



Génération d'un MNT Antarctique multi-missions altimétriques

J.Aublanc, P.Schaeffer, P.Thibaut, P.Prandi (CLS)

A.Guillot, F.Boy, N.Picot (CNES)



Introduction

- La connaissance de la topographie des calottes polaires (Antarctique & Groënland) est un enjeu important, notamment d'un point de vue scientifique & climatique
- En 2016 le CNES a initié une étude R&T visant à développer des **méthodes de traitement de la donnée altimétrique (du L1/L2 à l'interpolation) pour la génération d'un MNT multi-missions altimétriques Antarctique**
- La constellation de satellite est : **CryoSat-2 (LRM – Ku) + AltiKa (LRM- Ka) + Sentinel-3A (SAR – Ku)**. Résolution spatiale du MNT: 1km.
- **Les premiers résultats obtenus sont prometteurs.** Toutefois, la couverture de l'Antarctique n'est pas encore complète car les données SARIn CryoSat-2 n'ont pas été traitées & intégrées.
- L'étude a repris en 2019 avec l'objectif de réaliser cette couverture complète.



Plan

- 1 – Jeux de données altimétriques
- 2 – Chaîne de traitement de génération du MNT
- 3 – Evaluation du MNT
- 4 – Intégration des données SARIn CryoSat-2

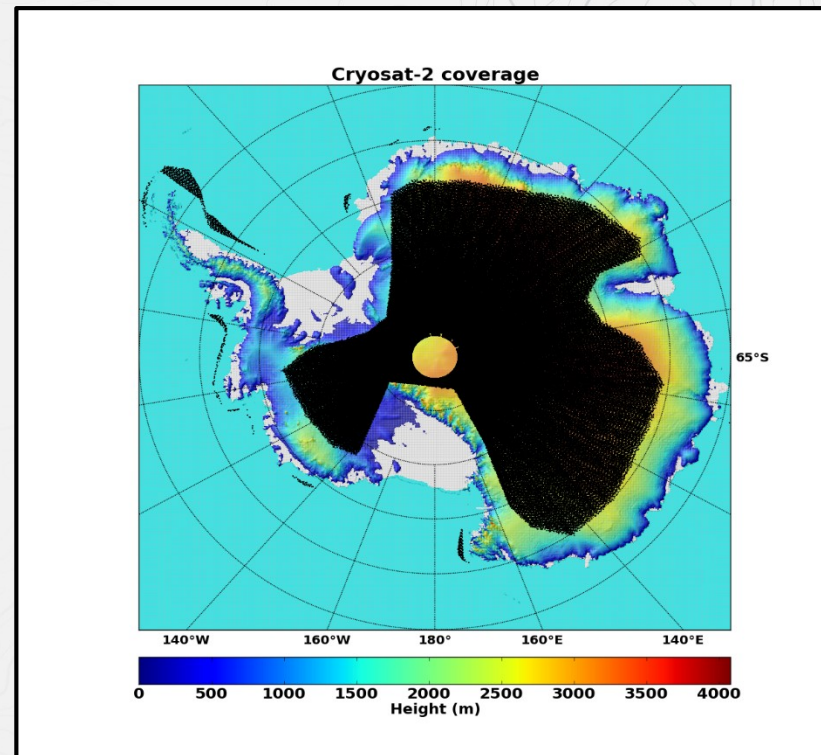


CryoSat-2 : LRM Ku-band

- Cycle de 369 jours
- Inclinaison de 92°
- Footprint de 15km de diamètre
- Inter-trace de 2km max à -75°

95 000 000 mesures acquises en mode LRM à 20Hz sur la période **Janvier 2015 – Mars 2017**

Données L1B issues de l'algorithme CNES CPP LRM

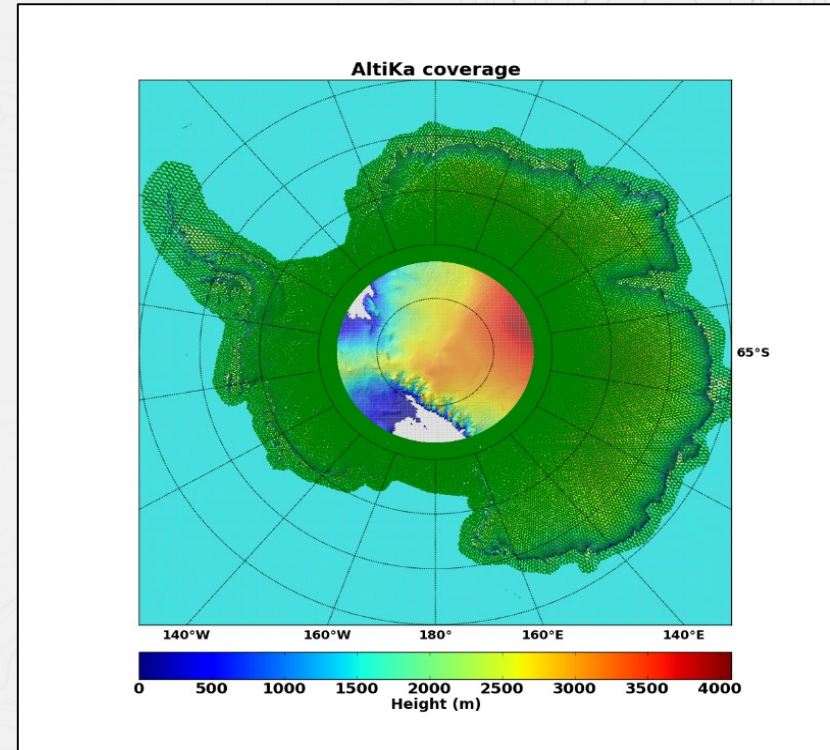


AltiKa : LRM Ka-band

- Cycle de 35 jours
- Inclinaison de $98,54^\circ$
- Footprint de 8km de diamètre
- Inter-trace de 18km à -75°

240 000 000 mesures acquises en mode LRM à 40Hz sur la période Janvier 2015 – Mars 2017

Données L1B issues du traitement bord satellite

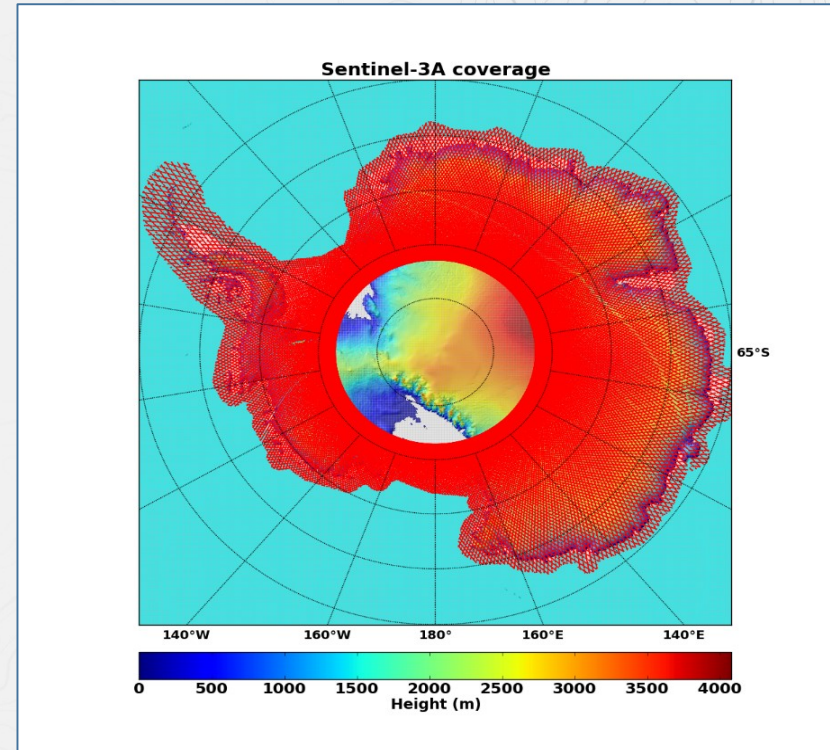


Sentinel-3A : SAR Ku-band

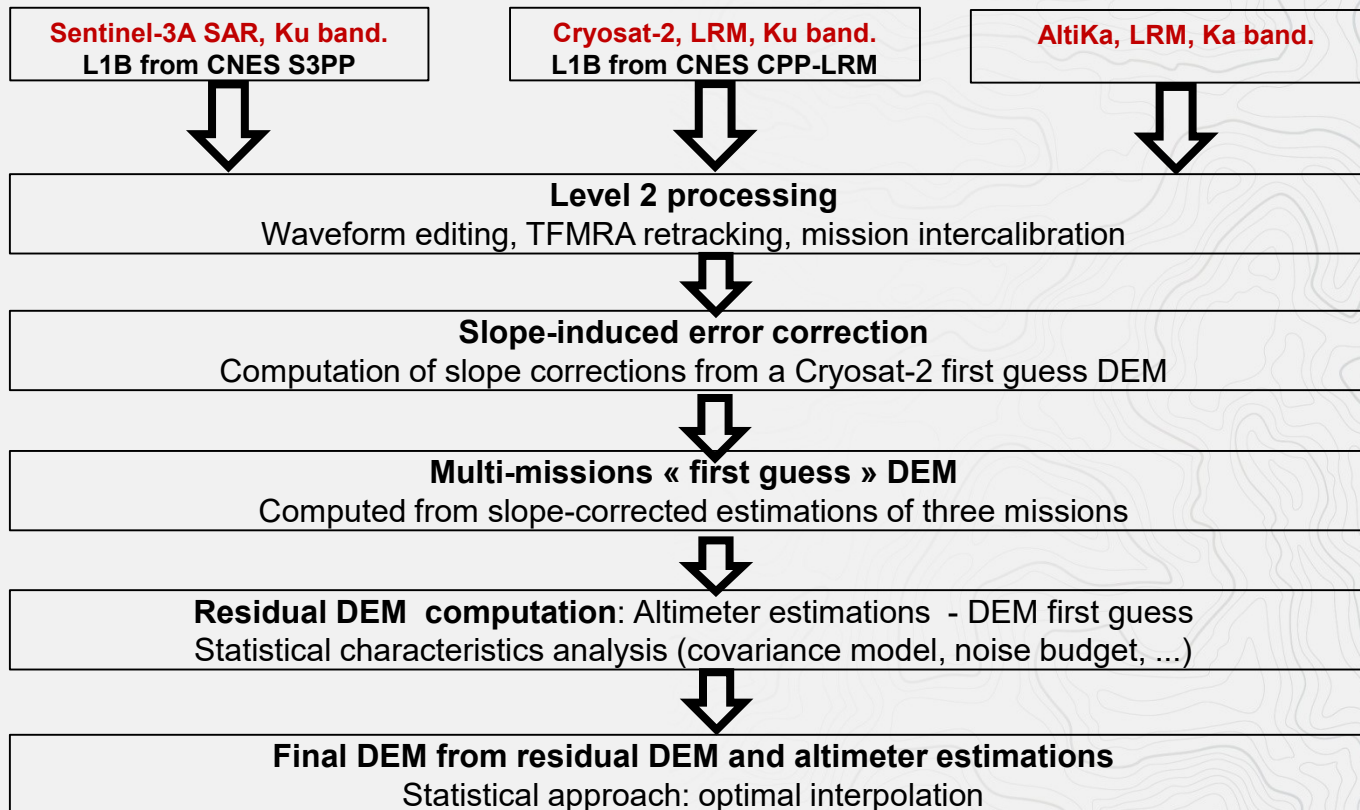
- Cycle de 30 jours
- Inclinaison de $98,65^\circ$
- Footprint de 14km de longueur en across-track & 300m en along-track
- Inter-trace de 23km max à -75°

53 000 000 mesures acquises en mode SAR à 20Hz sur la période **Mai 2016 – Mars 2017**

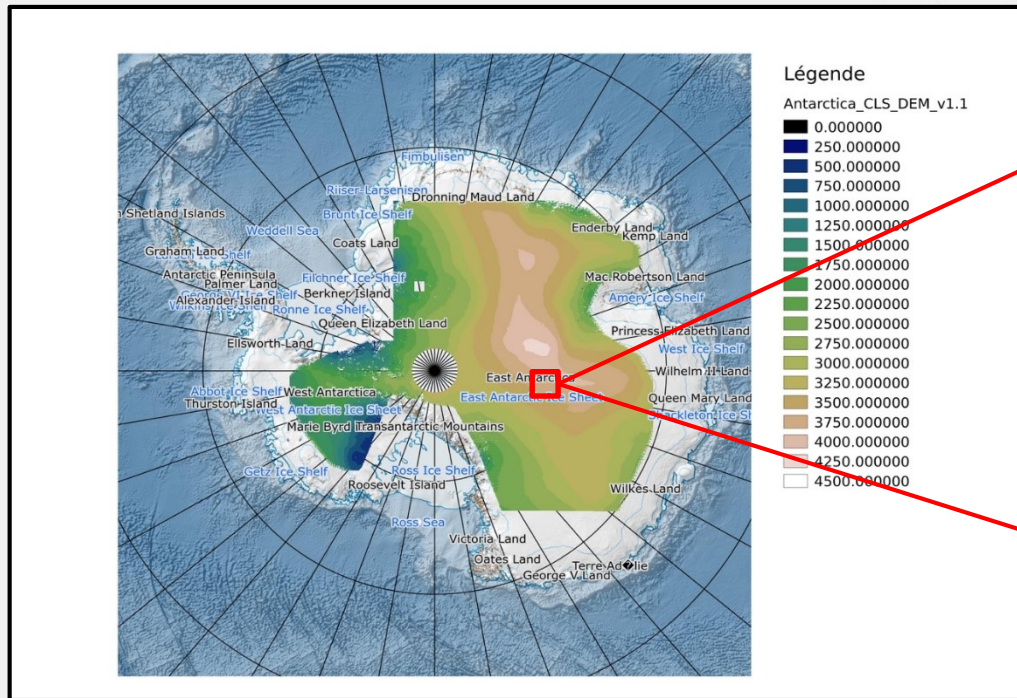
Données L1B issues d'algorithme CNES S3PP v1.2



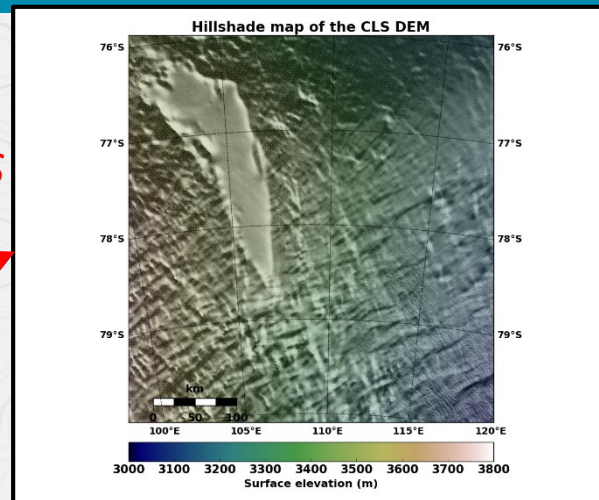
2 - Chaîne de traitement du MNT



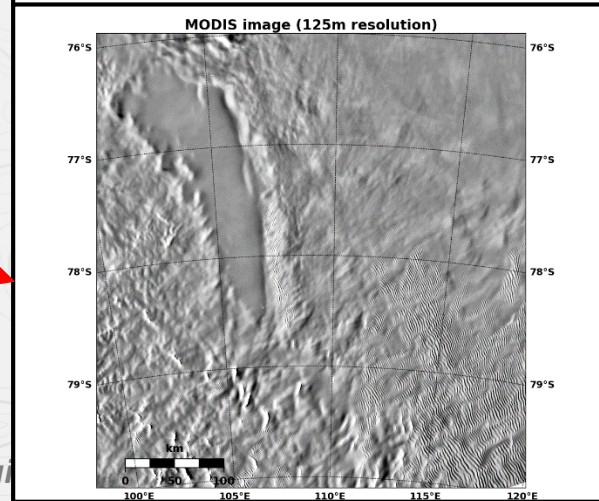
3 – Evaluation du MNT



*CLS/CNES
DEM*

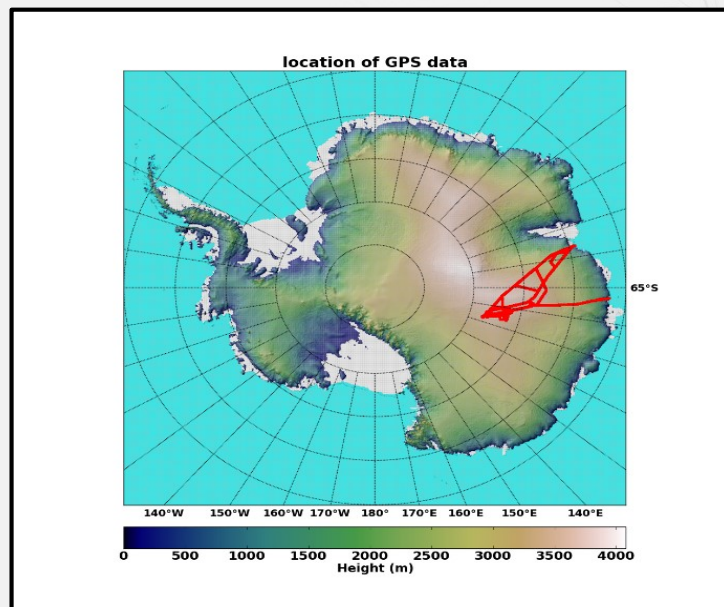


MODIS



Comparaison de données GNSS à l'élévation du MNT par interpolation bi-linéaire :

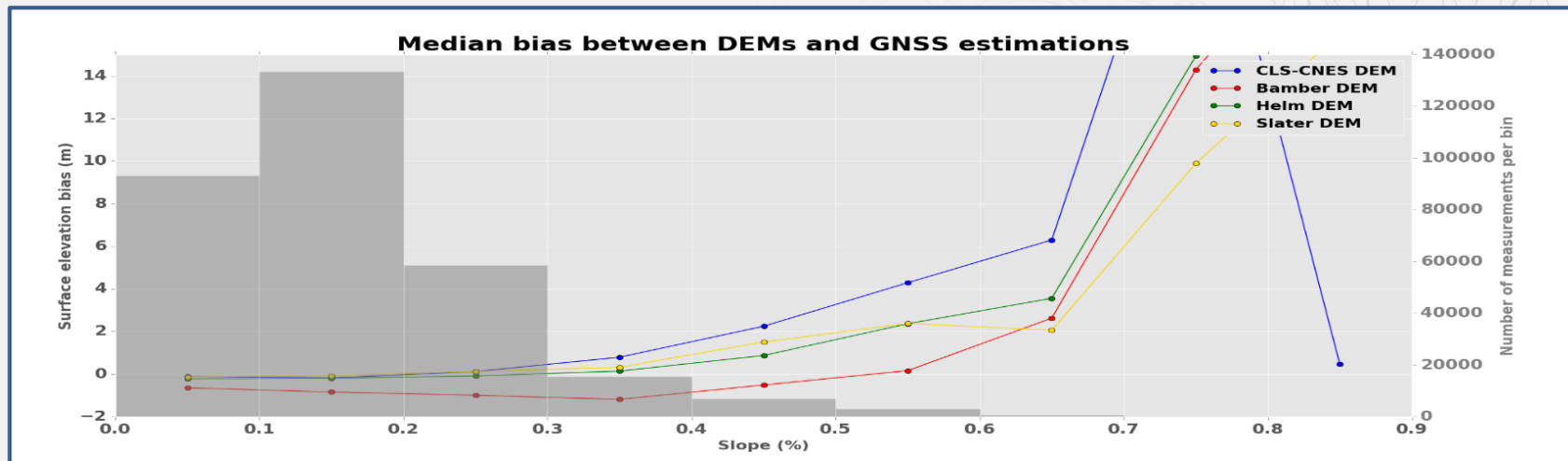
300 000 mesures GNSS ont été analysées. 4 MNT sont comparés : les MNT CLS, Bamber, Helm & Slater. Les mesures GNSS sont réalisées à interface air / neige, la précision est de l'ordre de 4 à 9 cm.



Données GNSS utilisées pour la validation. Schröder et al., 2018



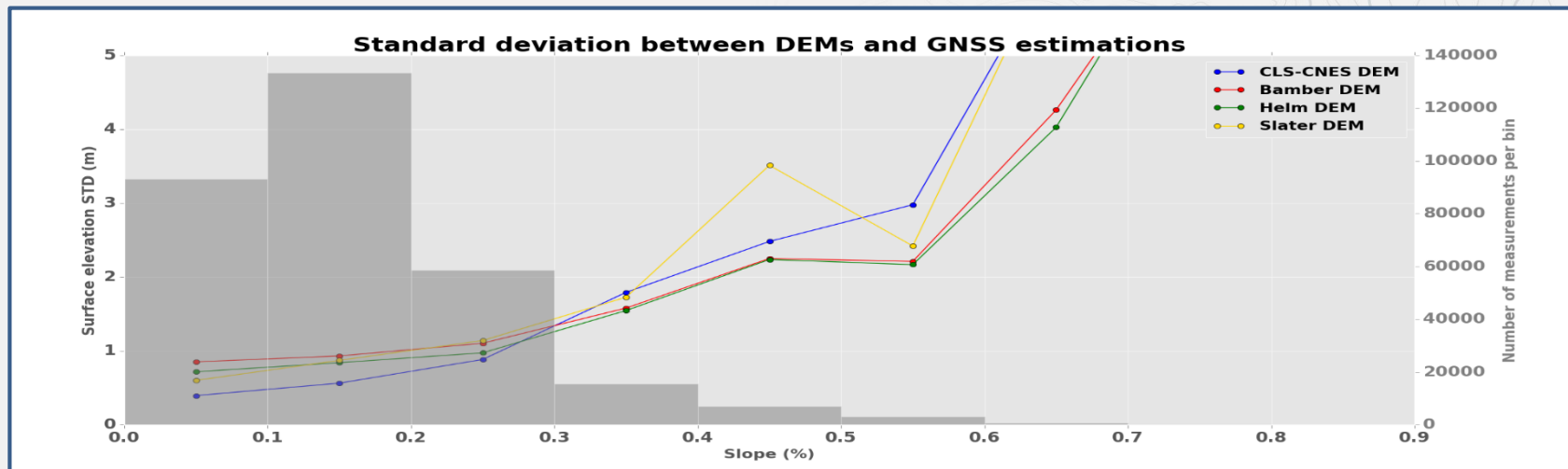
Biais entre MNT & GNSS



Le biais du MNT CLS-CNES (bleu) est quasiment nul aux faibles pentes, mais augmente avec l'intensité de la pente



STD entre MNT & GNSS



- Sur les faibles pentes ($< 0.2\%$) le MNT CLS-CNES est plus précis que les autres MNT construits à partir de données altimétriques (gain de 35% au minimum)
- La précision reste à améliorer sur les plus fortes pentes topographiques



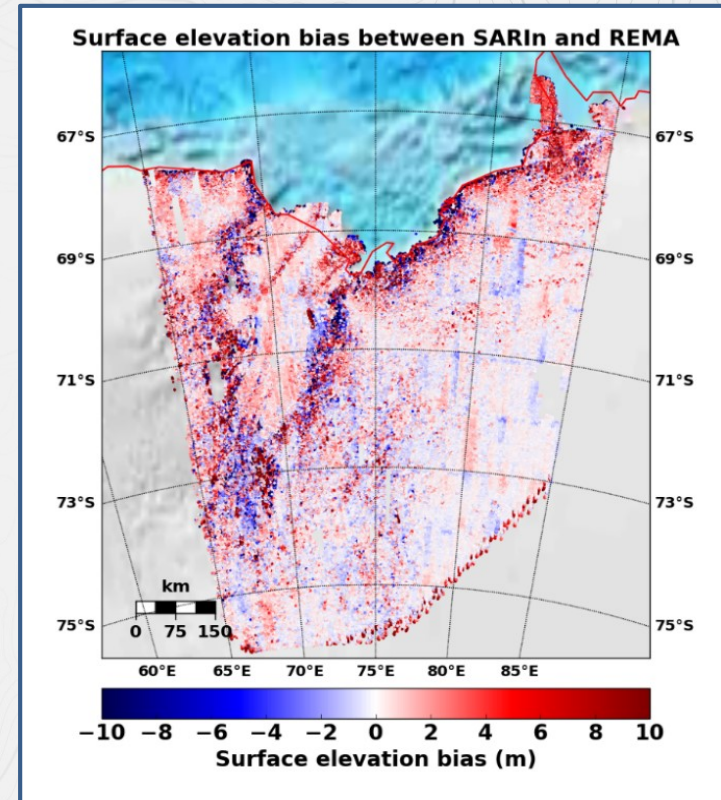
4 – Couverture complète de l'Antarctique avec les données SARIn CryoSat-2

- **Données en entrée:** Echos L1B fournis par l'ESA (Baseline-C) + Dépointage plateforme (Baseline-D)
- Utilisation d'un **retracking POCA** basé sur le maximum de cohérence (pas de traitement SWATH pour le moment)
- **La différence de phase** au point retracké (POCA) permet d'obtenir une localisation précise du retour surface dans la direction across-track. Utilisation des formulations classiques (Gray et al., 2017).
- Gestion des **ambiguïtés des phases** (tour de phase $\pi/-\pi$) à l'aide du MNT REMA

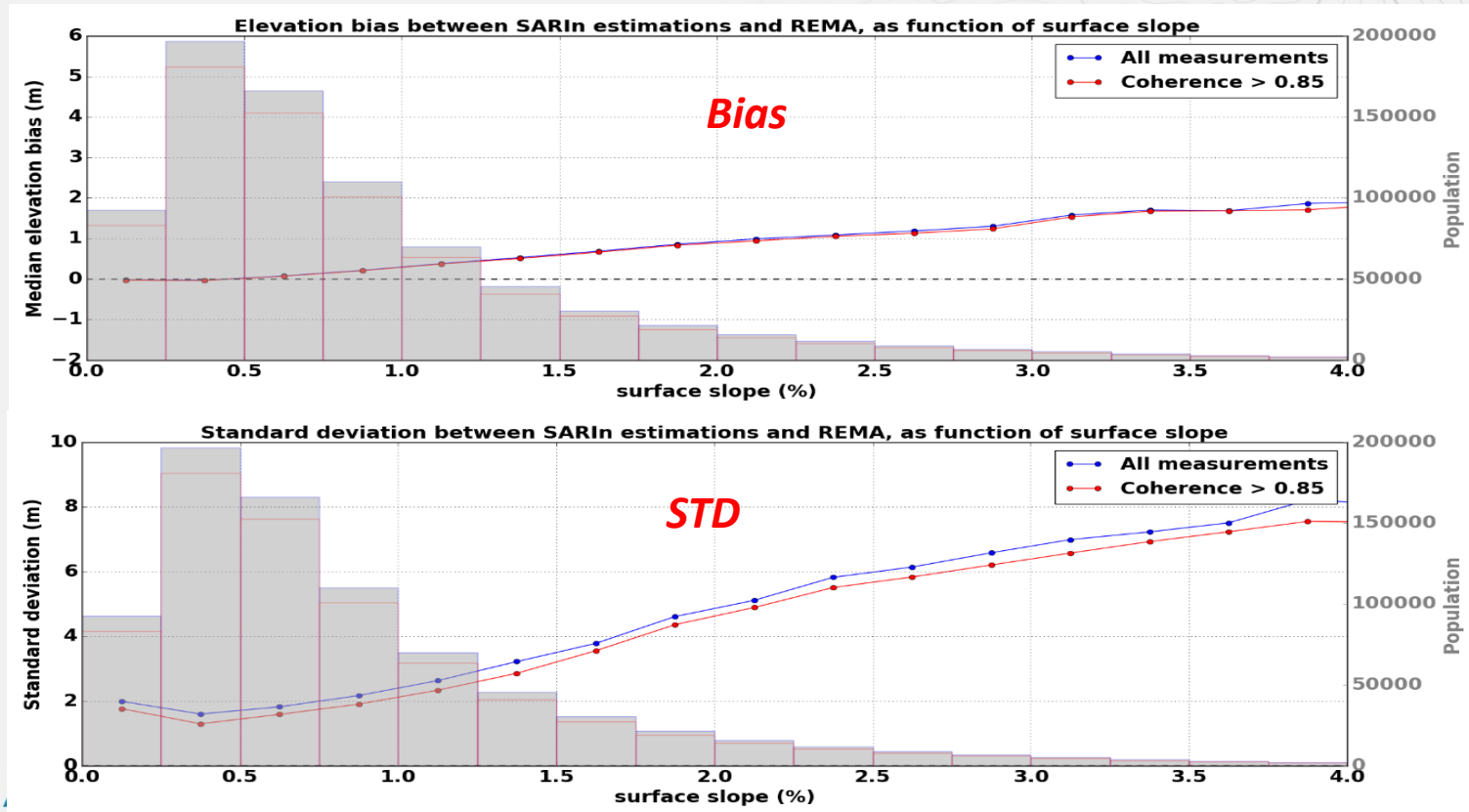


Comparaison de la mesure SARIn CS-2 avec le MNT REMA (zone Wilkes Land)

- En 2018 une première version du MNT REMA (Reference Elevation Model of Antarctica) a été mise en ligne par le Polar Geospatial Center (Université de Minnesota) [Howat et al., 2019]
- Le MNT est construit par imagerie stéréoscopique (Worldview 1/2/3 & GeoEye) et recalé sur des données ICESat-1 & CryoSat-2
- La résolution du modèle est de 8 mètres sur l'ensemble du continent Antarctique. La précision obtenue est très prometteuse.



Comparaison de la mesure SARIn CS-2 avec le MNT REMA (zone Wilkes Land)



Evaluation de la mesure SARIn CS-2 avec des données GNSS

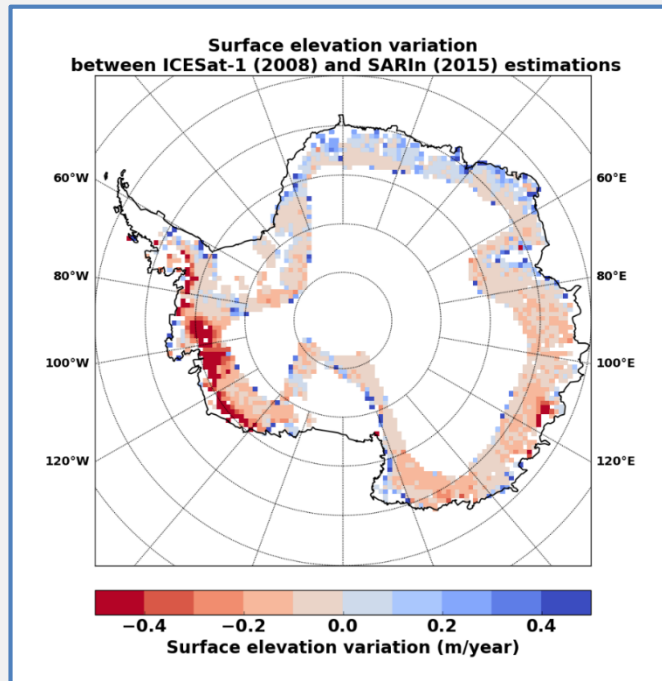
		Pente < 1% 490 pts	Total 701 pts
SARIn CS-2	Biais (m)	+0.17	+0.31
	STD (m)	0.77	2.8
MNT REMA 100m	Biais (m)	+0.18	+0.17
	STD (m)	0.53	0.64



Comparaison des données SARIn CS-2 (2015) & ICESat-1 (2008)

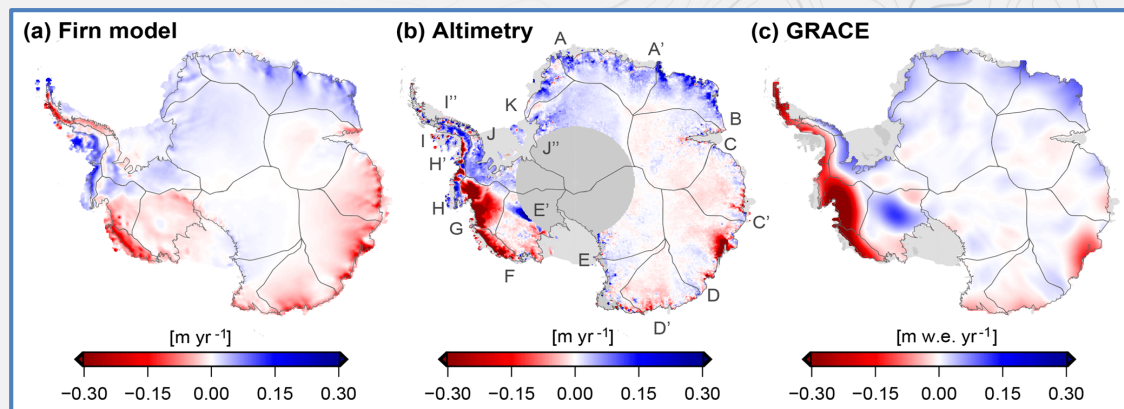
Biais SARIn / ICESat-1

Période 2008 - 2015



*Issus de Schröder et al. [2019], variation d'élévation de la calotte
Antarctique selon 3 sources de données.*

Période 2002-2016



Conclusion

- L'utilisation de la constellation de satellite **CryoSat-2 / AltiKa / Sentinel-3A**, couplée avec la mise en place d'une chaîne de traitement dédiée, a abouti à la **génération d'un premier MNT Antarctique multi-missions altimétriques**.
- **Le MNT CNES/CLS permet d'obtenir des performances prometteuses sur les zones relativement plates** (pente < 0,2%). Sur des pentes plus fortes la méthode de correction de pente reste à améliorer.
- **Le MNT CNES/CLS est le plus précis des modèles actuels sur les faibles pentes topographiques**. Il reste même légèrement plus précis que le MNT REMA, résolu à 6 mètres, contre 1km pour le MNT CLS/CNES.



Perspectives

- Couverture complète du continent par l'ajout des données SARIn CryoSat-2 (début 2020). Amélioration du traitement SARIn CryoSat-2.
- Ajout de la constellation Sentinel-3B (début 2020)
- Amélioration de la méthode itérative de correction de pente pour la génération du MNT
- *Intégration des données ICESat-2 à réfléchir*

Hors étude MNT

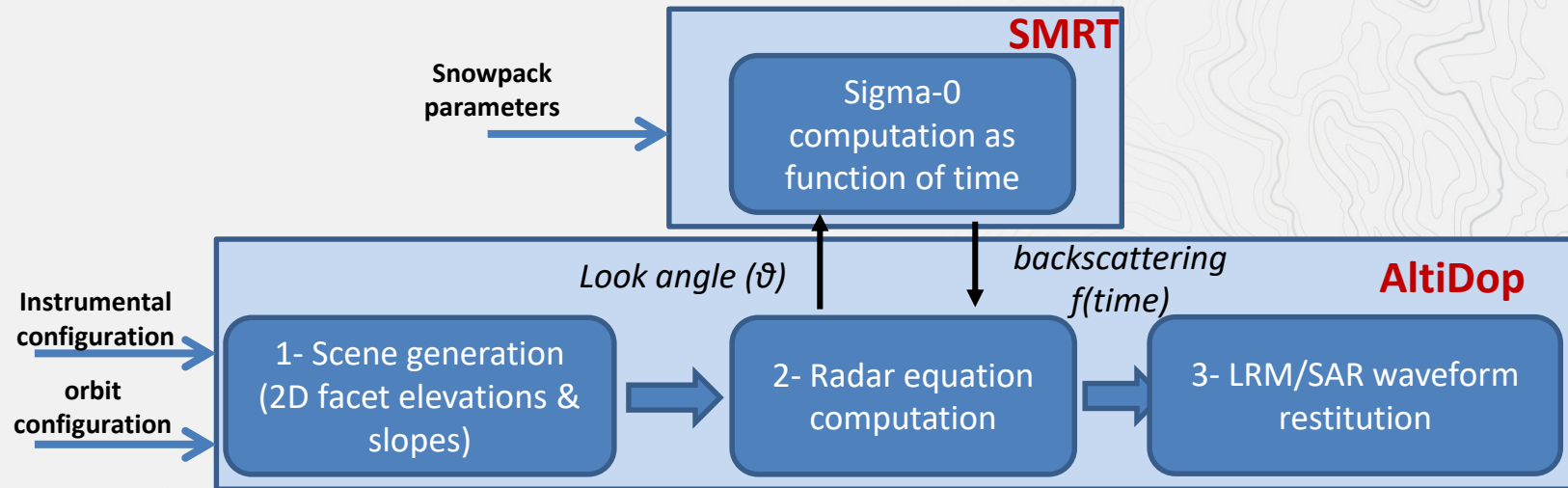
Les récents MNT hautes résolutions issus de l'imagerie stéréoscopique (REMA, TerrSAR-X) offrent de nouvelles opportunités pour l'étude et le suivi de la topographie des calottes polaires par altimétrie :

- ❑ **Une surface de référence indépendante** de l'altimétrie pour estimer des anomalies d'élévation au cours du temps
- ❑ Des modèles de surface précis pour **améliorer la localisation POCA** des estimations en mode LRM / SAR (*corollaire : réduction des erreurs liées à la correction de pente*)



Etude PolarMonitoring ESA

- Etude ESA qui vise à préparer la potentielle **future mission CRISTAL** dédiée cryosphère. *Organismes impliqués : CLS, IGE Grenoble, FMI, LEGOS, Université de Lancaster.* Parmi les tâches du projet figure un volet de **simulation de données sur la neige** mené par l'IGE et CLS.
- L'objectif est de coupler le **modèle de neige SMRT** [Picard et al., 2018] utilisé jusqu'à présent en micro-onde, avec le **simulateur d'écho altimétrique** développé à CLS.





Atelier glaciologie CNES, 25 Juin 2019

Back-up slides

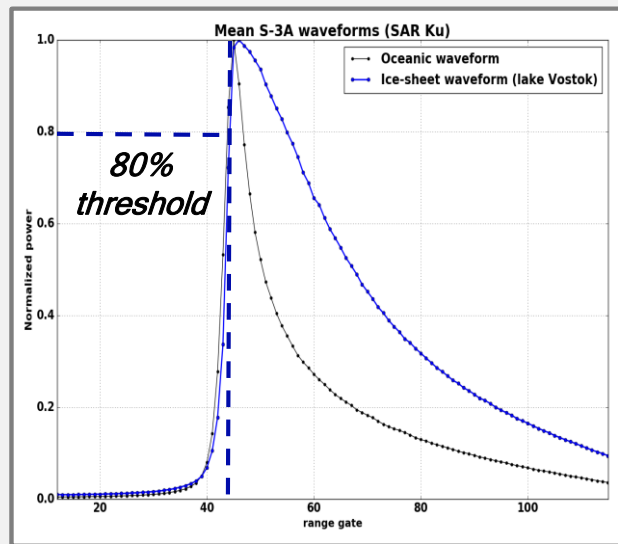


Traitements level-1 / level-2

- **Retracking**: TFMRA, seuils ajustés selon la mission (voir slide suivante)
- **Editing**: Utilisation de la classification des formes d'onde (Poisson et al., 2018). Pour AltiKa utilisation des données startracker ISRO afin de rejeter les mesures dépointées.
- **Intercalibration** des données par comparaison aux mesures du lac Vostok à la donnée ICESat-1
- **Correction de la pente** par méthode d'itération successives (inspiré de Helm et al., 2016]



- A **Threshold First Maximum Retracking Algorithm (TFMRA)** is chosen to estimate the altimeter range (similar approach than Helm [2014]). In summary, retracking epoch is estimated at “*WF max * Threshold*”.
- The retracking threshold is chosen to estimate surface elevation at snow/air interface:



➔ **AltiKa LRM Ka:** We make the assumption that volume scattering has no impact on the leading edge. Retracking point is positioned at mid-power (**50%**, same as ocean)

➔ **Cryosat-2 LRM Ku:** We lower the threshold at **25%** to account for volume scattering, based on literature [Davis, 1997 ; Rémy, 2012]

➔ **Sentinel-3A SAR Ku:** Leading edge looks non-sensitive to volume scattering, we choose **80%**, same threshold as Ocean. We also estimate surface elevation from PLRM acquisitions with a **25%** threshold.



Interpolation des mesures 20Hz / 40Hz pour générer un MNT à la résolution de 1 km

- ❑ Recherche d'une méthode similaire à celle utilisée pour la Surface Moyenne Océanique (SMO)
- ❑ L'idée vient d'une étude menée en parallèle avec D. Sandwell qui vise à améliorer les courtes longueurs d'onde de la SMO 2015 ($\lambda < 30$ km) avec ses données HR double retracking 5Hz

- **Utilisation d'une interpolation optimale en utilisant les fonctions de Green.**
 - ✓ calage des résidus (ou des obs) sur un plan « local » ou une moyenne locale
 - ✓ ajustement des coefficients des fonctions de Green par moindres carrés (par rapport aux résidus)
 - ✓ utilisation d'une contrainte sur la continuité de la courbure des splines.



Illustration de la mesure SARIn par estimation au Point Of Closest Approach (POCA)

A partir de la connaissance de :

-> **Dépointage plateforme across-track (χ)**

Estimé par les startrackers

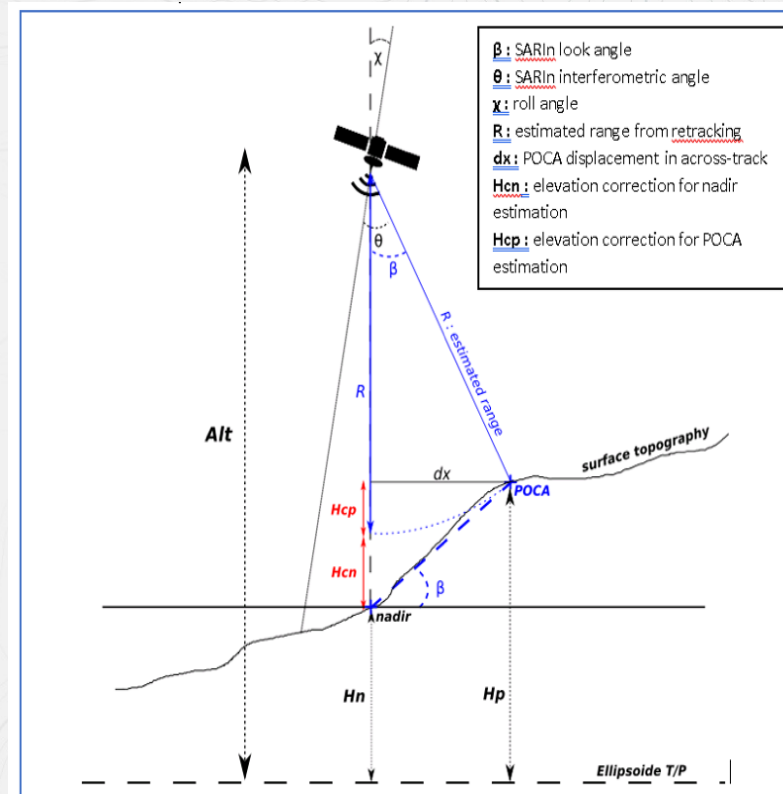
-> **Angle interférométrique (θ) across-track**

Estimé sur le vecteur de différence de phase SARIn

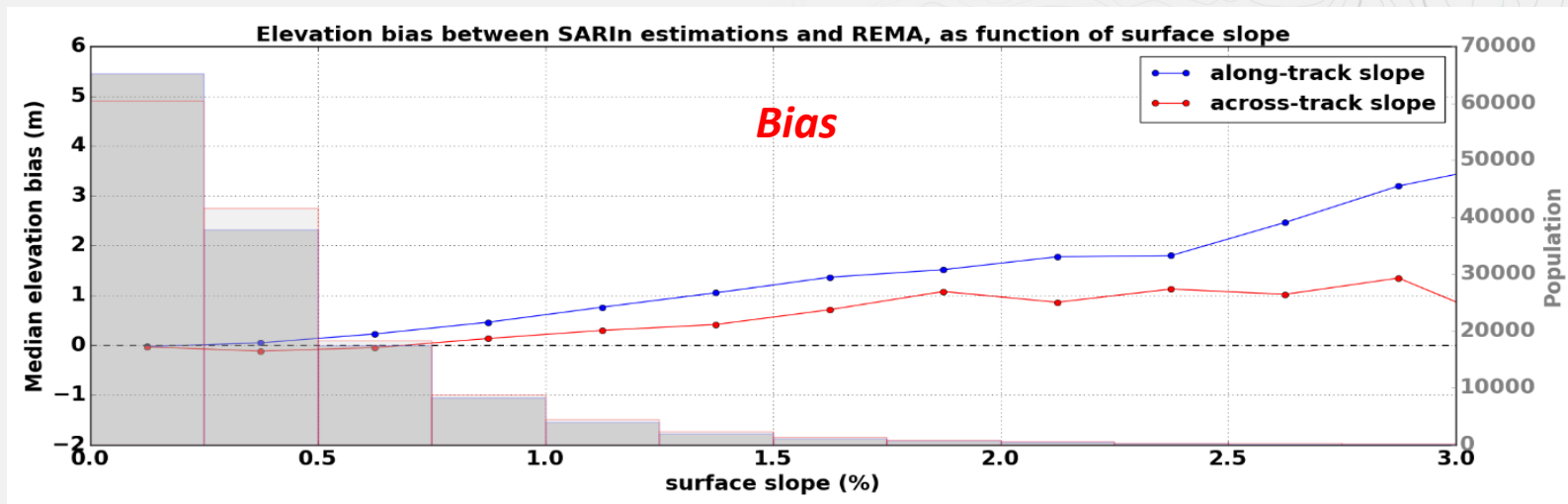
-> **Range altimétrique (R)**

Estimé sur l'écho SARIn

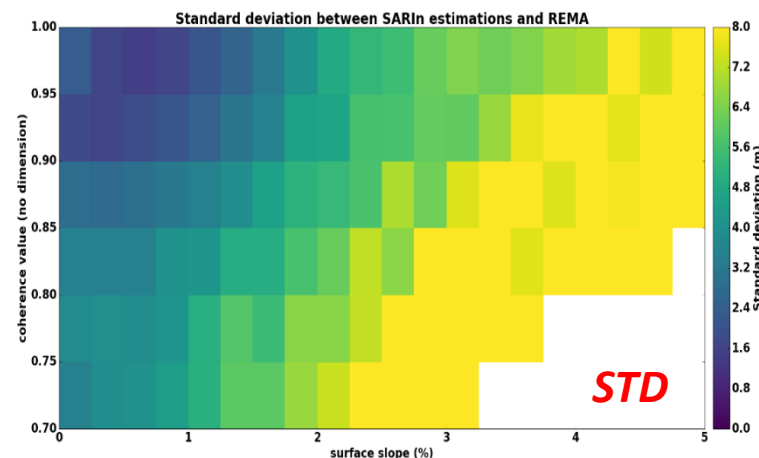
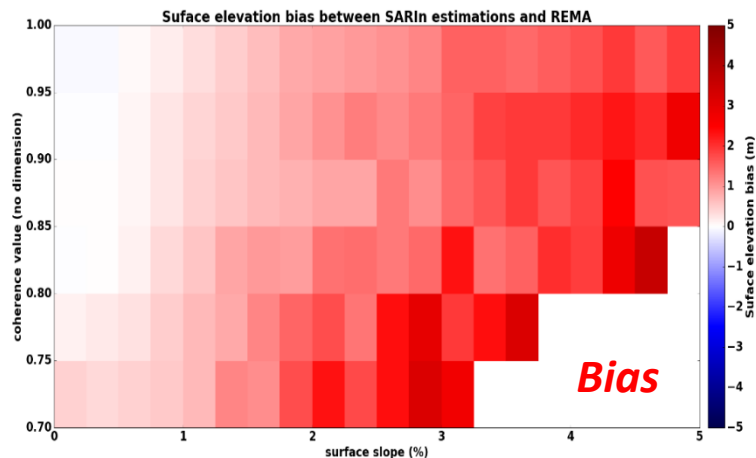
Localisation théoriquement précise du retour surface dans le plan cross-track
(lat / lon / altitude)



Discrimination des pentes along-track & across-track



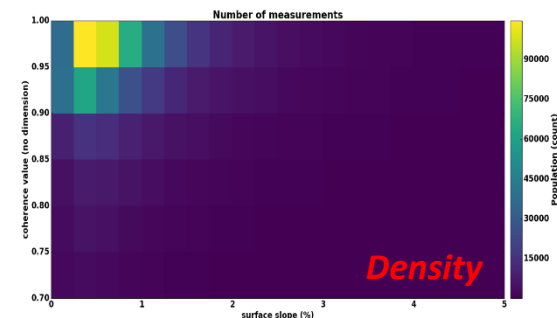
Comparaison de la mesure SARIn CS-2 avec le MNT REMA (zone Wilkes Land)



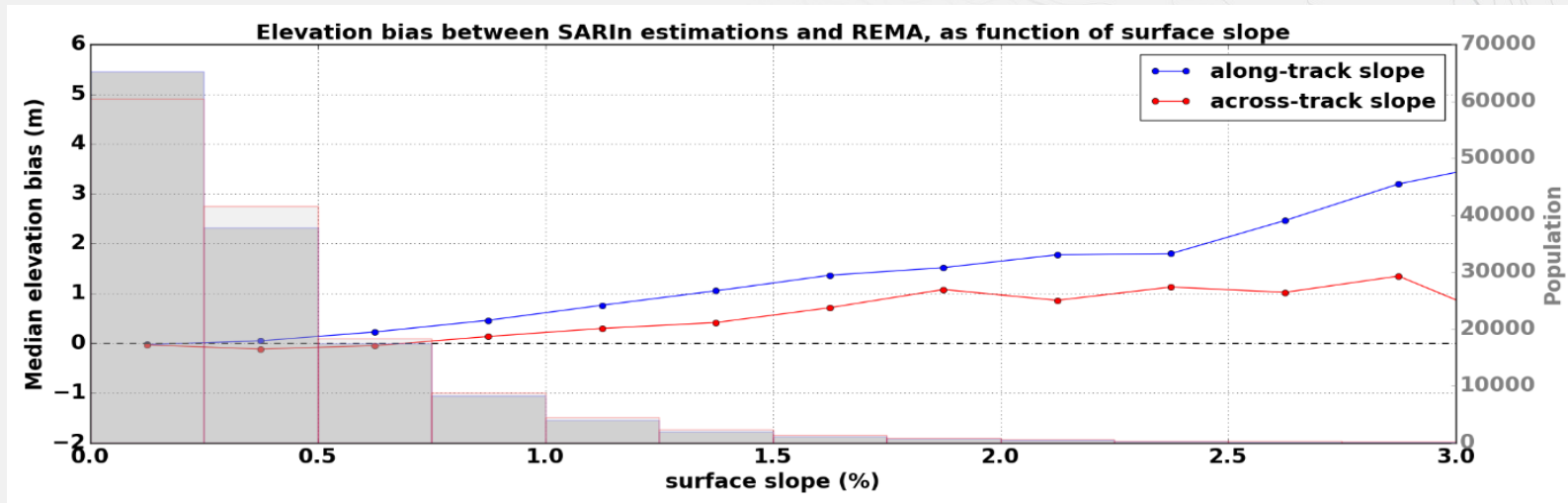
Pour les faibles pente & hautes valeurs de cohérence du SARIn CS-2:

- **Ecart type entre SARIn CS-2 & REMA inférieur à 1 mètre**
- **Biais quasiment nul entre SARIn CS-2 & REMA**

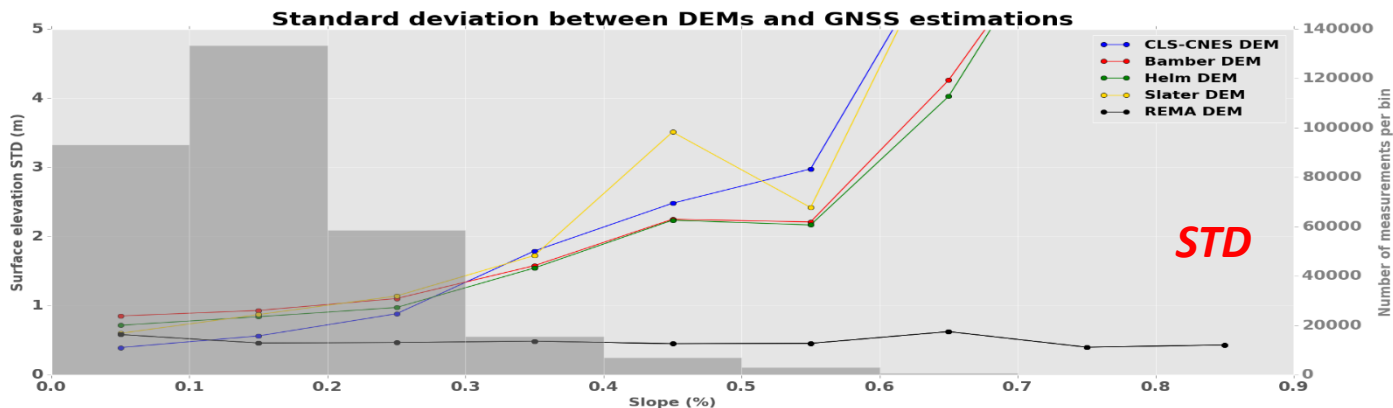
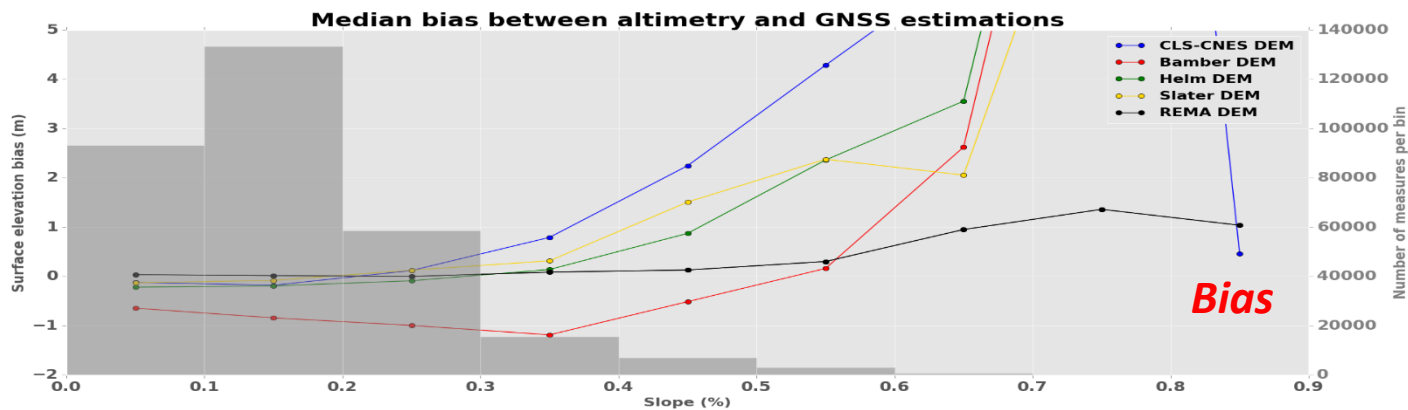
=> Améliorations de traitement de la données SARIn à étudier & mettre en place pour les pentes plus fortes (prise en compte pente along-track)



Comparaison de la mesure SARIn CS-2 avec le MNT REMA (zone Wilkes Land)



Perfos des MNT avec REMA (en noir)



Comparaison des retracking TFMRA (blanc pointillé) & maximum de cohérence (rouge pointillé).

=> Amélioration de 20% de la précision avec le retracking maximum de cohérence.

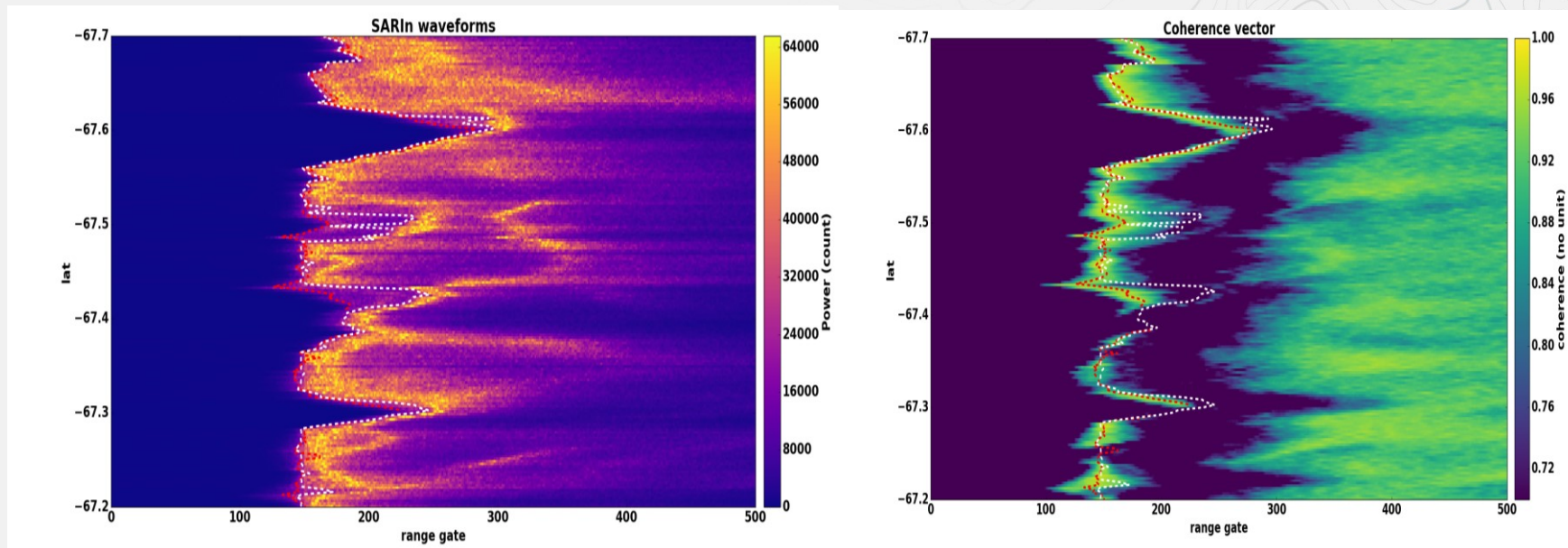
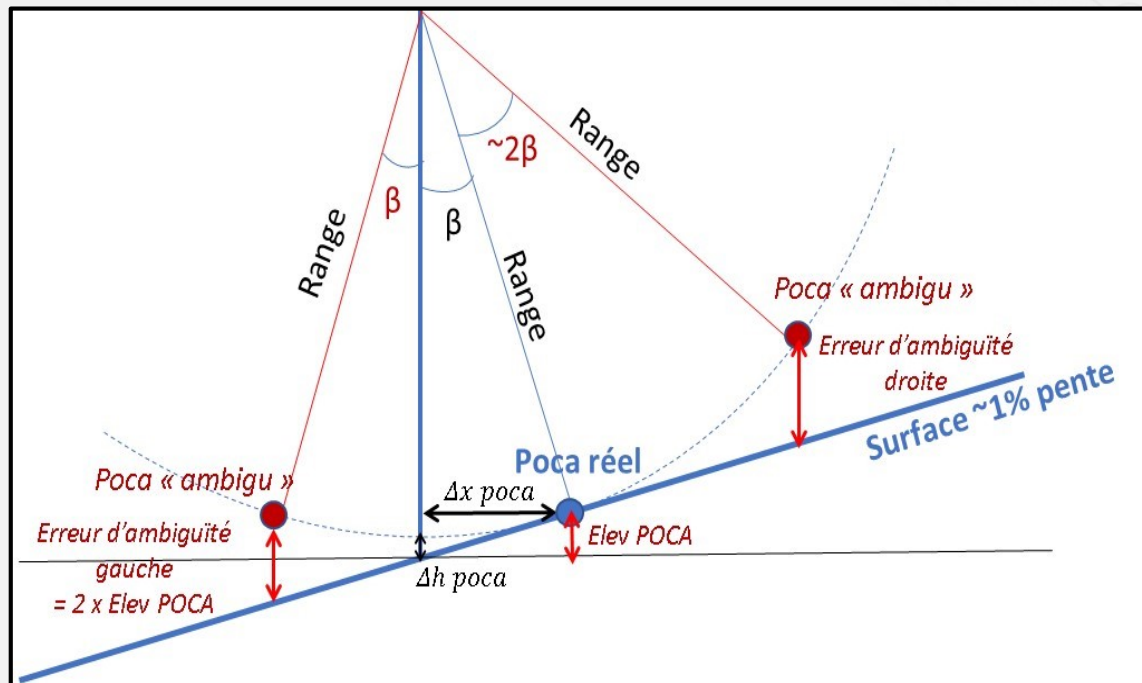


Illustration des ambiguïtés de phase SARIn



Avec, pour ce scénario, à 1.06% de
pente across-track :

$$\Delta x_{poca} = 6\,870 \text{ m}$$

$$\Delta h_{poca} = 36.2 \text{ m}$$

$$\text{Elev POCA} = 76.6 \text{ m}$$

Erreur d'ambiguïté gauche : 153.3m

Erreur d'ambiguïté droite : 182m

