



COMET - Compte Rendu de l'Atelier Altimétrie et Glaciologie 2019

MOTS CLES : COMET, altimétrie, glaciologie

RESUME : Ce document présente le compte rendu de l'atelier altimétrie et glaciologie 2019.

	NOM ET FONCTION	DATE ET SIGNATURE
PREPARE PAR :	Amandine Guillot	28/06/19 
VERIFIE PAR :		
AUTORISE PAR :		

DIFFUSION :

SIGLE OU FONCTION	NOM
DSO/SI/TR DSO/SI/IP Liste de diffusion atelier_glacio	

1 Description de l'animation

L'atelier s'est déroulé le 25 juin 2019, en français de manière à se focaliser sur le contenu technique.

Objectifs de la journée :

- faire un état des lieux sur l'altimétrie sur glace (de mer et continentale)
- dégager des pistes d'améliorations
- travailler sur la synergie entre capteurs (altimétrie mais aussi imagerie SAR et optique)
- fédérer une communauté toulousaine et plus largement française
- poursuite de l'exploitation des données SARAL/AltiKa, Cryosat-2, Sentinel-3A&B
- présenter la mission CRISTAL, candidate pour Sentinel-9, dédiée à la cryosphère

L'atelier s'est déroulé sur le campus de l'ISAE-Supaéro.

2 Participants

Il y avait 51 inscrits (contre 66 en 2017) dont 13 CNES.
Au final, on dénombre (d'après le pointage sur place) 40 participants.

Voici la liste :

Prénom	Nom	Société
Michaël	Ablain	Magellium
Laïba	Amarouche	CLS
Jérémie	Aublanc	CLS
Matthis	Auger	CLS
Jérôme	Benveniste	ESA
Etienne	Berthier	CNRS
Franck	Borde	Agence Spatiale Européenne
Catherine	Bouzinac	CS-SI
Francois	Boy	CNES
Mathilde	Cancel	NOVELTIS
Benjamin	Carayon	Thales Alenia Space
Joël	Dorandeu	Magellium
Marie-Laure	Frery	CLS
Florent	Garnier	LEGOS
Simon	Gascoin	CESBIO
Amandine	Guillot	CNES
Tanguy	Jacober	LEGOS
Athul	Kaitheri	Geoazur
Michael	Kern	ESA
Alexei	Kouraev	LEGOS/UPS
Sylvie	Labroue	CLS
Antoine	Laforge	LEGOS
Jean-Claude	Lalaurie	CNES
Sophie	Le Gac	CNES

Yves	Le Roy	THALES ALENIA SPACE
Nicolas	Longépé	CLS
Aymeric	Mainvis	ONERA
Jean Louis	Mazens	cnes
Anthony	Memin	Geoazur, Universite Cote d'Azur
Franck	Mercier	CLS
Francoise	Mertz	CLS
Laurent	Phalippou	Thales Alenia Space
Nicolas	Picot	CNES
Fanny	Piras	CLS
Jean-Christophe	Poisson	CLS
Pierre	Prandi	CLS
Frédérique	Remy	CNRS
Laurent	Rey	THALES ALENIA SPACE
Vinca	Rosmorduc	CLS
Maël	Smessaert	CLS
Pierre	Thibaut	Collecte Localisation Satellites

3 Interventions

Le programme de la journée était le suivant :

heure début	intervenant	société	titre	durée
09:00			ACCUEIL	00:25
9:25	F. Remy	LEGOS	Introduction	0:05
9:30	S. Labroue	CLS (S3 MPC)	statut des produits Sentinel3	0:10
9:40	J. Benveniste	ESA	Le projet SPICE (S3 sur les calottes polaires)	0:10
9:50	M. Kern	ESA	Mission CRISTAL	00:20
10:10	E. Berthier	LEGOS	The Pléiades Glaciers Observatory (PGO)	0:20
10:30			pause	0:30
11:00	J. Aublanc	CLS	Génération d'un MNT "multi-missions altimétriques" de l'Antarctique : status & perspectives	00:20
11:20	S. Le Gac / A. Guillot	CNES	Potentiel de l'utilisation du mode OLTC de Sentinel3 sur les glaciers	00:20
11:40	Athul Katheri	LEGOS	Gravimétrie et altimétrie en Antarctique	0:20
12:00	A. Kouraev	LEGOS	Glace des lacs et dynamique d'eau sous la glace - apport des données satellitaires et de terrain	00:20
12:20			Déjeuner	01:30
13:50	F. Piras	CLS	SAR adaptive: traitement et analyse des données	0:20
14:10	P. Prandi	CLS	SLA Arctique/Antarctique	0:20
14:30	N. Longépé	CLS	Techniques de "Deep Learning" applicables aux données d'observation de glace de mer	00:20
14:50	N. Longépé	CLS	SARICE: traitement massif d'images S-1 Wave Mode pour la détection et la caractérisation des icebergs	00:20
15:10	J. Dorandeu/S. Gascoïn	Magellium/CESBIO	Le projet Copernicus Snow&Ice (CoSIMS)	00:20
15:30	A. Laforge	LEGOS	Un retracker 2D pour mesurer le franc-bord de la banquise	0:20
15:50			pause	00:30
16:20	F. Garnier	LEGOS	Premières estimations altimétriques d'épaisseur de glace en Antarctique et perspectives pour l'observation de la glace de mer	00:20
16:40	J. Poisson	CLS	Performances et incertitudes de l'altimétrie sur glace de mer	00:20
17:00	Mael Smessaert	CLS	Vers des produits altimétriques multi-missions sur glace de mer	00:20
17:20			CONCLUSION	00:15

Les présentations sont disponibles sur le site AVISO+ à l'adresse suivante :

<http://www.aviso.altimetry.fr/en/user-corner/science-teams/atelier-altimetrie-et-glaciologie.html>

Voici quelques points marquants relevés au cours des présentations et discussions.

1) Introduction

La participation est en légère baisse par rapport à l'édition précédente de 2017 ; une dizaine d'organismes est tout de même représentée.

2) Statut des produits Sentinel-3 et Cryosat-2

a. Produits Sentinel-3 (Sylvie Labroue, CLS, pour le compte de l'ESA)

Depuis le 14 février 2019, l'algo de freeboard a été corrigé.

PB2.45 -> FB comparable à CY2.

Dans la version PB2.49 un nouveau modèle de pente sera utilisé.

Freeboard :

Algorithme maintenant aligné sur CY2 baseline D.

Test hamming/zero-padding (avec L1 du GPOD) => résultats proches de CY2 (fonctionne en mode SAR sur l'Arctique sauf une boîte SARin).

La recommandation issue de la communauté scientifique d'inclure ces traitements dans le segment sol S3 a été entendu par l'ESA et Eumetsat. Problème : L1 commun à toutes les surfaces. Les agences travaillent pour séparer les chaînes, mais c'est compliqué. Il n'y a pas de planning.

Glace continentale :

Retracking « ice_sheet » hérité de CY2.

Jusqu'à 60-80% des données non retrackées sur les ice margins.

Lac Vostok : 8 cm de précision en SAR (14cm LRM Envisat) => apport du SAR.

Zone Terre Adélie (forte pente) : algorithme de fenêtre étendue + centrage => on récupère des données, y compris pour le retracking ice_sheet (17% d'échec contre 21% sans ce nouvel algorithme).

Un jeu de données (1 cycle) peut être disponible sur demande ; sinon reprocessing d'ici la fin de l'année.

Les rapports cycliques et annuels sont disponibles sur internet :

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-altimetry/data-quality-reports>

b. Produits CY2

Pas de présentation en séance, voir les slides.

c. SPICE (Jérôme Benveniste, ESA)

Pre-retracking module, utilisant un DEM pour détecter le pic du nadir => amélioration du biais moyen.

Interaction onde-surface, en PLRM Ku, LRM Ka et SAR Ku. Le mode SAR est moins sensible à l'écho de volume.

Seuils de retracking fixés sur Vostok, mais variabilité temporelle et spatiale.

3) La mission CRISTAL

a. La mission (Michael Kern, ESA)

6 missions candidates pour Sentinel-9 en phase B1.

ITT pour la phase B2 après l'été.

Etape en cours : Intermediate System Requirement Revue

Objectifs principaux de CRISTAL : glace de mer (y compris la neige) et calottes polaires.

Importance stratégique de l'Arctique pour l'Europe.

Besoins issus des Polar Expert Group reports. Le MRD y répond.

Importance de couvrir lat>81.5° pour observer l'Arctique.

Etude Polar Monitoring Mission : consolidation des exigences, réponse aux questions des industriels.

Campagne CryoVEX 2019 -> données en Ka et Ku.

EE9 (Forum vs SKIM) : user meeting 16/17 juillet à Cambridge ; rapports diffusés aujourd'hui.

b. Altimètre IRIS (Yves Le Roy, TAS)

Bi-bande Ku/Ka.

Largeur de bande 500MHz (nouveau pour la Ku).

Mode SAR.

Interférométrie uniquement en Ku.

Open ocean : SAR closed burst

Land ice : SARin Ku closed burst (4 bursts de mesure = amélioration % CY2), SAR Ka

Glace de mer : SARin interleaved (open-burst) Ku + SAR interleaved (open-burst) Ka.

Emission simultanée Ku/Ka.

Instrument redondé.

Tracking Close Loop piloté par la bande Ku (footprint plus large, SNR plus élevé).

Open Loop sur ice margins et glaciers car SNR trop faible pour CL.

Simulation performance du retracking à 2m de vagues (bornes de Cramer Rao) : précision < 5mm quel que soit le mode.

Erreur sur l'angle across-track ~23 arcsec (CY2 28 arcsec). Objectif visé 20 arcsec.

Calibration externe (sur mer) sur CY2 1 fois par an (implique une manœuvre d'attitude satellite et donc un impact sur la mission). Une calibration externe mensuelle (idéalement sans manœuvre) permettrait de réduire l'erreur sur l'angle across-track.

4) Pléiades Glaciers Observatory (Etienne Berthier, LEGOS)

Glacier = indicateur climatique.

Sur 20 ans, forçage anthropique explique 70% de la fonte.

Rôle de château d'eau => importance pour les populations.

Forte contribution au débit des rivières en saison sèche.

Explique ¼ de la hausse du niveau des mers.

~200 000 glaciers répartis sur la Terre.

Nichés dans des zones de forte topographie.

Comparaison de MNT à différentes dates = méthode géodésique.

Carte de changement d'élévation -> calcul global de changement de masse.

Unité : mètre d'eau par an gagné ou perdu.

Satellites utilisés : ASTER (Japon/USA), Pléiades.

Application des cartes haute résolution des glaciers :

- Mont Blanc : profils GPS tous les ans (précision ~10cm). Précision des variations d'épaisseur meilleure que 50cm
- Fluctuations saisonnières des glaciers, observable grâce à l'amélioration de la précision (ex en Islande) => aide à comprendre les causes de perte de masse
- Reconstruction de topo depuis années 40-50 (anciennes photos). Ex en Islande. Perte de masse très importante depuis 94. Calotte Islande très sensible à la température (beaucoup plus que ce que prévoient les modèles)
- Réactivité des satellites : coulées sur le plateau Tibétain en 2016. Avec Pléiades construction de topo post-événement. 40-50% du volume du glacier s'est démantelé en quelques secondes.

PGO pour faciliter l'accès aux images stéréo pour la communauté scientifique.

Sites d'acquisition répartis sur toute la surface du globe.

Premiers papiers publiés en 2019.

Demande des scientifiques pour des campagnes de suivi régulier, pas seulement sur glaciers. (Sentinel-HR proposée par Olivier Hagolle, pour scanner la Terre en permanence)

Sentinel-2 peut faire de la stéréo aux hautes latitudes :

Possible si séparation temporelle est faible (<1j) car le glacier bouge beaucoup.
Potentiel de Venus, en utilisant les 2 bandes.

5) MNT Antarctique (Jérémy Aublanc, CLS)

Objectif : Génération d'un Modèle Numérique de Terrain du continent Antarctique à partir de la constellation de satellites altimétriques CryoSat-2, SARAL/AltiKa, Sentinel-3A & Sentinel-3B.

Suite d'une R&T 2016, qui n'incluait pas les données SARin CY2.

Validation du MNT 2016 : biais par rapport au GNSS quasi nul aux faibles pentes (<0.2%) mais justesse/précision dégradée lorsque la pente topographique augmente. Ce résultat est attendu au vu de la méthode de correction de pente mise en place. Des solutions d'améliorations existent et font partie des perspectives.

Intégration des données SARin : l'intérêt est la localisation du point de retour en cross track.

Comparaison des élévations 20hz SARin avec REMA et des mesures GNSS sur une zone de marges (Wilkes Land) : Très bonne perfo : biais/bruit très faible aux faibles/moyennes pentes (< 1%).

Comparaison avec IceSat-1 (2008) : bonne corrélation avec les cartes de variation d'élévation sur la même période.

Perspectives :

- Réaliser la génération du MNT avec les données SARin
- Amélioration de la correction de pente pour les données LRM/SAR
- Intégration de IceSat-2 à discuter

Fort potentiel de l'utilisation des nouveaux MNT précis haute résolution (comme REMA, résolu à 8 mètres) pour améliorer la localisation de la mesure altimètre (le plus important poste d'erreur aujourd'hui).

Etude Polar Monitoring en support à CRISTAL : simulation couplant modèle de neige et modèle d'écho altimétrique.

Remarque : REMA pas indépendant de l'altimétrie car recalé sur du CY2 sur les marges, et sur IceSat-1 sur l'intérieur du continent.

6) Potentiel de l'OLTC sur glaciers (Sophie Le Gac/Amandine Guillot, CNES)

Objectif : améliorer la couverture des données Sentinel-3 sur glaciers.

Des cibles ont déjà été définies à bord de S3A&B sur les Pyrénées, les Alpes, la Patagonie, l'Himalaya, les Andes. => données à analyser par les scientifiques pour vérifier la présence de mesures pertinentes.

Proposition de tester le même principe sur des glaciers en Antarctique (consignes et zone à monter à bord lors d'une prochaine mise à jour, fin 2019 ou début 2020).

Remarque : pour définir les cibles, les élévations ont été considérées au nadir de la trace théorique.

Question : Est-il possible d'identifier les glaciers impactés par un effet de layover ? (sur lesquels OLTC ne devrait pas marcher) -> la simulation ne semble pas évidente, d'autant que la trace réelle bouge en cross track.

7) Gravimétrie et altimétrie (Athul Kaitheri, Geoazur)

Utilisation des données GRACE.

Corrélation Envisat/GRACE/RACMO sur changement d'élévation.

Bonne corrélation et signaux saisonniers observés sur Antarctique de l'Ouest.

Meilleure corrélation en décalant le signal RACMO d'1 mois.

8) Glace des lacs (Alexei Kouraev, LEGOS)

Variabilité saisonnière du σ_0 , liée à la structure de la glace.

Canaux d'air dans la glace, qui évoluent en direct à l'œil nu.

Anneaux géants de 6-7km de diamètre, zone sombre = glace plus fine. Non prévisible.

Inventaire des anneaux à partir des images satellites, depuis 1969.

Formation des anneaux due à un tourbillon. (visible sur graphe de température)

www.icerings.org -> donne les conditions de glace, et la position des tourbillons. Prévention de circulation pour les touristes et les pêcheurs. Mise à jour en hiver à chaque passage Landsat ;

communication aux autorités par mail.

Les tourbillons suivent la bathymétrie.

Pose de cordes in situ pour mesurer les profils de température et de courant.

La sortie de la baie de l'eau froide et moins dense génère un tourbillon, qui peut générer l'anneau.

9) SAR adaptive (Fanny Piras, CLS)

Avantages du retracking physique en glace de mer : pas de seuil à tuner, prise en compte du vieillissement instrument., continuité avec l'océan ouvert.

La méthode d'estimation varie selon le type d'écho -> utilisation de la classification basée sur les NN.

Problème = temps de calcul => optimisation nécessaire.

Un hiver traité en 5 jours sur le cluster du CNES (nombre de processeurs utilisables limité).

Sur données réelles, biais significatifs observés sur océan en range et swh (à investiguer ; modèle à améliorer).

Exemple de résultat sur leads -> continuité avec l'océan ouvert, alors que le TFMRA est biaisé.

Perspectives : traitement FB, SLA Arctique.

10) SLA Arctique/Antarctique (Pierre Prandi, CLS)

Existant :

- cartes mensuelles de Tom Armitage (CY2). Grandes structures en Arctique, bruité en Antarctique.
- DTU, mensuel depuis 1993. Beaucoup de bruit

Deux étapes critiques : sélection des leads, editing.

La continuité avec l'océan ouvert est primordiale.

=> recalage du TFMRA en SAR ; pas très satisfaisant.

Jason permet d'observer l'océan Austral.

Arctique :

SARAL traité, S3 en cours. CY2 à venir.

SARAL : continuité avec la série précédemment validée dans le cadre PEACHI.

Variabilité de SSH concentrée à la côte, ce qui est attendu.

Antarctique : analyse multi mission déjà faite. Il reste du travail, car certains patterns sont statiques (a priori erreurs de MSS, SSB). Comparaison également des courants avec DUACS et Armitage ; validation en cours.

Premiers résultats encourageants, validation géophysique à faire (comparaison aux marégraphes en Arctique, données in situ avec JB Sallé pour l'océan austral).

Préfigure futur produit CMEMS aux hautes latitudes.

11) Deep learning (Nicolas Longépé, CLS)

Machine Learning -> extraction manuelle des paramètres. Deep Learning -> extraction et classification automatiques.

Tag automatique sur les imagerie wave mode -> 10 classes.

-> génération de cartes de phénomènes, que l'on pourrait co-localiser avec les données altimètre.

-> fort intérêt pour Cal/val et compréhension mesures nouvelles missions (SWOT, CFOSAT, etc).

Ajout possible d'autres classes (ex. ondes internes)

Segmentation sémantique appliquée sur glace de mer, pour aider les services de « ice charting ». MetNo produit uniquement des cartes de concentration pour la région du Svalbard.

Analyse des séries temporelles RNN/LSTM (reconnaissance des activités humaines) :

Application sur un paquet de formes d'onde AltiKa, corrélées entre elles. S1 utilisé comme référence.

Demande à être consolidé.

12) SARICE (Nicolas Longépé, CLS)

Comparaison avec Altiberg :

Résolution 5m donc petits icebergs devraient être mieux détectés.

Aide pour Jean Tournadre pour mieux comprendre les phénomènes de fragmentation des icebergs.

Difficulté de segmentation automatique, du fait de la multitude des formes.

Utilisation pour des courses de voiliers, en complément de l'altimétrie.

Base de donnée en place, maintenant il faut l'exploiter en complément d'Altiberg.

13) Service Copernicus neige et glace avec Sentinel-2 (Joël Dorandeu, Magellium / Simon Gascoin, CESBIO)

Délégation donnée à l'Agence Européenne de l'Environnement.

Couverture de neige, ligne de neige (altitude min de neige permanente), couverture de glace sur lac et rivière.

Mise en place entre mai 2019 et mars 2020.

Phase opérationnelle à partir d'avril 2020.

Consortium mené par Magellium ; Cesium pour la correction atmosphérique, détection des nuages et la neige, Astri Polska pour la glace, Météo France pour validation. Implication forte du CNES (THEIA) dans la phase de montage du consortium.

Couverture de neige opéré dans THEIA depuis fin 2017 sur certaines régions du monde.

Dans ce projet, l'ensemble de l'Europe est traité. Calcul de la fraction de neige, pas seulement flag de présence de neige.

Diffusion des produits 3h après ingestion des mesures dans le segment sol.

Problème en présence de forêt : normalisation par la densité d'arbres pour reconstituer une couverture de neige sous les arbres.

Limitation : détection des nuages froids comme de la neige.

Norvège/Suède/Finlande peu connu, avec faible angle solaire, et couverture quasi-totale par la forêt.

Permanent snowline :

Manipulation d'un gros volume de données pour obtenir la durée d'enneigement par pixel.

Puis on extrait les pixels couverts de neige sur 365 jours.

14) Retracker 2D pour la banquise (Antoine Laforge, LEGOS)

Objectif : détecter le pic nadir.

Utilisation d'un retracker physique pour prendre en compte la rugosité.

2D pour gérer les effets off-nadir et side-lobe.

Principe :

- Alignement des FO sur la ligne de surface calculée par orbite-tracker-MSS.
- Puis extraction d'un nombre de portes réduits (1m) autour de la ligne de surface.
- Puis détection des lignes de Sobel.

On peut utiliser la sélection pour éditer les sorties de SAMOSA+ ou contraindre l'intervalle de recherche du retracking numérique.

Filtrage des sorties SAMOSA donne de bons résultats par rapport à OIB -> le produit sera en ligne en juillet (AVIS0+/CTOH/ODATIS).

L'option contrainte sur SAMOSA reste à valider.

Remarque : l'outil GPOD a été utilisé pour ces travaux.

15) Glace de mer en Antarctique et incertitudes (Florent Garnier, LEGOS)

Antarctique :

Pour avoir l'épaisseur neige :

- Données AMSR de 2002 à 2018
- Différence SARAL-CY2 de 2013 à 2018

Gap entre AMSR2 et AMSR, à investiguer (pourtant les données sont censées être recalées).

Pas de données de validation disponibles.

FB total comparé avec jeux de données IceSat.

-> Envisat+AMSR donne des patterns différents de IceSat ; peut-être dû à la neige AMSR. Série Sea Ice Thickness : différence importante avec ESA-CCI à investiguer. Par rapport à l'Arctique, peu de variabilité en Antarctique.

Distribution produit épaisseur en Antarctique cet été (CTOH/AVISO+/ODATIS).

Publication à venir.

Incertitudes :

Les incertitudes sont nécessaires pour l'assimilation de données dans les modèles.

Idée : Introduction de bruits gaussiens en entrée pour générer un ensemble d'observations.

16) Performances SIT (Jean-Christophe Poisson, CLS)

Point de départ = équilibre hydro statique.

Erreur importante provenant de la densité de glace. Tout le monde reprend la même source (Alexandrov 2010), basée sur de l'inversion du FB !

Erreur sur l'épaisseur de neige, provenant de Warren, maintenant obsolète.

L'épaisseur de neige est le contributeur principal à l'erreur sur le SIT.

Erreur ice density First Year Ice > Multi Year Ice dû à l'incertitude sur la densité de la glace (incertitude plus grande sur le FYI)

Utilisation incertitude neige Ku/Ka de Guerreiro et Lawrence => l'erreur devient inférieure à celle sur la densité de glace. → L'apport de CRISTAL permettrait d'avoir une estimation de neige Ku/Ka plus fiable, sur tout le bassin Arctique (pour le moment limité à la couverture AltiKa) et surtout plus pérenne qu'avec les points de croisement AltiKA/CS-2.

L'impact de l'épaisseur de neige est plus important en Ka qu'en Ku.

17) Produits multi-missions sur glace de mer (Maël Smessaert, CLS)

En 20 jours, 90% des boîtes de 30km couvertes par du multi-missions (SARAL, CY2, S3A Hamming + zero padding). Les 10% restants sont aux latitudes les plus faibles.

Carte de leads multi missions.

Carte d'extension de la glace de mer multi mission -> très cohérente avec limite d'extension de glace fournie par NSIDC.

Carte de concentration :

- comparaison avec NSIDC : différences en zone marginale, du fait des résolutions différentes dans les 2 produits
- comparaison avec MASAM2 (radiométrie et image SAR, résolution 4km) : différence proche de zéro. Différences résiduelles attribuées à la précision de la détection des leads avec l'altimétrie. A vérifier.

Difficulté de valider ces produits car pas de haute résolution disponible.

Amélioration possible des cartes en tenant compte de l'écart temporelle entre les données moyennées.

Perspective : Application des mêmes traitements sur le Freeboard multi-missions.

4 Conclusion

Les participants réitèrent leur besoin de disposer de produits Sentinel-3 comportant Hamming et zero-padding sur le L1 pour l'océan englacé.

La mission CRISTAL donne un nouveau cadre pour travailler sur la thématique.

Les glaciers représentent un nouveau challenge pour l'altimétrie.