

# Formes d'onde altimétriques sur glace et retracking associés

Méthodes développées, implémentées, analysées  
Avantages/Inconvénients

*Pierre THIBAUT*



# Introduction

---

- Le traitement, l'analyse et l'exploitation des mesures altimétriques sur glace (de mer ou continentale) est un vaste domaine d'études assez peu exploré par CLS où les efforts ont été portés ces dernières années sur le hauturier et sur le côtier.

→ Jason 1 et 2 ne dépassent pas 66 deg

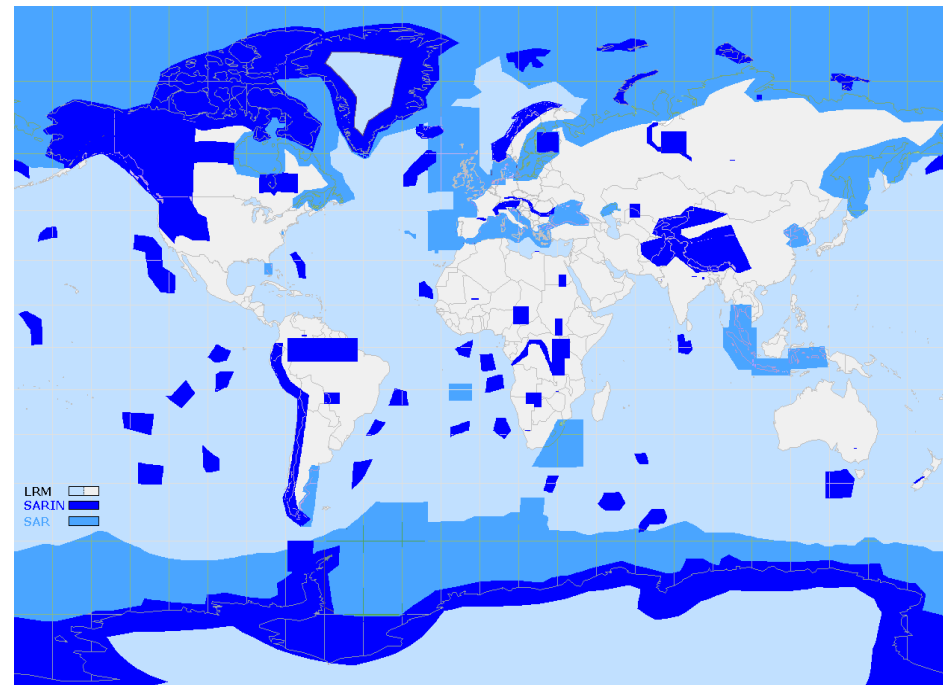
- Quelques études (ESA) sur les données Envisat (< 82 deg) : WOOPI
- Etude de R&T (CNES) en 2006 : classification des formes d'onde

- Intérêt accru à l'étude des glaces avec les nouvelles missions hautes latitudes : Cryosat, SARAL, Sentinel-3

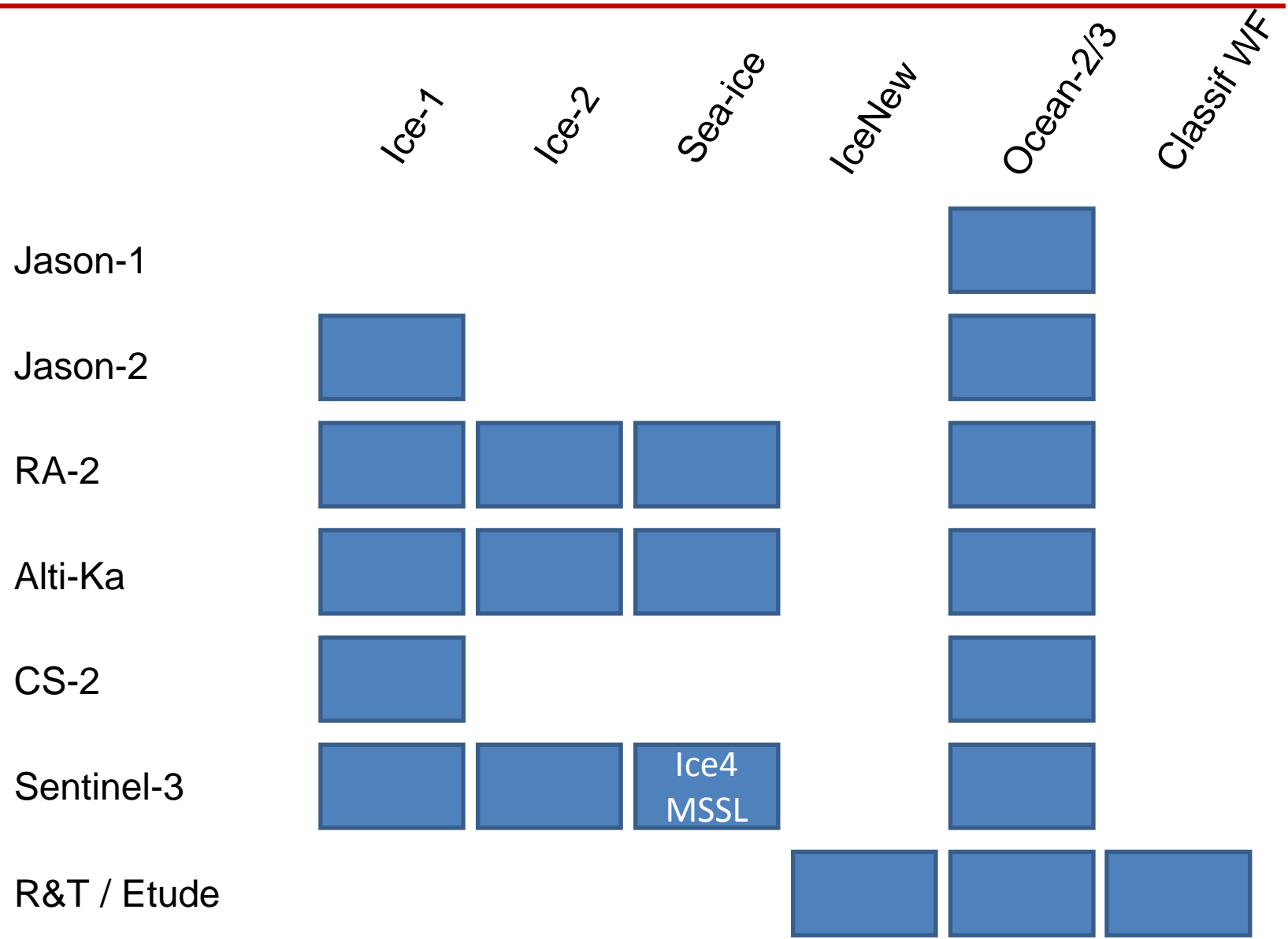
Cependant : aux hautes latitudes

- Cryosat-2 est en mode SAR ou SARin
- Sentinel-3 sera en mode SAR

- Dans les segments sols développés et exploités à CLS, très peu d'algorithmes dédiés « glace ».



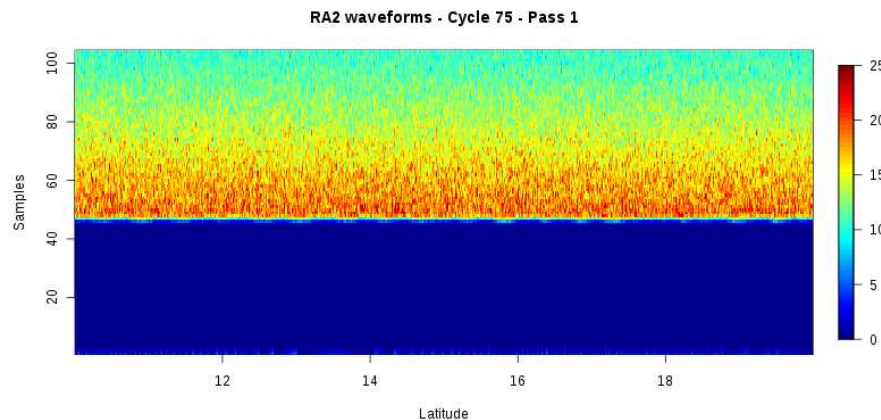
# Retracking implémentés



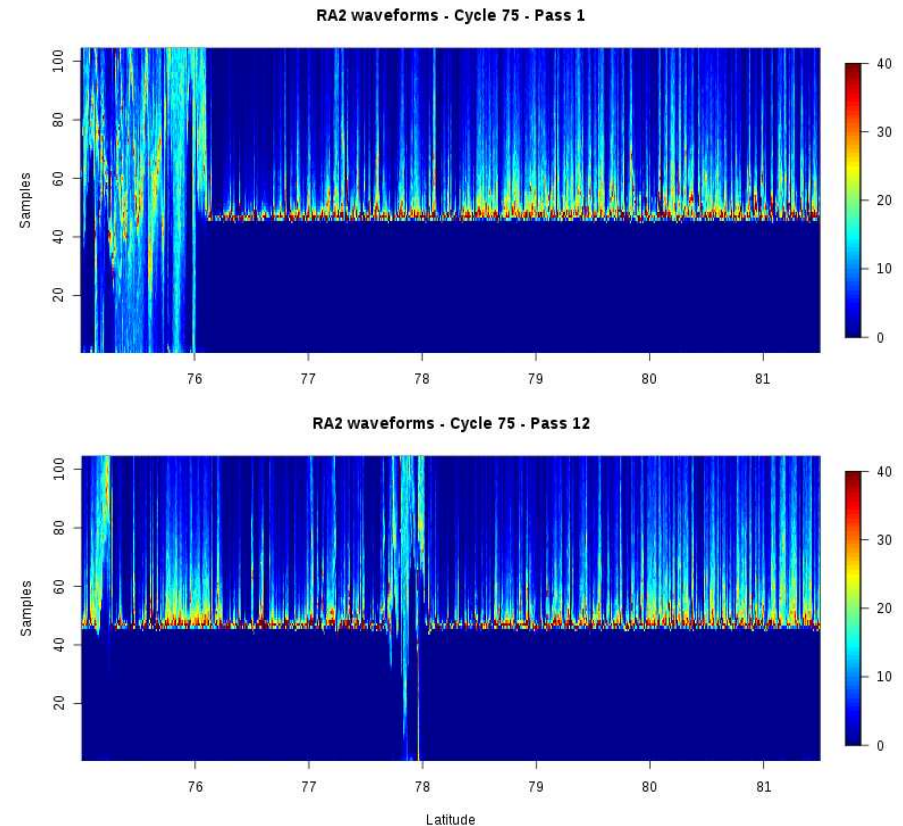
# Formes d'onde sur calotte polaire et glace de mer

→ Très grande diversité des formes d'onde sur glace

## Formes d'onde sur océan



## Formes d'onde sur glace



→ Cela induit une variété d'algorithmes de retracking plus ou moins performants selon le type de forme d'onde

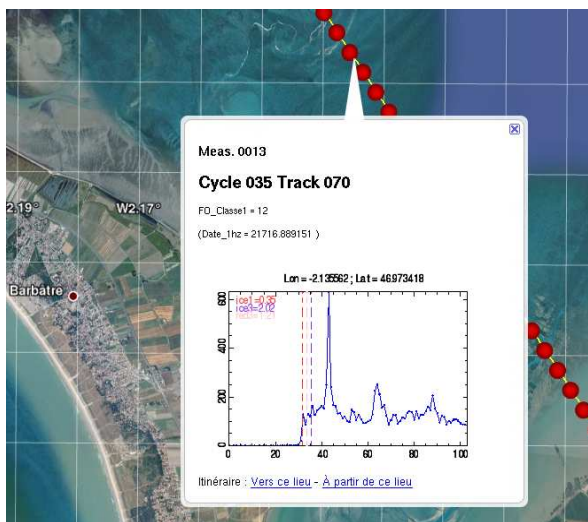
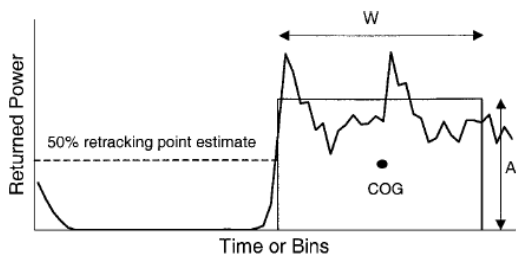
→ Le traitement des formes a pour but de fournir une estimation des paramètres géophysiques contenus dans la forme d'onde :

- Epoque (et par conséquent hauteur de la glace)
- Puissance, peakiness
- Pente du second plateau (lien potentiel avec le dépointage plateforme et/ou des phénomènes géophysiques de la surface)

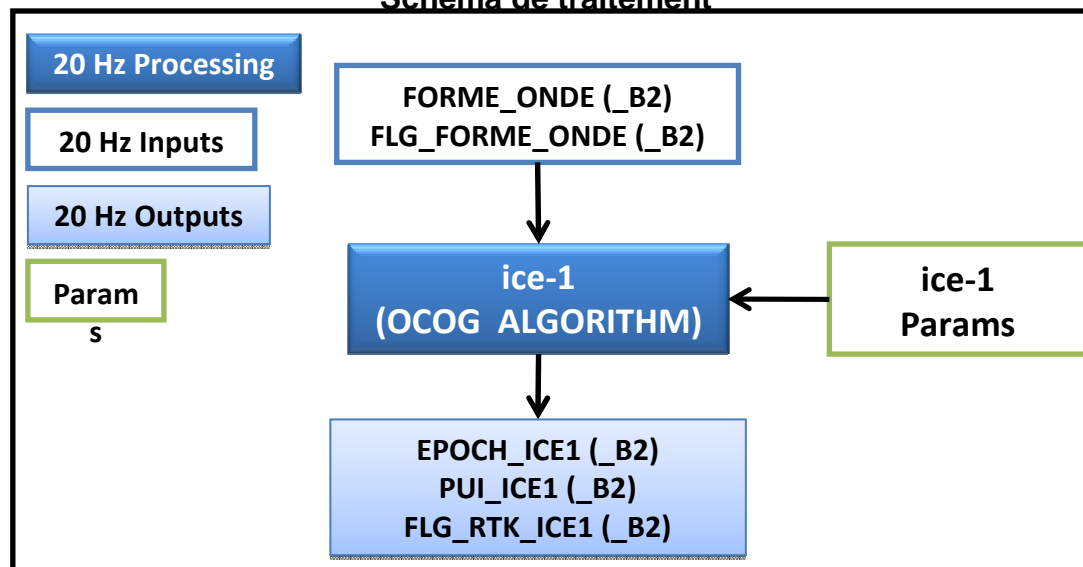
# Retracking ice 1

## Principe :

- Retracking géométrique basé sur le calcul du centre de gravité de la forme d'onde **non filtrée**.
- Le point retracké et le premier point dépassant k% du centre de gravité (k=0.3 sur Jason)
- Utilisé sur ENVISAT, J1, J2, CS-2



## Schéma de traitement



## Avantages :

- Grande robustesse (continuité des mesures)
- Retracking dédié à la glace et utilisé en côtier/hydro
- Simplicité et rapidité

## Inconvénients :

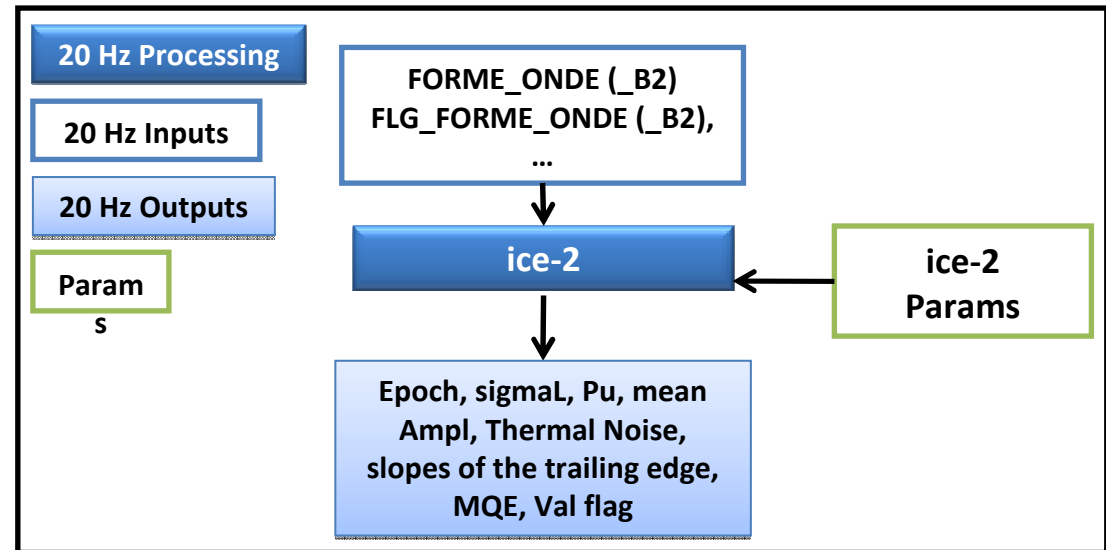
- Retracking géométrique et non physique
- Donne uniquement l'époque (pas de SWH)
- Dépend de la hauteur des vagues
- Paramétrage du seuil arbitraire
- Retracke le premier pic dépassant le seuil

# Retracking ice 2

## Principe :

- Retracking basé sur le retracking développé par le GRGS (B.Legresy) pour les calottes polaires sur ERS (Legresy, 1995) et sur RA-2 (Legresy, 2005)
  - Il est basé sur une méthode MC approximant autour du front de montée un modèle de Brown simplifié
  - L'ensemble des solutions possibles sont examinées (boucle grossière puis boucle fine). L'optimum est ensuite déterminé : celui qui minimise le résidu.
  - De façon décorrélée, les paramètres sur le second plateau sont ensuite estimés
  - Etude ESA à venir pour corriger les estimations issues de ice-2 .
- Deux types de corrections apportées (Legresy) : Connaissance a priori de la topographie de la surface et prise en compte de la rétrodiffusion de volume (amélioration du rms de 50 cm à 20 cm). Nécessite la prise en compte de mesures répétées sur la surface
- Utilisé sur ENVISAT et Alti-Ka (sans correction pour l'instant)

## Schéma de traitement



## Avantages / Inconvénients

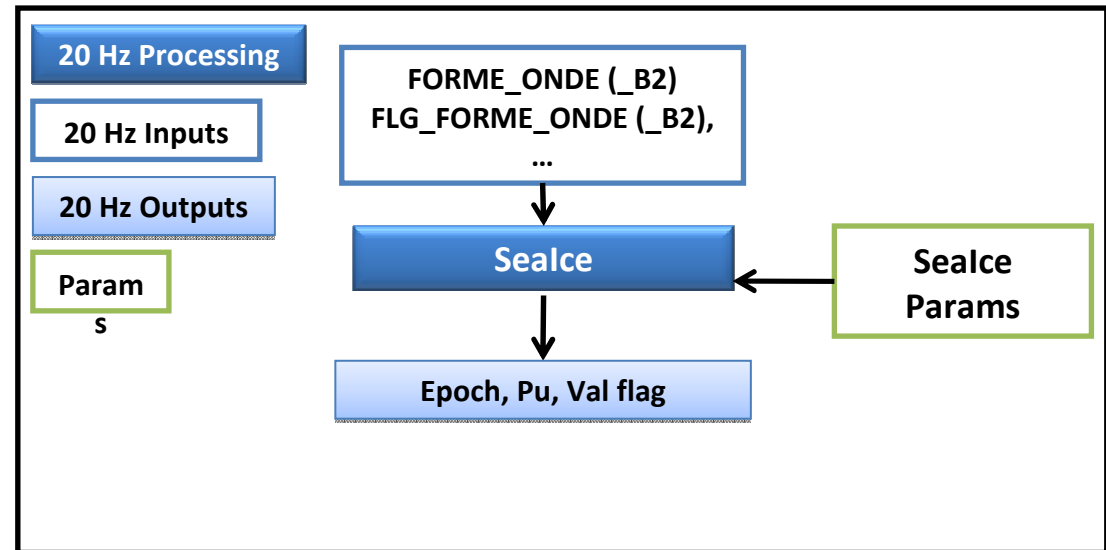
- Les sorties de cet algorithme ont été très peu regardées à CLS
- Algorithme pas du tout optimisé. Très lourd en temps calcul. Beaucoup de paramètres à régler. Etude à venir pour améliorer l'algorithme (ESA).

# Retracking Sealce

## Principe :

- **Retracking EDP** (Earliest Detectable Part). Ce retracking consiste à faire une évaluation du bruit thermique et ensuite de détecter le premier point dont la puissance correspondante vaut x fois ce bruit thermique. Une variante de cette méthode consiste à détecter le premier point correspondant à x % de la puissance maximum de la forme d'onde. x vaut en général 50. Ce retracking est appelé **Sealce** dans les chaînes de traitement Envisat. Les sorties de cet algorithme sont les paramètres « époque » et « puissance ».
- Utilisé sur ENVISAT et Alti-Ka

Schéma de traitement



## Avantages / Inconvénients

- Les sorties de cet algorithme ont été très peu regardées à CLS

# Retracking MLE3/4 (Océan, Jason-1/2, RA-2)

---

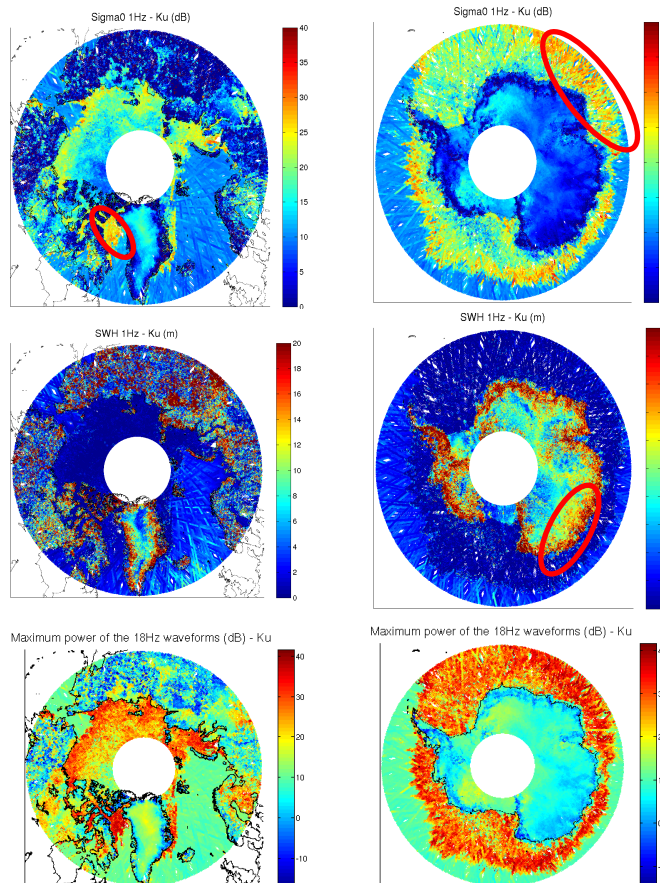
## Historique :

- Jason-1** → MLE3 avec modèle de Brown (ordre 1) : algorithme **Ocean-2**
  - Suite aux pbs de dépointages, développement d'un modèle développé à l'ordre 2 et passage au MLE4 pour estimer le dépointage : algorithme **Ocean -3**
  
- Jason-2** → MLE4 pour être homogène à Jason-1 et profiter des améliorations de performances sur les échos perturbés par la pluie et les blooms
  - Pb d'estimation du sigma0 (très lié à la pente du second plateau)
  - Recommandation OSTST d'avoir en parallèle un MLE4 (pour le range, le SWH et le dépointage) et un MLE3 (pour le sigma0)
  - MLE3 et MLE4 sont réalisés avec l'algorithme **Ocean-3**
  
- RA-2** → MLE3 avec modèle de Brown (ordre 1) : algorithme **Ocean-1 (LM)**
  - MLE4 testé sur données RA-2 (résultats présentés à Bergen)
  
- Alti-Ka** → MLE4 (idem Jason-2) : algorithme **Ocean -3**



# Classification des formes d'onde (Etude CLS pour glace de mer et calottes polaires : L. Amarouche )

Le but est de séparer les différents types d'échos pour pouvoir les retracker avec la méthode la plus adaptée.  
Les paramètres issus du retracking ocean permettent de sélectionner les zones d'intérêt



Sigma0 et std\_Sigma0  
**Fortes valeurs de sigma0**

SWH et std\_SWH  
Fournit de l'information sur l'ondulation de surface et la rétrodiffusion de volume  
**Forte valeur sur les margins**

Puissance max : principalement sea-ice (>30 dB)

# Classification des formes d'onde (Etude CLS pour glace de mer et calottes polaires : L. Amarouche )

---

Cependant, il est préférable de s'affranchir des paramètres issus du rtk ocean (utile simplement pour la détermination des zones et la constitution des BD)

On ne garde que les paramètres issus des WF 18 Hz

- Elevation, Ice-2 Sigma0, Leading Edge width, Trailing Edge 1 slope, Trailing Edge 2 slope (Ku et S bands),
- Maximum and total power of the WF, peakiness, Slope of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> trailing edges, Global slope of the trailing edge (Ku and S bands),
- Brightness temperatures 23GHz and 36GHz

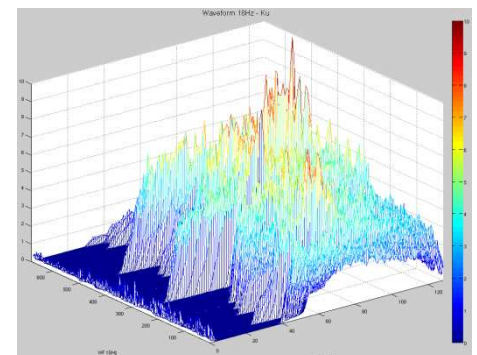
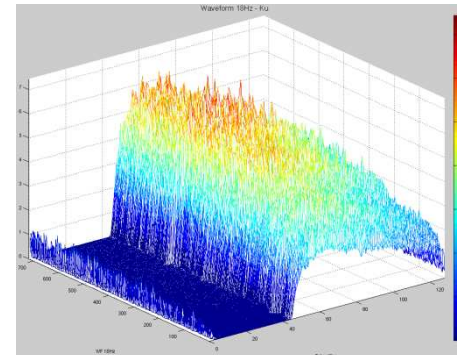
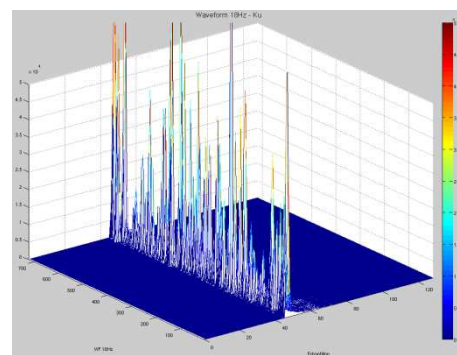
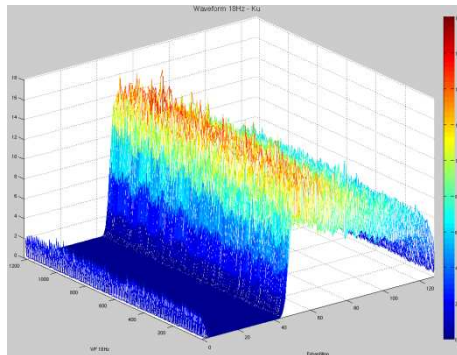
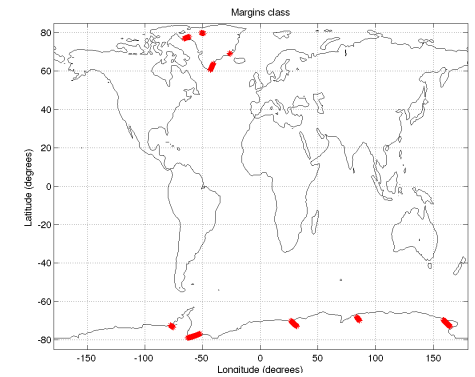
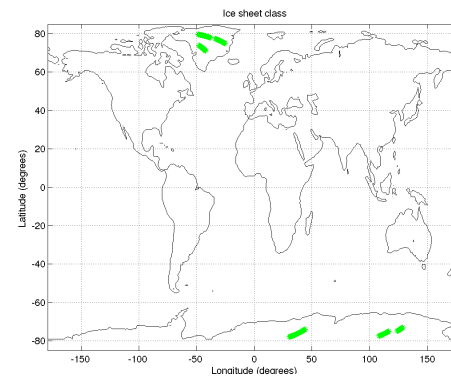
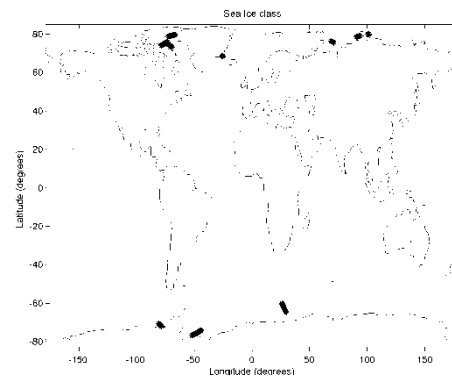
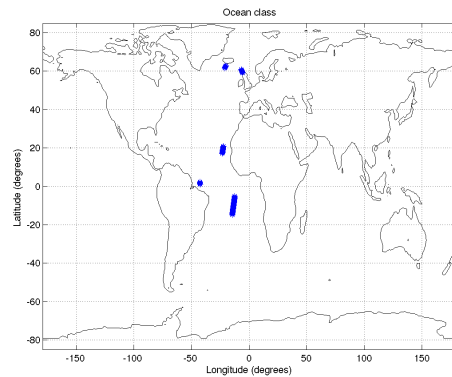
Méthodes de classification classiques (supervisées)

Analyse en composante principale

K plus proches voisins

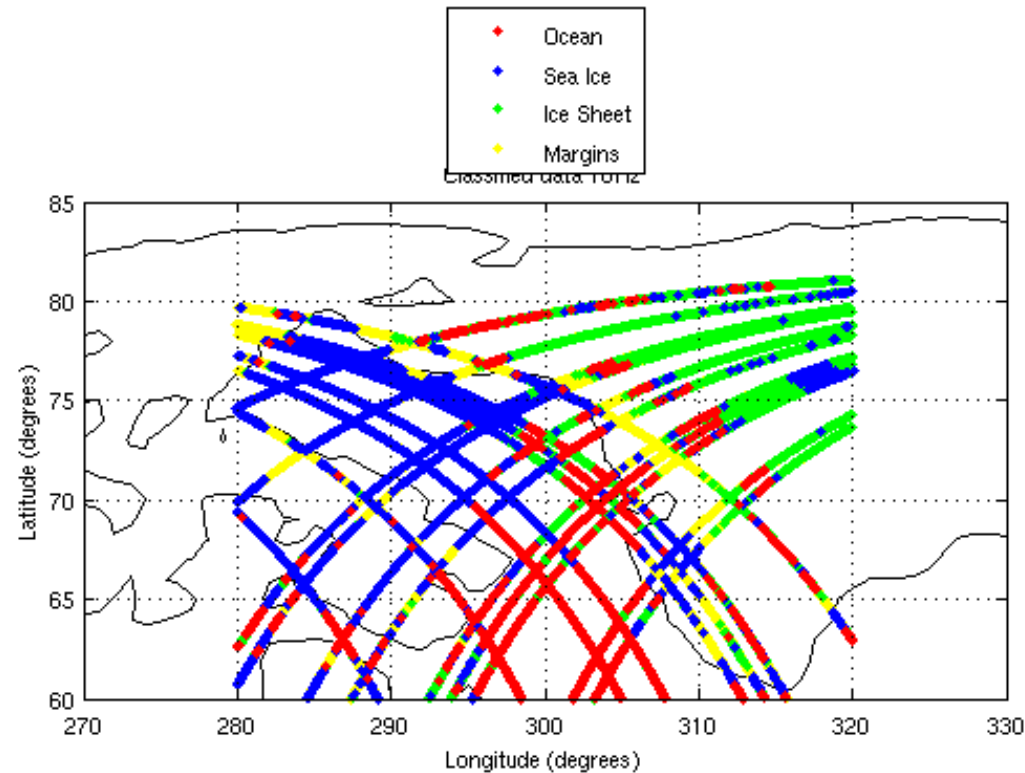
# Classification des formes d'onde (Etude CLS pour glace de mer et calottes polaires : L. Amarouche )

- 4 classes: ocean, sea-ice, ice-sheet, margins



# Classification des formes d'onde (Etude CLS pour glace de mer et calottes polaires : L. Amarouche )

Résultats de classification en bande Ku



# Retracking IceNew (Etude CLS pour glace de mer et calottes polaires : L. Amarouche )

---

## Développement d'un nouveau modèle de forme d'onde pour la glace de mer

- Modèle de forme d'onde général : convolution de trois termes

$$S(t) = \text{FSSR}(t) * \text{RI}(t) * \text{PDF}(t)$$

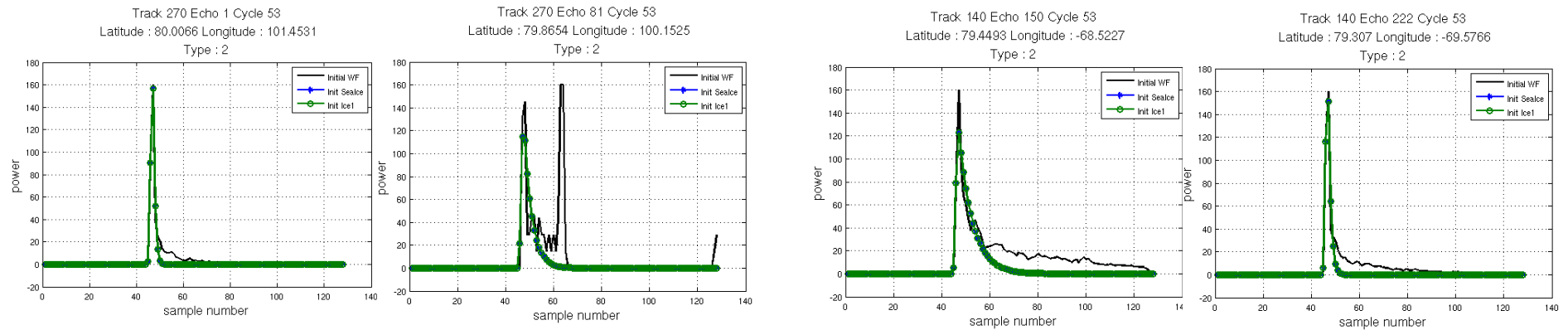
- FSSR s'écrit par l'utilisation de l'équation radar 
$$S(t) = \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} \int_{\text{Surface}} \frac{\delta(t-2r/c) G^2(\theta) \sigma_0(\theta)}{R^4} dA$$
- Brown suppose que  $\sigma_0$  ne dépend pas de l'angle d'incidence et considère le dépointage de l'antenne
- Dans le cas qui nous intéresse, nous ne considérons pas le dépointage (difficulté de le séparer des phénomènes affectant le plateau) et utilisons un modèle de  $\sigma_0$  variable en fonction de l'angle d'incidence.
- Plusieurs modélisations de  $\sigma_0$  existent. En puissance de cosinus, en exponentielle, ...
- Nous utilisons ici une écriture en exponentielle (similaire à l'optique géométrique)
- La formulation est similaire de celle à la base du modèle de Brown

# Retracking IceNew (Etude CLS pour glace de mer et calottes polaires : L. Amarouche )

## Résultats

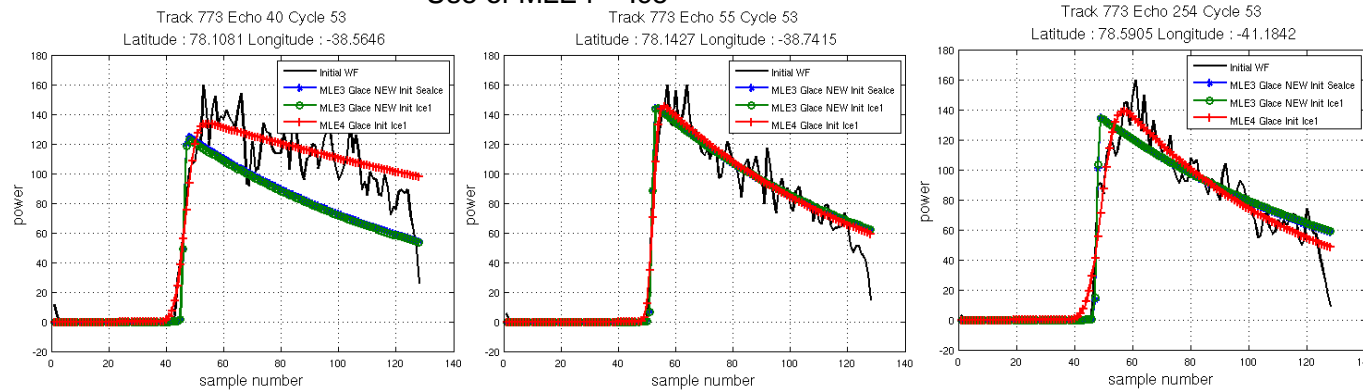
### Sea-ice waveforms :

high peakiness and sharp form,  
no estimation of SWH because low values can cause divergence  
Use of MLE3 « Ice »



### Ice-sheet waveforms:

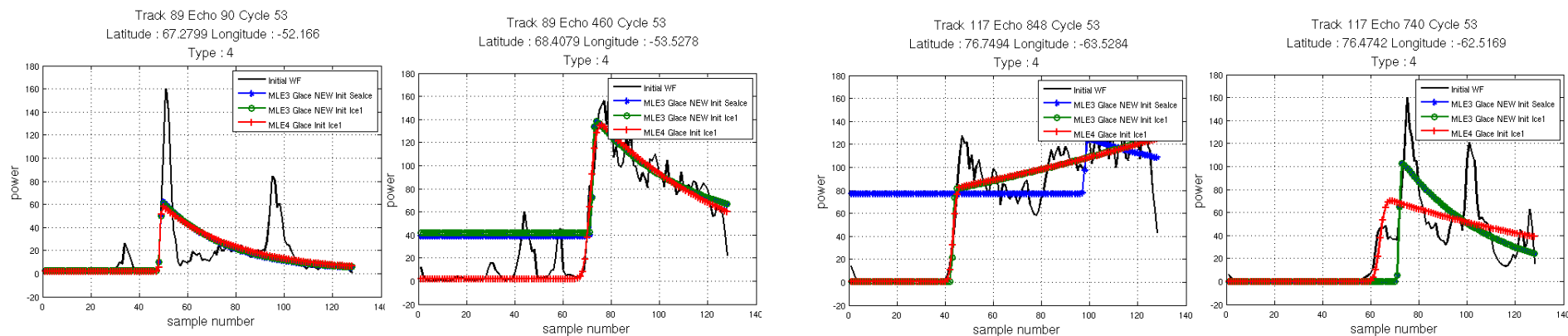
Use of SWH to have information on the undulations of the surface and the volume backscatter  
Use of MLE4 « Ice »



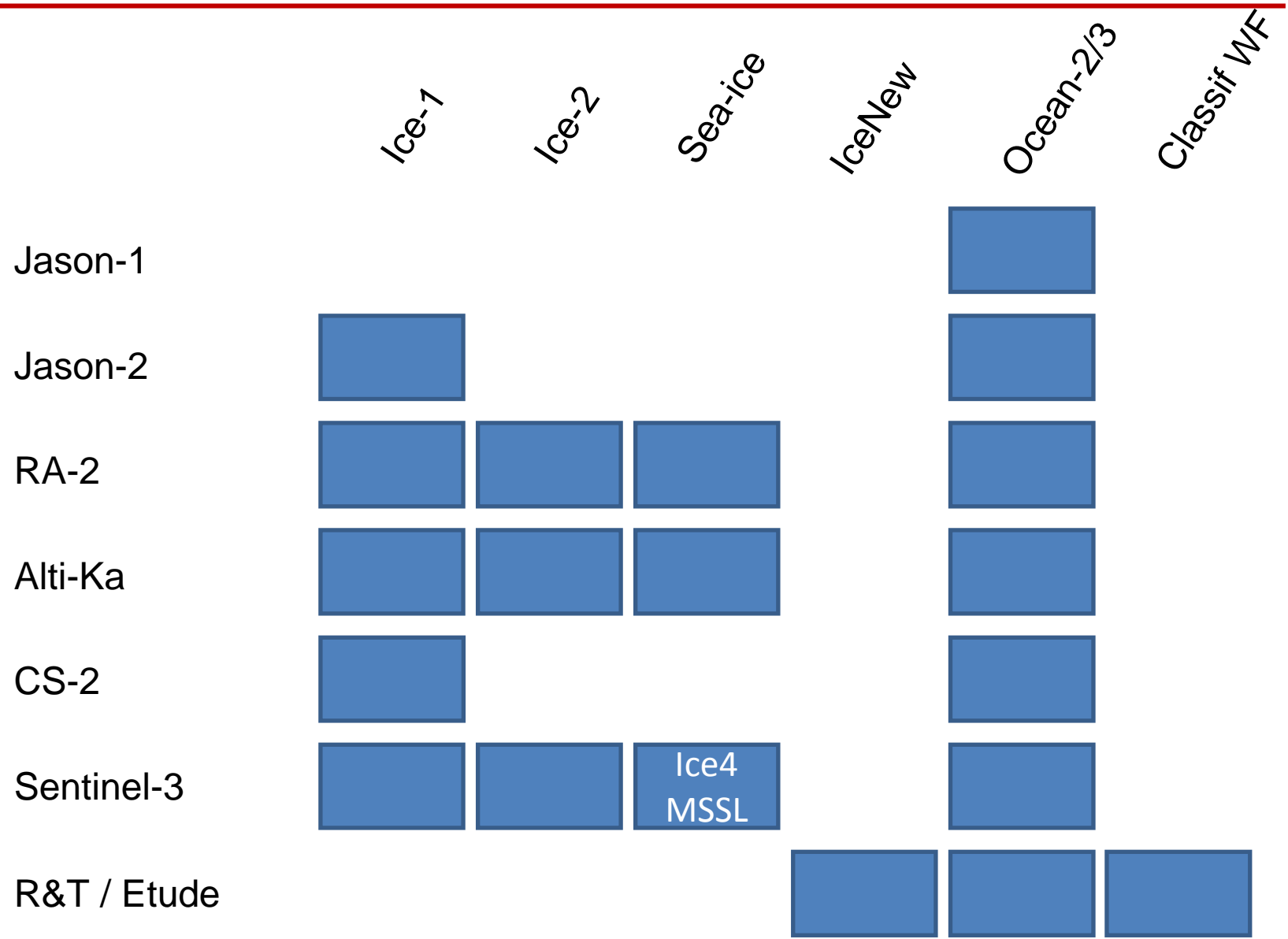
# Retracking IceNew (Etude CLS pour glace de mer et calottes polaires : L. Amarouche )

## Résultats Margins waveforms

High variability of the echoes encountered  
Use of Both MLE3 and MLE4 « Ice »



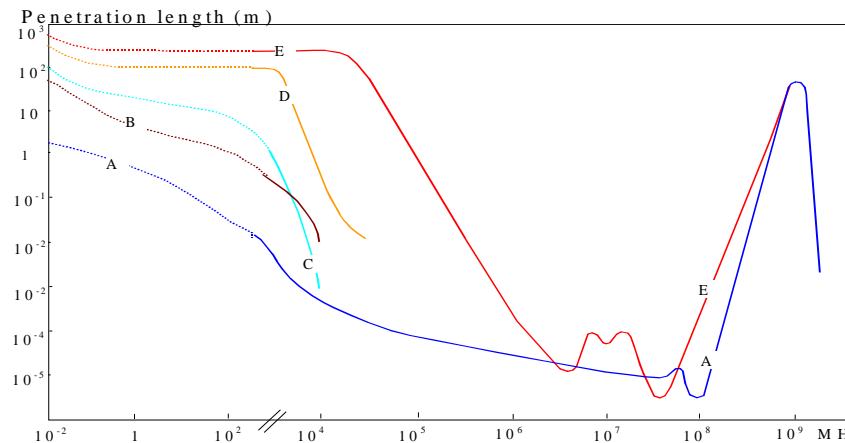
# Retracking implémentés





# Conclusions

- Améliorer la classification des signaux
- Développer des méthodes d'estimation adaptées
- Quid de la pénétration en bande Ka ?



A : sea water  
B : humid soil  
C : fresh water  
D : very dry soil  
E : ice

- Implémenter les méthodes dans les traitements opérationnels et les produits
- Analyser les formes d'onde doppler
  - Cryosat-2 SIRAL et notamment echos SAR/SARIn
  - Adaptation aux données Sentinel-3
  - Adaptation aux données AltiKa SARAL data, en prenant en compte les caractéristiques de Saral
    - Utilisation des données plus haut débit sur zones hétérogènes
    - Fournir des informations à plus haute fréquence de la surface survolée dans les produits opérationnels