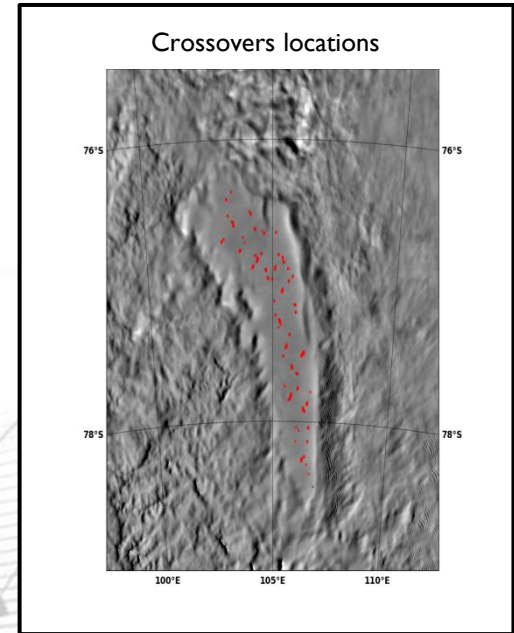
Median bias between S-3A and ICESat elevation estimations : **-16.4cm.**

Standard deviation : **18.5cm**

### **50% threshold :**

Median bias between S-3A and ICESat elevation estimations : **23.8cm.**

Standard deviation : **10.5cm**



Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires

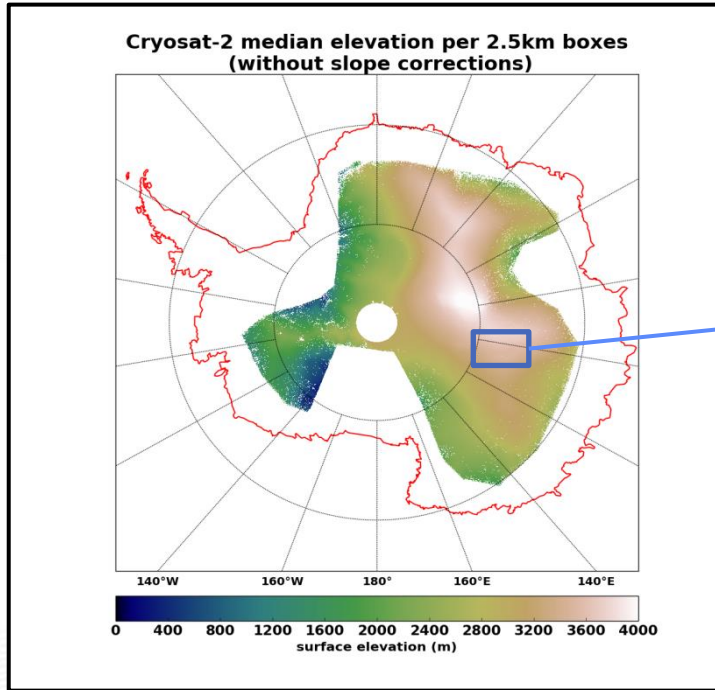
# Première ébauche Cryosat-2

Ebauche simpliste d'un MNT réalisé avec les données Cryosat-2  
(sans correction de la pente de surface)

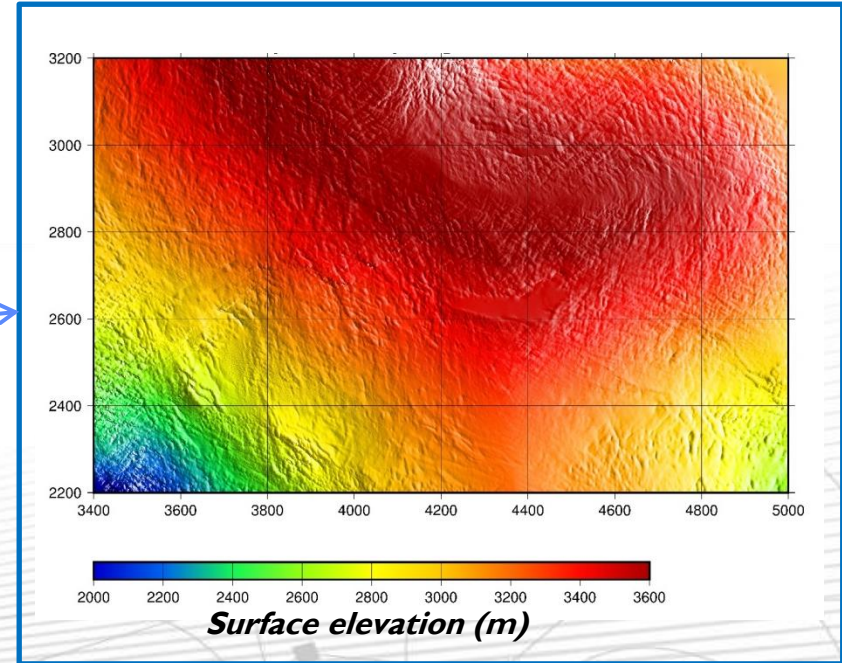
Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement des  
données



*Élévation médiane par boîte de 2.5km*



*Zoom sur la zone du lac Vostok*

Analyses  
préliminaires

# Première ébauche Cryosat-2

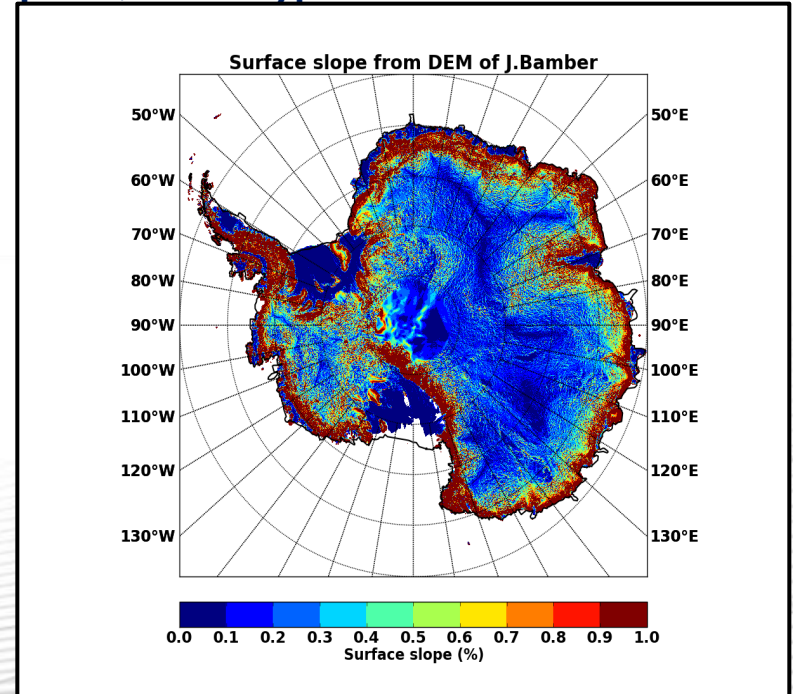
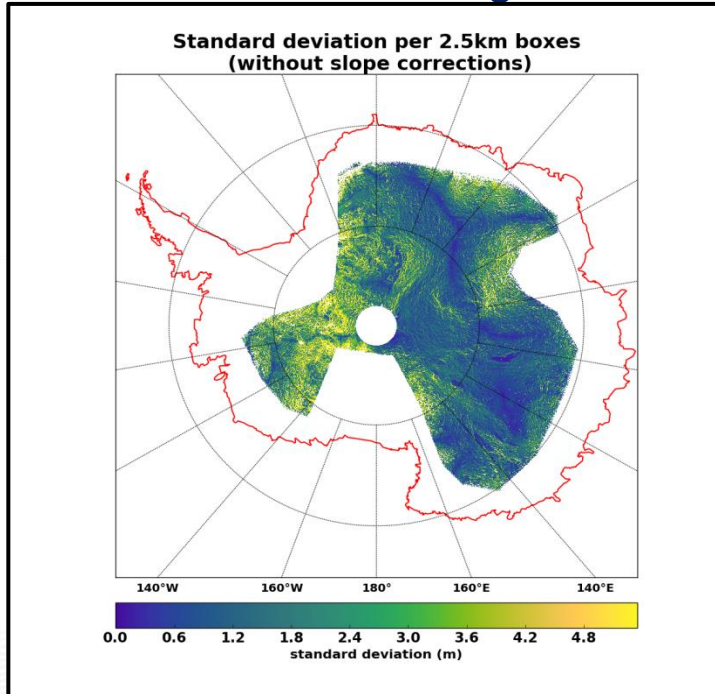
Corrélation claire entre l'écart type des mesures et la pente topographique.  
Une fois les données corrigées de l'effet de pente, l'écart type devrait être diminué.

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires



*Ecart type des estimations altimétriques 20Hz*

*Pente de surface issue du MNT Bamber*

# Première ébauche Cryosat-2

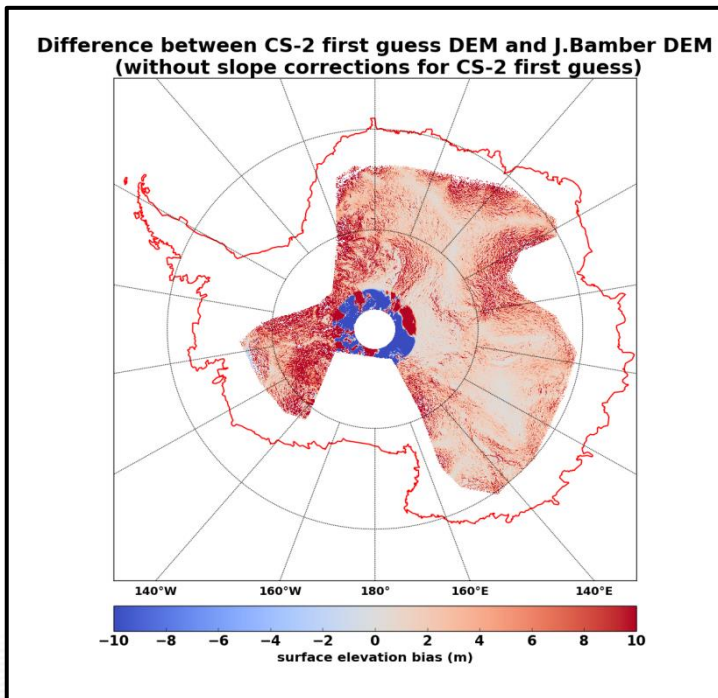
## Comparaison entre l'ébauche Cryosat-2 et le MNT de J.Bamber [2009]

Génération du MNT

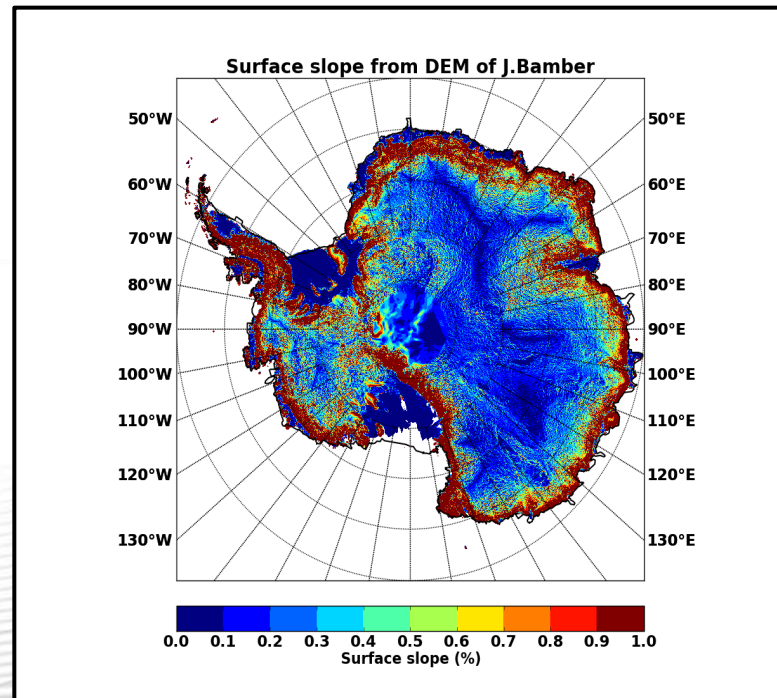
Données altimétriques

Traitement des données

Analyses préliminaires



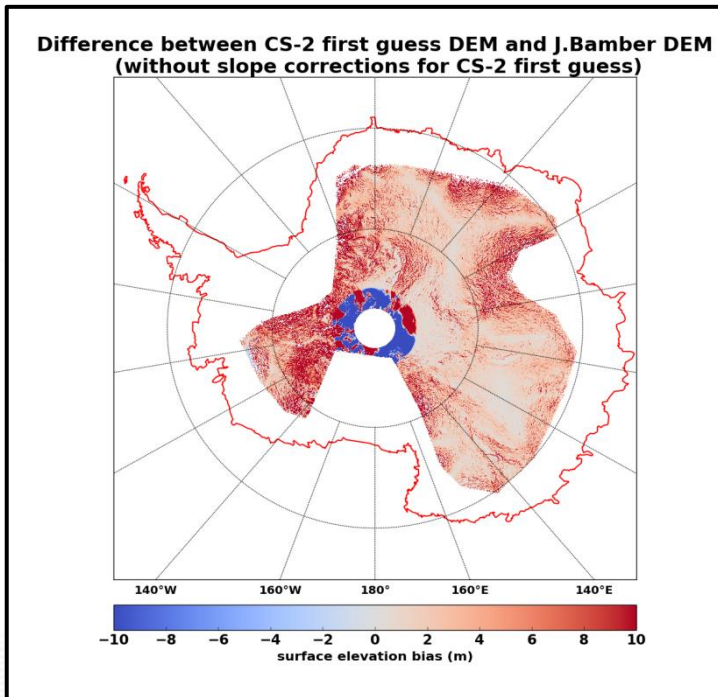
***Biais médian Ebauche CS-2 – MNT Bamber***



***Pente de surface issue du MNT Bamber***

# Première ébauche Cryosat-2

## Comparaison entre l'ébauche Cryosat-2 et le MNT de J.Bamber [2009]



**Biais médian Ebauche CS-2 – MNT Bamber**

- Le biais est globalement positif car les données CS-2 n'ont pas encore été corrigées de l'effet de pente
- Lorsque la surface est plate, les estimations CS-2 sont cohérentes avec le MNT Bamber
- Aux très basses latitudes ( $< -86^\circ$ ), Bamber a utilisé des données cartographiques de qualité médiocre pour construire son MNT [Bamber and Gomez-Dans, 2005], expliquant les biais observés

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement des  
données

Analyses  
préliminaires

# Conclusion

- La production et le traitement des jeux de données altimétriques est quasiment terminée. Une mise à jour sera faite avec les données acquises en 2016.
- L'absence de données SARin Cryosat-2 ne permettra pas de réaliser, dans le cadre de cette étude, un MNT qui couvre les marges. Cela est prévu ultérieurement.
- Les estimations des élévations de surface faites sur le lac Vostok par les 3 missions sont alignées entre elles avec un biais de -15cm environ par rapport à la mission ICESat.
- Les estimations altimétriques semblent globalement cohérentes sur le continent. La correction de l'effet de pente sera une étape cruciale pour obtenir une bonne justesse et une meilleure précision sur la mesure
- Les bases de données générées durant cette R&T sont extrêmement utiles et permettent d'alimenter les études actuelles à CLS sur la glace continentale.

# Perspectives

- Pour terminer la 1<sup>ère</sup> tâche, un editing des données SAR Sentinel-3A reste à faire ainsi que la correction de l'effet de pente sur les données (en cours). Au cours de futures études il faudra développer un retracking spécifique, basé sur la physique de la mesure, pour traiter la donnée sur glace continentale.
- La 2<sup>ème</sup> tâche vient de débiter. La méthode statistique utilisée pour la génération du MNT serait une méthode d'interpolation optimale. Ce point reste à confirmer.
- Après validation des résultats, un MNT sera généré avec les données acquises en 2016 pour les 3 missions altimétriques
- La couverture des marges se fera après analyse et assimilation des données SAR In Cryosat-2 (étude à venir)
- Des processings LIB & L2 spécifiques seront appliqués aux données SAR Sentinel-3A pour améliorer la qualité de la mesure sur les marges
- A terme un objectif majeur serait de produire un MNT annuel et quantifier les variations d'élévation de surface au cours du temps. Le Groenland devra également être regardé.





# BACKUP

# Correction de l'effet de pente

Génération du  
MNT

Données  
altimétriques

Traitement  
des données

Analyses  
préliminaires

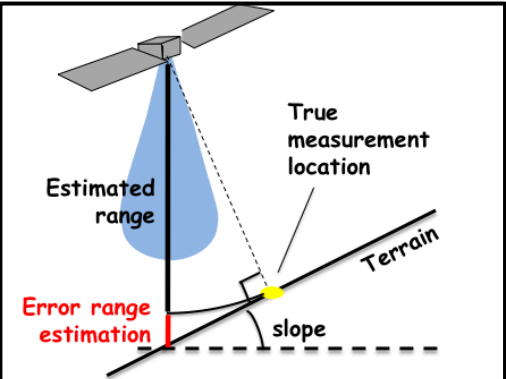
## Problématique

En cas de pente topographique, le point de retour surface n'est pas situé au nadir mais à la direction orthogonale entre la pente et le satellite. Cela crée un biais positif sur l'élévation de surface estimée

## Solution

L'effet de la pente est corrigée de la manière suivante :

- Calcul d'une ébauche de MNT Cryosat-2
- A partir de cette ébauche, calcul des pentes au point de mesure 20Hz (pour les données Cryosat-2)
- Calcul & application de la correction de pente par la méthode directe aux données Cryosat-2
- Calcul d'une nouvelle ébauche Cryosat-2 avec les données corrigées puis itération sur le processus jusqu'à aboutir à une solution stable



Méthode directe :

$$\Delta h = (s^2 * H_e) / 2$$

**s** = surface slope

**H<sub>e</sub>** = effective altitude of satellite

# Surface elevation estimation

➤ Altimetric distance is computed from the waveforms with a threshold retracker dedicated to the ice-sheet surfaces (TFMRA).

➤ Computation of the surface elevation :

$$H = \textit{Orbit} - \textit{altimetric\_distance} - \textit{internal path delay} - \Sigma (\textit{geophysical corrections})$$

# Cartographies & analyses

## Cartes de densité de mesures

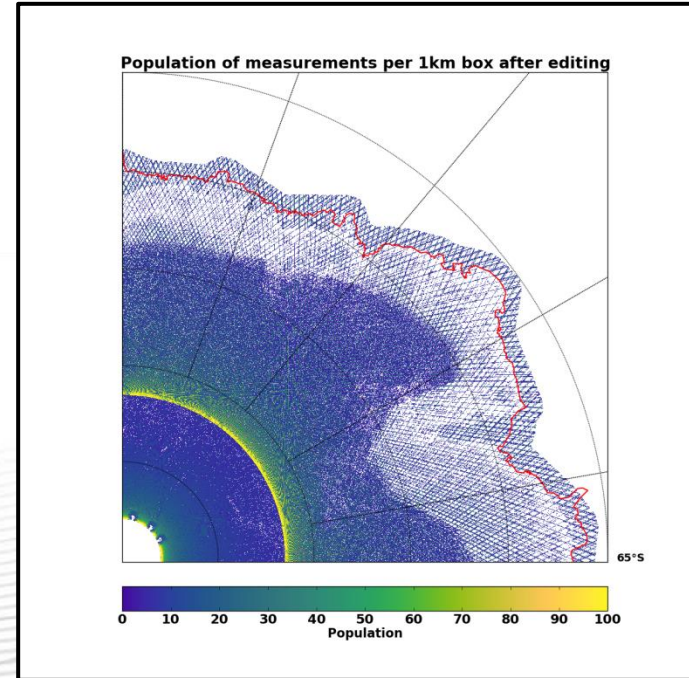
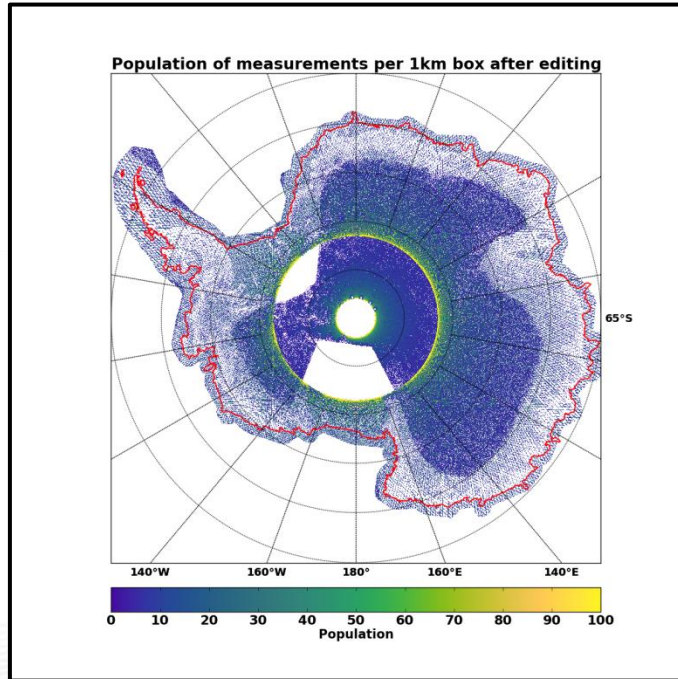
Données  
altimétriques

Editing

Retracking &  
calibration

Cartographie  
& analyses

Génération  
du MNT



# Cartographies & analyses

## Cartes de densité de mesures

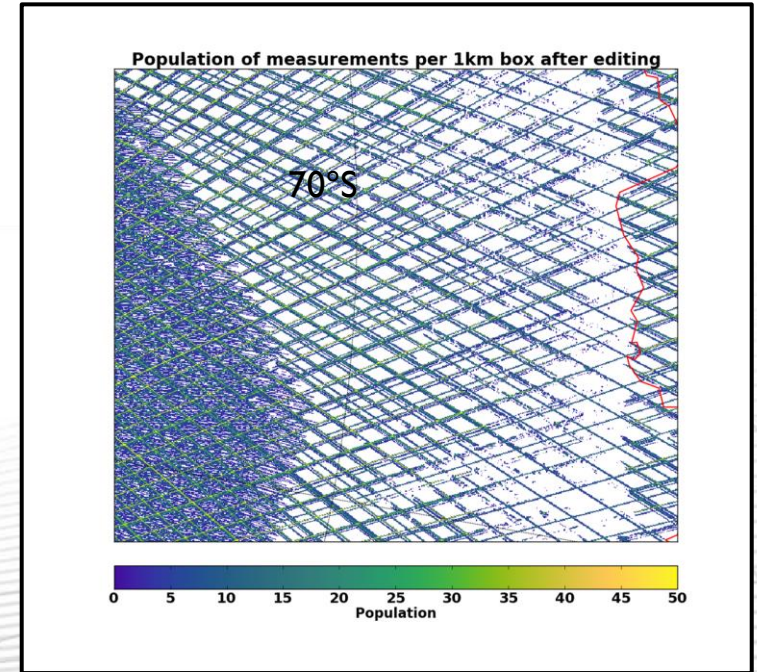
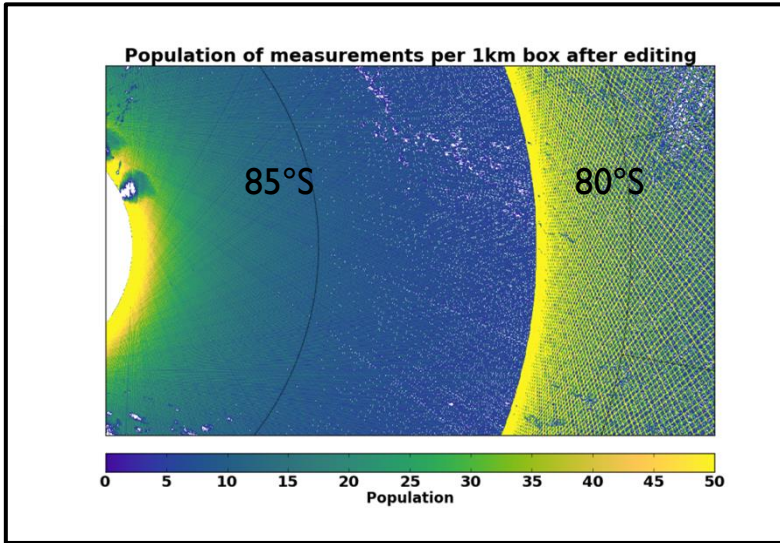
Données  
altimétriques

Editing

Retracking &  
calibration

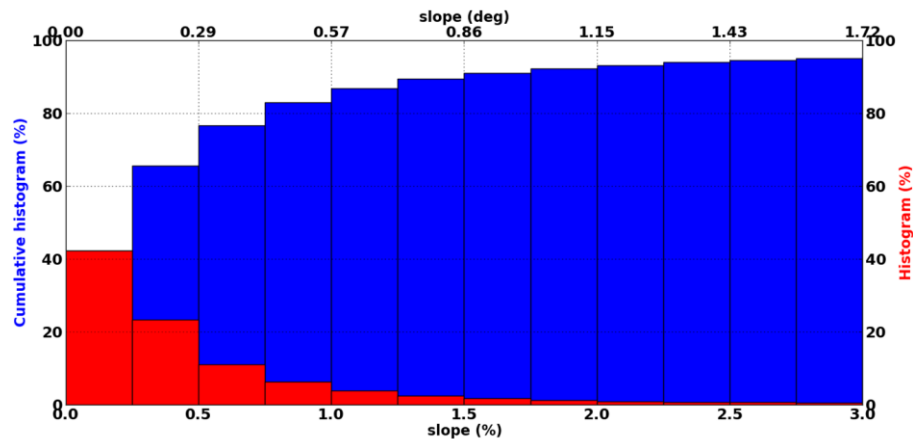
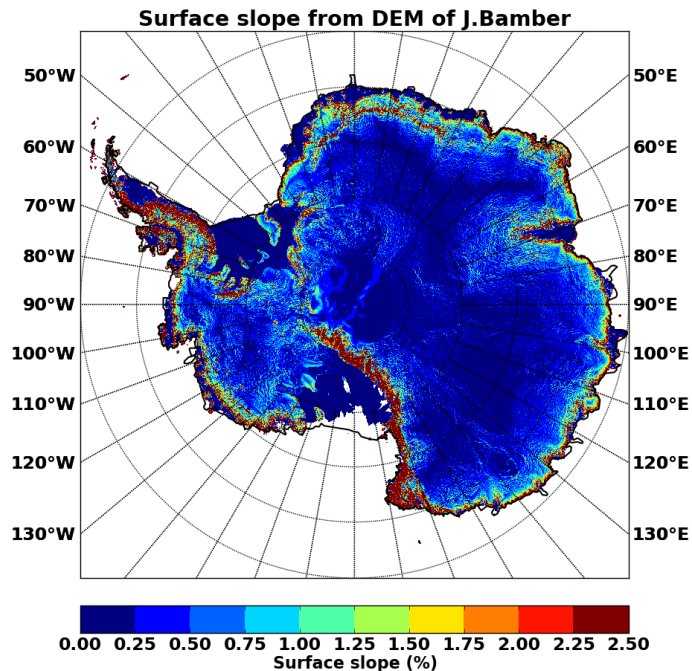
**Cartographie  
& analyses**

Génération  
du MNT

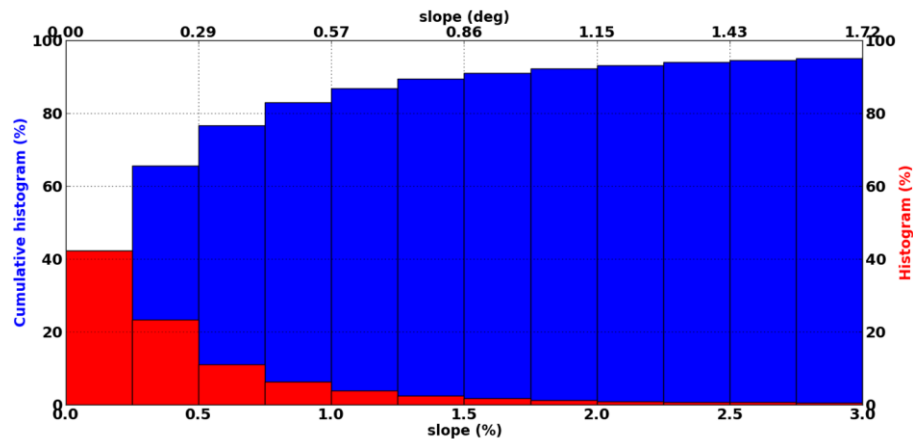
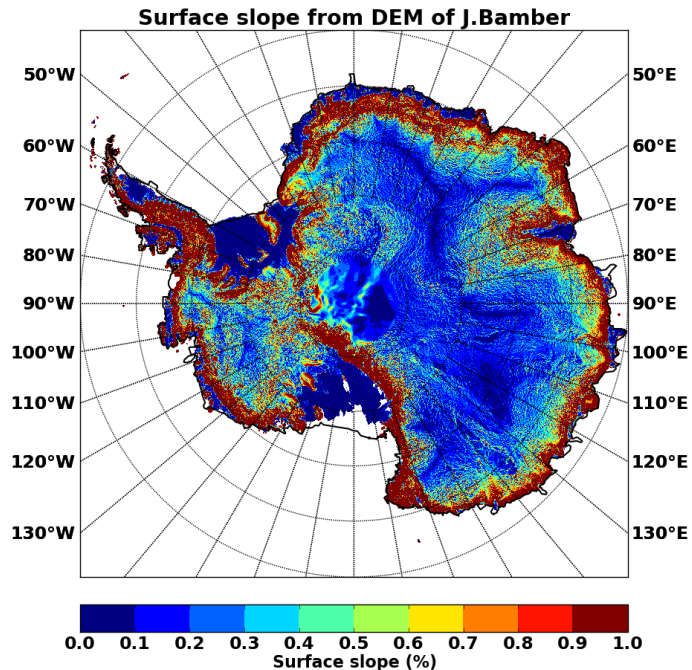


Inter-trace AltiKa à  $-70^\circ \approx 27\text{km}$   
Inter-trace S3A à  $-70^\circ \approx 35\text{km}$

# Cartes et histo des pentes



# Cartes et histo des pentes



# Biais théoriques en fct des pentes de surface

Pente (%)	0.01	0.025	0.05	0.075	0.1	0.15	0.2	0.25
Pente (°)	0.0057	0.0143	0.0286	0.043	0.0572	0.086	0.115	0.143
simulation (m)	0.003	0.02	0.08	0.19	0.33	0.75	1.31	2.05
équation (m)	0.003	0.02	0.08	0.18	0.33	0.73	1.3	2.03
équation (m)	65	163	325	488	651	976	1302	1627

Pente (%)	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2
Pente (°)	0.172	0.229	0.286	0.43	0.573	0.716	0.859	1.146
simulation (m)	2.95	5.24	/	/	/	/	/	/
équation (m)	2.93	5.21	8.14	18.31	32.55	50.85	73.23	130.17
équation (m)	1953	2604	3255	4882	6510	8137	9764	13018