




Communautés de Compétences Techniques

# COMPTE RENDU DE L'ANIMATION

## ATELIER ALTIMETRIE ET GLACIOLOGIE 2017

	Nom et Sigle	Date et Visa
Rédigé par	Amandine Guillot DCT/SI/TR	19/06/17 

## 1. Description de l'animation

L'atelier s'est déroulé le 15 juin 2017, 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
- fédérer une communauté toulousaine et plus largement française
- poursuite de l'exploitation des données SARAL/AltiKa, Cryosat-2, Sentinel-3A
- discuter des scénarios possibles pour une future mission d'altimétrie dédiée à la cryosphère

L'atelier s'est déroulé dans l'amphi CLS, qui a sponsorisé cette journée.

## 2. Participants

Il y avait 66 inscrits dont 20 CNES.

Au final, on dénombre (d'après les signatures sur place) 50 participants dont 15 CNES.

Voici la liste :

ADODO	Fifi Ibrahime	LEGOS
Arago Higueras	Nadia	Thales Alenia Space
Aublanc	Jérémie	CLS
BLUMSTEIN	Denis	CNES
Bohe	Alejandro	CNES
Bouffard	jerome	ESA
Bourdeau	Aude	Greentropism
CAUBET	ERIC	THALES ALENIA SPACE
Coustance	Sophie	CNES
CUVILLON	Nicolas	Thales Alenia Space
DARMIGNY	ERIC	Thales Services
De Witte	Erik	ESA
Deschamps-Berger	César	OMP
Dibarboure	Gérald	CNES
Dorandeu	Joel	CLS
Duc	HOANG	CLS
Fabry	Pierre	ALONG-TRACK
Fleury	Sara	LEGOS
Garric	Gilles	Mercator Ocean
GUERIN	Alexandre	CNES
guerreiro	kévin	LEGOS
Guillot	Amandine	CNES
Hernandez	Olga	Mercator-Ocean
Kouraev	Alexei	LEGOS
Labroue	Sylvie	CLS

Laforge	Antoine	LEGOS
LE ROY	YVES	THALES ALENIA SPACE
LIFERMANN	ANNE	CNES
Longépé	Nicolas	CLS
MALLET	Alain	CNES
mazens	jean-louis	cnes
MERCIER	Franck	CLS
Phalippou	Laurent	Thales Alenia Space
PICOT	Nicolas	CNES
Piras	Fanny	CLS
POISSON	Jean-Christophe	CLS
Pourthié	Nadine	CNES
Prandi	Pierre	CLS
PROUST-ALBRAND	Amélie	CLS
Rémy	Frédérique	CNRS
RICHARD	Jacques	Thales Alenia Space Toulouse
Rosmorduc	Vinca	CLS
steunou	nathalie	CNES
TAVERNIER	Gilles	CNES
THIBAUT	Pierre	CLS
TISON	Céline	CNES
Tourain	Cédric	CNES
Tournadre	Jean	IFREMER
Zakharova	Elena	ME Zakharova

### 3. Interventions

Le programme de la journée était le suivant :

heure début	intervenant	société	titre	durée
09:00			<b>ACCUEIL</b>	00:15
9:15	F. Remy	LEGOS	Introduction	0:15
9:30	J. Bouffard/P. Femenias	ESA	statut des produits Cryosat et Sentinel3	0:15
9:45	E. De Witte	ESA	Etudes Cryosat follow-on	00:15
10:00	M. Davidson	ESA	Campagnes aéroportées bi-fréquence (Ka et Ku) préparatoires à la mission Cryosat follow-on	0:15
10:15	A. Guillot	CNES	Etude AltiCryo	00:15
10:30	C. Tison	CNES	Mission CFOSAT	00:15
10:45			pause	00:30
11:15	J. Tournadre	Ifremer	Fonte et fragmentation de deux icebergs géants	00:15
11:30	N. Longépé	CLS	Etude SWIM Sea Ice Detection	00:15
11:45	N. Longépé	CLS	Comparaison de la détection de leads par altimétrie (AltiKa) et imagerie SAR (S1)	0:15
12:00	JC Poisson	CLS	Classification et retracking des échos SAR/Doppler sur glace de mer	0:15
12:15			Discussion	00:30
12:45			Déjeuner	01:30
14:15	K. Guerreiro	LEGOS	Estimation de l'épaisseur de la banquise Arctique sur la période 2002-2016 à partir des missions Envisat et CryoSat-2	0:15
14:30	S. Fleury/A. Laforge	LEGOS	Vers une mesure robuste de l'épaisseur de la banquise par altimétrie SAR	0:15
14:45	J. Aublanc	CLS	Construction d'un MNT pour l'Antarctique	0:15
15:00			pause	00:30
			<b>DISCUSSIONS</b>	
15:45	P. Thibaut		synthèse du groupe SLA Arctique d'ISSI Bern	00:15
16:00			Enjeux/opportunités/planning d'une future mission d'altimétrie pour la cryosphère	00:30
16:30			<b>CONCLUSION</b>	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-altimétrie-et-glaciologie.html>

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

#### 1) Introduction (F. Rémy, LEGOS)

Les produits PDGS (Payload Data Ground Segment) Sentinel3A sur glace de mer (Marine) et glace continentale (Land) doivent être améliorés pour pouvoir être utilisés à des fins d'études scientifiques.

SARAL est sur une orbite dérivante depuis 1 an. Un numéro spécial Marine Geodesy sera préparé dans 1 an, après 2 ans de phase géodésique.

#### 2) Statut des produits Cryosat-2 et Sentinel3 (J. Bouffard/P. Femenias, ESA/ESRIN)

##### Produits Cryosat-2

Modes instruments :

Le masque de mode n'est pas figé et peut évoluer sur demande à Tommaso Parinello. Il a d'ailleurs été utilisé en support à la CalVal Sentinel3.

Evolution des produits :

La chaîne « Ice » est en Baseline C (ajout du champ freeboard) depuis avril 2015. Un jeu de données au format NetCDF sera disponible en juillet 2017.

Dans le but d'améliorer les produits L2 en glace de mer, l'étude CryoSeaNice a été contractée (consortium Along-Track, LEGOS, CLS, AWI).

La baseline D devrait être en opération début 2018 (inclut le format NetCDF).

Le QWG#7 Cryosat est prévu en octobre 2017.

Discussions en cours avec le CNES pour voir si le mode SARin de Cryosat pourrait être exploité en préparation de SWOT.

La mission Cryosat-2 est étendue jusqu'à mi-2019 (pour l'étendre au-delà, il faudra considérer les éléments techniques et budgétaires).

### Produits Sentinel3

Un nouveau standard est en préparation.

Limitations de traitement rencontrées sur glace : investigations en cours par ESA et MSSL.

Le satellite Sentinel3B ne sera pas lancé avant mars 2018 (décision de l'utilisation du lanceur VEGA ou pas en juin).

Il y aura une phase tandem S3A/B de 4 mois (du même type de ce qui est fait pour les Jason).

Remarque Sylvie Labroue : le retracking ice1 est disponible dans les produits et exploitable pour les études glace.

Suggestion Nicolas Picot : est-il possible de mettre en place un produit démo pour alimenter la communauté en attendant les évolutions du PDGS ?

→ Ce scénario n'a pas été envisagé par l'ESA mais cela peut se discuter.

### 3) Etudes Cryosat Follow-on (E. De Witte, ESA/ESTEC)

#### Contexte :

On distingue deux types d'évolutions du segment spatial Copernicus : court terme d'une part (~2026, capacités additionnelles aux générations courantes, S7-10), et long-terme d'autre part (~2030, aussi appelé NG).

En ce qui concerne les Sentinel7-10, les priorités de l'EU sont les suivantes :

- 1) S7 émission CO2
- 2) S8 agriculture, S9 régions polaires (pas forcément de l'altimétrie !)
- 3) S10 hyper-spectrale

Pour S9, une Task Force a été mise en place par la commission européenne :

- Phase 1 terminée : compilation des besoins utilisateurs
- Phase 2 : proposition d'un concept d'observation pour répondre aux besoins. Si CY-FO n'est pas retenu pour S9, la proposition reste toujours valable dans le cadre des NG qui n'arrivent pas beaucoup plus tard.

Pour Sentinel7-10 il y aura un jalon le 19 septembre avec une décision d'approvisionnement.

#### Etude CY FO cost effective

L'étude a montré que la plateforme était trop restrictive pour implémenter des améliorations (addition bande Ka...).

#### Etude addition bande Ka

L'étude comprend des activités système et antenne.

La revue de mi-étude s'est tenue le 14 juin.

Définition des chronogrammes, du budget d'erreur, des déformations thermo élastiques de l'antenne.

A venir : études de développement nouvelles technos (ampli GaN, architecture numérique).

Travail en cours pour écrire un Mission Requirement Document.

### 4) Campagnes aéroportées bi-fréquence préparatoires à la mission Cryosat FO (M. Davidson, ESA/ESTEC)

L'ESA organise environ 6 à 10 campagnes par an, en support des missions spatiales (développement nouveaux concepts, calval).

Exemple : Evaluer l'interférométrie en Ka et Ku (le besoin de disposer de l'interférométrie dans les 2 bandes n'est pas clair aujourd'hui).

Pour la campagne KAREN (Ku/Ka), les données sont en cours de traitement et seront disponibles au Q4 2017.

Les besoins pour les campagnes futures sont à définir.  
Les données des campagnes passées sont disponibles sur demande :  
<https://earth.esa.int/web/guest/campaigns>

### 5) Etude AltiCryo (A. Guillot, CNES)

L'objectif de l'étude est de proposer un concept de mission d'altimétrie dédiée à la cryosphère, en se basant sur l'héritage AltiKa (et en tirant parti du REX de la mission SARAL/AltiKa sur les glaces) : bande Ka, antenne partagée par l'altimètre et le radiomètre, résolution distance d'environ 30cm.

Le recueil du besoin scientifique a été fait auprès de la communauté française, mais aussi européenne grâce à un meeting organisé conjointement avec l'ESA le 3 février au siège du CNES.

L'étude instrumentale avec TAS a conduit à 2 configurations, en mode SAR closed-burst ou SAR interleaved dans les 2 bandes Ka et Ku.

La configuration SAR interleaved implique une consommation et un débit TM élevés, mais des pistes de réduction existent (développement de nouvelles technologies d'une part, traitement bord d'autre part).

Il reste à adresser quelques points de traitement sol et lister les contraintes de la configuration retenue sur le système global.

Les points étudiés ne sont pas en concurrence de l'étude ESA mais permettent au contraire de nourrir les réflexions pour au final aboutir aux meilleurs choix possibles pour une future mission.

### 6) Mission CFOSAT (C. Tison, CNES)

La nouveauté apportée par cette mission est le scattéromètre à vagues.

L'objectif principal est l'océan mais la glace est un objectif secondaire.

L'inclinaison de l'orbite à 97.5° permet en effet de couvrir les zones englacées.

Le lancement est prévu en août 2018, avec une phase CalVal jusqu'à janvier 2019 (à affiner).

On disposera d'un écho en puissance par créneau d'observation (45ms), à une incidence donnée.

Précision attendue sur le  $\sigma_0$  : 1dB ou 0.5dB pour vents 6-24m/s.

Il y a aura des zones de recouvrement entre les mesures SWIM et SCAT, offrant ainsi une grande diversité de  $\sigma_0$  en incidence.

Les données SWIM et SCAT seront descendues sur les centres de mission français et chinois.

Grâce aux stations sol de Kiruna et Inuvik, les données seront disponibles en quasi temps réel.

Les données seront disponibles sur AVISO+.

Les produits diffusés seront : nadir (0° d'incidence), vagues (6°,8°,10° d'incidence),  $\sigma_0$  (0°,2°,4°,6°,8°,10° d'incidence).

Les produits d'intérêts pour l'étude des glaces sont :

- L1a :  $\sigma_0$  en fonction de l'incidence
- L2 nadir : paramètres géophysiques estimés (SWH, vent,  $\sigma_0$ )

La mission dispose d'atouts pour l'étude des glaces : orbite polaire,  $\sigma_0$  sur une large plage d'incidence (pouvant contribuer à une meilleur compréhension de la physique de la mesure et du milieu observé), synergie possible (via le nadir) avec les mission d'altimétrie, étude de l'interaction vagues-glace de mer.

Les données devraient être disponibles pour les PI à l'automne 2018.

Des échanges scientifiques sont possibles avec PolarPod (expédition de Jean-Louis Etienne).

A ce jour il n'y a aucune proposition au TOSCA portant sur l'utilisation de CFOSAT pour les glaces !

Des données simulées sur océan sont disponibles sur AVISO+ :

<http://www.aviso.altimetry.fr/fr/missions/missions-futures/cfosat.html> .

### 7) Fonte et fragmentation de deux icebergs géants (J. Tournadre, Ifremer)

Visualisation d'une vidéo de suivi de déplacement d'un iceberg, superposé aux courants circumpolaires.

La majeure partie du volume de glace transporté se fait par les gros icebergs. Puis la dispersion de l'eau douce dans l'océan austral se fait par fragmentation.

La fragmentation donne lieu à un panache de petits icebergs qui se dispersent sous l'action du vent et des courants.

L'objectif est de voir comment utiliser les bases de données (ALTIBERG pour petits icebergs < 9 km<sup>2</sup>, données grands icebergs) pour paramétriser les modèles de fonte et de fragmentation des icebergs.

On s'intéresse ici à deux icebergs :

- B17a 250 km<sup>2</sup>
- C19a géant 3500 km<sup>2</sup>

L'imagerie optique permet de déterminer la surface des icebergs (même en présence de nuages).

Il n'y a pas de variation de hauteur significative tant que l'iceberg est pris dans la glace de mer.

Les courants AVISO semblent sous-estimés par rapport à la vitesse de déplacement de l'iceberg.

Test de 2 modélisations de la fonte : convection forcée, échange turbulent de chaleur.

- L'échange turbulent de chaleur apparaît plus réaliste que la convection forcée qui sous-estime systématiquement la fonte si on utilise des vitesses de l'ordre de grandeur d'AVISO.

Fragmentation : pas de consensus sur une cause. On trouve une corrélation avec la température de surface, ce qui permet de proposer un modèle.

La distribution des tailles d'icebergs générés par C19a est cohérente de la distribution globale (pente -1.5 sur la PDF).

Remarque : les gros icebergs sont insensibles au vent.

## 8) Etude SWIM Sea Ice Detection (N. Longépé, CLS)

### Premier objectif : définition d'un flag glace

Le modèle de Kurtz développé pour CY n'est pas adapté aux incidences 1-11°. Un fit sur les données réelles a été préféré.

Le prototype de traitement devrait être livré dans les prochaines semaines au CNES.

### Second objectif : caractérisation de la glace

Le modèle de Kurtz a aussi été utilisé, et permet de générer des cartes de réflectivité de Fresnel (R0).

En fixant un seuil sur ce paramètre R0 on peut obtenir l'extension de glace.

La couverture des mesures SWIM permettrait de générer un produit sur une grille de 25 km de résolution, tous les 13 jours.

On pourrait avoir un proxy de la concentration de glace à partir du R0, des tests sont en cours.

Remarque : il faudrait vérifier si l'augmentation brutale de rugosité sur la carte correspond à de la convergence (en regardant les produits de dérive).

## 9) Comparaison de la détection de leads par altimétrie (AltiKa) et par imagerie SAR (S1) (N. Longépé, CLS)

Recherche des colocations SARAL/Sentinel1 à moins de 2h d'intervalle : la glace pluri-annuelle n'est pas couverte.

Pour détecter les leads dans les images SAR une approche morphologique a été choisie.

La détection des leads dans les mesures altimétriques se base sur la classification des formes d'ondes (classe 2 = échos peaky) plus un seuil sur le  $\sigma_0$  ; un filtrage des effets de hooking est également appliqué.

Faut-il prendre en compte la dérive des glaces en 2h d'écart d'observation ? Le test du shift des données altimétriques en utilisant les vecteurs de dérive indique peu de cas où la dérive est significative (en général de l'ordre de 1 km). Par conséquent on ne considère pas la dérive.

Sur la détection SAR plusieurs seuils de décision sont possibles, 6.5 dB semble être le plus approprié.

Pour comparer les détections SAR et altimétrie, on peut par exemple calculer le pourcentage de lead vu par le SAR dans le footprint altimètre. On peut aussi calculer la distance du lead au nadir.

Il faut maintenant analyser les données en détail.

## 10) Classification et retracking des échos SAR/Doppler sur glace de mer (JC Poisson, CLS)

Schéma générique de traitement (applicable également aux données LRM) : identification du type de surface, estimation de la hauteur de la surface, estimation de la SLA/ du freeboard (FB).

Les échos SAR ayant une forme différente des échos LRM, il a fallu re-définir une classification ; celle-ci a été développée sur la base des données issues du S3PP.

La classification des échos SAR a été appliquée aux données CY2 dans le cadre de l'étude CryoSEANICE. On observe des patterns cohérents entre S3 et CY2 pour chaque classe.

Remarque Gilles Garric : on peut également valider les patterns avec les données AMSRE.

Retracking : le développement est en cours, basé sur le modèle analytique Halimi (incluant le paramètre mean square slope pour caractériser la rugosité de la surface).

## 11) Estimation de l'épaisseur de la banquise Arctique sur la période 2002-2016 à partir des missions Envisat et CryoSat-2 (K. Guerreiro, LEGOS)

Le mode SAR est actif depuis 2010 sur la mission Cryosat-2 ; la question est comment assurer la transition LRM/SAR dans la série climatique ?

L'idée est de corriger la variabilité du FB ENVISAT en fonction de la rugosité, et ceci est fait en utilisant le pulse peakiness des formes d'onde.

La validation des données d'épaisseur de glace obtenues a été faite avec des données in situ :

- Mouillage : permet de mesurer l'épaisseur de glace sous l'eau (=draft)
- Mesures aéroportées
- Draft acquis par sous-marins : peu de données disponibles mais on note tout de même une bonne corrélation

La courbe de tendance de Sea Ice Thickness sur 2002-2016 montre une variabilité inter-annuelle mais une tendance moyenne de -1,3cm/an, soit -13cm sur 10 ans.

La variabilité d'épaisseur de glace est très liée à la variabilité de stock de MYI (glace pluri-annuelle).

La comparaison à d'autres données globale d'épaisseur de glace indique que les épaisseurs de glace calculées au LEGOS sont très inférieures. Cette différence n'est pas comprise pour le moment.

Les données de la campagne KAREN co-datées et co-localisées avec l'altimétrie apporteront peut-être des réponses...

Remarques :

- Les différences sont déjà observées au niveau du FB et masque MYI/FYI utilisé pour déterminer densité glace à prendre.
- Le masque de type de glace FYI/MYI utilisé pour déterminer la densité de glace et neige à prendre est différent
- Gilles Garric précise que les données PIOMAS sont validées avec de l'in situ donc il est très surpris des écarts.

La glace au-delà de 81.5° de latitude n'a pas été mesurée par altimétrie avant 2010, ce qui a un impact sur les calculs de bilan faits à partir de ces données.

## 12) Vers une mesure robuste de l'épaisseur de la banquise par altimétrie SAR (A. Laforge, LEGOS)

Utilisation de la RIP (range integrated power), qui correspond à la puissance sur les différents angles de vue.

Pour détecter les leads (et estimer leur largeur), on utilise un algorithme de détection de ligne (filtre de Sobel) sur la RIP.

Les lobes secondaires de la RI (réponse impulsionnelle) azimuth produisent des pics parasites dans la forme d'onde, pouvant conduire à des erreurs de retracking.

Ces pics sont détectés sous forme de lignes à 45° sur la RIP.

Remarque Yves Leroy : le niveau des lobes secondaires de la RI est généralement à -20dB.



Les cartes de freeboard obtenues sont validées notamment par comparaison avec OIB, en testant plusieurs traitements L1 (Hamming, Opadd).

La méthode développée ne fonctionne pas avec Hamming. Le meilleur résultat semble être celui obtenu avec utilisation du Opadding.

### 13) Construction d'un MNT pour l'Antarctique (J. Aublanc, CLS)

L'objectif est de définir une méthode de traitement des données altimétriques et une méthode de génération d'un MNT.

Les données utilisées sont issues des missions CY-2, SARAL/AltiKa, S3.

Les margins ne sont pas couvertes (nécessite de traiter les données CY SARin).

La classification des formes d'onde aboutit à 11% de données CY2 éditées, 27% d'échos AltiKa rejetés (correspond aux margins). L'application à S3 reste à venir.

Le retracking utilisé est le TFMRA (retracking à seuil développé par Veit Helm).

Une correction de l'effet de pente est appliquée pour estimer le range au nadir.

La comparaison des résultats sur le lac Vostok (zone plate) avec IceSat (laser) indique un biais médian d'environ -15cm.

La première ébauche d'un MNT basé sur les données CY2 est construite en calculant l'élévation médiane de la surface par boîte de 2.5km.

On obtient une bonne corrélation entre les zones de pente et l'écart-type de l'élévation dans la boîte.

La comparaison à Bamber (avant correction de pente) indique un biais proche de 0 lorsque la pente est faible.

Remarque Jérôme Bouffard : les données SARin (produits L1b ou L2 mais avec un risque de biais) pourraient être testées dans cette étude.

Il serait également intéressant de comparer les résultats avec le MNT qui devrait sortir en fin d'année, basé sur le traitement « swath ».

### 14) Synthèse du groupe SLA Arctique d'ISSI Bern (P. Thibaut, CLS)

L'objectif de ce groupe était de rapprocher les équipes SL (sea level) et SI (sea ice) pour échanger sur leurs problématiques.

Les deux réunions ont permis notamment de :

- lister les « open issues »
- évaluer l'impact des retracking utilisés
- évaluer l'impact de la méthode de calcul du FB
- identifier la problématique de validation in situ (coloc, taille footprint, couverture partielle)

Un document listant les problématiques rencontrées et les améliorations potentielles devrait être rédigé par les participants dans les prochaines semaines.

### 15) Discussion : Enjeux/opportunités/planning d'une future mission d'altimétrie pour la cryosphère

La mission Sentinel-9 sera une mission polaire mais pas forcément de l'altimétrie !

Il y a de bonnes chances pour que la mission CY soit prolongée jusqu'en 2022 (sur le plan budgétaire et vu l'état actuel du satellite).

Le SARin sur CY permet de justifier un prolongement de la mission en parallèle de S3.

A noter qu'il n'y a pas de proposition sur le SARin au TOSCA cette année...

Il est prévu de modifier l'orbite CY en début de mission IceSat pour avoir des mesures proches (2018-2019).

Cette année le CNES organise un séminaire de prospective à mi-parcours : la communauté scientifique peut profiter de cette occasion pour faire remonter un message.

Question Nicolas Picot : Existe-t-il un plan de fin de vie pour CY (ex : orbite cimetièrre) ? Jérôme Bouffard ne connaît pas le scénario.

## 4. Bilan

L'actualité de la problématique Arctique s'est retrouvée dans l'atelier avec la quasi-totalité des études présentées portant sur la glace de mer !

Cet atelier annuel permet de maintenir une dynamique dans la communauté glaciologique française.

**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).