



Pénétration et réflexion à l'interface glace/eau sur les lacs gelés (et mesure directe de l'épaisseur de glace ?!)

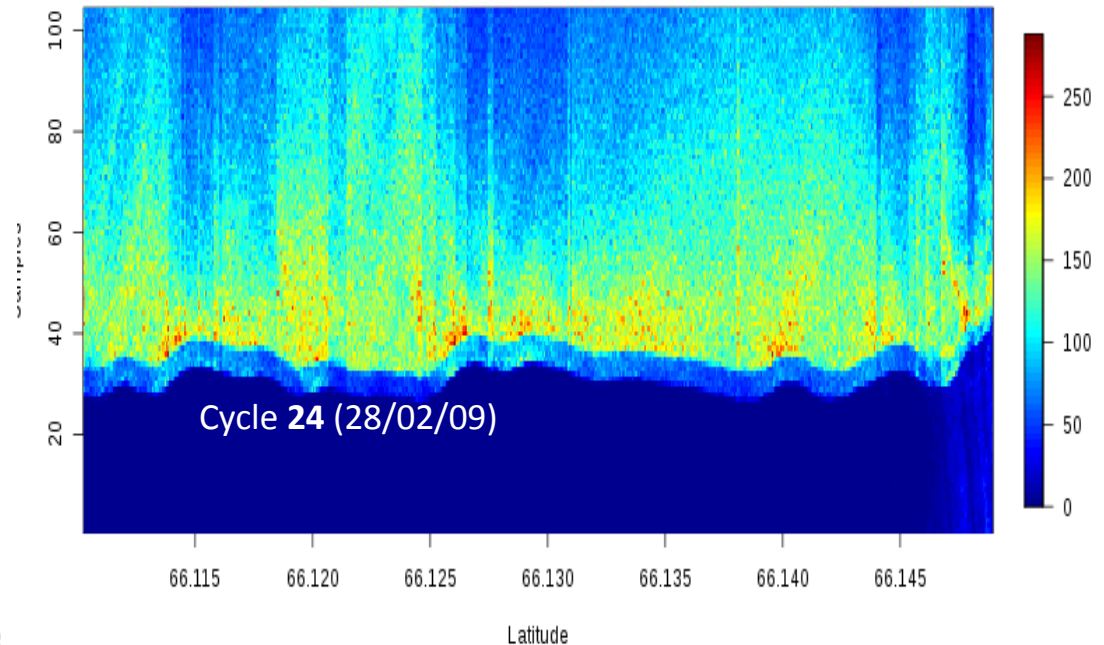
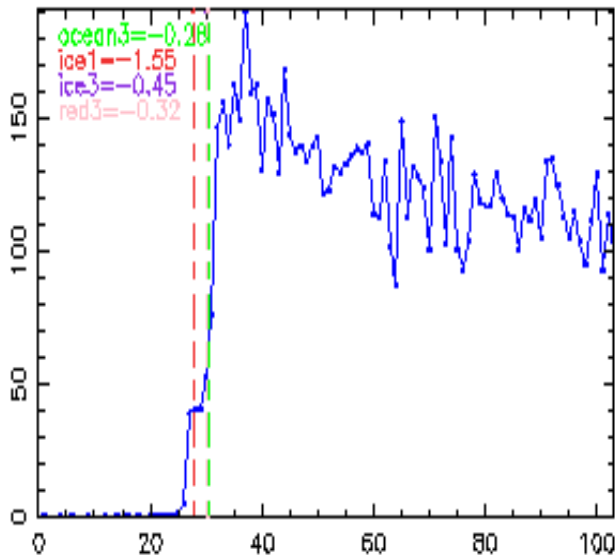
Franck MERCIER
CLS/DOS

Atelier « Altimétrie & Glaciologie » 25 juin 2013



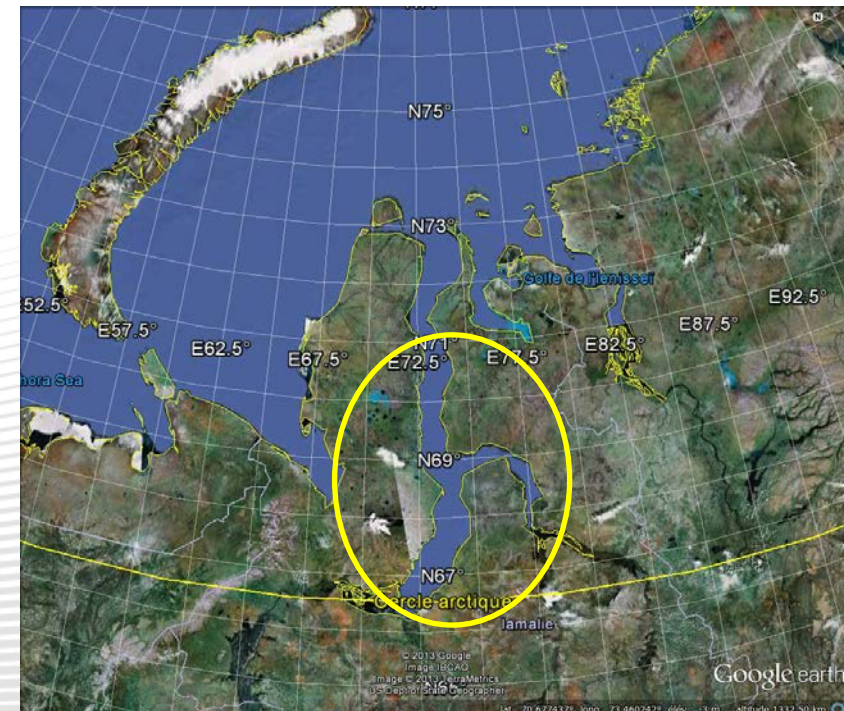
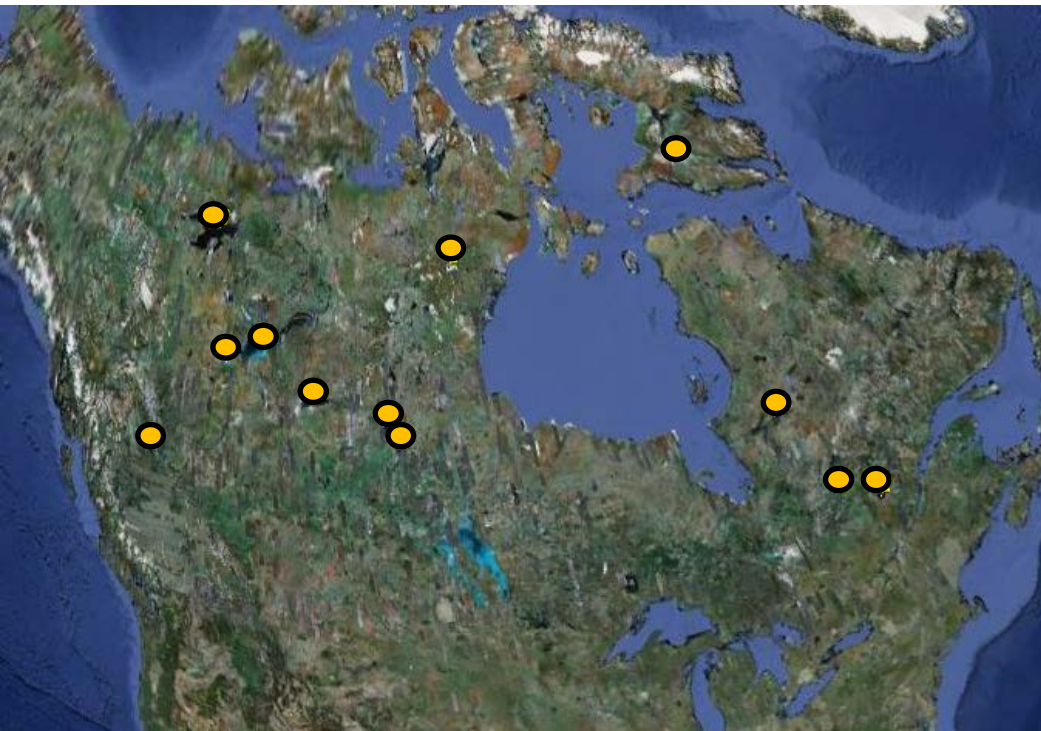


- Stage Elfie Leguay à CLS en 2009 (altimétrie sur Grands Lacs Amérique Nord)
- PISTACH Jason2 → nouvelle base de données (+ formes ondes)
- Principale observation: formes d'ondes « bizarres » pouvant permettre une mesure directe de l'épaisseur de glace ?





- Signal observé sur plusieurs lacs d'eau douce pendant leur période de gel
- Signal observé sur le Golfe de l'Ob (eau douce/saline)
- Signal PAS observé sur glace de mer ... (pas encore?)





- Signal de plus en marqué au cours de l'hiver
- Signal disparaît brutalement au printemps
- Signal observé chaque année
- NB: sur un exemple, le signal a disparu puis réapparu au cycle suivant (fin printemps ...)

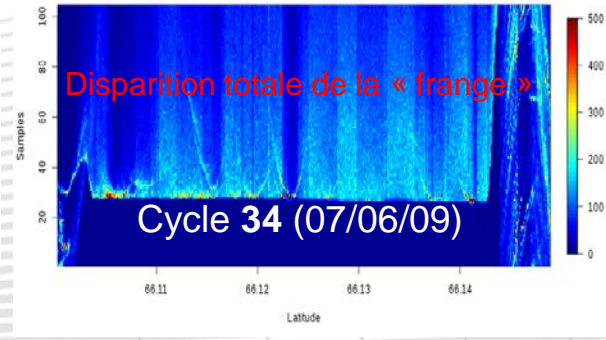
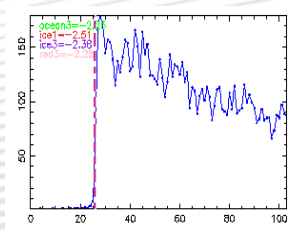
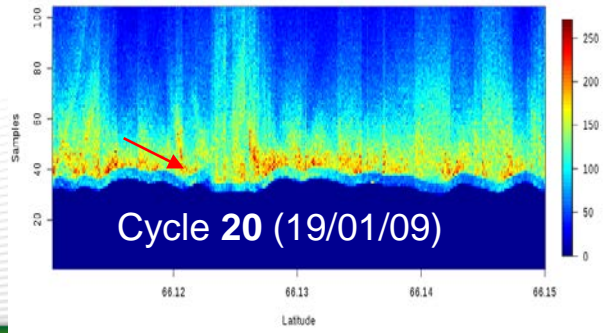
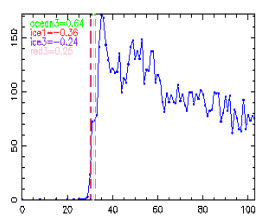
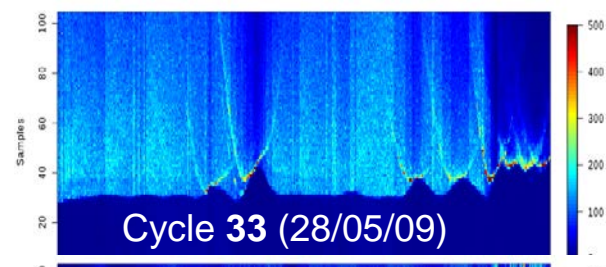
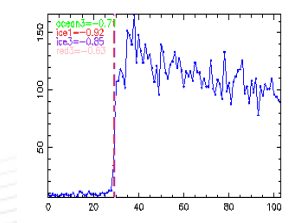
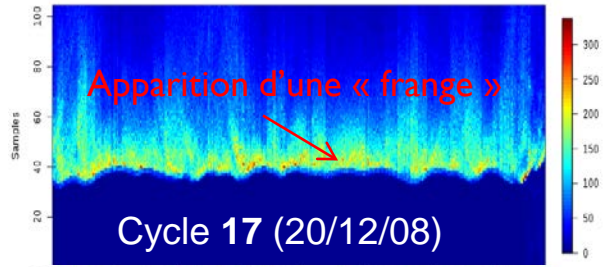
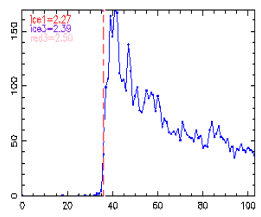
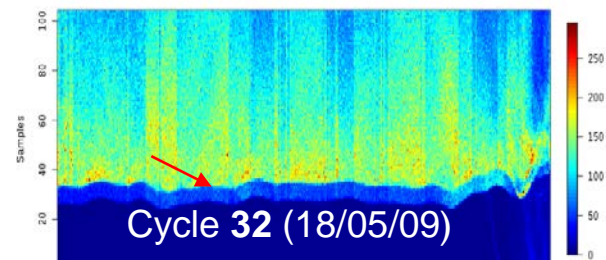
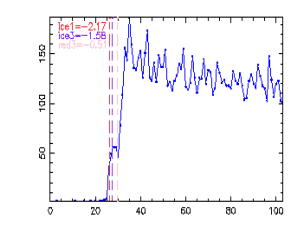
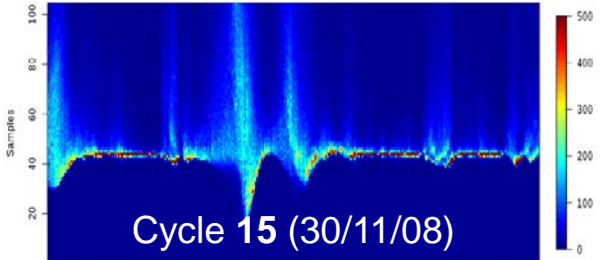
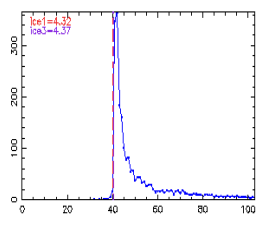
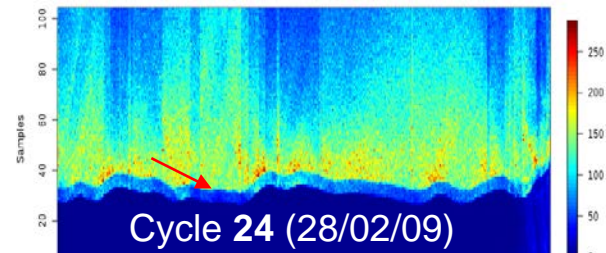
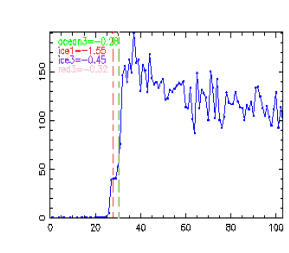
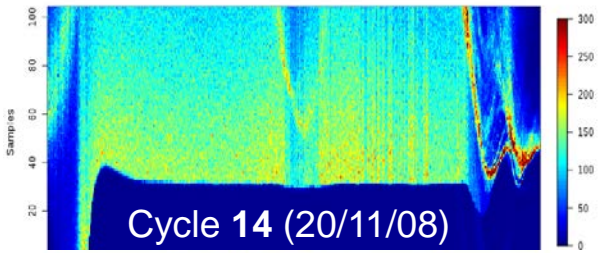
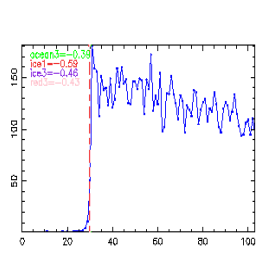


Echo individuel

FO en 2D le long de la trace

Echo individuel

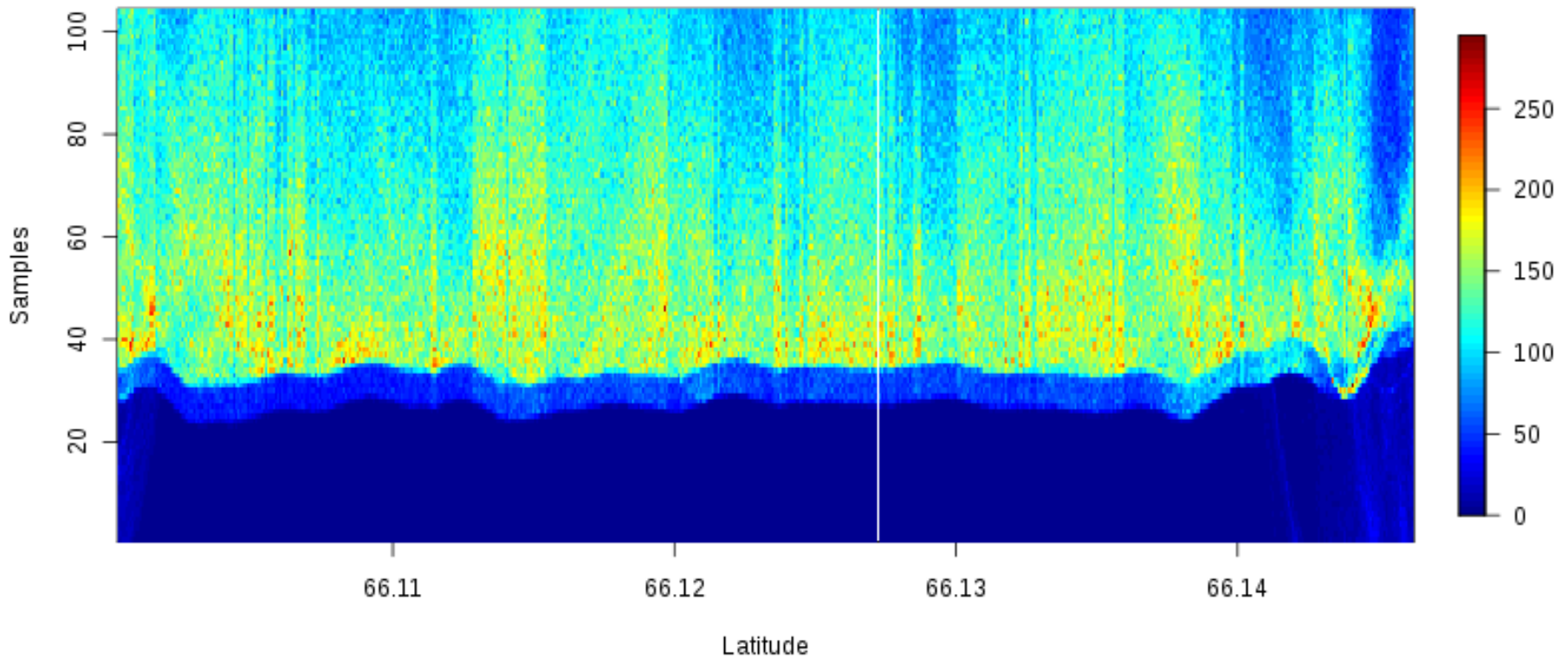
FO en 2D le long de la trace





- Signal observé en **bande Ku** par Jason-2

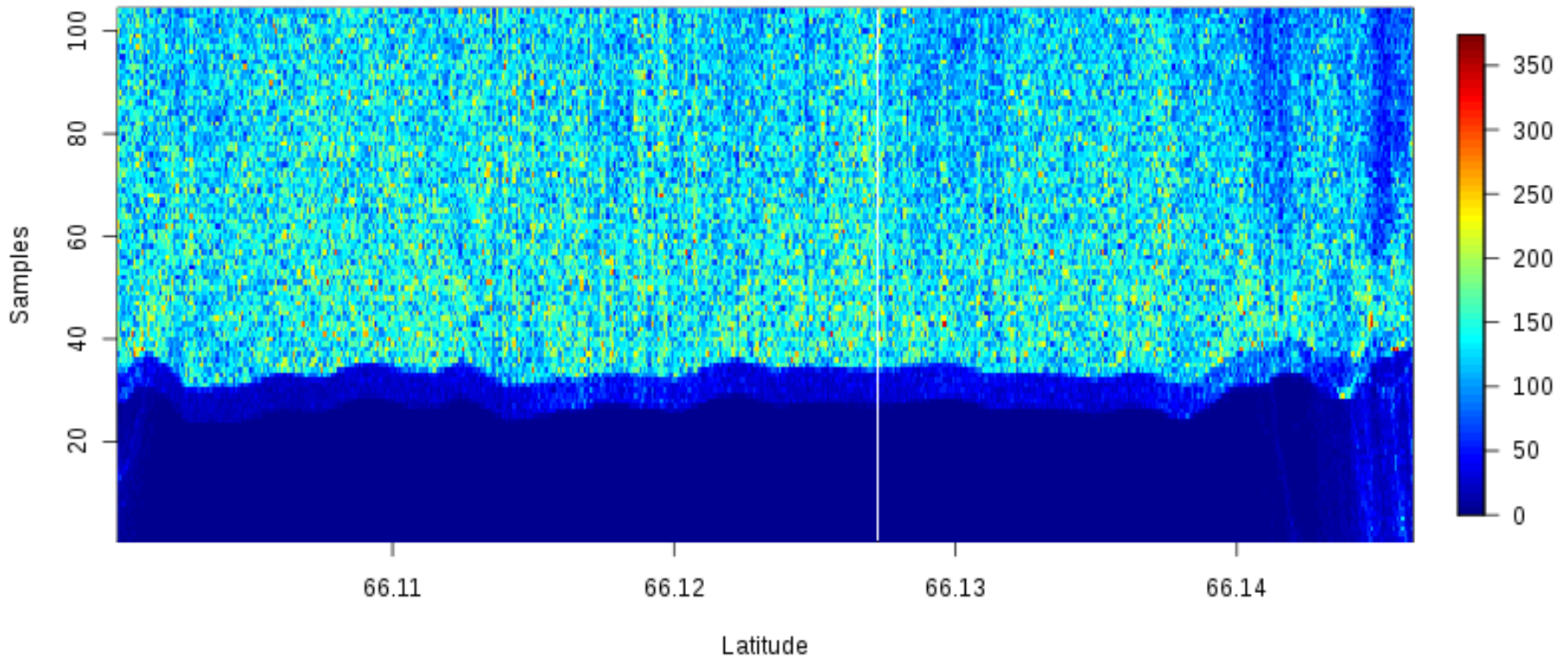
GreatBearLake Track73 Cycle32





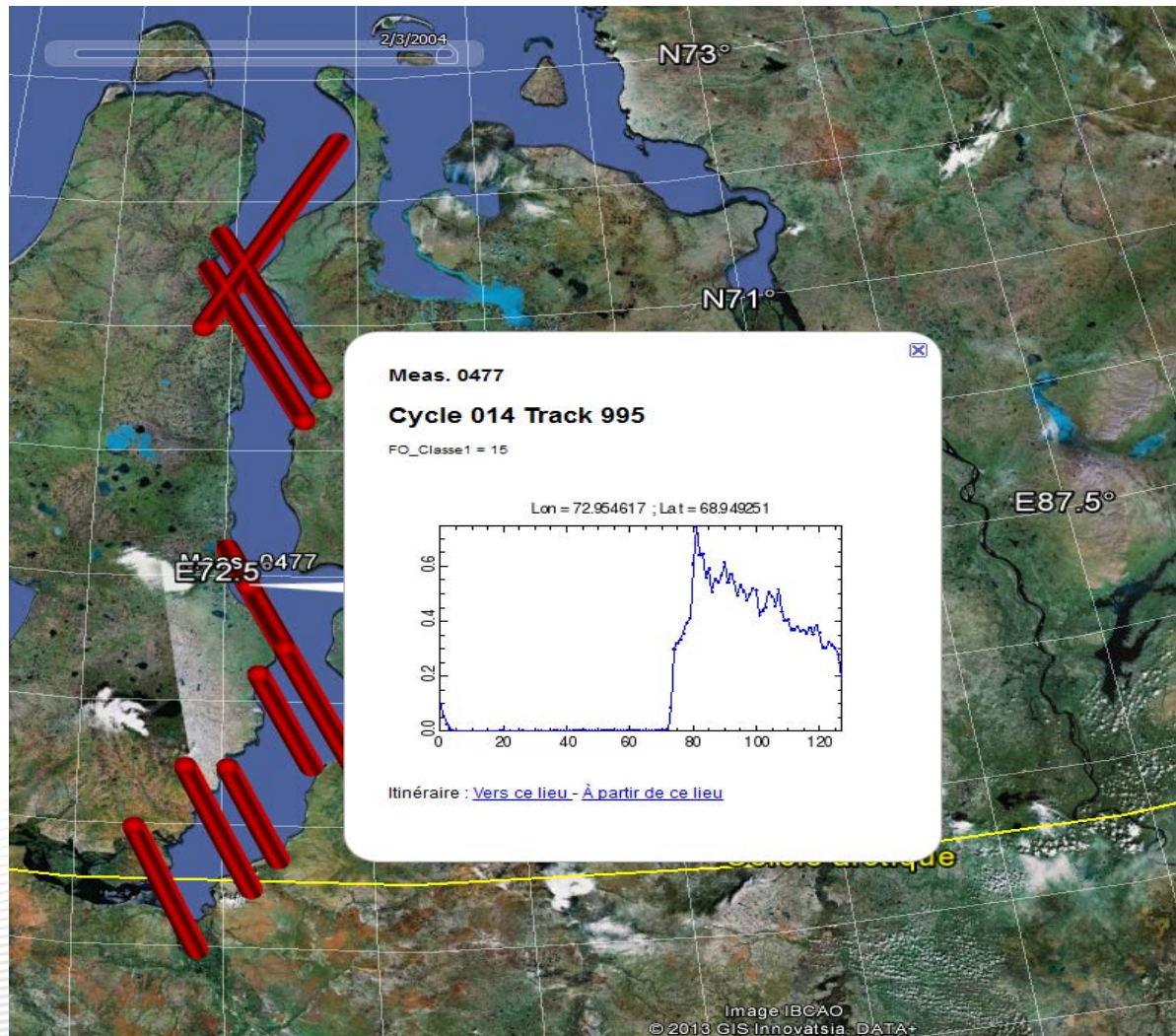
- Signal observé en **bande C** par Jason-2

GreatBearLake_B2 Track73 Cycle32





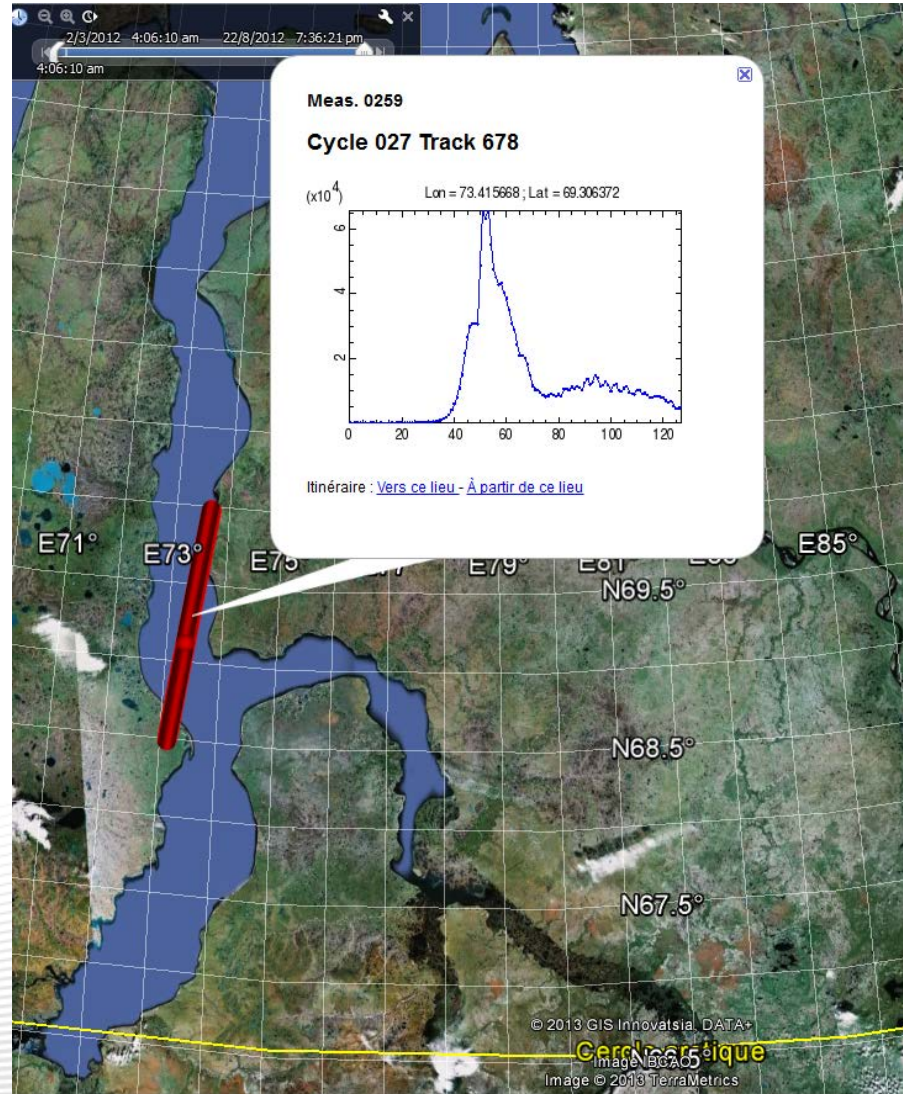
- Signal observé en **bande Ku** par Envisat

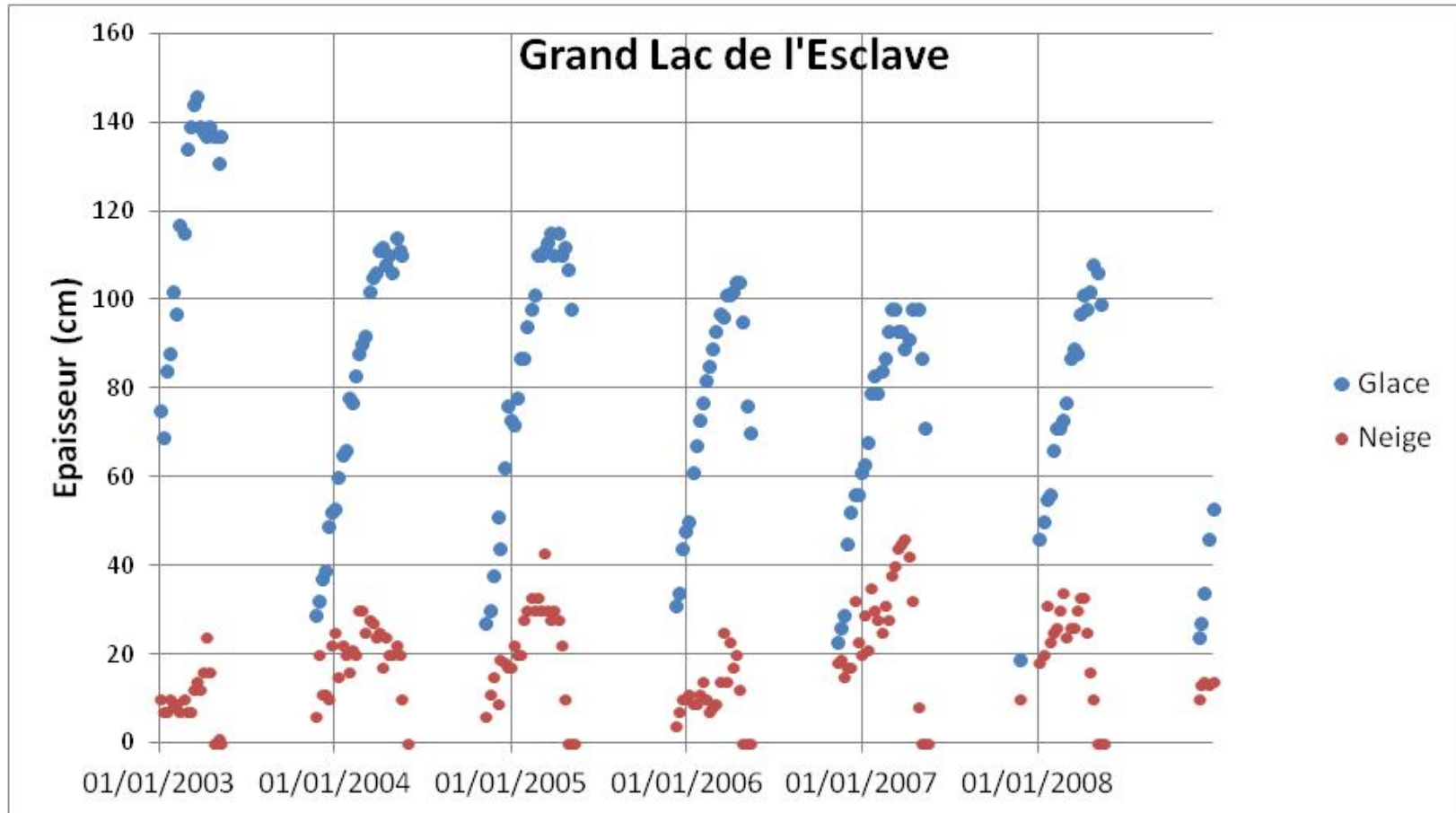


Contexte de mesure / Observation



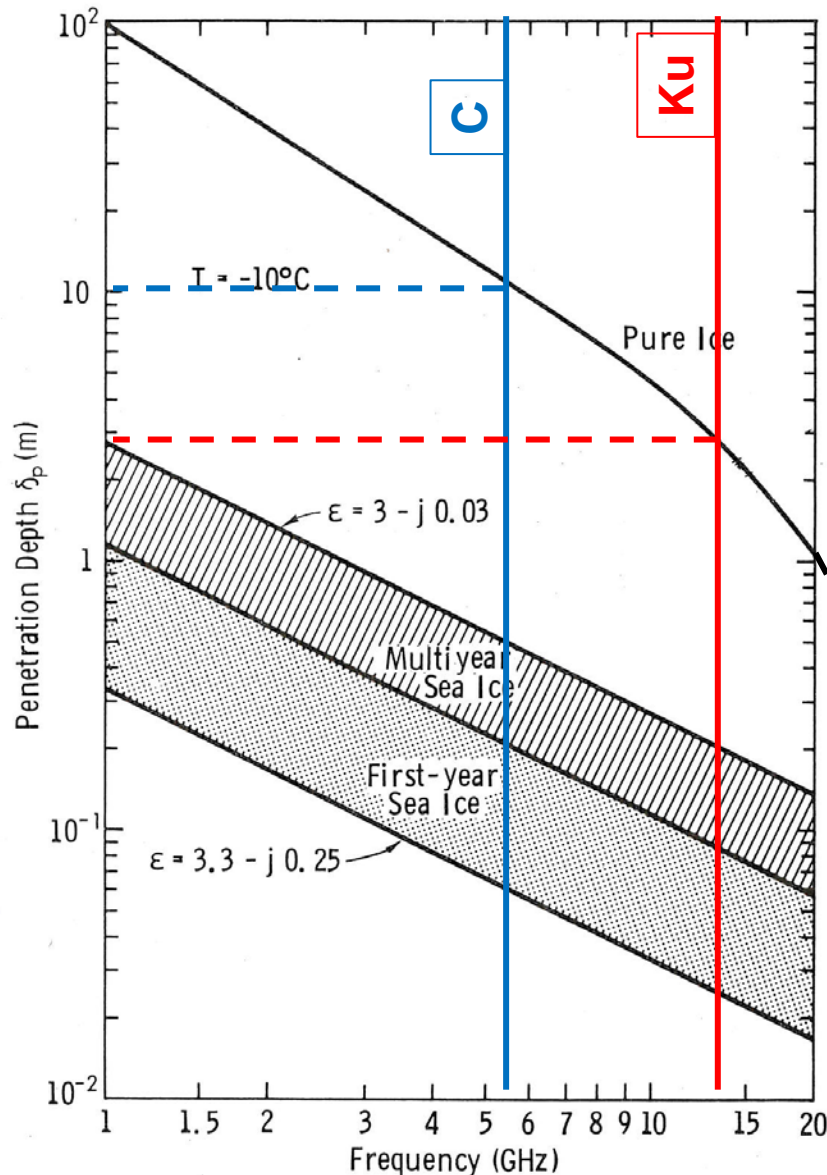
- Signal observé en **bande Ku** par Cryosat (mode SAR)





- Augmentation progressive de l'épaisseur de glace de décembre à mai
- Epaisseur de neige limitée à 30 à 40 cm maxi
- Fonte rapide en mai (neige puis glace)

Théorie: Pénétration d'une onde radar dans la glace (Ulaby, 1986)



Glace pure:

- Pénétration **Bande C**: ~ 10 m
- Pénétration **Bande Ku**: ~ 3 m
- Hypothèse de la glace pure ~ acceptable pour les lacs d'eau douce gelés

→ En théorie (1), « ça traverse ! »

→ Théorie (2): la réflexion la plus puissante se situe à l'interface glace-eau

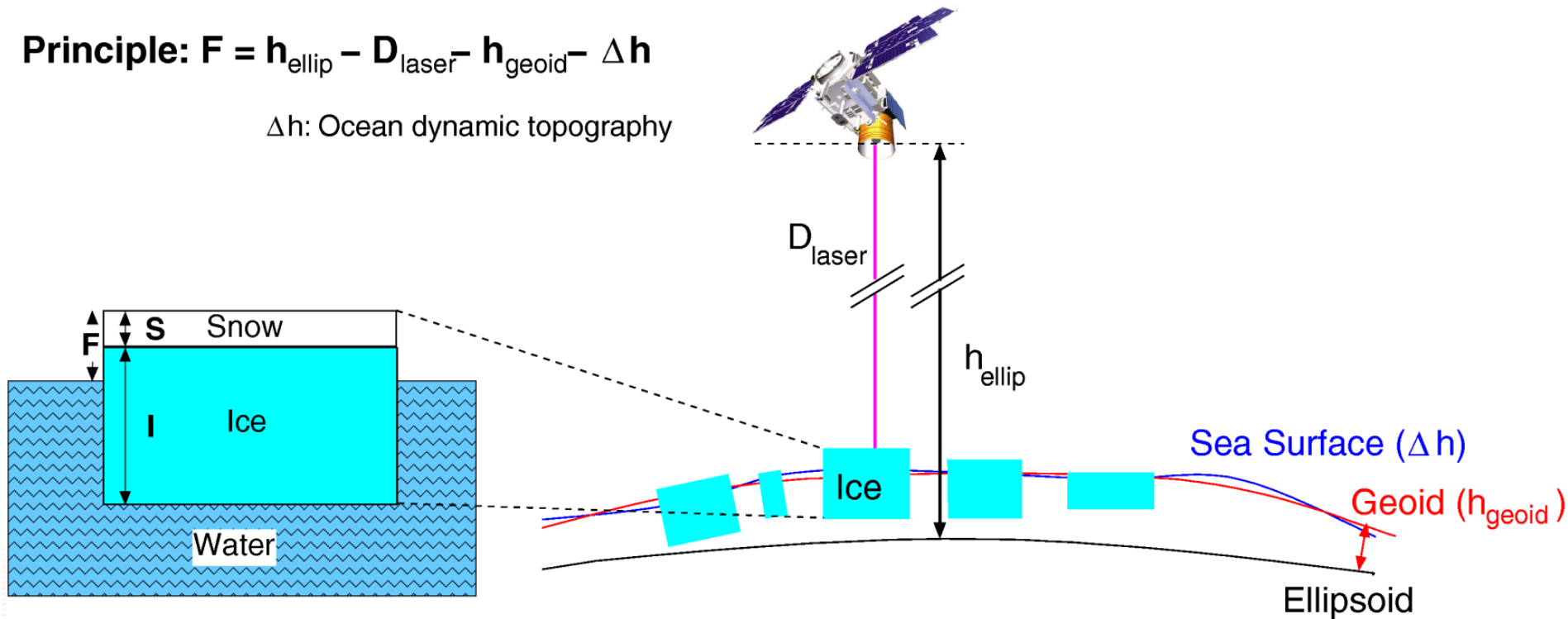
→ Mesure de l'épaisseur de glace?



Cryosat: calcul indirect de l'épaisseur de glace par mesure du « **freebord** » (différence de hauteur entre une mesure sur l'eau et une mesure proche sur la banquise)

Principe: $F = h_{\text{ellip}} - D_{\text{laser}} - h_{\text{geoid}} - \Delta h$

Δh : Ocean dynamic topography

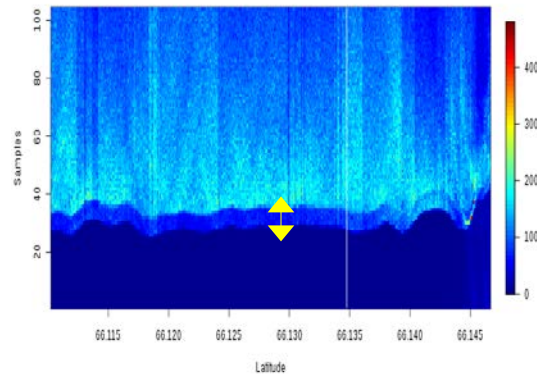


Hypothèse

L'onde radar de l'altimètre traverserait la neige et la glace

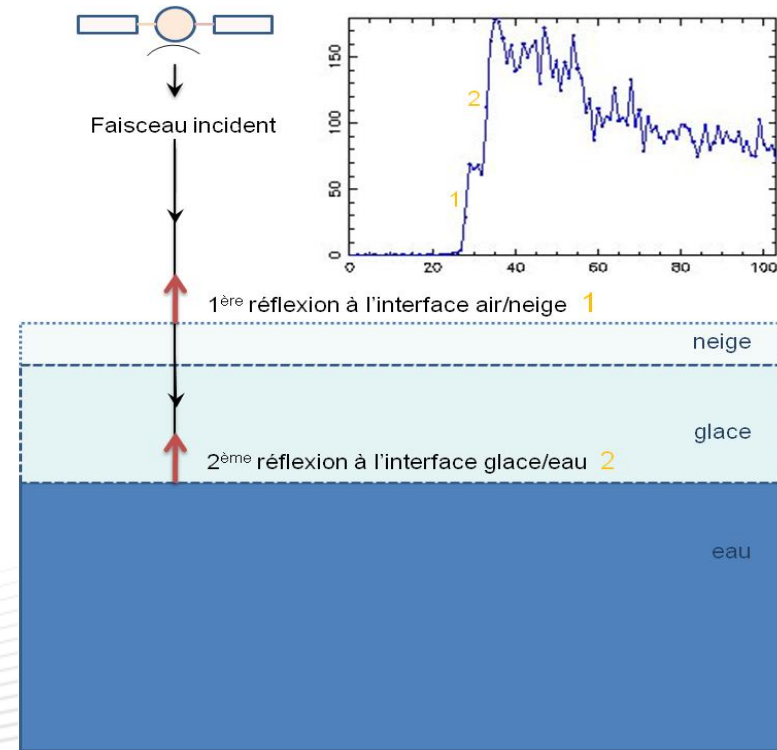
- 1^{er} front de montée = réflexion **SUR** la neige/glace
- 2^{ème} front de montée = réflexion sur l'eau **SOUS** la glace

➔ Mesure ~DIRECTE de l'épaisseur de glace sur



$$\text{Epaisseur} = v_{\text{glace}} \times \Delta t_{1-2}$$

$$v_{\text{glace}} = 1.69 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

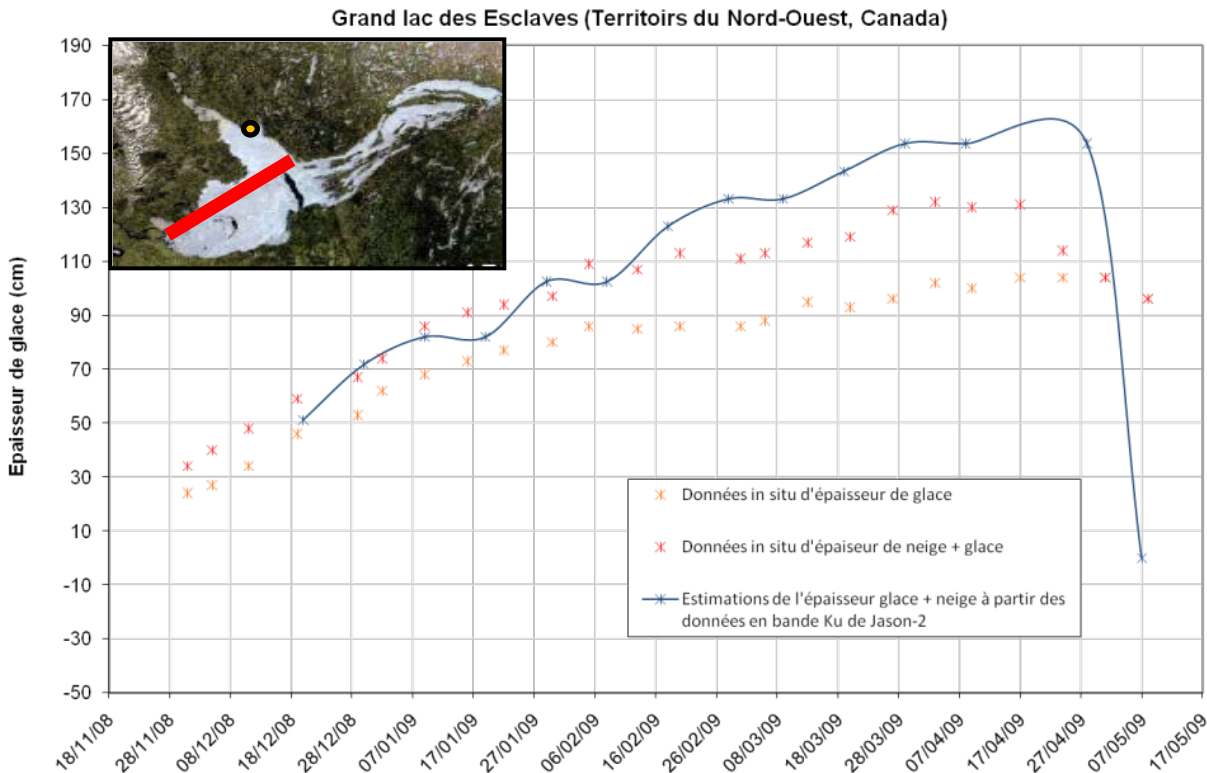


1 porte de 3.125 ns correspond à environ 26 cm dans la glace

Estimations de l'épaisseur de glace sur le Grand Lac de l'Esclave



Première estimation de l'épaisseur de glace sur le Grand Lac de l'Esclave



Comparaison entre nos premières estimations (en bleu) et les mesures *in situ* à la station de Yellowknife de **glace** (orange) et de **glace + neige** (rouge) (Données Environnement Canada)

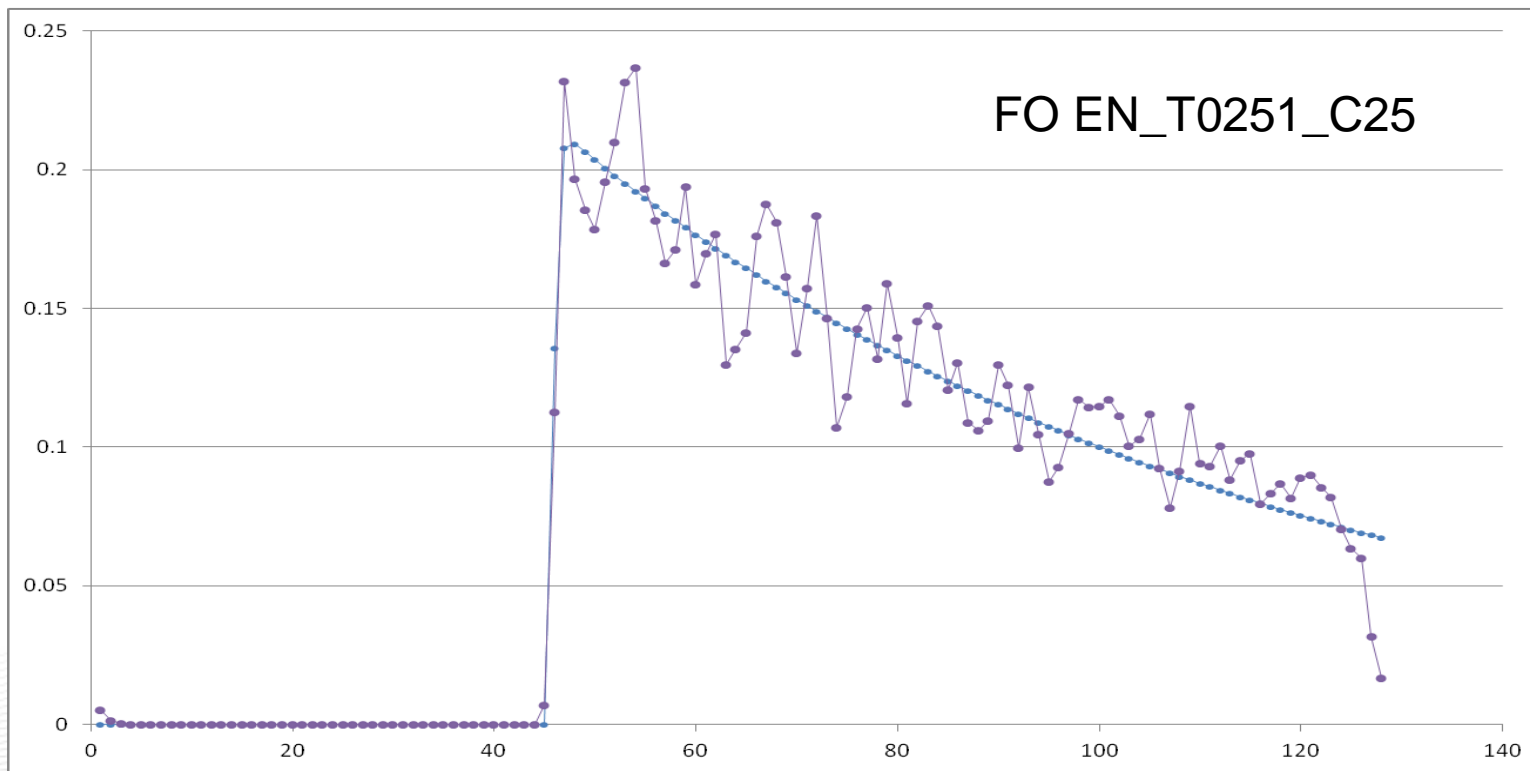
- L'amplitude de ce signal ne varie pas avec la pluviométrie (neige) du lieu.
- Ce signal n'a pas été observé sur la glace de mer (baie d'Hudson) et les terres émergées.

QUESTIONS

- Est-ce la bonne interprétation? (autres propositions ?)
- Archive de 20 ans de mesures de l'épaisseur de glace inexploitée ? (Dommage ...)
- Cela peut-il fonctionner sur la glace de mer ? (utilité +++)
- Bon contexte d'étude pour étudier l'interaction du signal altimétrique avec la glace/neige



$$\text{Brown1} = \frac{P_u}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{kT_s - \tau - \alpha \sigma_c^2}{\sqrt{2} \sigma_c} \right) \right] \exp \left[-\alpha \left(kT_s - \tau - \frac{\alpha \sigma_c^2}{2} \right) \right]$$

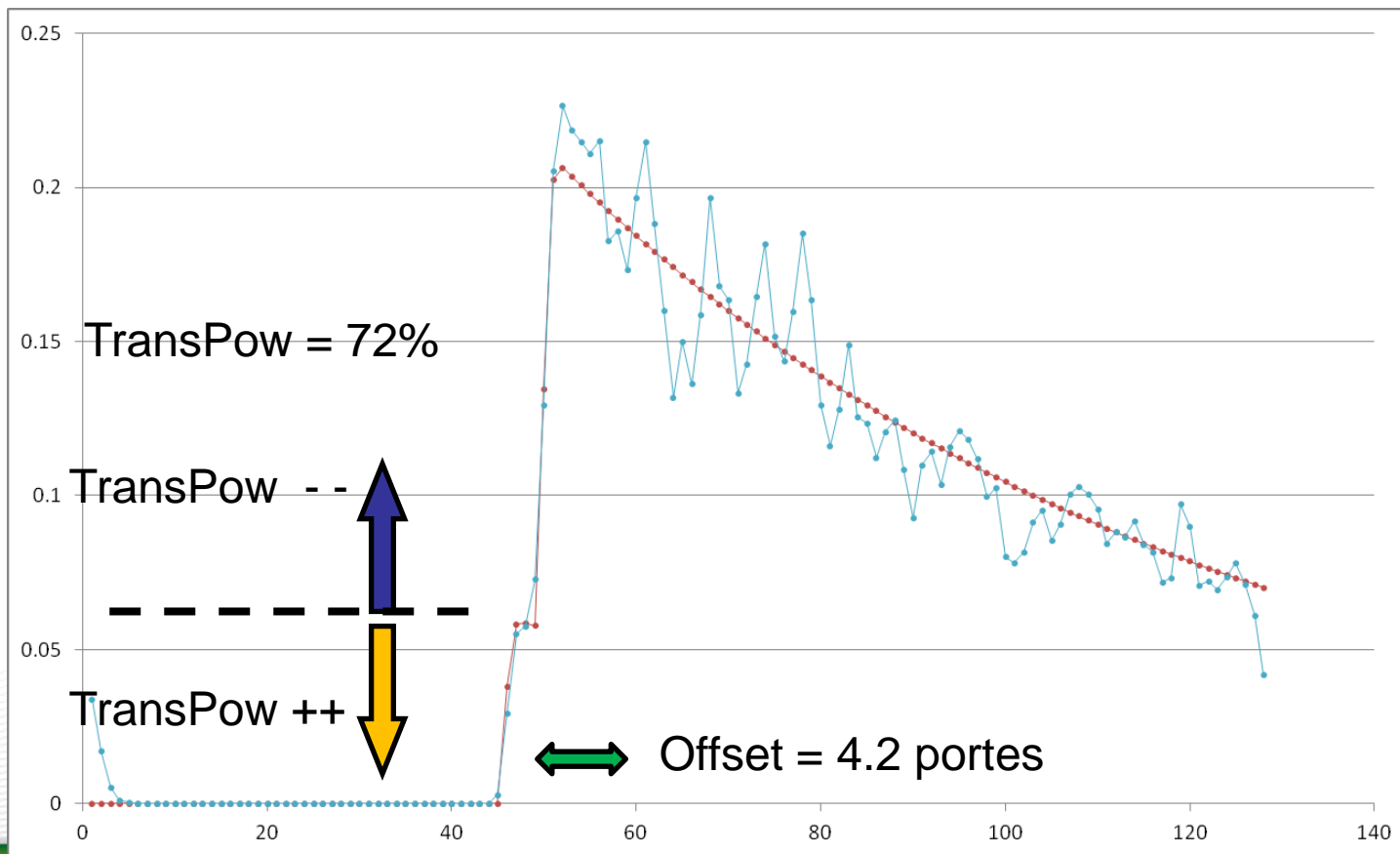




2 paramètres supplémentaires:

- TransPow (%) → propriétés diélectriques / structure de la glace
- Offset (portes) → Epaisseur de la glace

$$\text{Brown2} = (1 - \text{TransPow}) \times \text{Brown1} + \text{TransPow} \times \text{Brown1}(\text{+Offset})$$

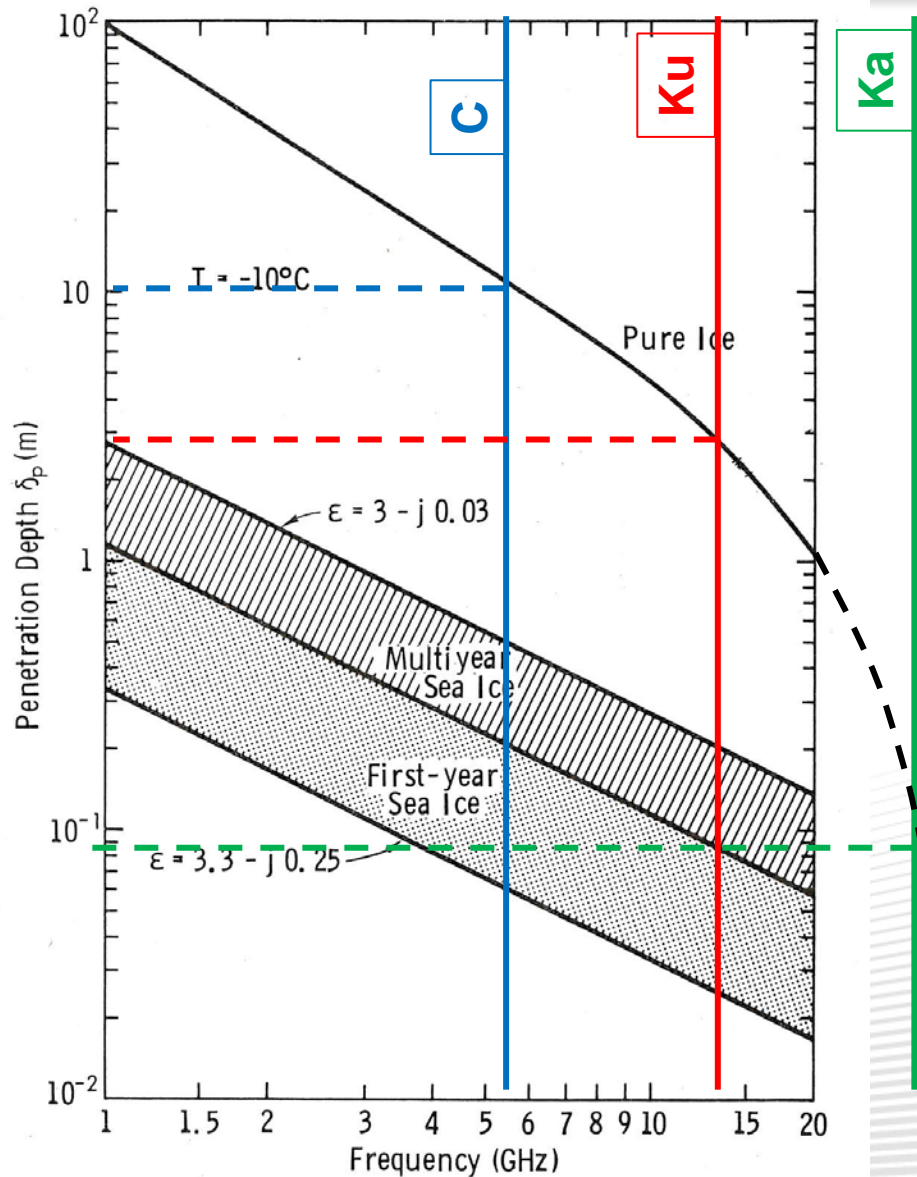


QUESTIONS CONCLUSIONS

- Est-ce la bonne interprétation? (autres propositions ?)
- Archive de 20 ans de mesures de l'épaisseur de glace inexploitée ? (Dommage ...)
- Cela peut-il fonctionner sur la glace de mer ? (utilité +++)
- Bon contexte d'étude pour étudier l'interaction du signal altimétrique avec la glace/neige

Regardons en bande Ka !!!

Théorie: Pénétration d'une onde radar dans la glace (Ulaby, 1986)



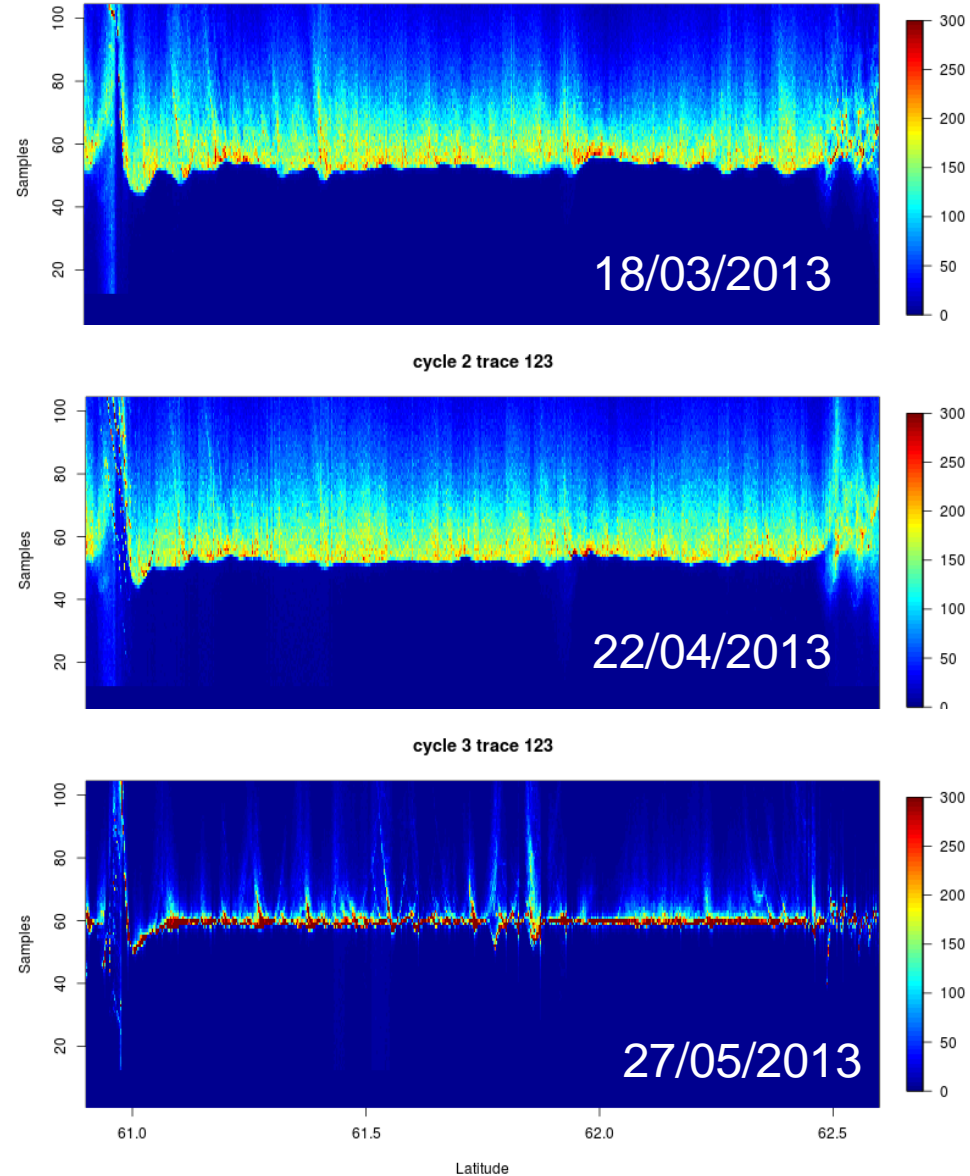
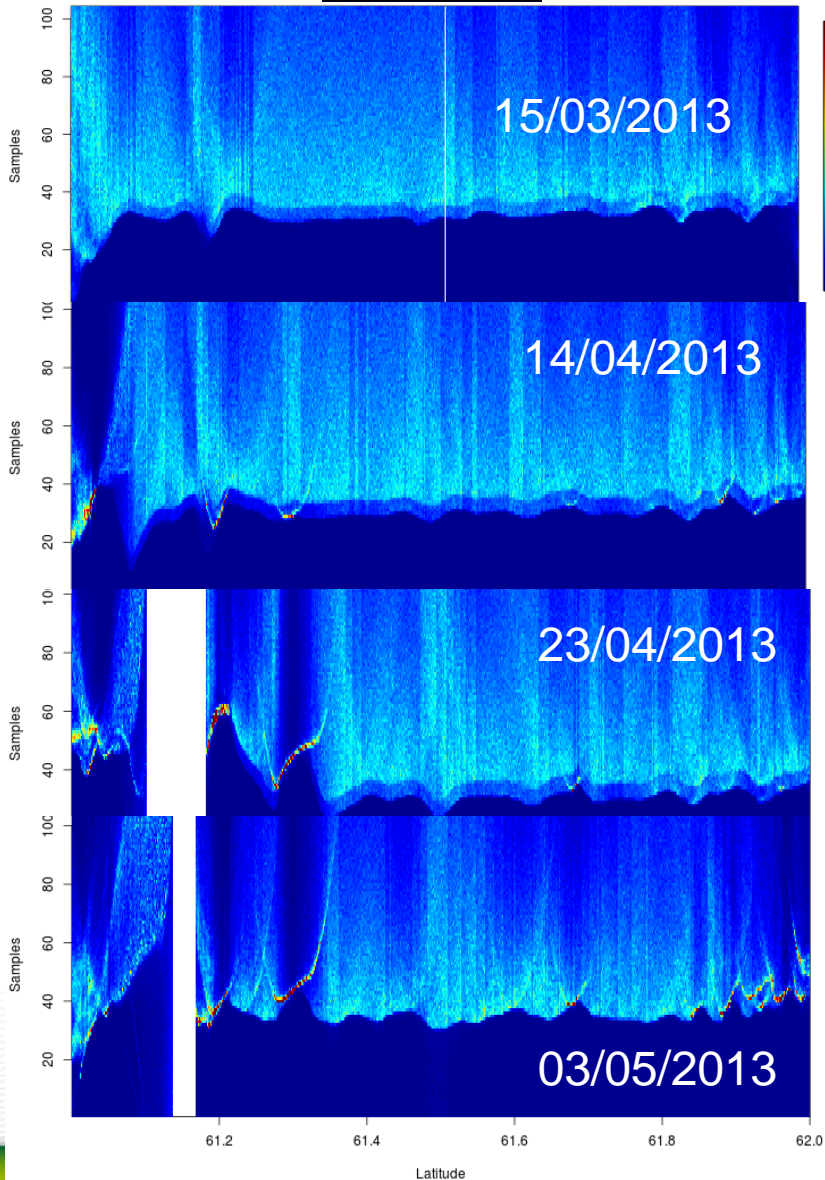
Glace pure:

- Pénétration **Bande C**: ~ 10 m
- Pénétration **Bande Ku**: ~ 3 m
- Pénétration **Bande Ka**: ~ 0.1 m
- Hypothèse de la glace pure
~acceptable pour les lacs d'eau douce gelés



Jason 2

AltiKa





- Radar aéroporté (ex ASIRAS)
- Glaciologies des lacs par observation spatiale

→ Mieux comprendre le milieu et l'interaction du signal avec celui-ci

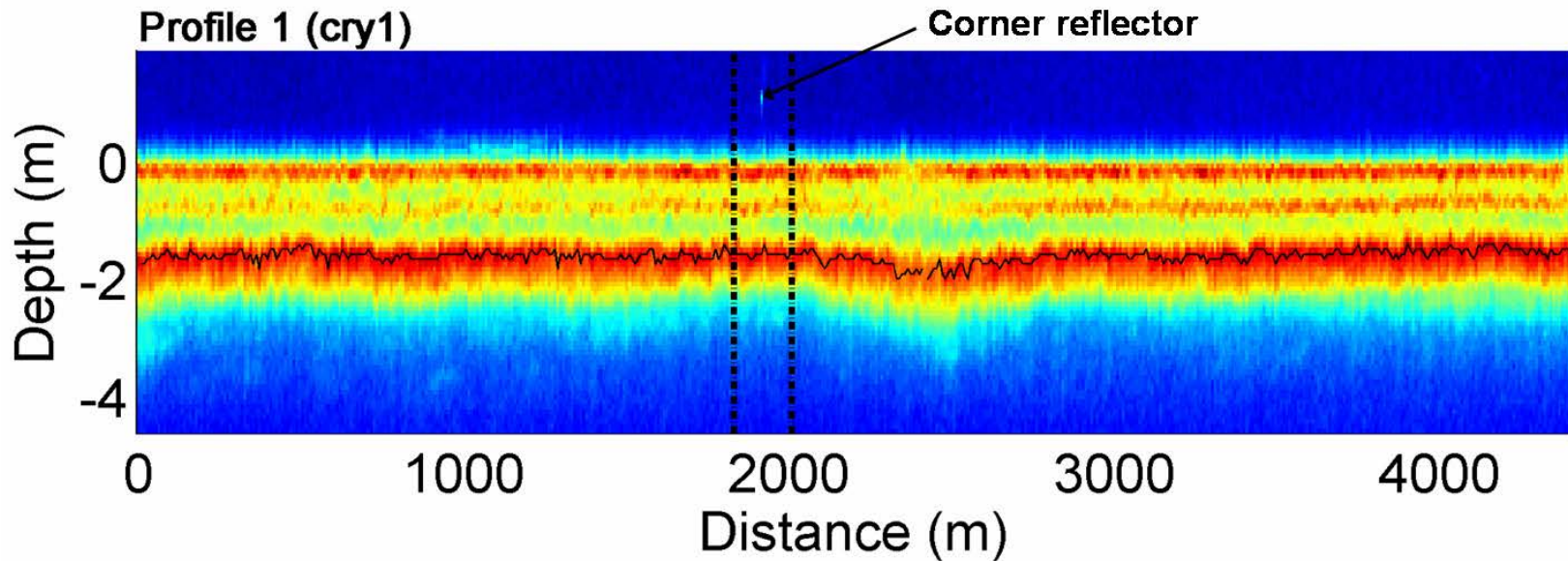


Fig. 2. ASIRAS airborne altimeter waveforms (dB scale) along a ~4.2 km long profile crossing the site 'cry1' (Figure 1) where ground based VHB measurements were done. The extracted traces used for the comparison with the VHB radar data (Figure 3) are encompassed by the black dashed lines. The (thin) solid black line marks the automatically tracked LSS. (Brandt et al, 2008)