

COMPTE RENDU DE REUNION

DIRECTION DU CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE
SOUS-DIRECTION CHARGES UTILES SCIENTIFIQUES & IMAGERIE
SERVICE ALTIMETRIE & RADAR

Ref : DCT/SI/AR/14-11832

Date : 26/06/2014

Page : 1/13

DATE REUNION :	26/06/2014	LIEU :	IAS
OBJET :			
Atelier altimétrie et glaciologie			

PRINCIPALES CONCLUSIONS :

On constate un potentiel fort au niveau toulousain sur la thématique glaciologie. Ce potentiel, multi capteurs, doit mieux être valorisé. Des actions de communication et/ou publication collégiale seraient donc intéressantes.

Les premiers résultats de SARAL sur glace sont fort prometteurs et la mise en place du banc de test 'PEACHI' (associé au lien essentiel entre les différentes équipes CNES, CLS et LEGOS) est également un atout fort pour les analyses glaciologiques à partir des mesures radar nadir.

La thématique 'glace de mer' s'est considérablement développée depuis l'année dernière, dans le contexte PEACHI notamment.

Il faut également souligner que l'on est à un an du tir Sentinel-3, il faut donc s'y préparer. Une demande d'acquisition de données Cryosat SAR sur l'Antarctique a été formulée en séance à l'adresse de l'ESA, de manière à pouvoir évaluer le comportement du traitement SAR sur glace continentale.

PROCHAINE REUNION : dans un an (juin 2015)

PARTICIPANTS :

Nom	Sigle ou Société	Nom	Sigle ou Société
Pierre Thibaut Franck Mercier Annabelle Ollivier Jean-Christophe Poisson Guillaume Valladeau Marie-Laure Frery Michaël Ablain Laïba Amarouche Fanny Piras Ngan Tran Pierre Prandi Anne Vernier Stéphanie Urien	CLS	Frédérique Rémy Alexei Kouraev Aurélie Michel Kevin Guerreiro Elena Zakharova Sara Fleury Fernando Nino Jérôme Verscheuren Etienne Berthier Vincent Cabot	LEGOS
Gilles Garric	Mercator Ocean	Franck Demeestere Jacques Richard Yves Le Roy	Thales Alenia Space
Amandine Guillot Jean-Claude Lalaurie François Boy Alexandre Guerin	DCT/SI/AR	Denis Blumstein	DCT/SI/LG
Nicolas Picot Pierre Sengenès	DCT/PO/AL	Eric Brun Hélène Freville	CNRM

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 2/13
---------------------------------	--

Jocelyne Noubel Sophie Coutin-Faye	DCT/PO/AL		
Jean-Damien Desjonquères	DCT/ME/OC	Pierre Pitte	IANIGLA-CONICET
Charlotte Garcia	DCT/PS/EA	Jacques Verron	LGGE
Juliette Lambin	DSP/OT	Jean Tournadre Nicolas Bouhier Fanny Arduin	Ifremer
Simone Bircher Arnaud Mialon	CESBIO	Jérôme Bouffard	ESA
Catherine Bouzinac	C-S	Sylvain Capo	Telespazio
Eric Jeansou Guillaume Decerprit	NOVELTIS	Pierre Fabry	AlongTrack
		Moncef Belgacem	Thalès Services

DIFFUSION : PARTICIPANTS +



atelier_glaciologie.ms
g

VISAS

	Préparé / rédigé par		
Sigle	DCT/SI/AR	DCT/PO/AL	LEGOS
Nom	Amandine Guillot	Nicolas Picot	F. Remy
Visa			

ORDRE DU JOUR :

Objectifs de la journée :

- faire un état des lieux sur l'altimétrie sur glace (mer et continentale)
- dégager des pistes d'améliorations
- travailler sur la synergie entre capteurs
- fédérer une communauté toulousaine (et au-delà !)
- bilan sur un peu plus d'un an de données SARAL/AltiKa

Planning de la journée :

heure début	intervenant	société	titre	durée
09:00			ACCUEIL	00:15
9:15	F. Remy	LEGOS	Introduction : Intérêts scientifique de l'altimétrie pour l'étude des glaces (de mer et continentales) polaires et les limites actuelles	0:15
9:30	J. Bouffard	ESA	status de la mission Cryosat	0:15
			ALTIKA	
9:45	E. Zakharova/S. Fleury	LEGOS	AltiKa et glace de mer	00:15
10:00	A. Kouraev	LEGOS	Evolution des formes d'onde AltiKa sur le lac Baikal	00:15
10:15	JC Poisson	CLS	Glace de mer : classification de échos, Ku/Ka, différence de sigma0 Ku/Ka	0:15
10:30	J. Tournadre	Ifremer	ALTIBERG	00:15
10:45			pause	00:30
11:15	D. Blumstein	CNES/LEGOS	Inversion des formes d'onde sur l'Antarctique	00:15
11:30	F. Remy	LEGOS	Y-a-t-il du volume dans la mesure AltiKa en Antarctique?	0:15
11:45	A. Michel	LEGOS	Classification sur le Groenland et l'Antarctique	0:15
12:00	P. Thibaut	CLS	Glace continentale : ice-2 Ku/Ka et Xover sur antarctique	0:15
12:15			Discussion	00:30
12:45			Déjeuner	01:30
14:15	J. Lambin	CNES	programmatique	00:10
14:25	E. Berthier	LEGOS	Spirit2 sur les glaciers	0:15
14:40	N. Bouyer	Ifremer	Iceberg et température de surface	00:15
14:55	H. Freville	Meteo France	Evaluation de la température de surface de MODIS en Antarctique et application à l'évaluation de la Ts de différents modèles	00:15
15:10	E. Brun	Meteo France	Analyse de la baisse récente de l'albedo du Groenland	00:15
15:25	E. Jeansou	NOVELTIS	Modélisation EM sur l'Antarctique (projet ANIS)	00:15
15:40			pause	00:15
			Discussions	
15:55			Utilisation des produits OSI-SAF pour l'editing des glaces	00:10
16:05			Intérêt de l'altimétrie Doppler sur glace	00:30
16:35			Comparaison des données Ku/Ka	00:30
17:05			CONCLUSION	00:15

Remarque : les collègues de l'Ifremer n'ont malheureusement pas pu rejoindre Toulouse du fait de perturbations sur le trafic aérien.

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 4/13
--------------------------	--------------------------------

1) Introduction (F. Rémy, LEGOS)

Par rapport à l'édition 2013 de l'atelier on dispose maintenant de 1 an et 3 mois de données SARAL/AltiKa. De ce fait, toute la matinée est consacrée à l'exploitation des données de cette mission. L'après-midi sera consacrée à d'autres types de capteurs que l'altimétrie, de manière à encourager la « fusion » des différents types de mesures sur glace.

La communauté glaciologique est très active et cela se traduit notamment par la proposition de 8 articles pour le numéro spécial Marine Geodesy consacré à SARAL, et la soumission de 12 abstracts pour l'OSTST du lac de Constance en octobre 2014 (journée SARAL).

Chantier Arctique

Il s'agit d'un programme national de recherche sur les grands enjeux scientifiques de l'Arctique en sciences de l'environnement, écologie et géosciences, sciences humaines et sociales, et sciences de la santé.

En pratique il s'agit d'un consortium national, qui va jouer le rôle d'un observatoire afin de mettre au point des méthodologies capables de répondre aux enjeux scientifiques.

Dans ce cadre, plusieurs projets sont en cours au LEGOS et à CLS. Il existe maintenant un axe scientifique transverse à l'OMP, piloté par Elena Zakharova, ainsi qu'un "groupe" glace de mer centré sur AltiKa, piloté par Guillaume Valladeau

ESA

Le retraitement Reaper (ERS1/ERS2) est en cours de validation, fin visée fin juin/début juillet.

Dans le cadre de la phase F d'Envisat, le LEGOS a proposé des améliorations du produit glace lors du dernier QWG. A partir des traces moyennes Envisat, les corrections echo et geo peuvent être calculées et appliquée pour chacune des traces d' Envisat. La correction geo peut aussi être appliquée aux données SARAL, les deux satellites ayant la même trace au sol, si bien qu'une comparaison Ku/Ka assez précise peut être faite

2) Statut de la mission Cryosat-2 (J. Bouffard, ESA/ESRIN)

Le rôle de Jérôme Bouffard est de s'assurer de la qualité, de la performance des algorithmes et des produits Cryosat-2 sur la thématique glaciologique (l'océan restant du périmètre de P. Femenias).

Le 13 mai 2014 a eu lieu une revue qui a conclu à la prolongation de la mission jusqu'en février 2017.

Les objectifs de la mission sont rappelés.

L'utilisation de cette mission pour l'océan est une opportunité (produits IOP/GOP).

A noter que ces produits océan ont été élaborés grâce à la fourniture d'algorithmes par le CNES.

La définition théorique de l'orbite est rappelée :

Cycle de 369 jours, non héliosynchrone, altitude 717km, inclinaison de 92° pour une bonne couverture des régions polaires.

Cependant, il a été observé que l'orbite n'est pas strictement répétitive (pour les traces descendantes); ce qui pose problème pour les analyses effectuées le long de la trace. Ceci est une conséquence de la mise à poste qui n'a pas été optimale (excentricité de l'orbite).

Le masque des modes de l'instrument est mis à jour toutes les 2 semaines, et peut donc prendre en compte des demandes utilisateurs.

Le principe des différents modes est rappelé. L'intérêt (théorique) du mode SAR pour la détermination du freeboard sur glace de mer est souligné ; en effet, l'amélioration, par traitement, de la résolution azimut laisse penser que l'on peut plus facilement discriminer l'eau (lead) de la glace en mode SAR.

Remarque N. Picot : la synergie affichée dans les planches avec les besoins utilisateurs n'a pas toujours été observée en pratique. C'est un point que Jérôme aura à cœur d'améliorer.

Etat de santé du système :

- Charge utile OK
- Plateforme OK

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 5/13
---------------------------------	--

- Segment sol : il y a eu 2 « baseline » depuis le lancement, la version C est en cours de développement. Un nouveau retraitement est donc à venir. Mais cette nouvelle version n'inclura pas la solution de retracking ice2.

3) AltiKa et glace de mer (E. Zakharova/S. Fleury, LEGOS)

La problématique abordée est la détection des leads sur la banquise Arctique.

Le suivi des leads et des polynias est important, notamment parce que ces zones d'eau libre constituent un lieu d'échange en énergie, en eau et en gaz. En outre, les polynias ont un impact sur la circulation océanique et les leads sont un paramètre-clé de l'algorithme d'estimation de l'épaisseur de la glace par free-board.

Pour détecter ces zones d'eau libre, plusieurs types de capteurs peuvent être envisagés, avec des résolutions variables : optique (30-100m), IR (1000m), SAR (10-1000m), radiométrie à fauchée (6000m). A noter que la couverture nuageuse est importante en Arctique, ce qui limite l'utilisation des capteurs qui y sont sensibles (surtout l'optique).

A ce jour il existe plusieurs méthodes pour traiter les données altimétriques et détecter les leads :

- Basée sur le paramètre peakiness (Laxon)
- Basée sur différents paramètres de la forme d'onde (Ricker)
- Basée sur le coefficient de rétrodiffusion (LEGOS)
- Basée sur l'amplitude maximale de la forme d'onde (LEGOS)

Méthode peakiness :

Le problème rencontré pour sa mise en œuvre sur les données SARAL est la saturation du signal (à 1250), empêchant l'accès à la valeur du peakiness.

Action CNES/SI/AR : sur les zones mentionnées, voir de combien de dB on sature.

Méthode du coefficient de rétrodiffusion :

Le σ_0 a une très forte valeur sur les leads. Cela pourrait donc constituer un critère de détection. La difficulté pour fixer un seuil est que l'on observe une variabilité saisonnière du σ_0 .

L'application d'un seuil strict permet d'éliminer les mesures altimétriques dont le signal principal provient du off-nadir.

Le taux de leads détecté avec cette méthode est comparé avec la détection par MODIS (IR), sur 3 zones ciblées (Beaufort, Sibérie, Kara) :

- Beaufort : SARAL détecte plus de leads que MODIS. Ceci peut s'expliquer par le fait que c'est une zone qui comporte beaucoup de petites fractures, et MODIS ne détecte que celles supérieures à 2km de large.
- Sibérie et Kara : sur ces 2 zones MODIS détecte plus de leads. On sait que les ouvertures dans ces régions sont plus larges, ce qui semble indiquer que MODIS y est plus approprié que la méthode basée sur le σ_0 altimètre.

Méthode amplitude max de la forme d'onde :

Un exemple de forme d'onde tronquée sur un lead est montré.

La très forte dynamique de l'AGC est montrée : 20dB en seulement 2-3km !

Le tracé de la forme d'onde corrigée de l'AGC ($P_M = \max(WVF * 10^{\log(AGC/10)})$) permet de visualiser des pics énormes au passage d'un lead, permettant ainsi sa détection.

La comparaison de cette méthode avec MODIS reste à analyser, mais à première vue les résultats semblent cohérents et prometteurs.

4) Evolution des formes d'onde sur le lac Baïkal (A. Kouraev, LEGOS)

Le suivi des lacs du nord de la Russie est important pour la faune et la flore endémiques, mais aussi pour les activités humaines (économie, transport, tourisme).

La méthode présentée par Alexei pour discriminer l'eau de la glace repose sur l'utilisation de la synergie entre l'actif (coefficient de rétrodiffusion issu de l'altimétrie) et le passif (moyenne des 2 températures de brillance issue de la radiométrie).

La limitation d'un radiomètre à fauchée de type SSMI est sa faible résolution spatiale ; du fait de sa large empreinte au sol, la mesure est souvent polluée par les berges.

Les graphiques de TB en fonction du σ_0 sur le lac Baïkal sont comparés entre Envisat (8 ans de données) et SARAL (1 an de données).

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 6/13
---------------------------------	--

Il apparaît que le sigma0 SARAL/AltiKa est toujours plus faible que celui d'Envisat. Ce résultat sera à consolider avec davantage de données SARAL, car pour le moment on n'a qu'un hiver et demi.

Dans les produits L2 SARAL, on dispose des retrackings ocean (MLE4), ice1, ice2 et seaice. Le retracking ocean est pris comme référence (nota d'ailleurs c'est assez étonnant d'utiliser le retracking ocean sur ces surfaces), auquel on compare les sigma0 estimé avec les 3 autres retrackings, sur eau et sur glace, pour SARAL/AltiKa et pour Envisat. On retrouve le fait que les sigma0 SARAL/AltiKa sont plus faibles que ceux d'Envisat. On note également une plus grande dispersion des sigma0 sur glace que sur océan, quelle que soit la mission. Le même type de graphe est également montré pour le paramètre de hauteur.

Question : en passant de la bande Ku (2.2cm) à la bande Ka (0.84cm), à quelle vision de la structure de la glace accède-t-on ?

Photos à l'appui, Alexei dresse un panorama des différents états de surface que l'on peut rencontrer sur le lac Baïkal.

Les pages 15 et 16 montrent, sur la zone d'intérêt, le sigma0 ice1 et ice2 en mars et mai (2 cycles consécutifs) des années 2013 et 2014. D'un passage à l'autre on note une forte diminution jusqu'à 25dB. Ces résultats sont confrontés à des images Landsat.

Pour finir, Alexei illustre les différentes structures de la glace que l'on peut observer, d'échelle comparable à la longueur d'onde altimétrique, ce qui explique sûrement la très forte sensibilité de la bande Ka à la présence de glace ou de neige ainsi qu'à l'évolution du métamorphisme.

5) Glace de mer : classification des échos, Ku/Ka, sigma0 Ku/Ka (JC. Poisson, CLS)

Quelle que soit l'application (océan ou glace) la démarche suit toujours le même principe : on commence par discriminer l'eau de la glace, puis on estime les paramètres géophysiques d'intérêt.

La discrimination eau/glace peut s'appuyer sur des données annexes, comme la radiométrie par exemple. Les missions couvrant les hautes latitudes auxquelles on peut appliquer cette démarche sont ERS, Envisat, Cryosat-2 et SARAL/AltiKa.

Les missions ERS et Envisat sont adressées dans un cadre CCI (ESA), tandis que les données de la mission SARAL/AltiKa sont analysées dans le cadre du prototype PEACHI (CNES).

A noter qu'un stage est en cours sur la comparaison des données SARAL (Ka) et Cryosat (Ku).

De manière à discriminer l'eau de la glace, on se sert de la classification des formes d'onde proposée par CLS

Cela a été développé (utilisation d'un réseau de neurones) sur les FO SARAL/AltiKa dans le cadre PEACHI, et la mise en place d'une classification cohérente des données Envisat est en cours (dans un cadre CCI Sea Level)

Les classes 1 à 15 ont été définies. On peut citer par exemple la classe n°1 qui correspond à des échos de Brown, les classes 4 et 6 comportant un pic et un second plateau plus ou moins marqué (rencontrées sur glace de mer), la classe 2 correspondant à un pic pouvant être rencontré sur un lead), ou encore la classe 10 correspondant à un écho proche de Brown mais avec un niveau de bruit thermique amplifié (rencontré sur de la glace multi-annuelle comme dans la mer de Beaufort, mais également sur les zones de pluie).

Un graphique en page 9 montre la distribution du sigma0 selon la classe de forme d'onde. On remarque que les classes 2 et 4 (les plus « peaky ») correspondent aux sigma0 les plus forts en moyenne (20-30dB).

Une fois l'étape de discrimination eau/glace franchie, il faut maintenant estimer les paramètres d'intérêt au moyen d'un retracking.

Pour l'application glace de mer, il paraît préférable d'utiliser un seul retracking valable sur l'eau et la glace, ce qui permet d'éviter toute discontinuité entre les 2 types de surface.

On distingue des retrackings utilisant un modèle que l'on cherche à faire coller au mieux à la FO réelle, et des retrackings purement géométriques.

Chacun comporte ses limitations. Par exemple, le retracking IceNew (modèle) a du mal à converger sur des échos en forme de pic. Autre exemple, le retracking Sealce (géométrique) comporte un seuil fixé à 50% du maximum pour estimer l'époque. Si l'on fait varier ce seuil, on observe une dépendance en vagues (inclinaison du front de montée) variable (~10cm pour seuil à 50%).

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 7/13
--------------------------	--------------------------------

Pour la discrimination eau/glace, d'autres méthodes peuvent être utilisées ; par exemple on peut utiliser les produits OSI-SAF (cf présentation d'A. Ollivier), en sachant qu' ils ne sont pas à la même résolution. Une comparaison à la classification des FO pourrait être menée.

En conclusion, CLS s'efforce d'utiliser une démarche générique et homogène entre les différentes missions.

5bis) Les activités glace de mer au CNES (A. Guillot)

Les différents axes de travail envisagés côté CNES portent sur la comparaison à la théorie (non réalisé à ce jour), la comparaison à d'autres sources de données (autres altimètres ou autres types de capteurs) ainsi que l'analyse de l'impact de la méthode de traitement.

Un exemple illustratif de comparaison des données SARAL/AltiKa avec une image Radarsat a été montré. L'analyse est complexifiée par le fait que la géométrie d'observation n'est pas la même. De plus, sur glace de mer il faut veiller à avoir un écart temporel entre les acquisitions le plus faible possible (maximum quelques heures) du fait du mouvement important de la banquise (jusqu'à 8km par jour dans la zone Mer de Beaufort).

La comparaison altimétrie/imageur SAR va se poursuivre avec des acquisitions TerraSAR-X.

6) Inversion des formes d'onde sur l'Antarctique (D. Blumstein, CNES/LEGOS)

Sur une trace donnée sur le lac Vostok, on observe une variabilité plus grande du σ_0 SARAL/AltiKa (~ 2.5 dB) par rapport à Envisat (~ 1.1 dB), avec le retracking ice2.

Toujours sur cette même trace, pour la mission SARAL/AltiKa, on compare les σ_0 ice2 et ocean au fil des cycles. On note que les cycles 9 et 13 se comportent de manière très différente selon le retracking.

Le simulateur de formes d'onde mis en place au LEGOS a été fortement amélioré par rapport aux présentations précédentes (atelier glacio 2013 et 1er workshop AltiKa d'Août 2013) notamment parce qu'il permet maintenant de simuler la radiométrie en absolu.

Son comportement a été validé sur l'océan. la différence entre les simulations et les échos réels (résidus) est essentiellement due au speckle (qui est un bruit inhérent à la mesure radar) Sur 400 réalisations, la moyenne des résidus est inférieure à 1 % de l'amplitude des formes d'ondes

Question : quelle est la part de σ_0 Ka due à la surface ou au volume sur le lac Vostok ?

Le modèle d'écho proposé par F. Rémy consiste en la convolution de l'écho de surface avec chaque couche (matérialisée par l'écho de surface retardé et atténué). La convolution avec chacune des couches aboutit à la courbure du front de montée, caractéristique d'un écho dit « de volume ».

*Un **sastrugi** ou zastrugi est une irrégularité topographique tranchante sur une surface de neige résultant de l'érosion causée par le vent, de la saltation de particules de neige et de leur dépôt dans les régions enneigées, polaires comme tempérées. Le mot fut emprunté au russe et est généralement utilisé au pluriel idoïne : sastrugi. Les arêtes des sastrugi sont orientées dans la direction des vents dominants, ce qui les distingue des dunes de sable.*

En page 11, on utilise le modèle pour visualiser la part de l'écho de surface (points verts) par rapport à l'écho total. L'écho de volume (contribution de toutes les couches) est tracé en rouge.

Les variations d'un cycle à l'autre en Ku semblent essentiellement s'expliquer par la variation de l'écho de surface, tandis qu'en Ka les variations s'expliquent à la fois par la surface et le volume (à confirmer par une analyse plus exhaustive).

7) Y-a-t-il du volume dans la mesure AltiKa en Antarctique (F. Remy, LEGOS)

En théorie lorsque la taille des grains augmente, la diffusion par les grains de neige augmente ainsi que la perte diélectrique. En Ku, la diffusion l'emporte sur les pertes, inversement en Ka, si bien que la rétrodiffusion totale de volume augmente en Ku, et diminue en Ka

On compare les histogrammes réels de rétrodiffusion en bandes Ka, Ku et S. Le σ_0 Ka est le plus faible.

Pour rechercher de manière empirique l'écho de volume et son impact sur la hauteur, il y a plusieurs méthodes :

- Observer la différence de hauteur entre Ka et Ku,
- L'écart de rétrodiffusion et de la hauteur aux points de croisement,

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 8/13
---------------------------------	--

- La variation temporelle

Différence de hauteur Ka/Ku :

En moyenne sur un cycle $h(Ka) = h(Ku) + 70\text{cm}$.

Ecart aux points de croisement mono mission :

On observe une variation de 0.3m/dB pour Envisat (Ku), contre 0.05m/dB pour SARAL (Ka).

Variations temporelles (entre fin avril et fin juin):

On observe des variations temporelles plus fortes en Ka qu'en Ku. Ceci est peut être dû à la taille des grains, liée au taux d'accumulation (grains de neige plus gros pour un taux d'accumulation faible).

En conclusion, il y a manifestement beaucoup d'écho de volume en Ka mais l'impact sur la restitution de la hauteur est beaucoup plus faible. La mesure de la hauteur est donc plus stable.

8) **Glace continentale : ice2 Ku/Ka et Xover sur Antarctique (P. Thibaut, CLS)**

Dans le cadre du prototype PEACHI, les sorties du retracking ice2 pour la mission SARAL/AltiKa ont été analysées.

CLS a constaté que le diagramme d'antenne n'était pas pris en compte dans la formulation du retracking ice2 implémenté dans les chaînes opérationnelles ; il était pourtant présent dans la formulation initiale de l'algorithme.

Remarque : le retracking ice2 n'est pas dans la baseline Cryosat. Par contre, ice2 est présent dans les chaînes ERS et Envisat, donc il faut veiller à l'homogénéité entre les missions.

Principe du retracking ice2 :

- Les paramètres « epoch » et « sigmaL » (largeur du front de montée) sont estimés en faisant coller un modèle de Brown simplifié au front de monté.
- La pente du second plateau est estimée dans un second temps par régression.

Impact du diagramme d'antenne :

Les échos mesurés sont affectés du diagramme d'antenne, qui se traduit par une atténuation des portes « lointaines ». Si on affranchit les échos du diagramme d'antenne, l'écho « réel » a un second plateau beaucoup moins pentu (même plat normalement, c'est ce qu'on observe sur océan), donc cela impacte directement l'estimation de la pente, mais également potentiellement les autres paramètres.

Pour estimer la profondeur de pénétration de l'onde, il est fait référence aux courbes de Ulaby pour une température de -10°C. Cependant, F. Rémy estime qu'il faut considérer des températures plus froides sur Antarctique ; ce qui conduirait à une pénétration de 5-12m en bande Ku, et inférieure à 1 m en bande Ka.

Application de la correction du diagramme d'antenne aux échos réels sur le lac Vostok (surface plate) :

En moyenne, les échos Envisat ont un front de montée plus arrondi que les échos SARAL, ce qui traduit une rétrodiffusion de volume plus importante en Ku qu'en Ka.

Cartes de comparaison des paramètres entre Envisat et SARAL :

Sur les cartes de sigma0, on observe des pattern différents entre les 2 missions. Il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre les sigma0 Ku et Ka.

Pour l'estimation de la pente du second plateau, on voit que SARAL est beaucoup plus impacté par les pentes locales (sur les marges) du fait de son ouverture d'antenne réduite par rapport à celle d' Envisat.

Analyses aux points de croisement SARAL/Cryosat-2 sur le lac Vostok :

CLS interprète les différences sur la forme des échos ainsi que sur les paramètres qui en découlent (slope, sigma_c) en disant qu'il y a moins d'écho de volume en Ka qu'en Ku, alors que les deux méthodologies développées au Legos suggèrent le contraire. Quelques travaux supplémentaires sont donc nécessaires.

Limitations de l'algorithme ice2 :

Il n'y a pas de correction de la PTR (réponse impulsionnelle), alors que celle-ci a tendance à étaler le front de montée. Sur océan, une correction est apportée pour tenir compte de la PTR.

La prise en compte du diagramme d'antenne devrait être faite dans tous les segments sols dans un souci d'homogénéité.

L'époque est estimée comme étant $0.5 \cdot \max$; or si on considère une forme d'onde moyenne en Ku et Ka, cela pourrait conduire à un biais de l'ordre de 2.5m (valeur à consolider par une analyse statistique du biais sur les hauteurs estimées en Ku et Ka).

-> Pour estimer la hauteur il faudrait plutôt considérer le point de réflexion en surface.

En conclusion la très bonne qualité des données AltiKa est soulignée.

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 9/13
---------------------------------	--

En préparation à Sentinel3 il serait intéressant d'étudier les données Cryosat SAR ; il semble qu'il existe quelques données acquises sur l'Antarctique en mode SAR durant la phase de commissioning. Le masque actuel Cryosat ne comporte pas d'acquisition en mode SAR sur les calottes glaciaires.

Question P. Sengenès : Est-il prévu de sortir une cartographie des calottes avec 1 an de données SARAL, avec comparaison aux données in situ ? Cela dans l'optique de présenter un résultat accessible au grand public.

Réponse : c'est techniquement possible (chaines en place à CLS) mais ce n'est pas prévu. CLS souhaitait d'abord consolider l'algorithme avant de l'appliquer à grande échelle.

Question J. Verron : quelle est la pertinence d'un programme de CalVal sur glace ?

Réponse : la thèse d'A. Michel constitue une tentative de CalVal systématique sur glace continentale. Des projets du LGGE (Ghislain Picard) sont aussi prévus en Antarctique.

Autres remarques :

- Centralisation de tout type de données sur glace : CLS essaye de faire cet exercice. Par ailleurs, D. Blumstein mentionne un projet norvégien nommé Quantartica, qui a consisté en l'assemblage de différentes sources de données sur l'Antarctique, sous forme d'un projet QGIS.
- L'accès à l'épaisseur de neige sur la glace de mer avec l'altimétrie semble difficile car même en bande Ka l'onde radar pénètre un peu dans la neige.

9) Programmatique (J. Lambin, CNES)

Dans le panorama des missions océan auxquelles contribue le CNES, on peut citer :

- HY2 : les données n'ont pas été regardées sur la glace.
- Jason-3 a toujours un lancement prévu en mars 2015.
- Pour SWOT, les données sur glace restent à définir.
- La mission SMOS est utilisée sur glace de mer en complémentarité de Cryosat.
- On peut se demander si le sigma0 CFOSAT sera utilisable sur glace.

Synthèse sur le séminaire de prospective (présentation complète en accès sur le [web](#)) :

Les enjeux scientifiques ont été listés. Parmi ceux-ci figure la « meilleure connaissance des processus internes à la cryosphère », divisé en 3 points :

- Estimer le bilan de masse des calottes et des glaciers
- Comprendre les processus de perte/gain de masse
- Mieux comprendre l'Arctique

Parmi les recommandations de missions, on peut rattacher à la cryosphère THIRSTY (température de surface), AltiKa-2 (altimétrie) et SMOS-next (salinité, résolution SMOS améliorée d'un facteur 10).

A savoir que tout ceci s'inscrit dans une perspective budgétaire très contrainte, mais qui laisse de la place pour des phases 0/A.

Remarque sur le fonctionnement du TOSCA : la cryosphère ne constitue pas un groupe, les propositions sur cette thématique sont dispersées dans les différents groupes. Juliette tente d'avoir une vue d'ensemble sur toutes les propositions ayant trait à la cryosphère mais le fonctionnement actuel n'est pas optimal.

10) Spirit2 sur les glaciers (E. Berthier, LEGOS)

Bilan Spirit1

Il s'agissait d'un programme d'acquisition d'images Spot5 HRS (stéréo optique) sur les glaces polaires, entre 2007 et 2009. Ce programme a été financé par le CNES.

Ce mode de prise de vue permet d'élaborer un MNT sur une fauchée de 120km. La construction du MNT s'effectue à l'IGNespace.

Les images SPOT5 couvrent les bordures du Groënland et de l'Antarctique. La couverture des zones plates est plus difficile et par ailleurs on dispose de données altimétriques.

La surface totale de MNT produite est équi-répartie entre l'Arctique et l'Antarctique.

Le rythme de publications en lien avec ce programme est d'environ 20 par an.

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 10/13
---------------------------------	---

Devant un tel succès, le programme Spirit2 a été décidé, sur 2013-2014. L'objectif est de refaire des acquisitions sur des zones ciblées avant la fin de vie Spot5.

Bilan de masse des glaciers de la péninsule Antarctique

Sur cette zone on observe un réchauffement rapide de 2.5° depuis 50 ans.

De grosses plateformes de glace qui flottaient se sont détachées (pas d'impact sur le niveau des mers), entraînant une accélération de la fonte des glaciers situés en amont, ce qui contribue à l'augmentation du niveau de la mer.

Il existe 3 méthodes pour déterminer le bilan de masse :

- Gravimétrie (GRACE)
- Flux (pertes/gains)
- Géodésie (altimétrie). La difficulté est que le signal est faible, et un bon niveau de précision est nécessaire sur tout l'Antarctique.

Par différence entre MNT constitués à des dates différentes, on peut mesurer l'amincissement d'un glacier. On observe une propagation de l'onde d'amincissement à l'intérieur du continent. Même 5-6 ans après le démantèlement d'une plateforme, les glaciers continuent de perdre de la masse, et ainsi de contribuer à l'augmentation du niveau des mers.

Les mesures GRACE ne permettent pas de discriminer les évolutions Est/Ouest de la péninsule car elles ne sont pas assez résolues.

La méthode basée sur les MNT est surtout valable sur des zones comportant de fortes variations. La préparation de l'après Spot5 est en cours, avec Pléiades, puis Spot 6 et 7.

Question : Est-il possible de comparer à des données Cryosat SARin ?

Réponse : Les anglais ont publié mais ne fournissent pas les données, empêchant toute comparaison.

Jérôme Bouffard est preneur de tout retour utilisateur sur les données Cryosat, y compris sur les aspects rétention, format, interface.

Quant à la comparaison avec IceSat, elle est un peu faussée car IceSat sur-échantillonne la partie moins nuageuse qui est aussi celle qui s'amincit le plus vite.

11) Evaluation de la température de surface de MODIS en Antarctique et application à l'évaluation de la Ts de différents modèles (H. Freville, thèse CNRM/Météo France)

L'objectif de la thèse est d'utiliser des mesures de température de surface (Ts) pour en déduire la densité surfacique de la neige et aboutir à un bilan énergétique superficiel du plateau Antarctique.

Les données utilisées sont issues de MODIS, IASI, de l'in situ, ainsi que des modèles ERA interim et CROCUS.

Evaluation des Ts MODIS : il y a moins de mesures en Antarctique de l'ouest car il y a plus de couverture nuageuse.

Comparaison MODIS/in situ : on obtient de bons résultats (malgré les sources d'erreur).

Evaluation des Ts IASI : il y a peu de données par rapport à MODIS ou de l'in situ, sans doute à cause du masque de nuage Eumetsat appliqué sur les mesures.

Un algorithme de filtrage des Ts IASI basé sur la présence de données MODIS permet de montrer le bon fonctionnement de l'instrument IASI.

Evaluation des Ts des modèles :

Le biais ERA interim par rapport aux données in situ est de 3 à 6°C, tandis que le biais CROCUS est entre -2 et +2°C (sur le plateau). A noter que le modèle CROCUS est forcé par ERAinterim.

Analyse de l'amplitude diurne de la Ts :

En hiver les variations de Ts sont sans doute liées aux passages nuageux, tandis qu'en été on observe un cycle diurne dû à l'éclairement solaire.

CROCUS semble plus proche des observations MODIS que ne l'est ERAinterim. Cela est peut-être dû au fait que le schéma de neige est différent dans ERAinterim.

La simulation CROCUS avec une densité de surface de 250kg/m³ semble la plus proche des mesures MODIS.

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 11/13
---------------------------------	---

En conclusion, il y a un lien entre l'amplitude diurne de Ts et la densité de surface (différence entre CROCUS et ERAinterim).

La méthode employée est valable sur une zone avec un rayonnement solaire suffisant, et une température inférieure à 0°C.

La nouveauté est l'utilisation de Ts pour évaluer les modèles.

12) Analyse de la baisse récente de l'albédo du Groënland (E. Brun, CNRM/Météo France)

L'amincissement du Groenland est dû à plusieurs processus :

- Le vélage
- La fonte à l'interface avec l'océan
- La fonte en surface

Une diminution de l'albédo entraîne une augmentation de la fonte en surface.

L'albédo est lié à la taille des grains (l'albédo diminue quand la taille des grains augmente) et au taux d'impuretés (poussières) dans la neige.

Lorsque la température augmente, la taille des grains augmente plus vite et l'impact des impuretés est d'autant plus grand.

On observe un albédo plus bas sur les années récentes dès le printemps, y compris les années avec des températures basses.

Le modèle de neige CROCUS a été utilisé pour simuler l'albedo, La simulation dépend uniquement des conditions météorologiques (taux de dépôt d'impuretés constants).

En comparant l'albedo CROCUS avec celui issu de MODIS, on observe une inversion de la différence en 2009. Ceci s'explique par une augmentation du taux d'impuretés sur les années récentes.

L'origine des impuretés n'a pu être établie et est sans doute diverse : érosion des sols des régions arctiques à cause du déneigement précoce, feux de forêt... Une augmentation du taux de poussières et d'aérosol a bien été constatée dans l'atmosphère en Arctique.

En conclusion, cette diminution de l'albédo explique le fait que à conditions météo égales, la fonte s'accroît.

13) Modélisation EM sur l'Antarctique, projet ANIS (G. Decerprit, NOVELTIS)

L'expérimentation POLARIS (aéroporté) de l'ESA en 2011 a permis de réaliser des sondages de l'Antarctique jusqu'à 3km de profondeur.

L'objectif de l'ESA est double :

- Elaborer un modèle 3D de l'Antarctique fiable à partir des données POLARIS
- Evaluer la faisabilité d'embarquer un tel radar sur un satellite

NOVELTIS participe au projet AnIS, pour la définition et la validation du modèle EM.

Le code EMLce a maintenant 4 ans. Il permet de simuler des scènes de taille quelques km par quelques km, sur 1000 à 2000m d'épaisseur.

Il y a un gros travail de tuning des paramètres.

Le partenaire DTU fixe la diffusion en entrée, de manière à réduire les degrés de liberté du modèle.

Le modèle peut être appliqué à d'autres fréquences que la bande P.

L'objectif final est d'accéder à la stratification de l'Antarctique et à la topographie du socle rocheux.

Il n'y a pas eu de comparaison avec d'autres données en bande P (ex Cosmo Skymed).

14) Utilisation des produits OSI-SAF pour l'editing des glaces (A. Ollivier, CLS)

Depuis 2011, 4 missions alimentent DUACS, fournissant des informations jusqu'à des latitudes variables : SARAL/AltiKa (82°), Jason-2 (66°), HY-2 (81°), Cryosat-2 (88°).

Les produits DUACS visant l'application océan, les mesures sur glace doivent être retirées (éditées).

Pour les missions embarquant un radiomètre (Jason-2, SARAL), le critère d'identification des mesures sur glace repose sur l'écart entre les températures de brillance.

Sur Cryosat il a donc fallu trouver une autre méthode. Aujourd'hui on applique un editing itératif sur les latitudes supérieures à 60°. Mais cette limite stricte de latitude n'est pas très physique.

Ref : DCT/SI/AR/14-11832	Date : 26/06/14 Page : 12/13
---------------------------------	---

D'où l'idée d'utiliser les données annexes OSI-SAF, fournissant un taux de concentration en glace (moyenne journalière), basé sur des mesures de radiométrie large fauchée. Le produit « Ice Edge » correspond au taux de concentration en glace supérieur à 40%.

La méthode proposée est donc d'appliquer l'editing itératif (identifiant les outliers) uniquement sur les zones où le taux de concentration en glace fourni par OSI-SAF est supérieur à zéro. On pourrait directement appliquer un masque basé sur le taux de concentration, mais l'utilisation de l'editing itératif permet de récupérer des données jugées valides là où le taux de glace est supérieur à zéro.

15) Intérêt de l'altimétrie Doppler sur glace

Aujourd'hui on n'a aucune expérience du mode SAR sur glace continentale. On ne sait pas quel est l'impact des pentes de la surface sur le traitement. Or Sentinel-3 aura une couverture globale en mode SAR. Il faut donc s'y préparer.

Il existe la possibilité de modifier le masque de mode Cryosat de manière à acquérir des données en mode SAR sur l'Antarctique, mais il faut ensuite les ressources humaines et financières pour analyser les données. Les retracking SAR prévus dans les chaînes Sentinel-3 (SAMOSA, MSSSL) fourniront un résultat sur glace, mais ils n'ont pas été optimisés pour cette surface.

A noter également que le comportement du tracker Sentinel-3 ne sera pas le même que celui de Cryosat.

Par ailleurs, il existe des données Cryovex, même si leur accès est plus difficile que pour IceBridge.

16) Comparaison Ku/Ka

La difficulté pour comparer les données Cryosat et SARAL sur la calotte est que les traces au sol sont différentes, il faut donc procéder par point de croisement très affecté par les différences de polarisation d'antenne. Par ailleurs, l'altitude entre les deux satellites n'est pas la même donc l'erreur de pente est différente.

Sentinel-3 va emprunter une nouvelle trace au sol ; Frédérique Rémy estime qu'il faudra environ 50 cycles pour appliquer une analyse along track. On pourra dans un premier temps faire des analyses aux points de croisement.

Concernant l'analyse des données SARAL/AltiKa, il reste à mener un travail conjoint LEGOS/CLS pour croiser les interprétations.

Frédérique mentionne qu'elle corrige le σ_0 estimé avec ice2 ; le résultat final est à comparer avec le retracking CLS qui prend en compte le diagramme d'antenne (donc réduit l'incertitude liée à l'instrument). Frédérique rappelle que l'on peut toujours raffiner la méthode, mais que les échelles spatio/temporelles recherchées en glaciologie sont 10 fois plus grandes qu'en océanographie.

17) Conclusion

L'exploitation des données AltiKa démontre leur très bonne qualité. Il reste un travail d'interprétation et valorisation des résultats.

Pour rappel, le 27 octobre 2014 aura lieu au lac de Constance un workshop dédié SARAL/AltiKa.

Les présentations de cette journée furent très intéressantes et complémentaires (multi capteurs). Cet atelier rencontre un succès croissant au fil des ans, et cela laisse présager une structuration de la communauté glaciologie toulousaine et au-delà.

Le rendez-vous est donc pris pour dans un an (la date sera fixée suffisamment à l'avance pour permettre aux intervenants de bloquer la journée dans leur agenda).

TABLEAU DES ACTIONS

Action N°	Libellé	Responsable	Echéance
1	Voir de combien de dB le signal AltiKa sature sur les zones de lead mentionnées dans la présentation d'Elena.	CNES/ SI/AR	
2	Fournir une trace Cryosat en mode SAR traversant l'Antarctique pour la préparation à S-3	ESA	