

Suivi des icebergs dans le fjord « Young Sund » au nord-est du Groenland à partir de séries temporelles d'images « Sentinel »

M. Gay¹, J. Lossent^{1,2}, S. Guillaso¹, C. Gervaise², C. Nahum³, L. Chauvaud⁴, L. Ott

1

¹GIPSA-lab

² CHORUS

³ DGA

⁴ LEMAR



Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection

June 1, 2017



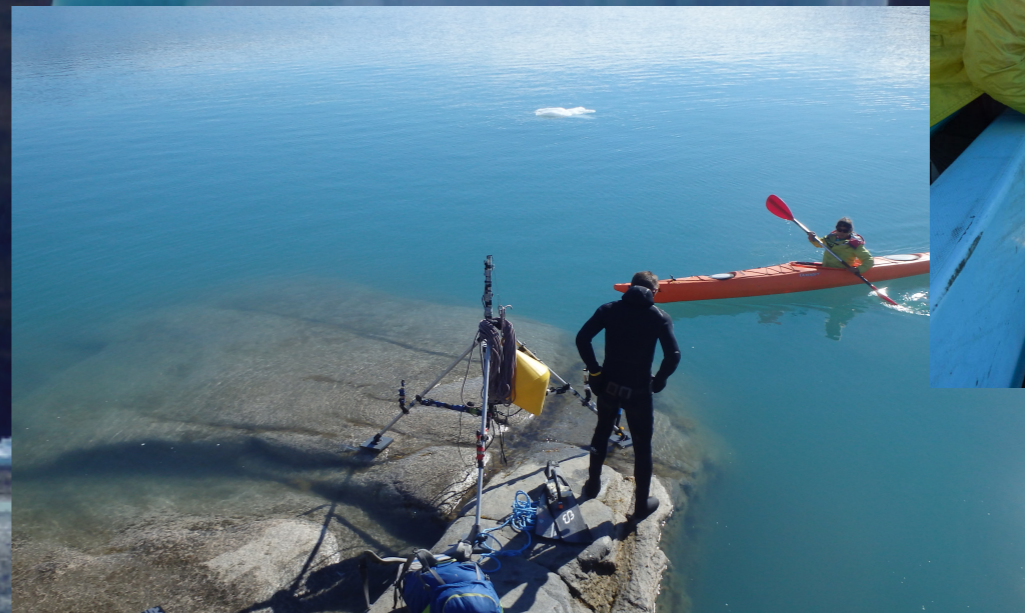
Objectifs :

- Suivi de la glace arctique : banquise/glace de mer, iceberg, dans l'optique de la sécurisation des activités maritimes commerciales et de la défense.
- Suivi simultané, des écosystèmes arctiques côtiers afin de mieux décrire leur fonctionnement largement piloté par la dynamique de la glace.

ANR GAAP -> Suivi de la **G**lace **A**rctique par **A**coustique **P**assive

Imagerie satellitaire

Acoustique passive en bord de côte



Deux sites d'études

Daneborg

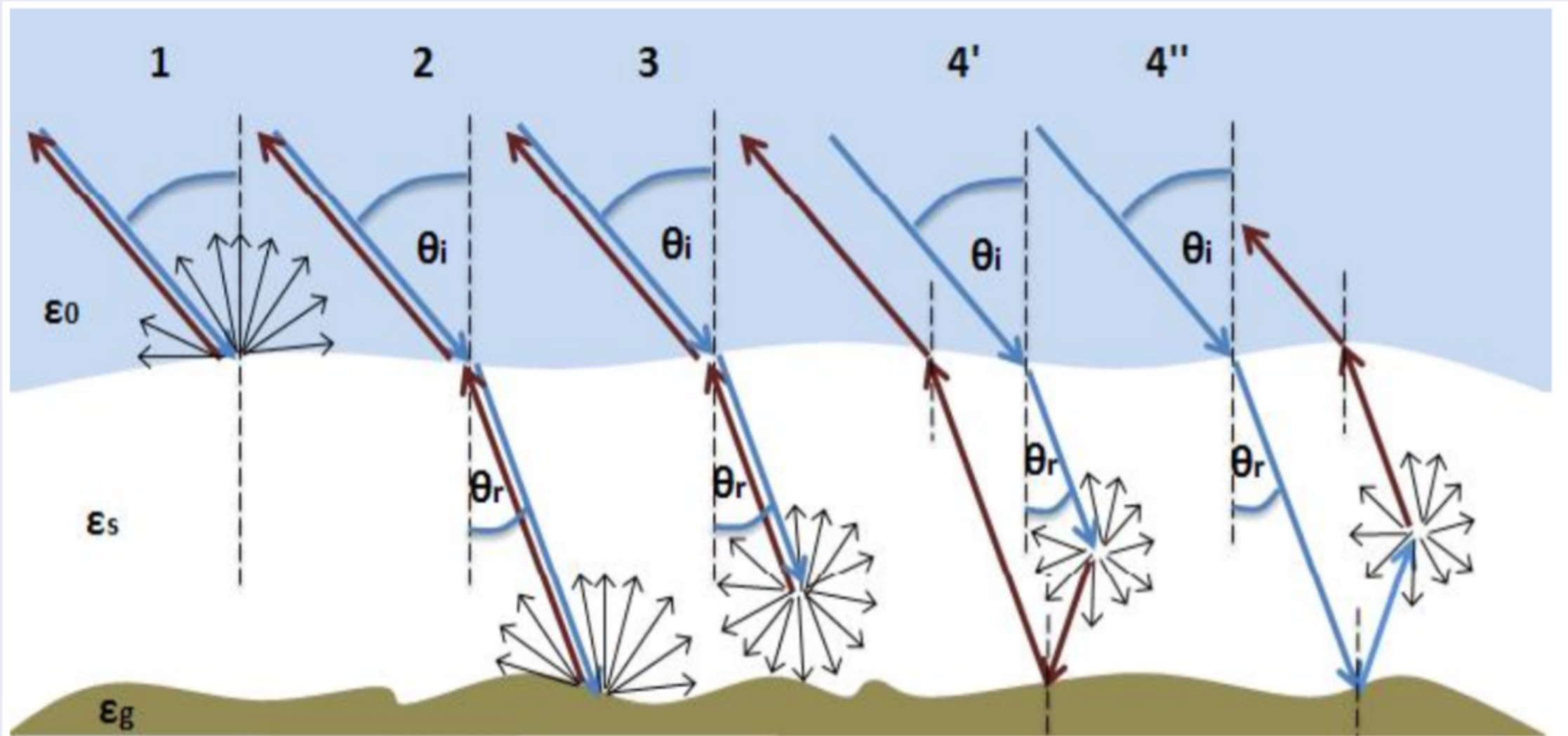
Scoresby Sund



- 
- A large, jagged iceberg with a prominent peak and several smaller sections, floating in a dark blue sea. The sky is overcast with grey clouds. The iceberg's surface is textured with ridges and grooves, and it has a slightly blue tint. The water is dark and calm, reflecting the sky and the iceberg.
- Etude de la pénétration des ondes électromagnétiques dans la glace et dans la neige
 - Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs
 - Ecoute passive acoustique
 - Perspectives

Pénétration des ondes électromagnétiques dans la glace et/ou dans la neige

- 4 mécanismes de rétrodiffusion des ondes radar.



- Satellite radar \rightarrow visée oblique \rightarrow angle d'incidence θ_i different du Nadir.
En utilisant la loi de Snell's et $\epsilon'' \ll \epsilon'$: $\theta_i \approx \theta_r$, on peut calculer la profondeur de pénétration δ'_p :

$$\delta'_p \approx \delta_p \cos \theta_r \quad (2)$$

Pénétration des ondes électromagnétiques dans la glace

- δ'_p , définit la profondeur à laquelle la puissance de propagation de l'onde est égale à e^{-1} de la puissance à la surface du milieu (*Ulaby et al. 1984*).
- δ'_p est fonction des pertes par diffusion et par absorption et peut être calculée (*Ulaby et al. 1984, Drinkwater 1989*) par :

$$\delta'_p = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{1}{\sqrt{\{[1 + (\frac{\epsilon''}{\epsilon'})^2]^{\frac{1}{2}} - 1\} * \frac{\epsilon'}{2}}} \quad (3)$$

λ : longueur d'onde dans le vide

ϵ' et ϵ'' : partie réelle et imaginaire de la permittivité diélectrique

- δ_p représente la profondeur maximum à laquelle le milieu contribue à la rétrodiffusion.

Pénétration des ondes électromagnétiques dans la glace

- La glace, contrairement à l'eau, est un milieu semi-transparent aux micro-ondes avec une permittivité ϵ_i :

$$\epsilon_i = \epsilon'_i + i * \epsilon''_i \quad (4)$$

- Dans le domaine des micro-ondes, ϵ'_i est indépendante de la fréquence et ne dépend que légèrement de la température T .
- Cette dépendance peut être modélisée par la formule donnée par *Mätzler et al. 1987*

$$\epsilon'_i = 3.1884 + 9.1 \cdot 10^{-4} (T - 273 K); \quad 243 \leq T \leq 273 K \quad (5)$$

- Le modèle proposé par *Hufford 1991* de ϵ''_i est un bon compromis entre la théorie de *Liebes's 1989* et l'ensemble des séries de données mesurées :

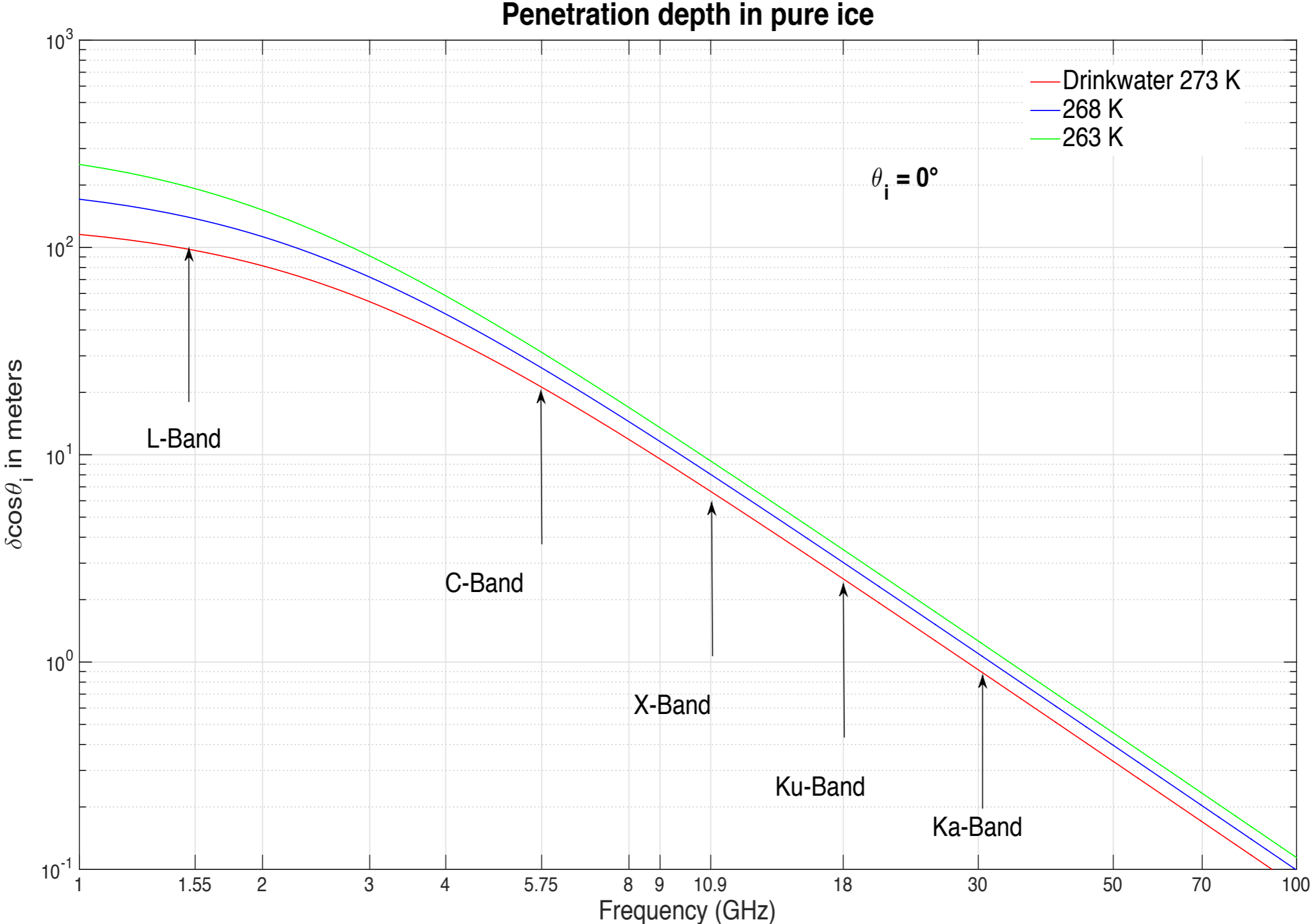
$$\epsilon_i'' = \frac{\alpha}{f} + \beta f \quad (6)$$

$$\alpha = (0.00504 + 0.0062 \theta) \cdot \exp(-22.1 \theta)$$

$$\beta = \frac{0.502 + 0.131 \theta}{1 + \theta} 10^{-4} + 0.542 10^{-6} \left(\frac{1 + \theta}{\theta + 0.0073} \right)^2$$

avec : $\theta = T_0/T - 1$ et $T_0 = 300 K$ et f , la fréquence

Pénétration des ondes électromagnétiques dans la glace



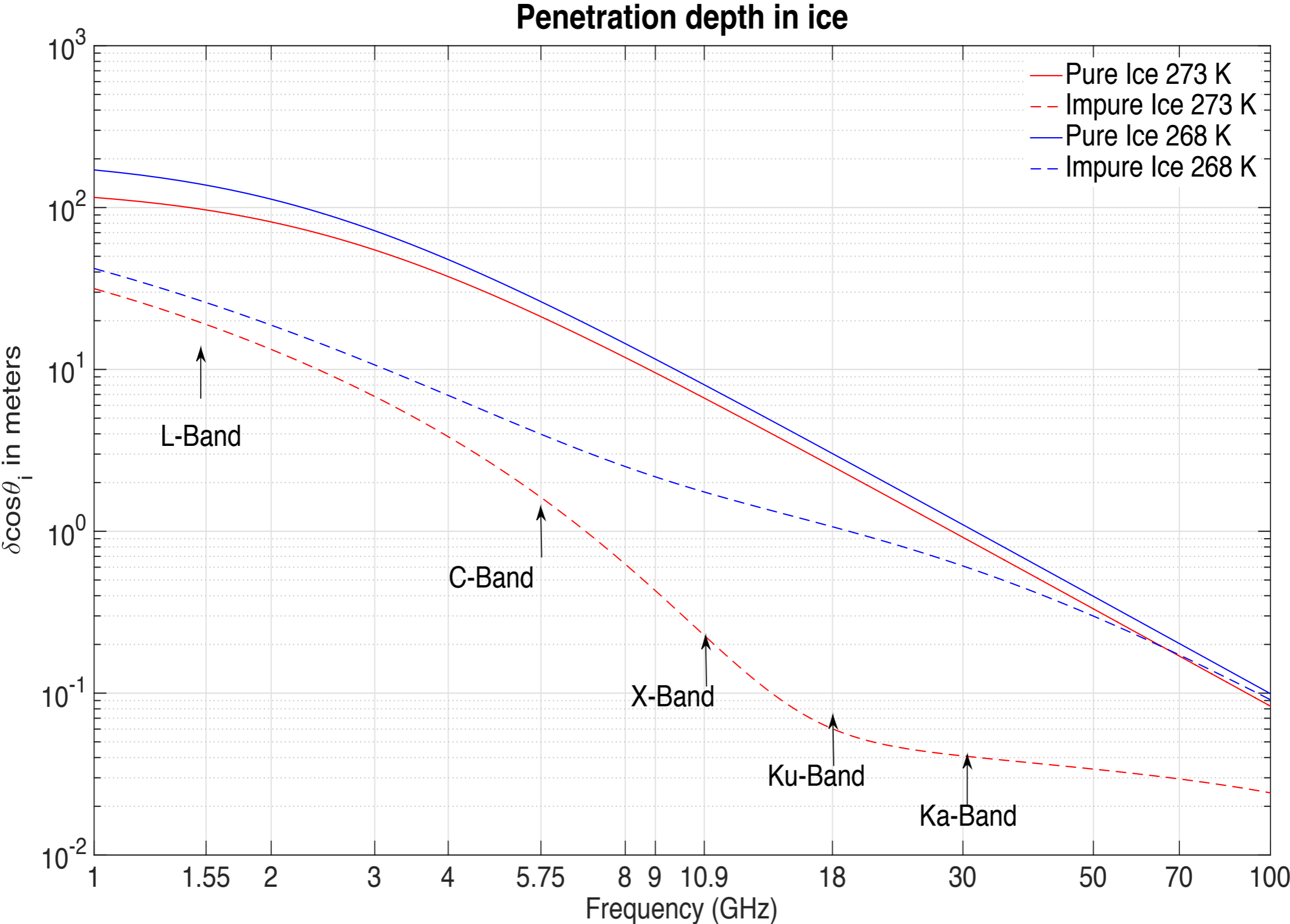
Pénétration des ondes électromagnétiques dans la glace

δ'_p ($\theta_i = 0^\circ$) dans la glace.

	1.55 GHz (m)	5.7 GHz (m)	10.9 GHz (m)	18.1 GHz (m)	30 GHz (m)
273 K	94	21	6.6	2.5	0.9
268 K	140	25	8.0	3.0	1.0
263 K	197	30	9.3	3.4	1.2

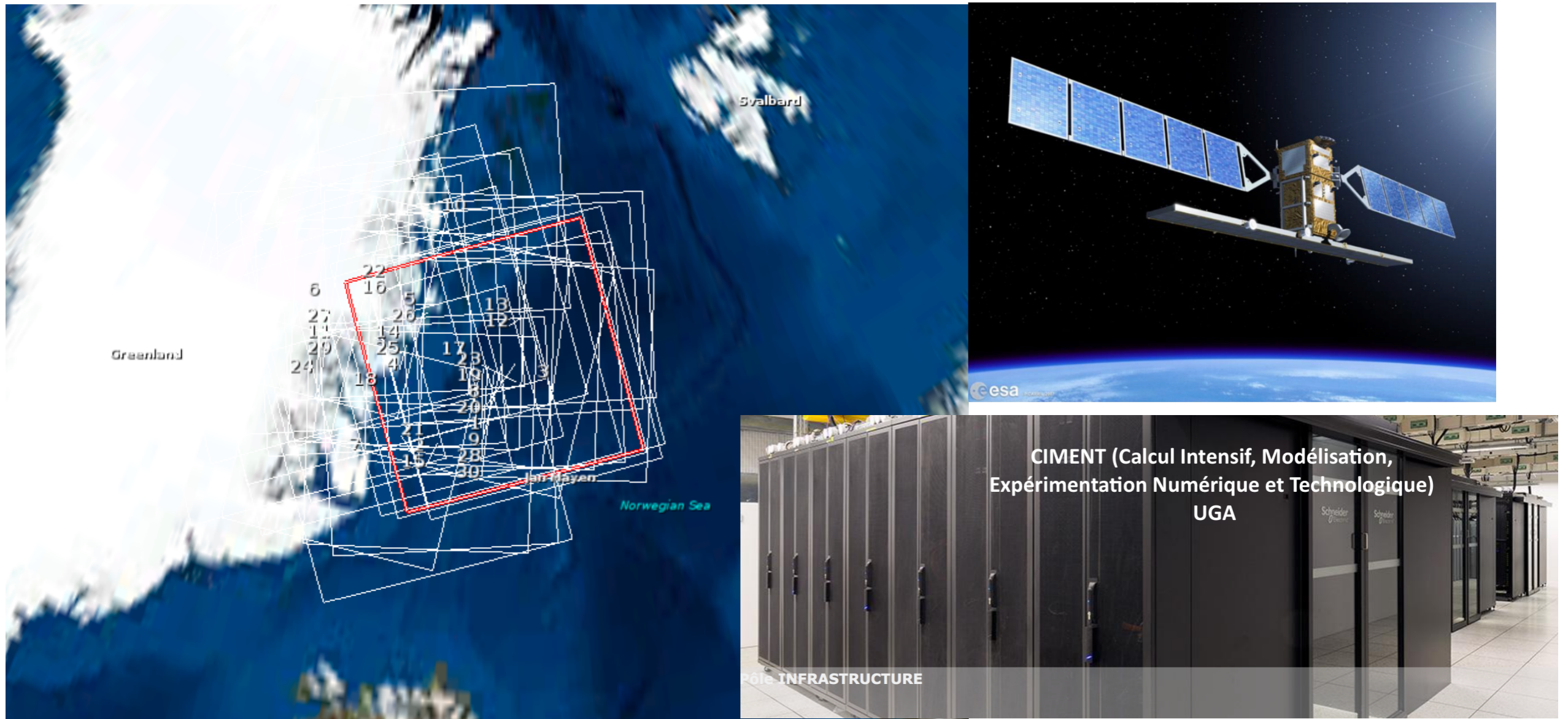
- La profondeur de pénétration décroît lorsque la fréquence augmente.
- La dépendance de la permittivité à la température entraîne une diminution de la profondeur de pénétration lorsque la température augmente.
- A 30 GHz, cette profondeur est moins de 2 m pour T compris entre : 263 – 273 K.

Pénétration des ondes électromagnétiques dans la glace saline S = 35 ppm



Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

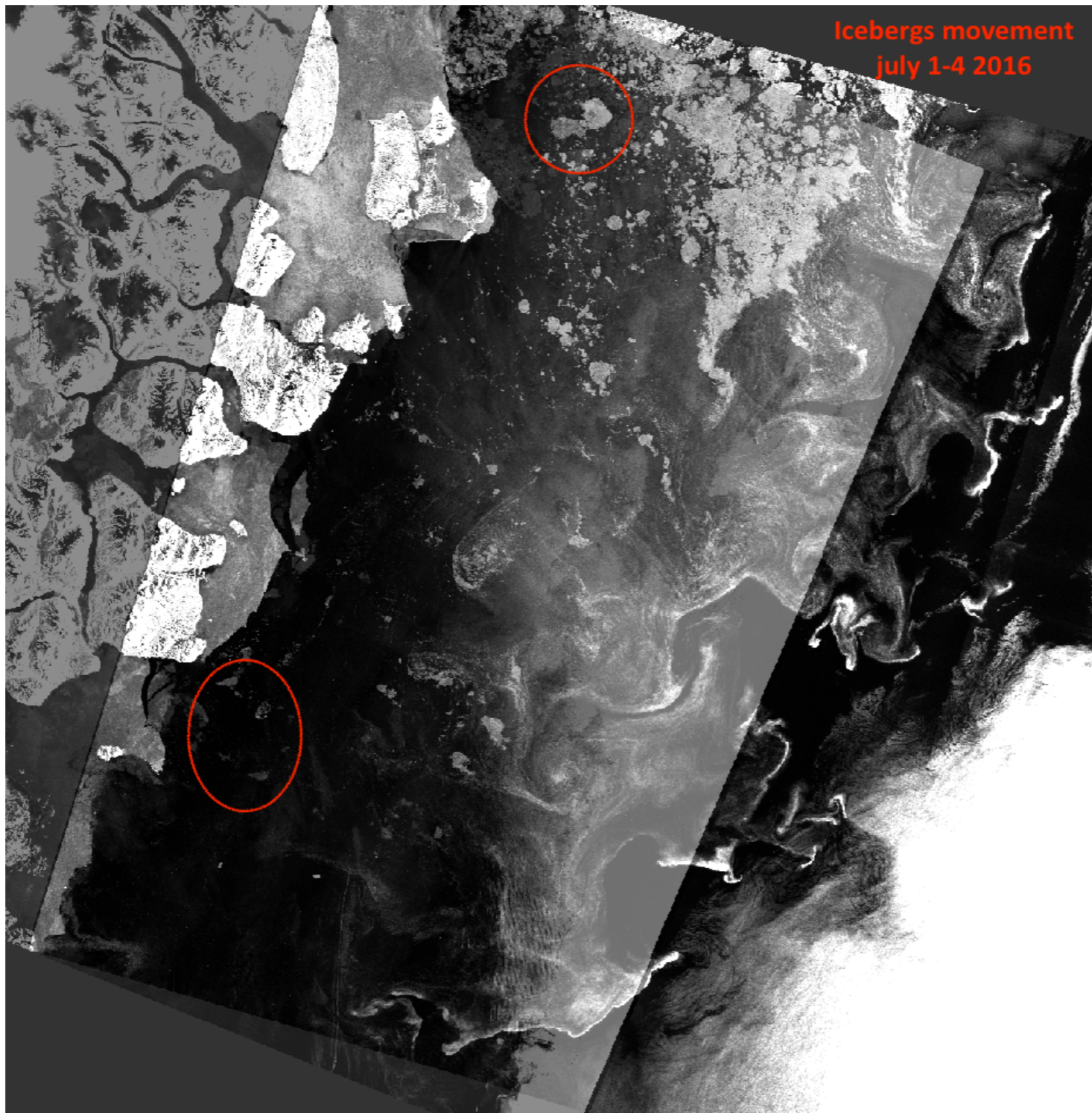
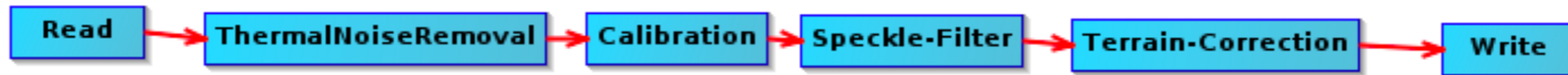
Daneborg : Sentinel-1 images SAR



- □ 30 images (24 GB) du 1^{er} au 20 juillet 2016
- □ Extra-Wide swath (EW) mode: 400 x 400 km, resolution : 40 x 40 m
- □ **Les images sont « processed » au GIPSA-lab sur le "cluster" CIMENT, 7000 coeurs, mémoire : 24 PB, espace disque : 1.5 EB, 1.2 EFlop/s**

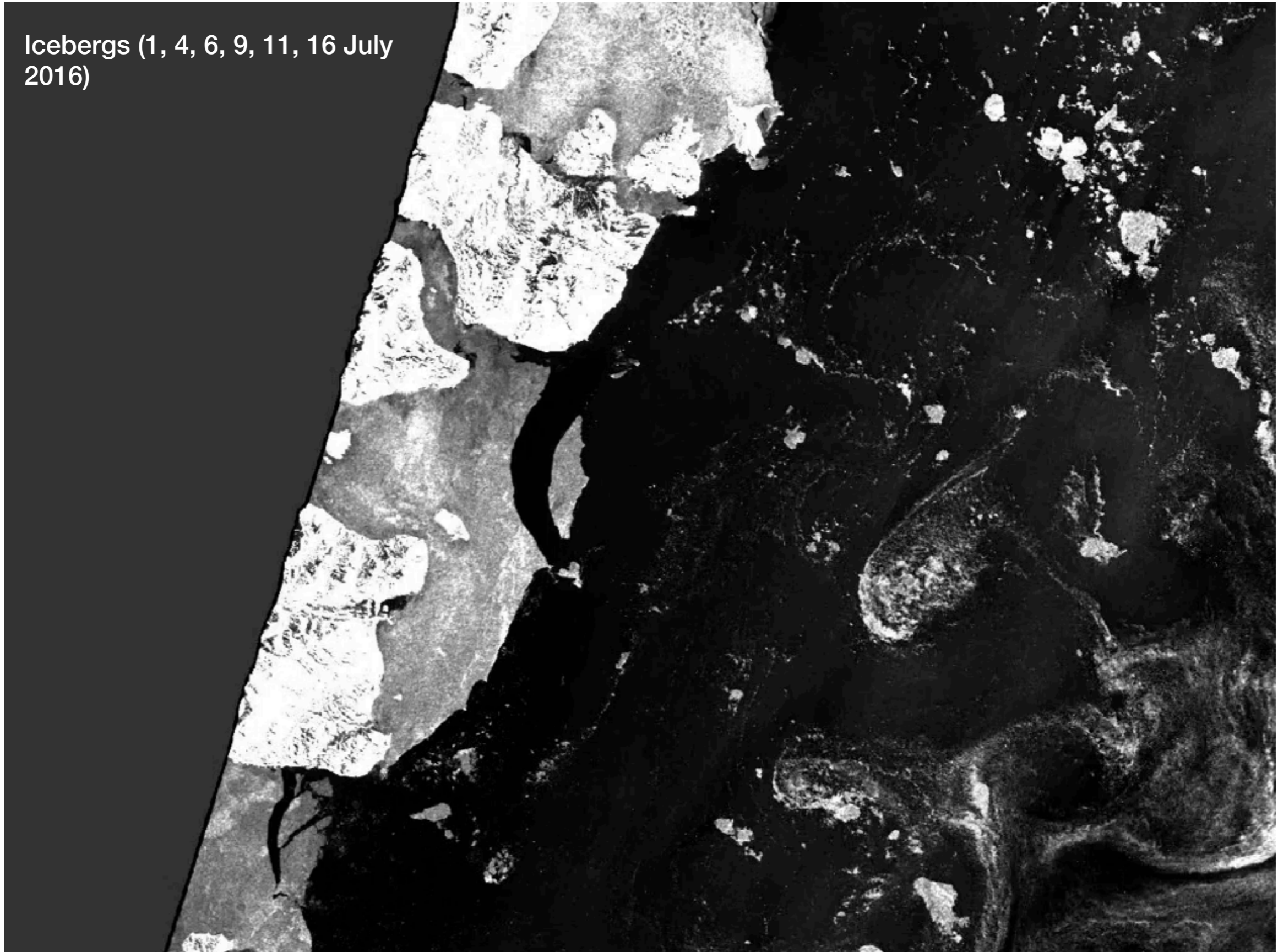
Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

Détection, suivi des icebergs (Snap)



Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

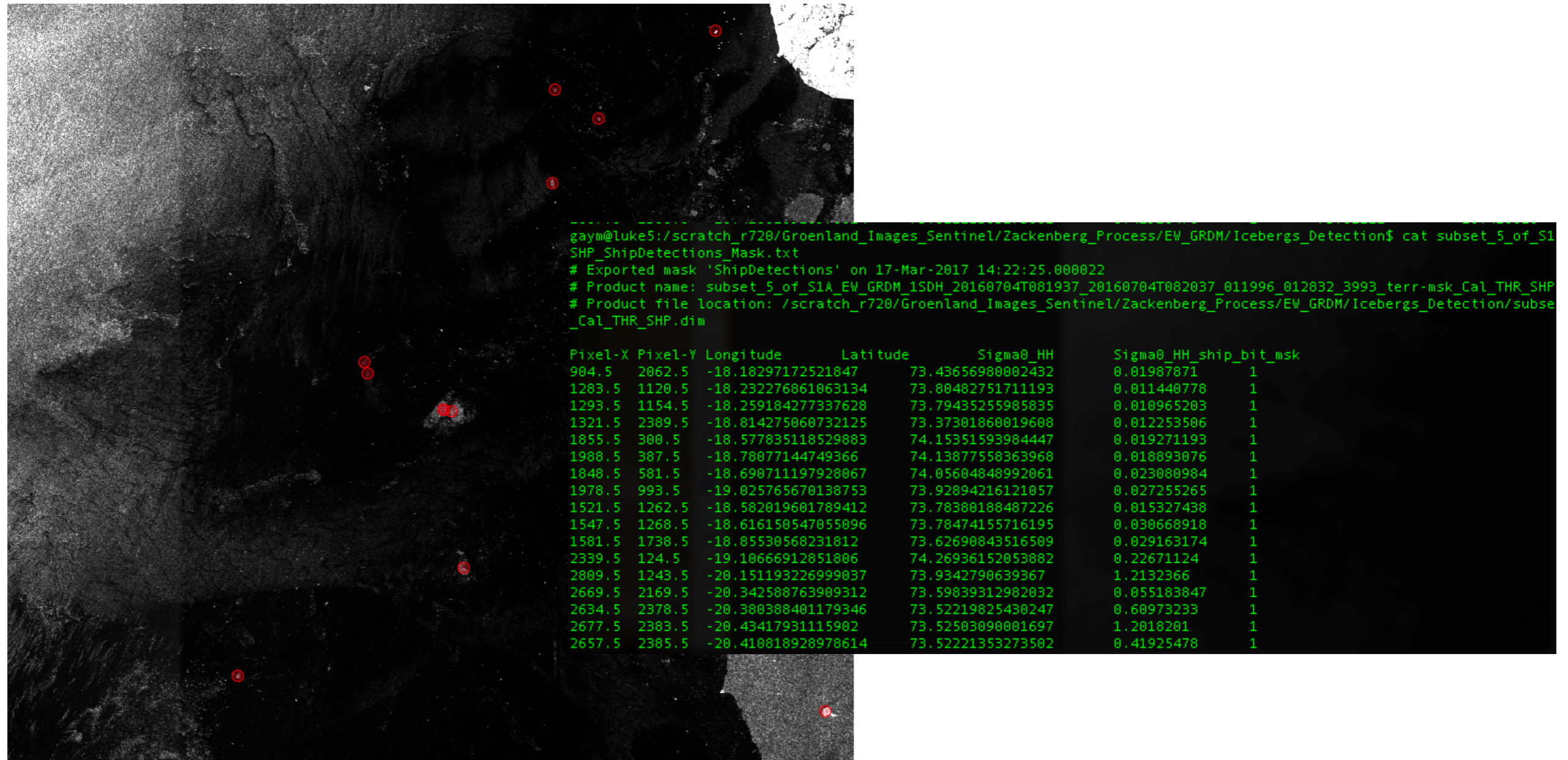
Icebergs (1, 4, 6, 9, 11, 16 July 2016)



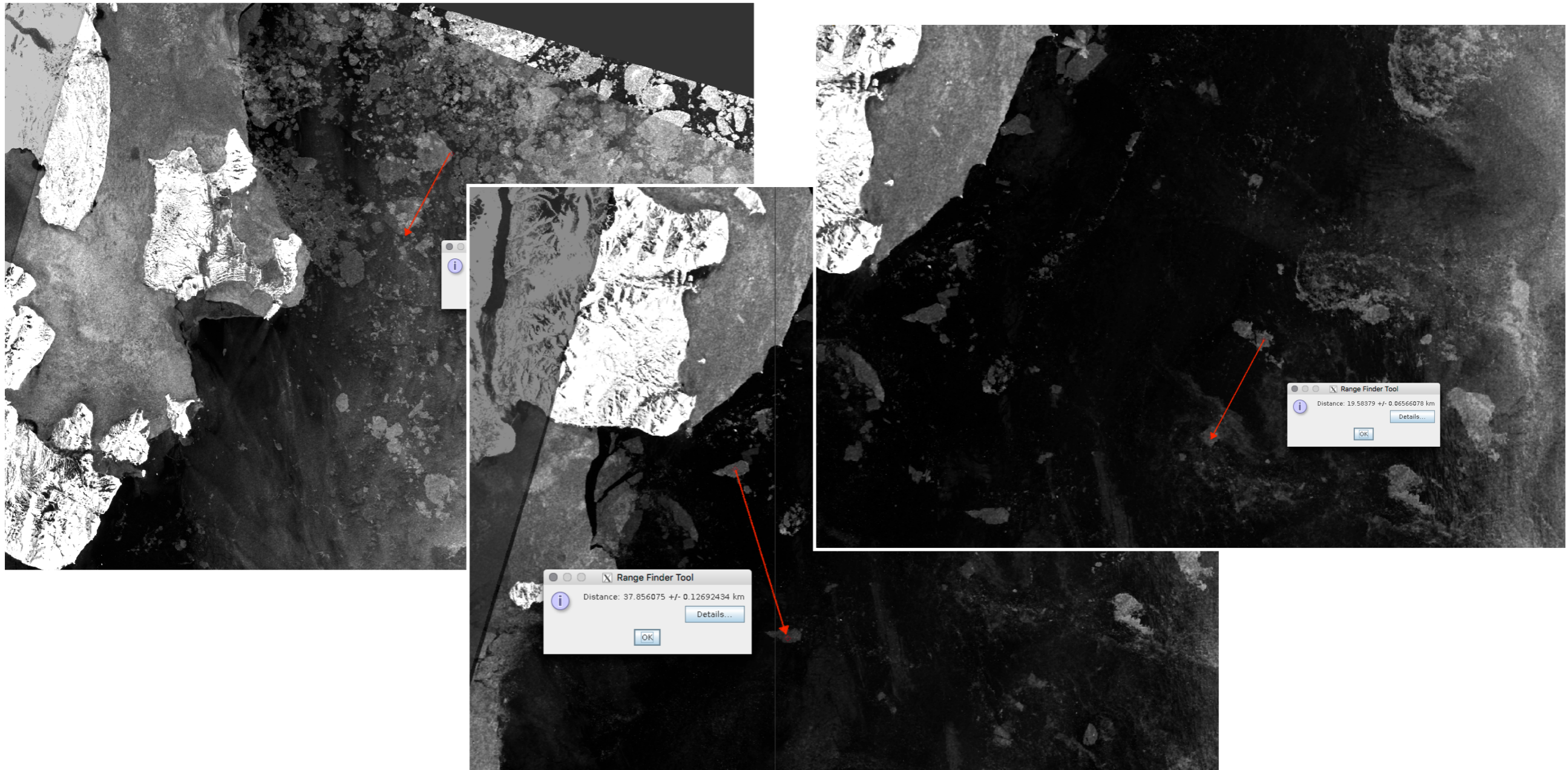
Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

CFAR algorithm :

- basé sur le contraste, supposé fort entre les icebergs et la rétrodiffusion de l'océan.



Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs



Type	Length (km)	Velocity (km/d)
Large iceberg	11	6.68
Large iceberg	7.6	9.49
Large iceberg	2	4.89

Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

Icebergs/Glace flottante -> se déplacent rapidement

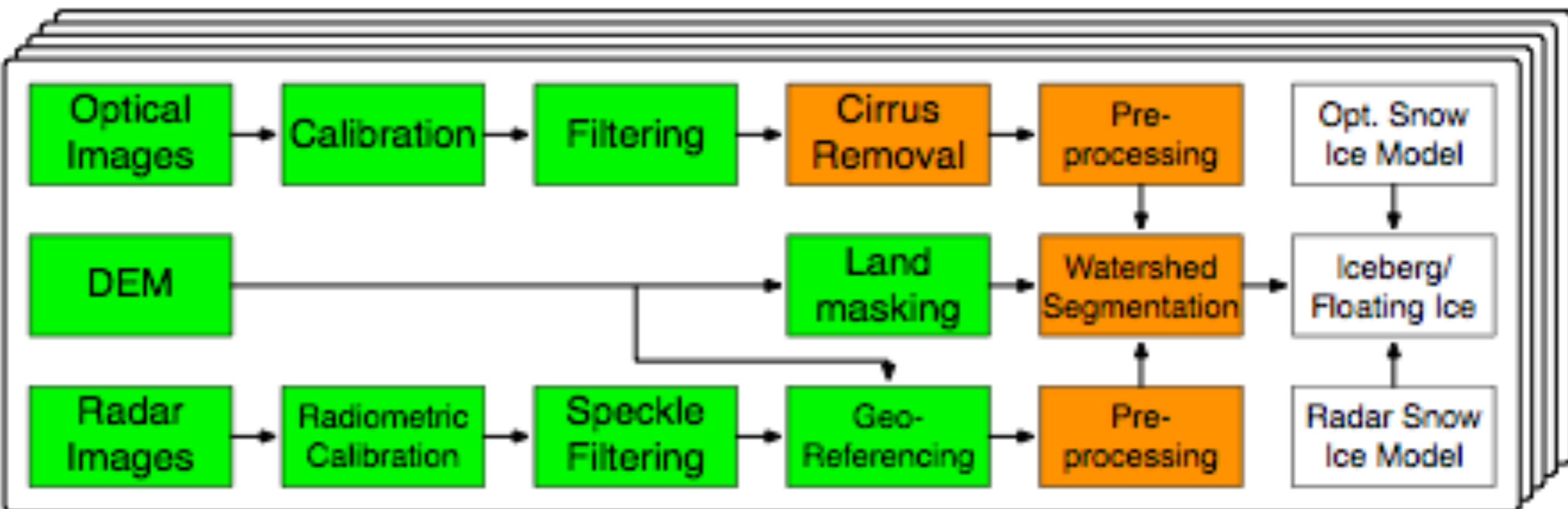
- □ Temps de revisite de S1 n'est pas suffisant
- □ Utilisation d'images optiques complémentaires => *Problème avec les nuages*

Pré-processing des séries de données

Watershed peut être appliqué sur les deux types d'images

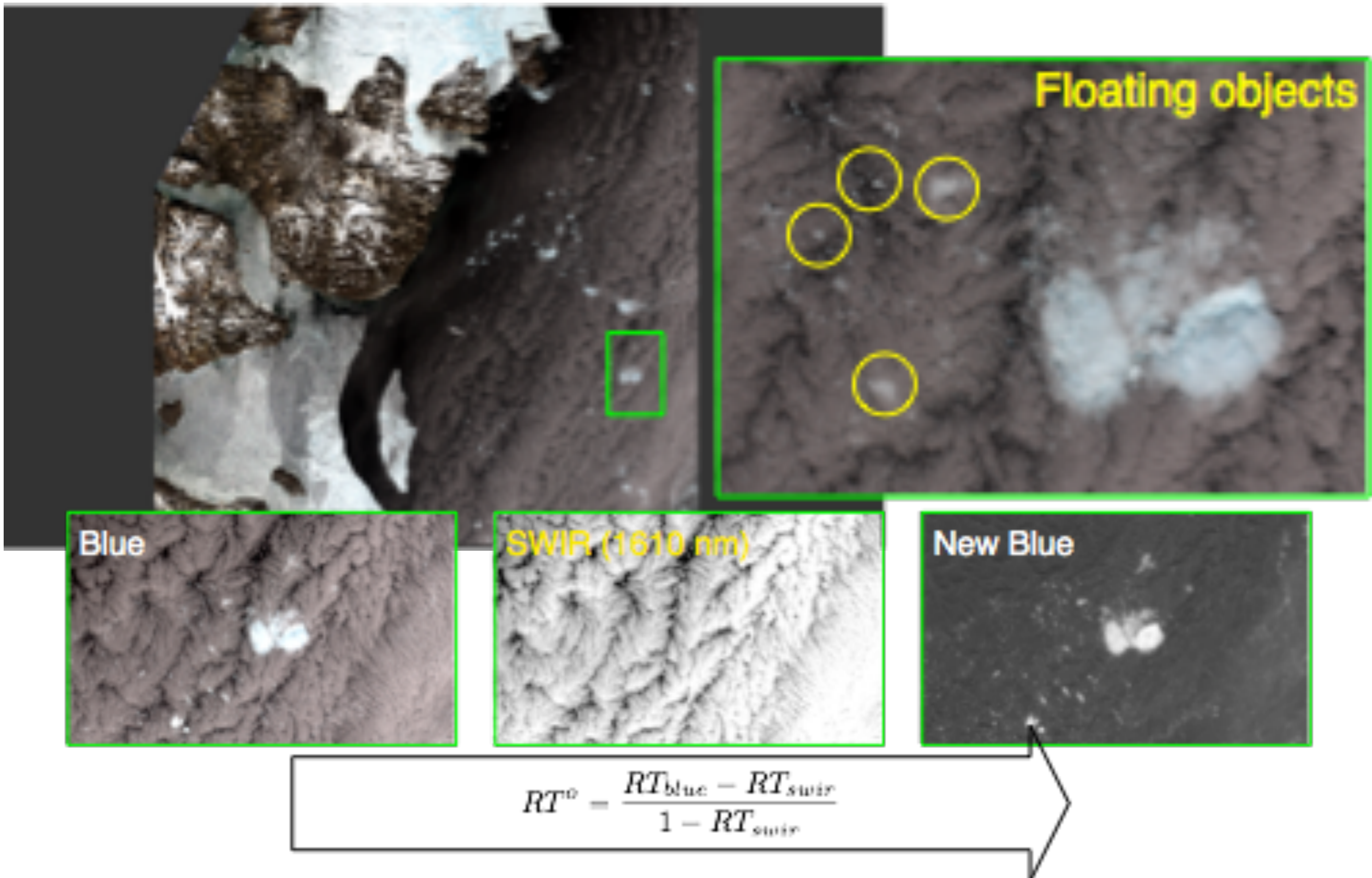
Developpement

- □ C++ / Python (Routines)
- □ QGIS / SNAP (Softwares)



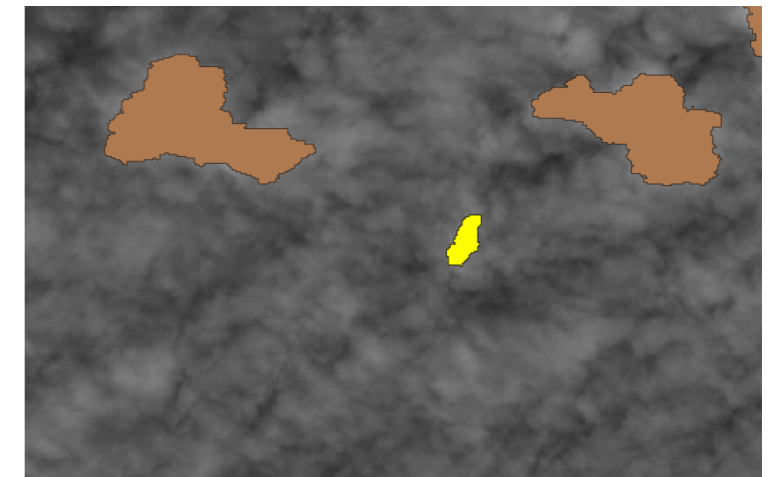
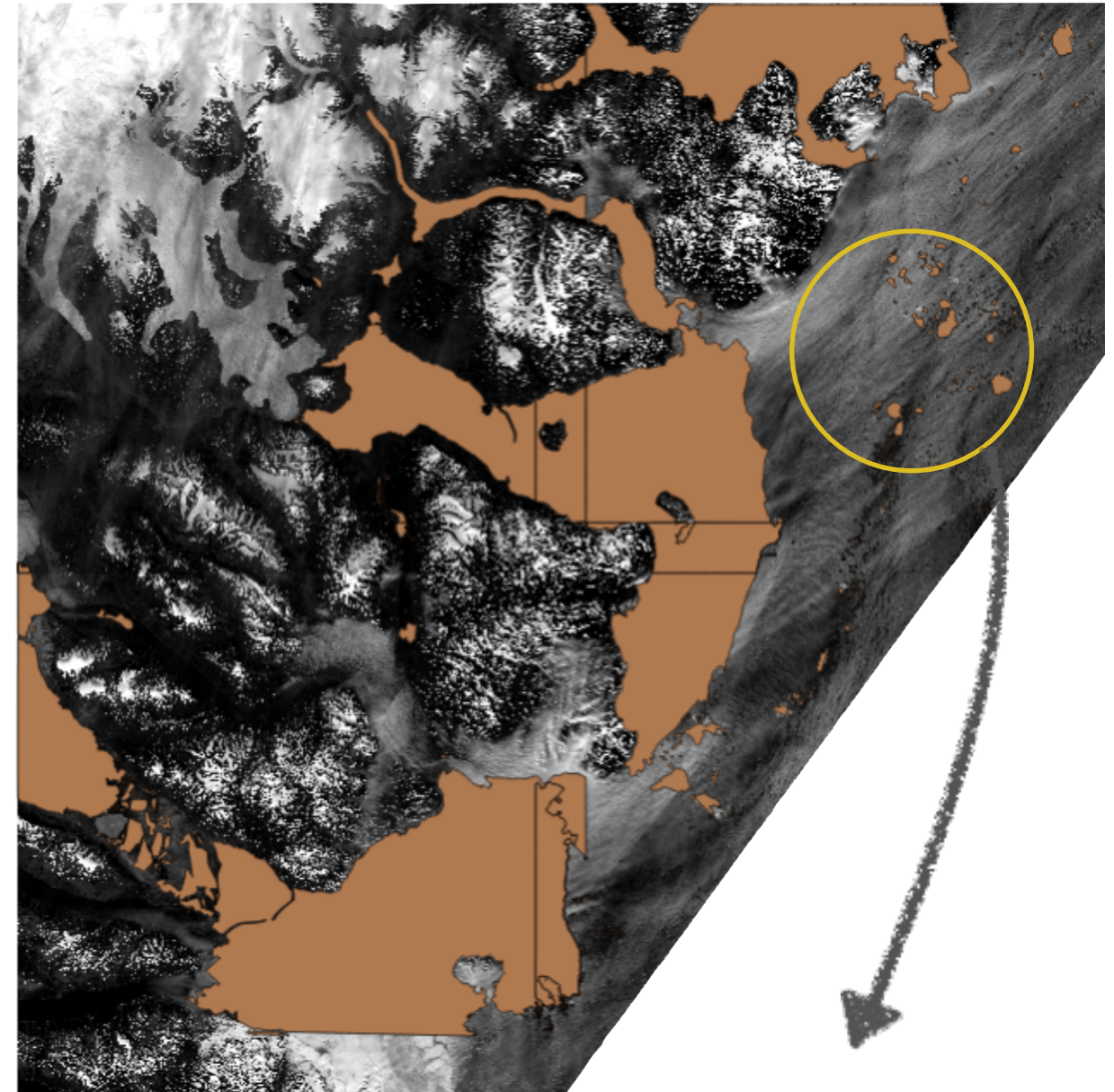
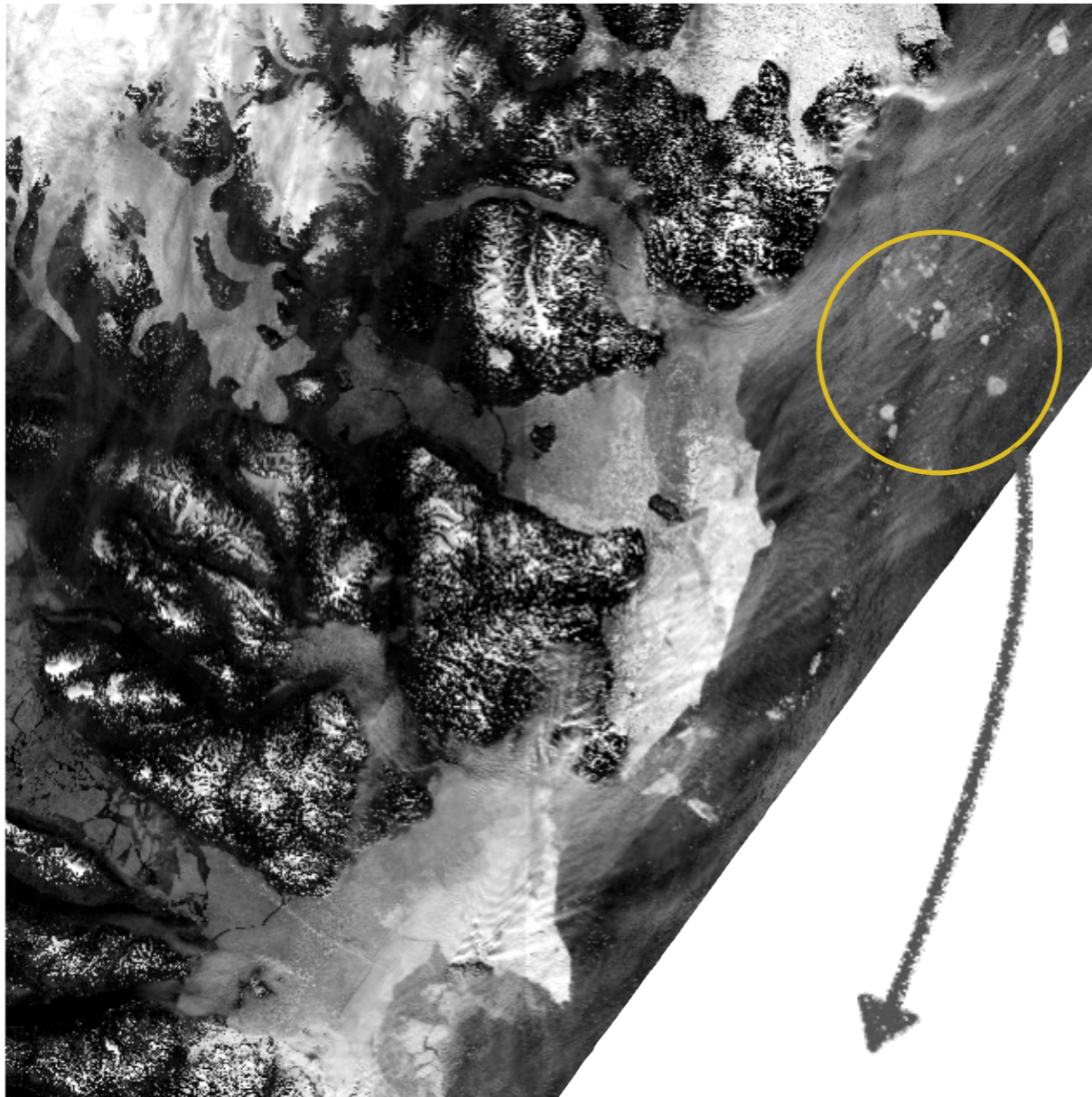
Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

Cloud "removal" (Sentinel-2 / LandsAT-8)

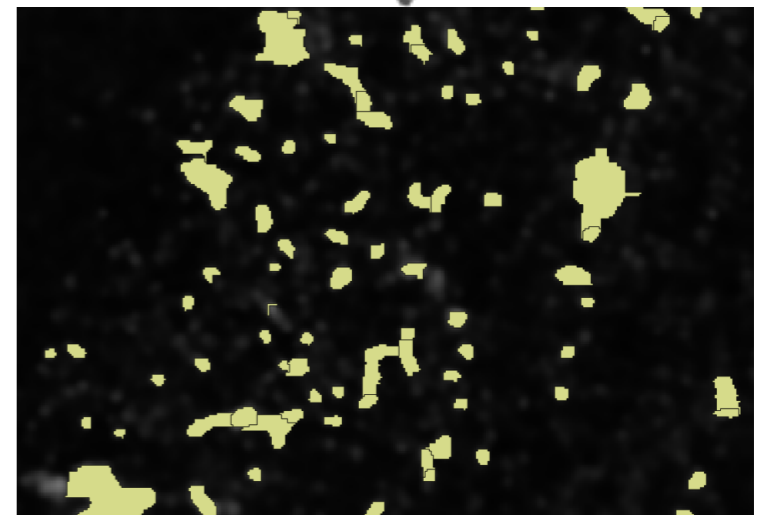
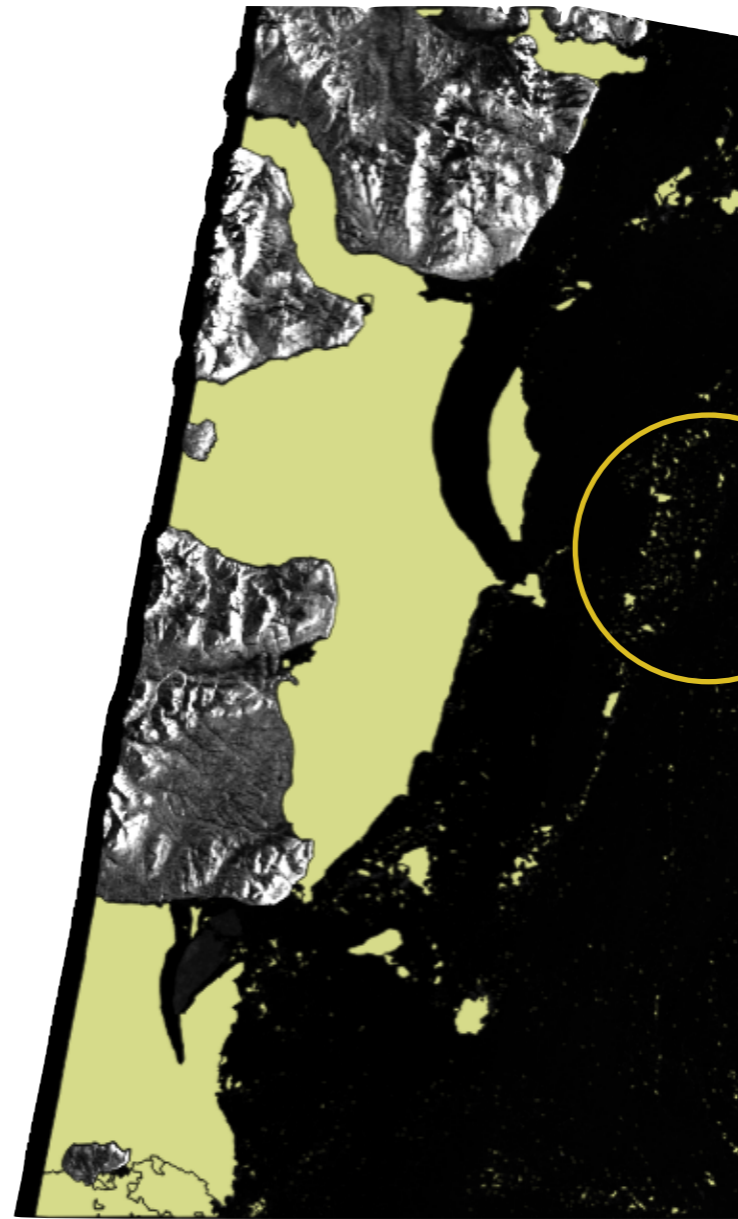
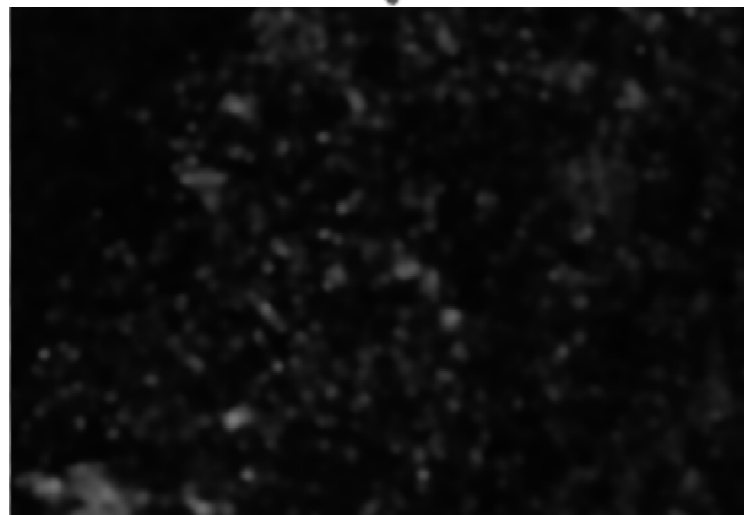
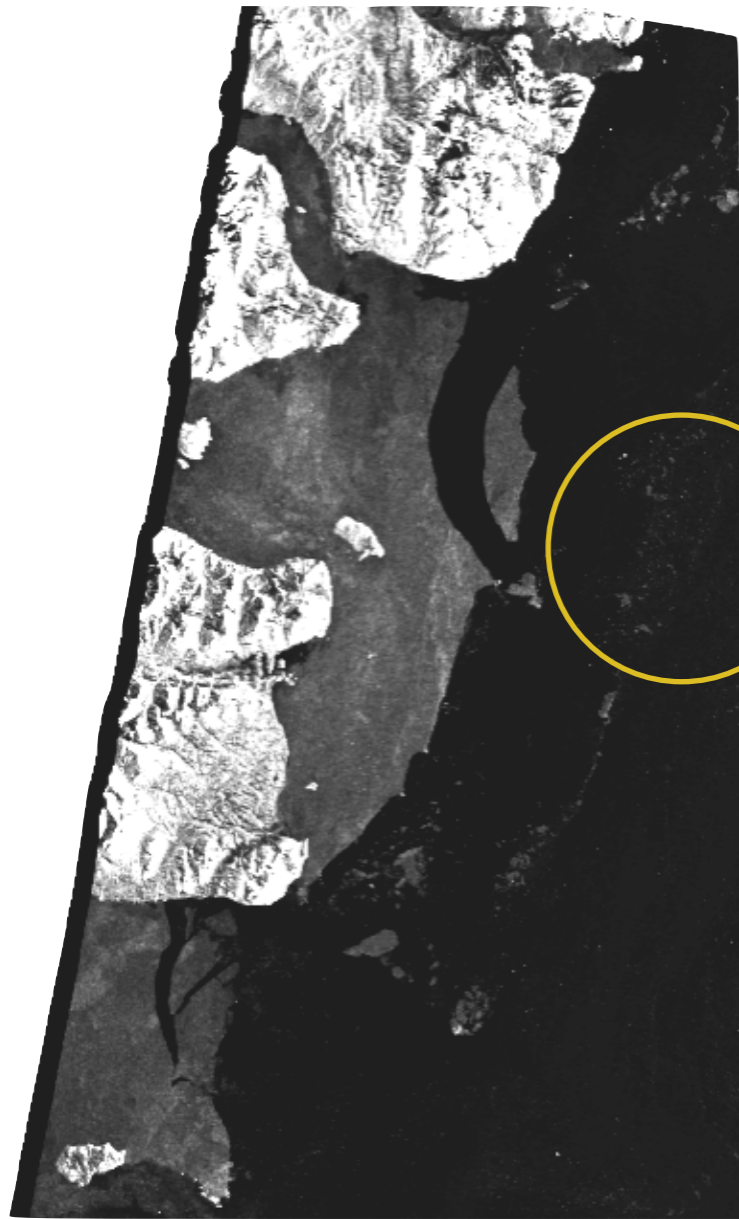


Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

Résultats du watershed - Sentinel 2

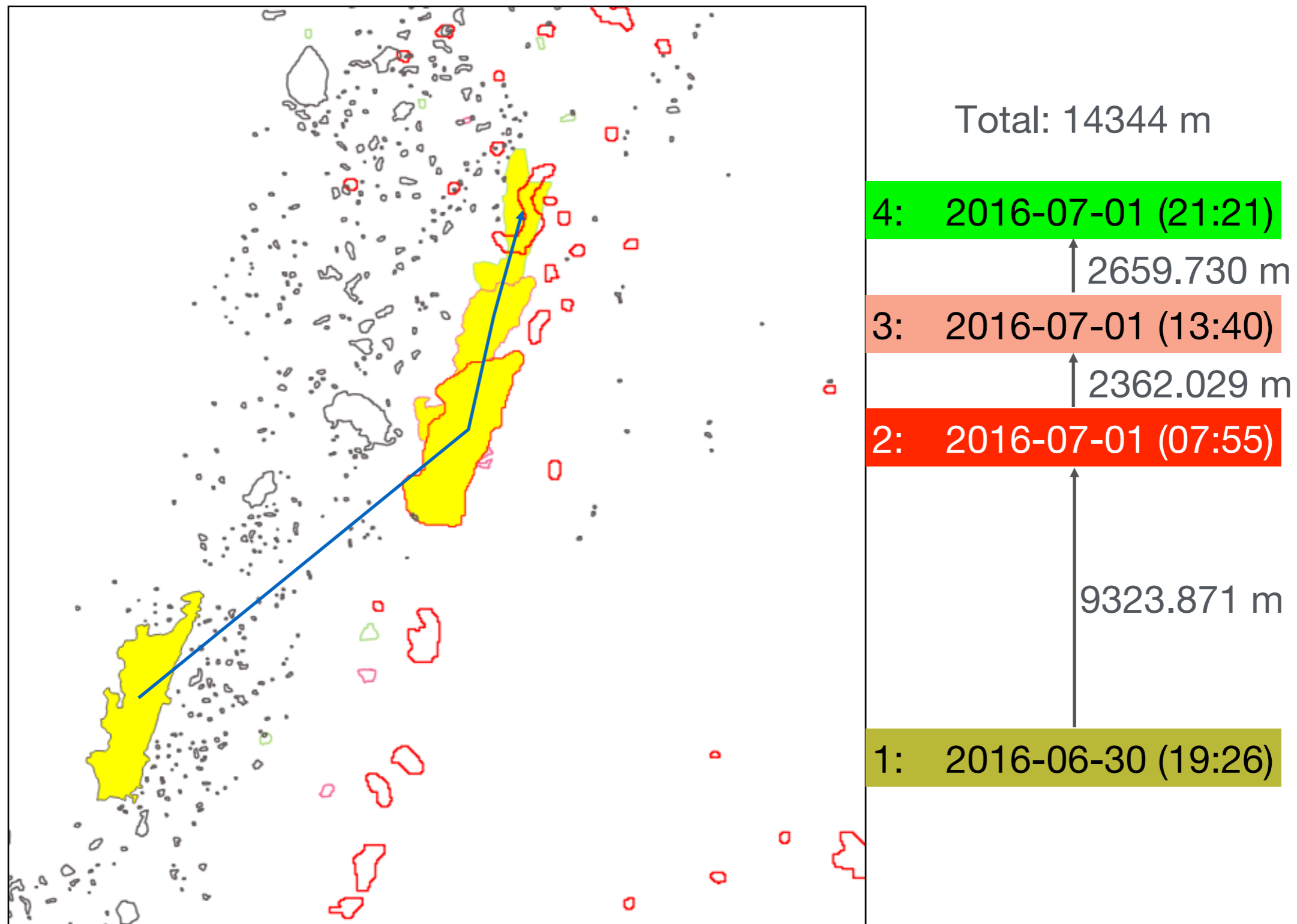


Résultats watershed - Sentinel 1



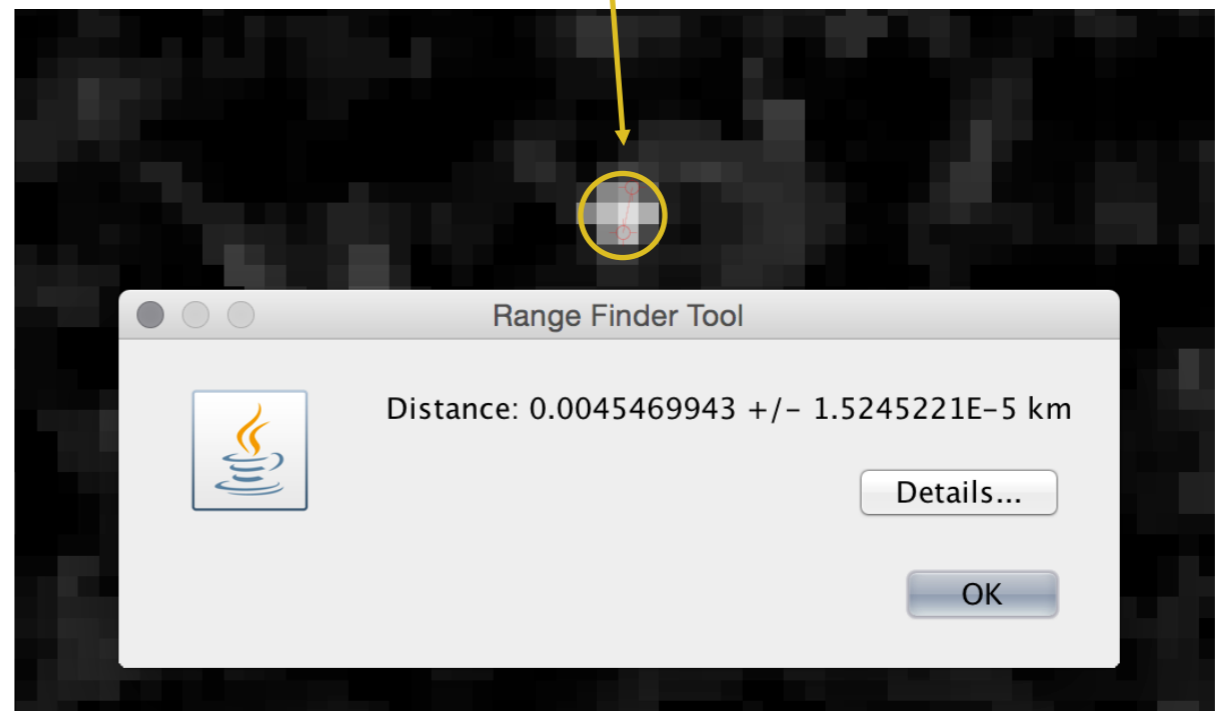
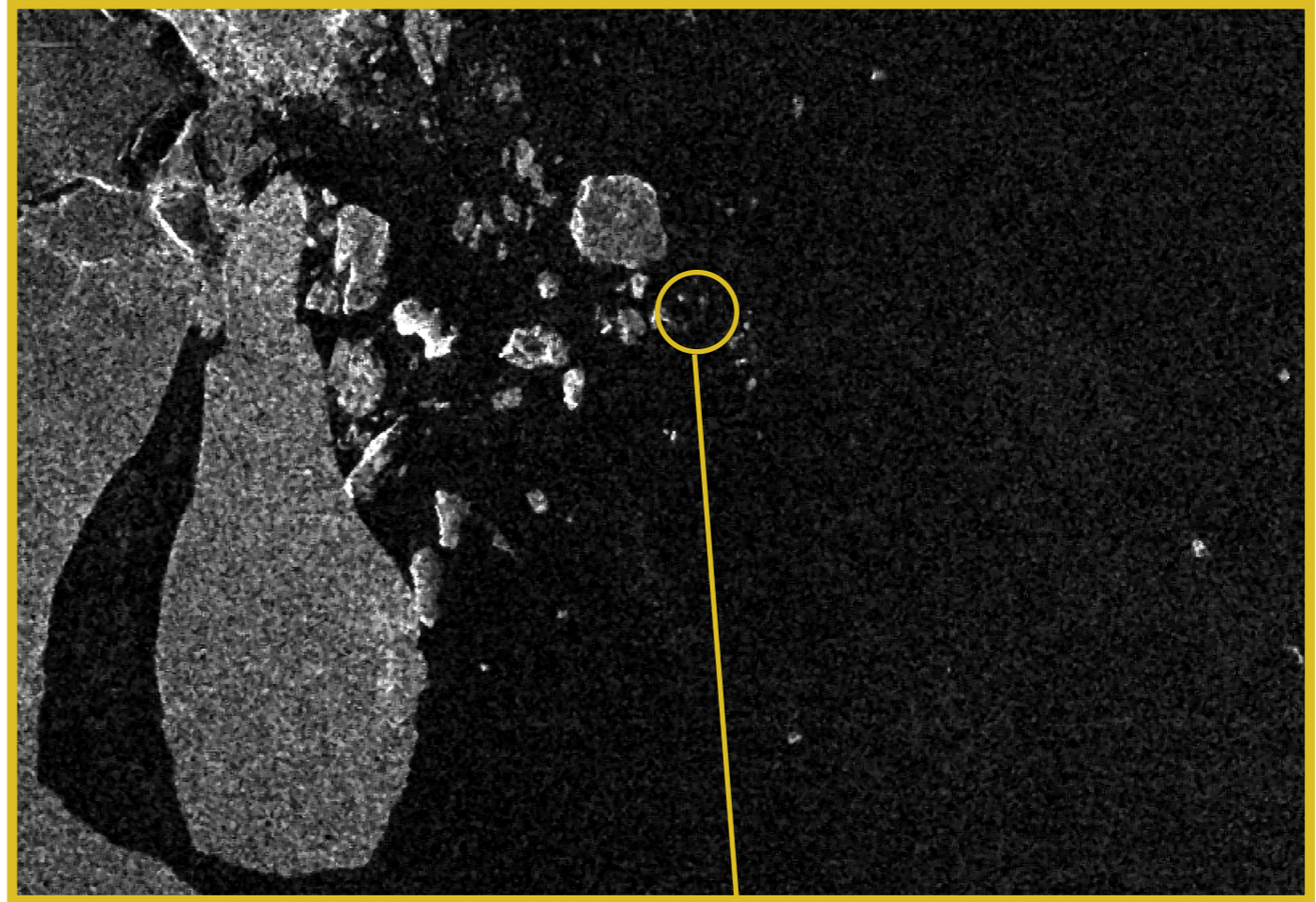
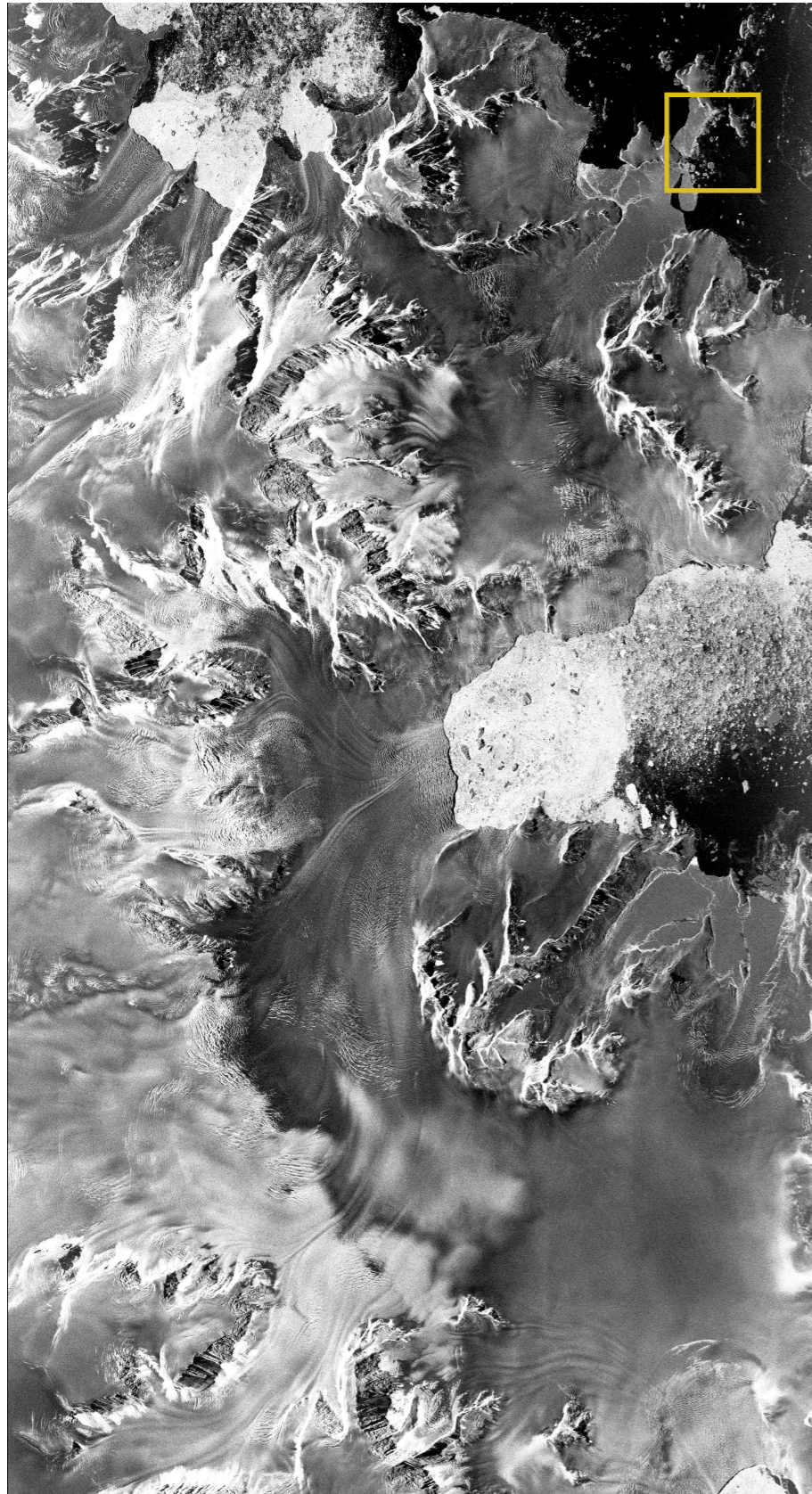
Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

Résultats du Watershed – « Iceberg tracking »



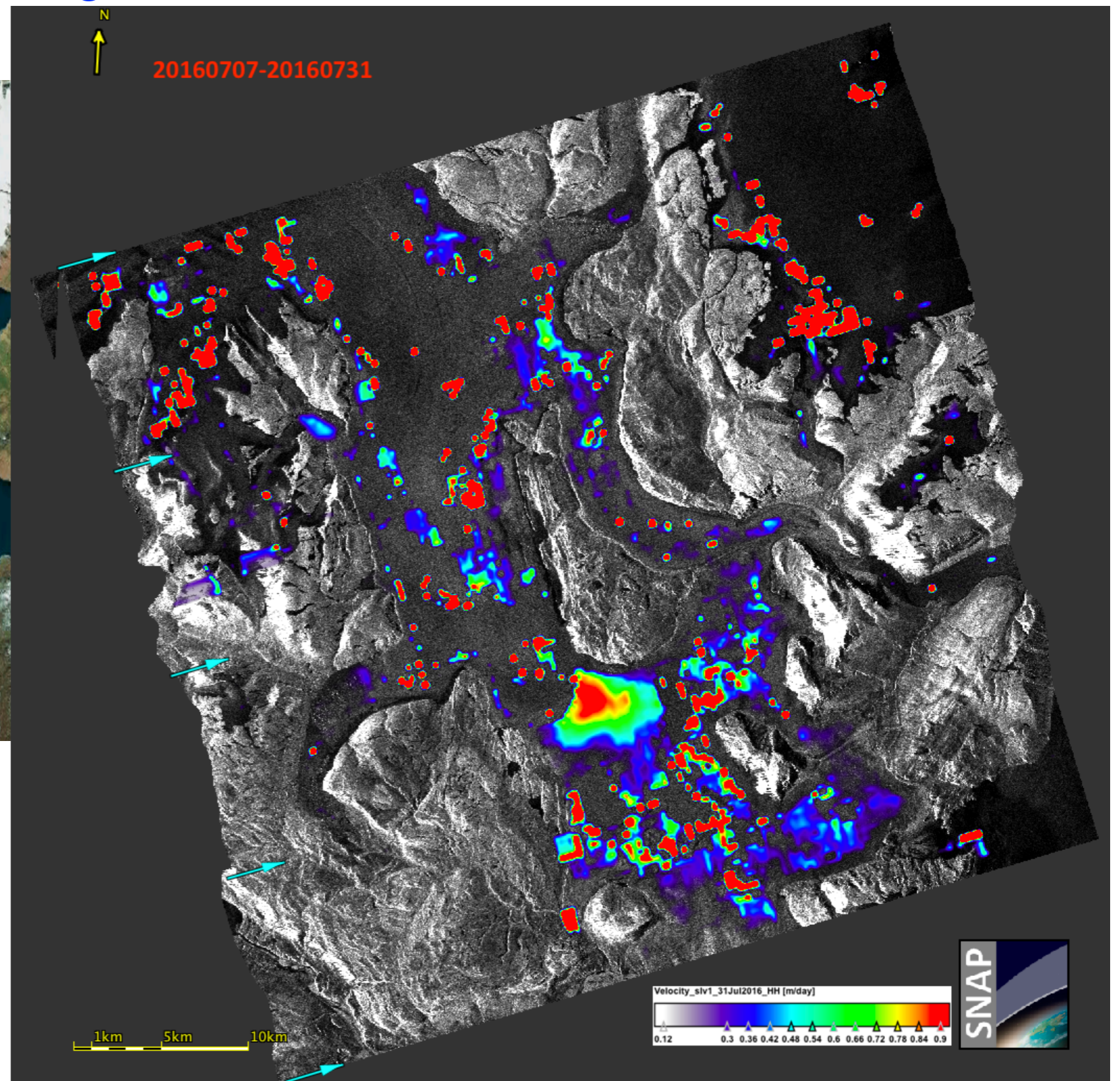
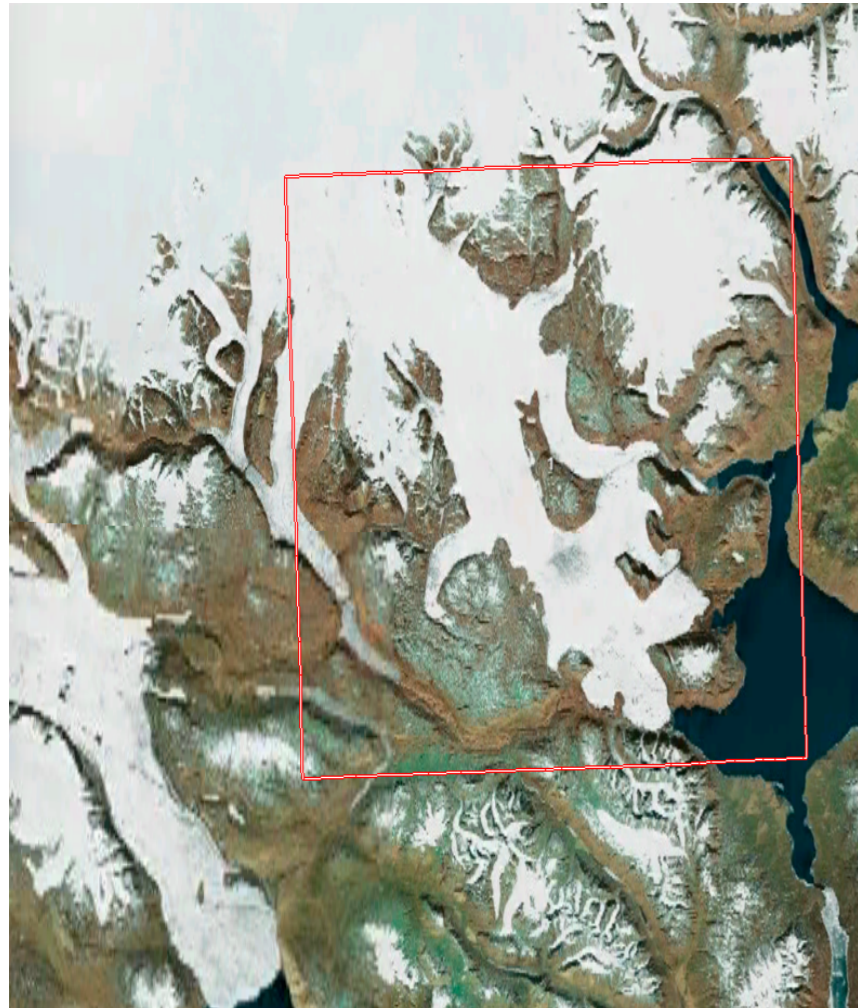
Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

Résolution - Terrasar-X data (Antarctica)



Traitements préliminaires de détection et de suivi des icebergs

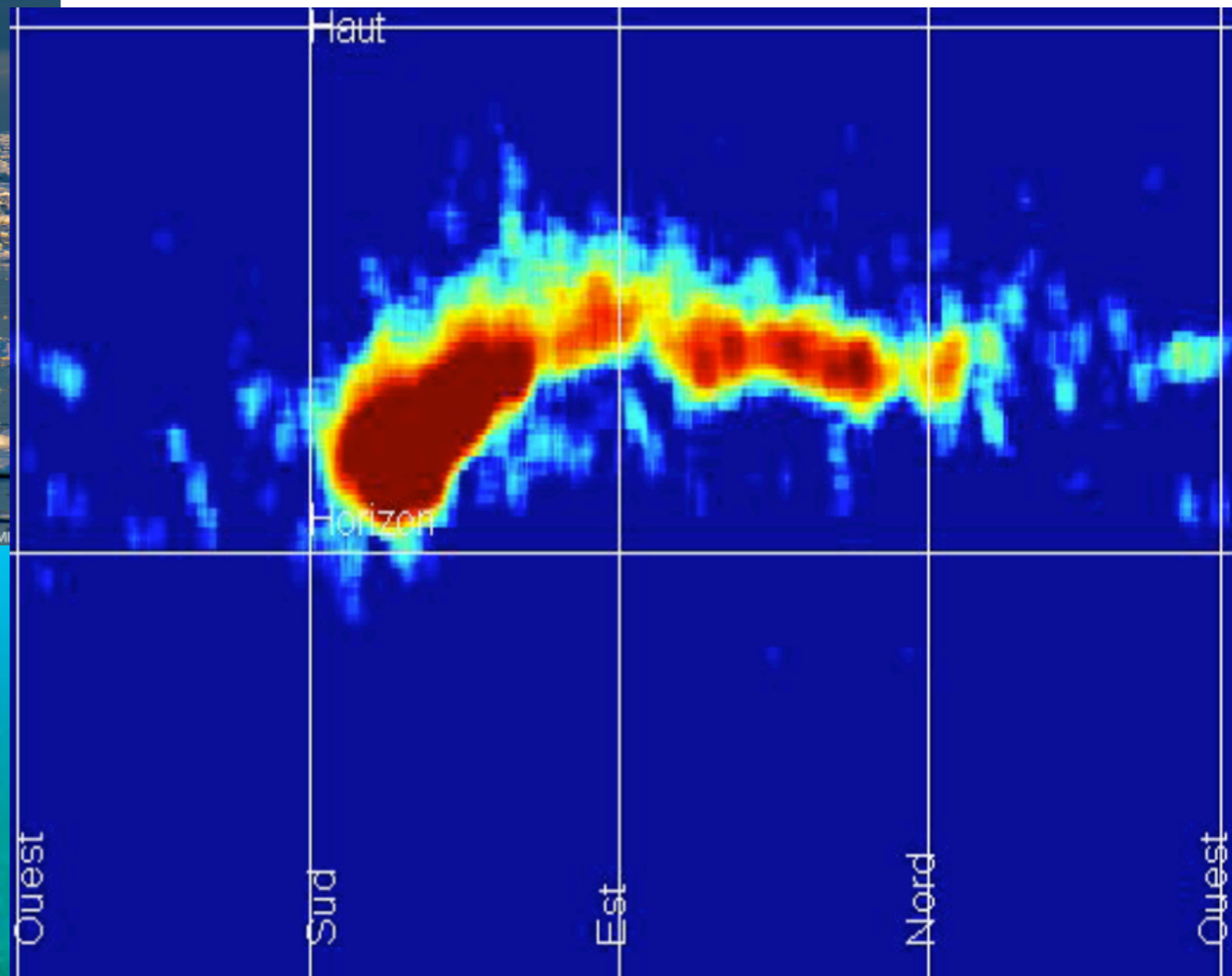
Glaciers : Offset/Speckle tracking



Le vêlage de d'iceberg/de glace



Ecoute acoustique passive



Ecoute acoustique passive



Fracturation Iceberg



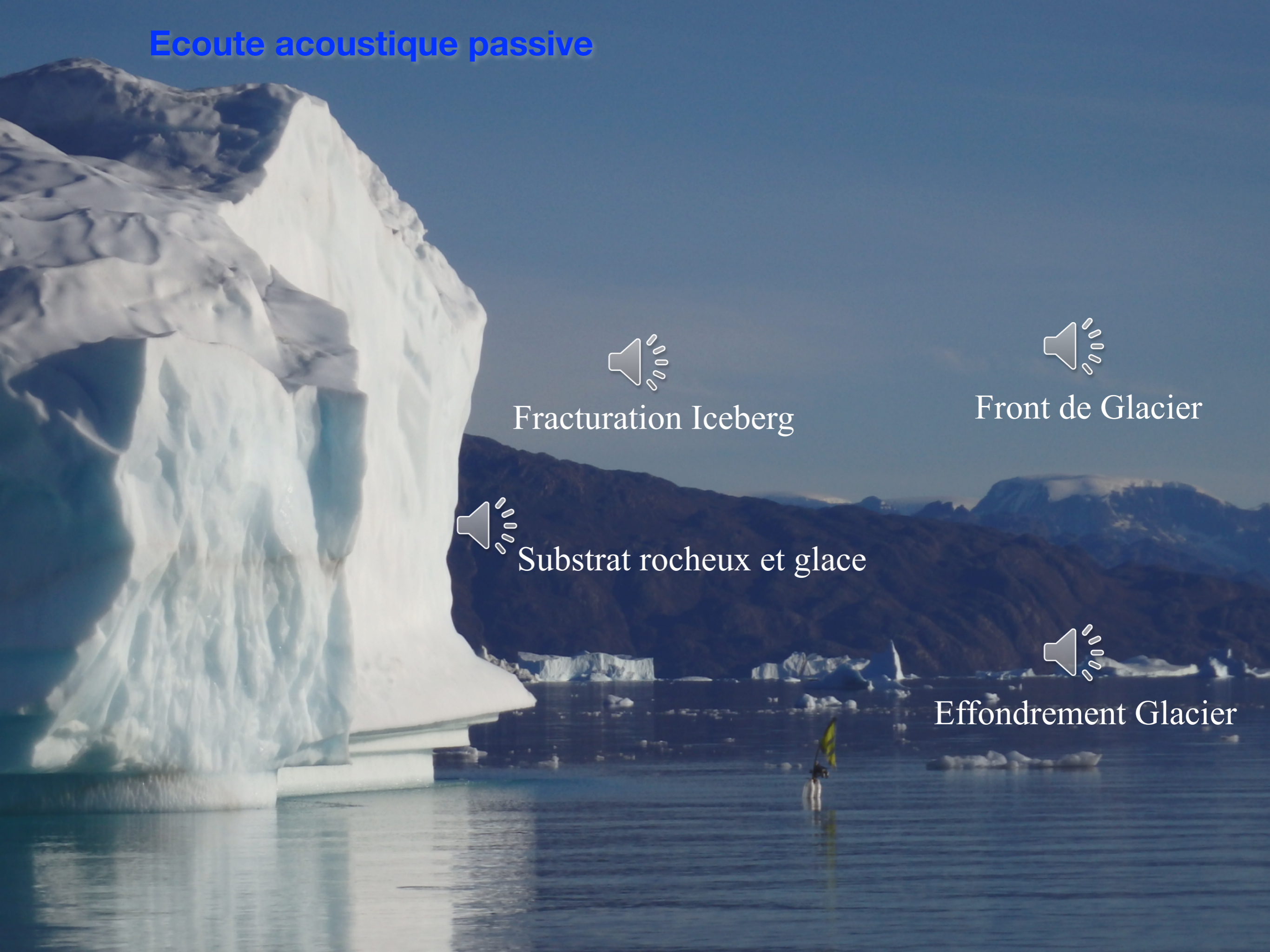
Front de Glacier



Substrat rocheux et glace



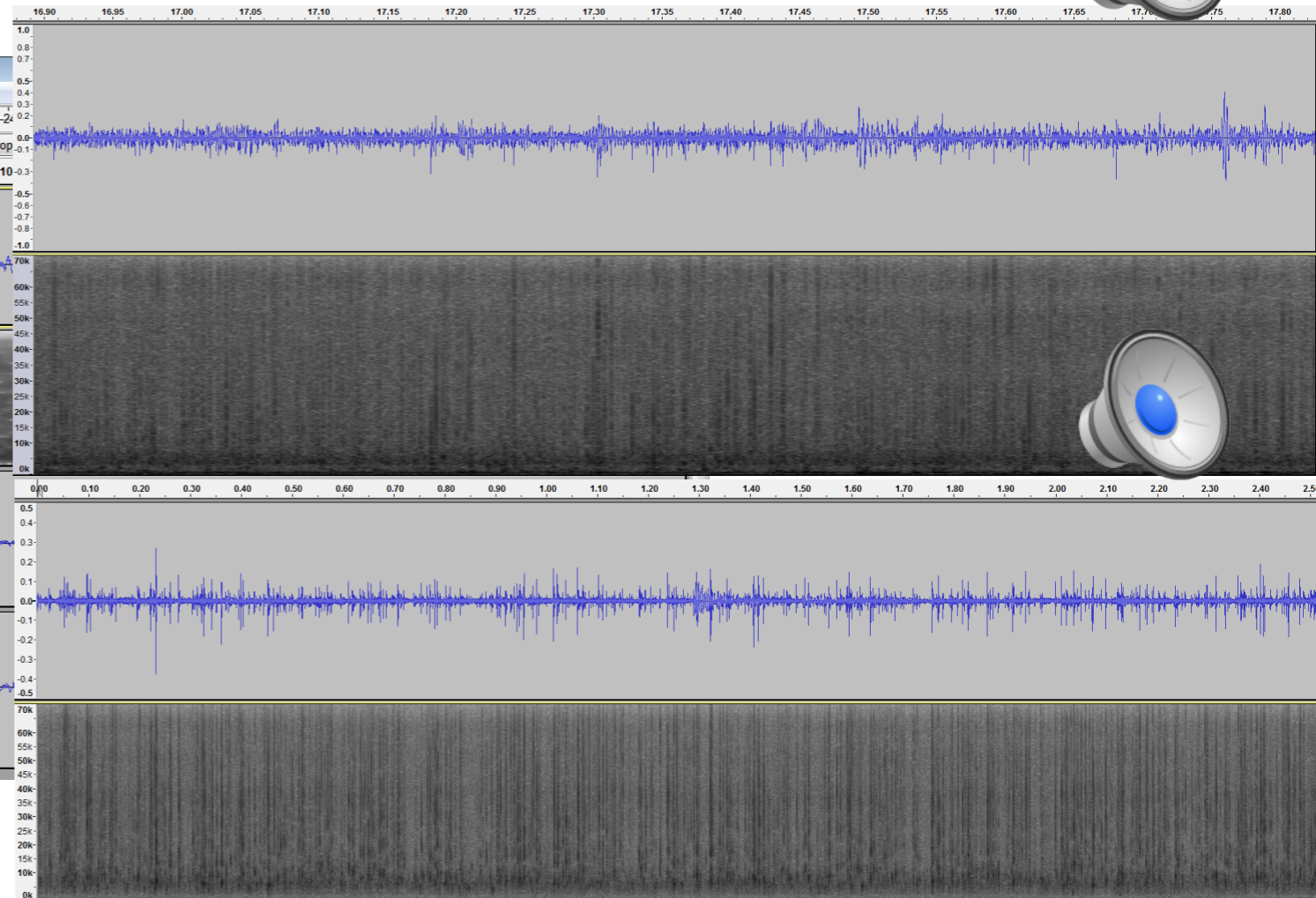
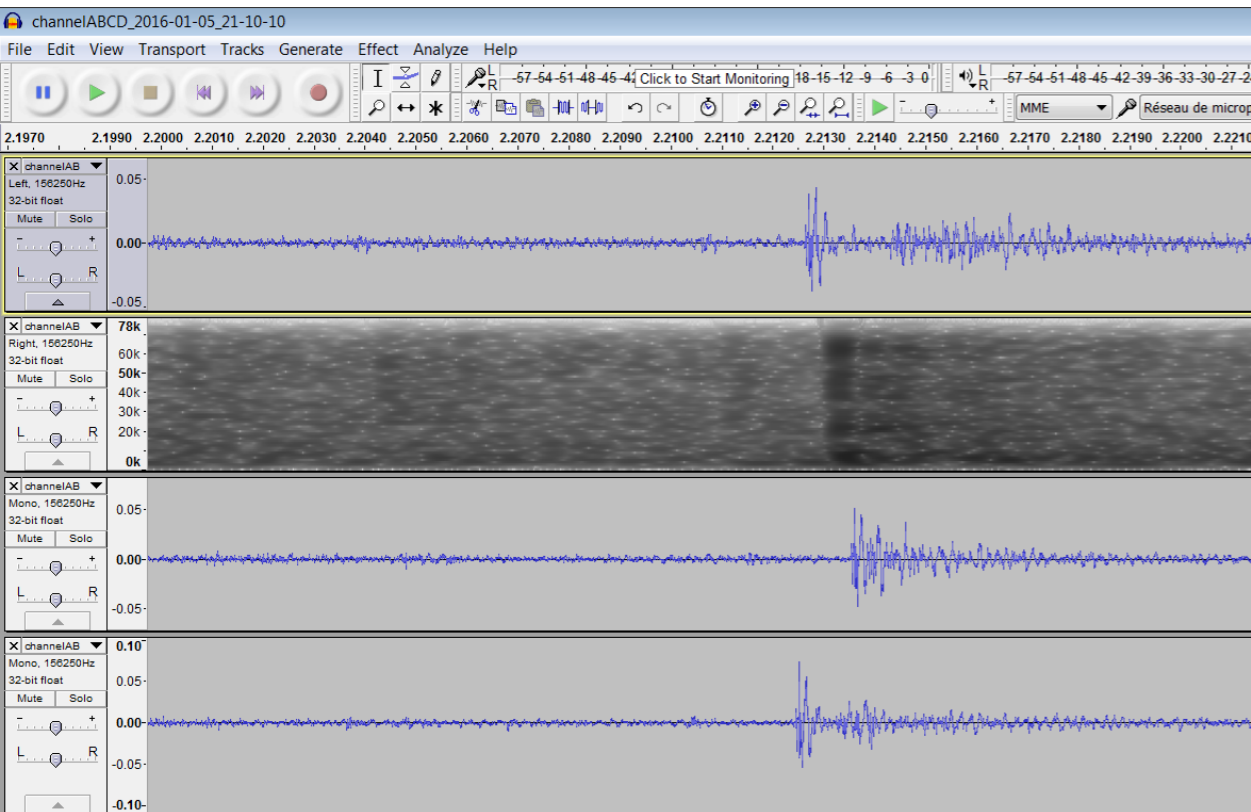
Effondrement Glacier



➤ Ecoute acoustique passive :

Sound Level
Forme des signaux

Impulsions ➔ localisables

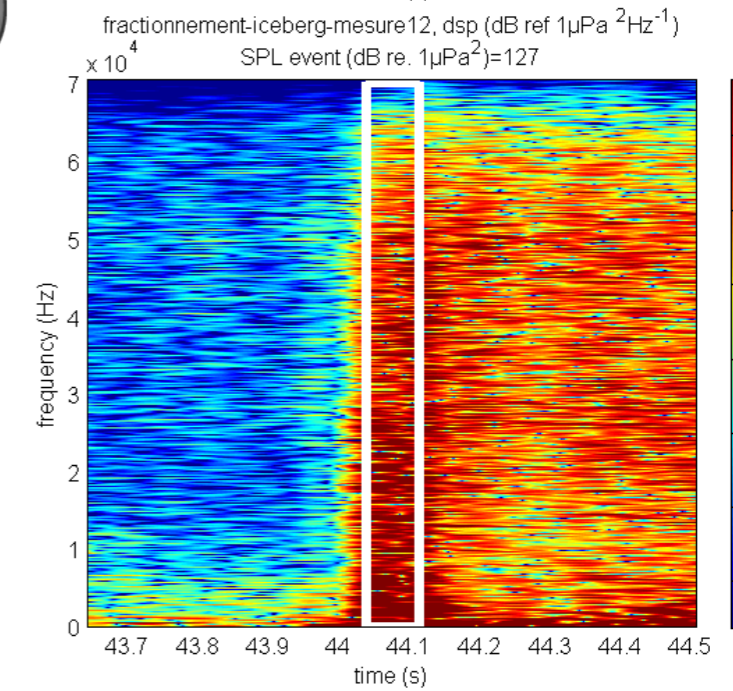
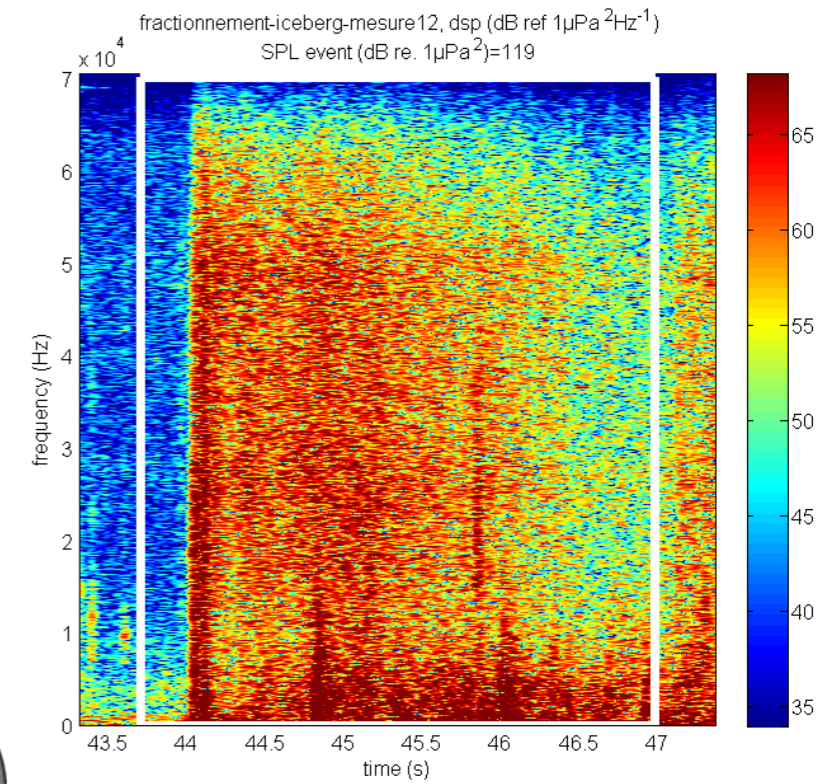
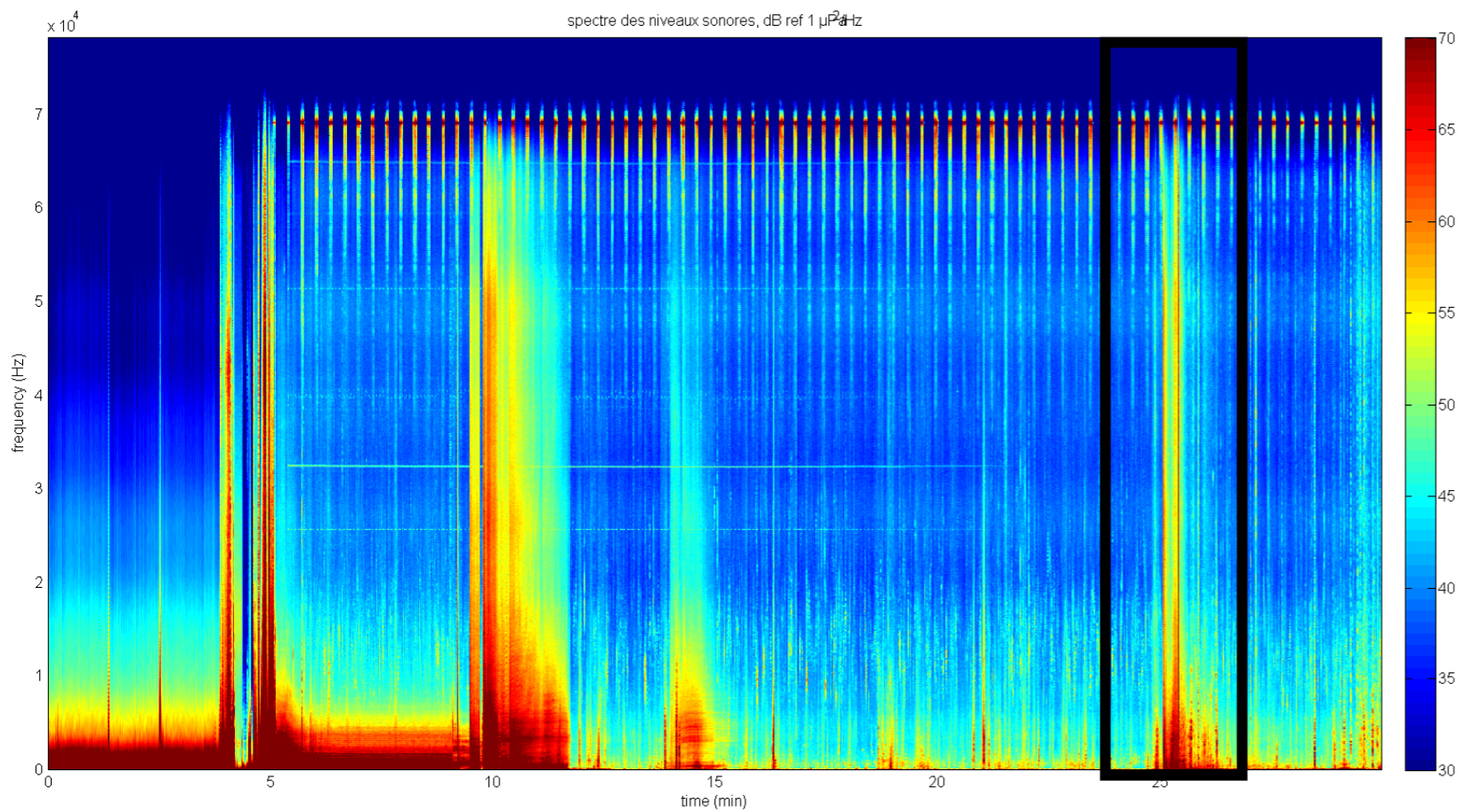


➤ Ecoute acoustique passive :

Chute de glace (Sound Level) Forme des signaux

Autres signaux

➔ SPL(événement) = 144 dB \approx 1km portée

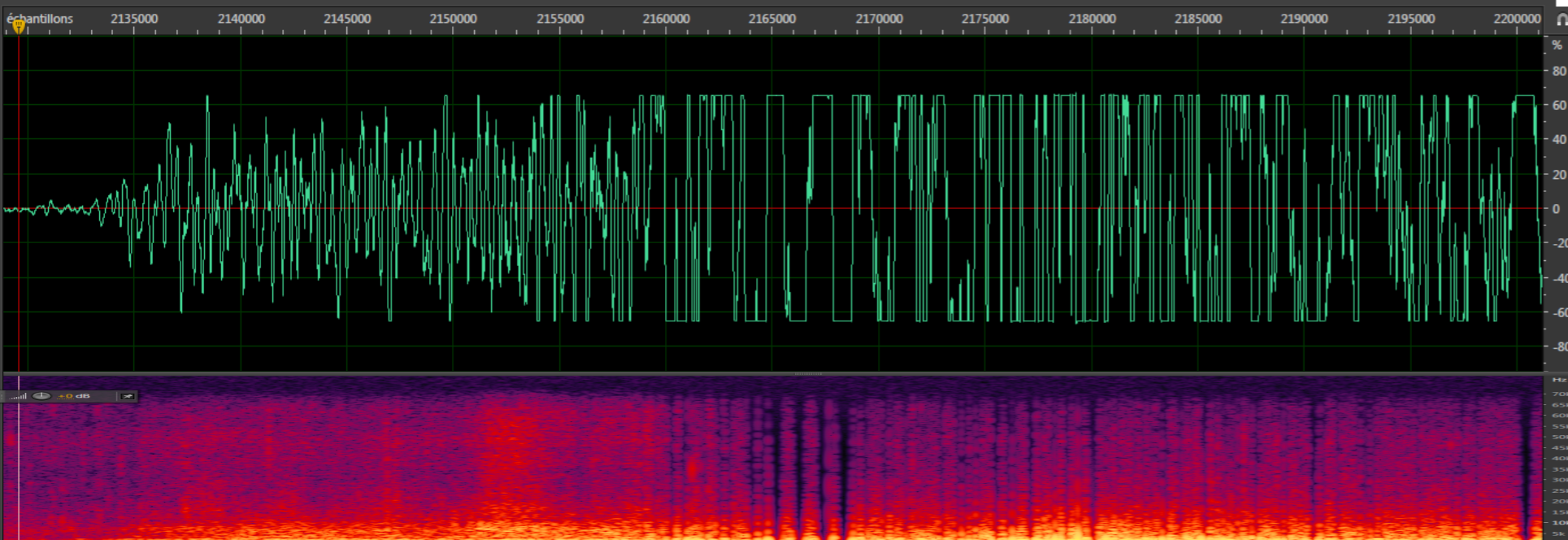
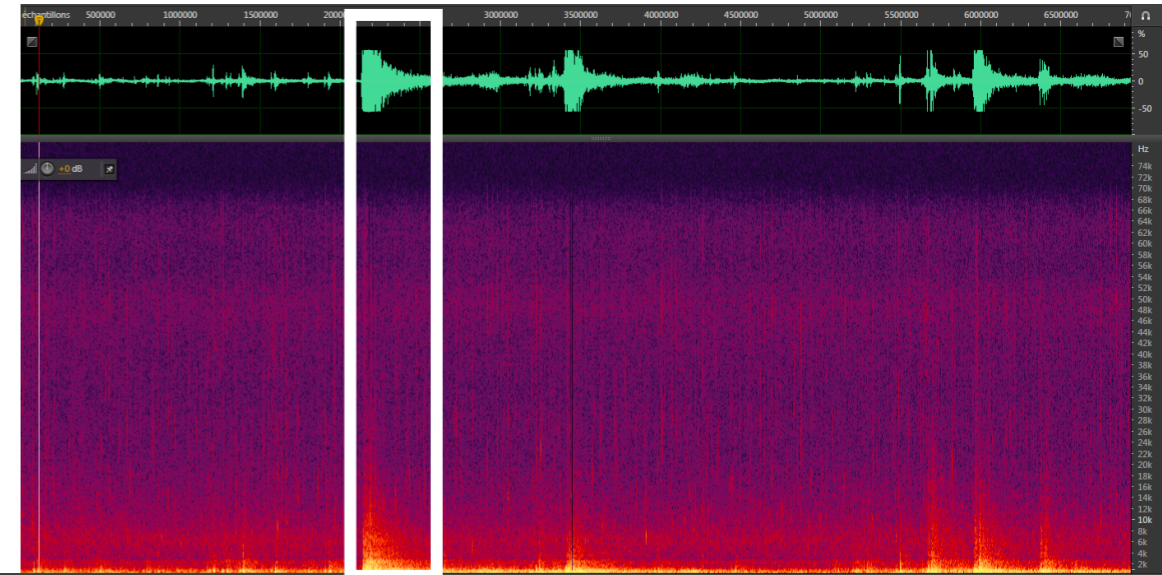


➤ Ecoute acoustique passive :

Sound Level
Forme des signaux

Autres signaux

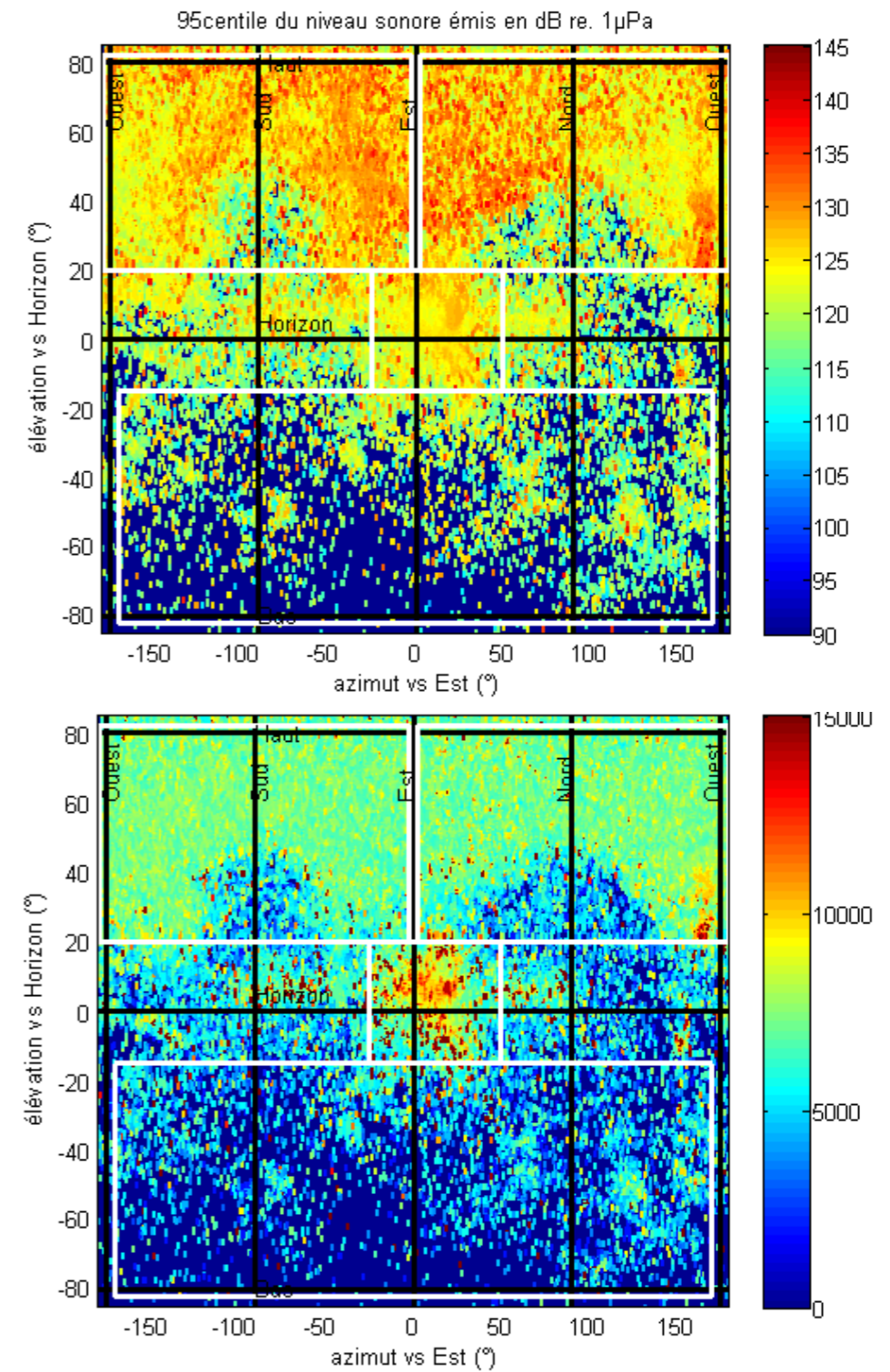
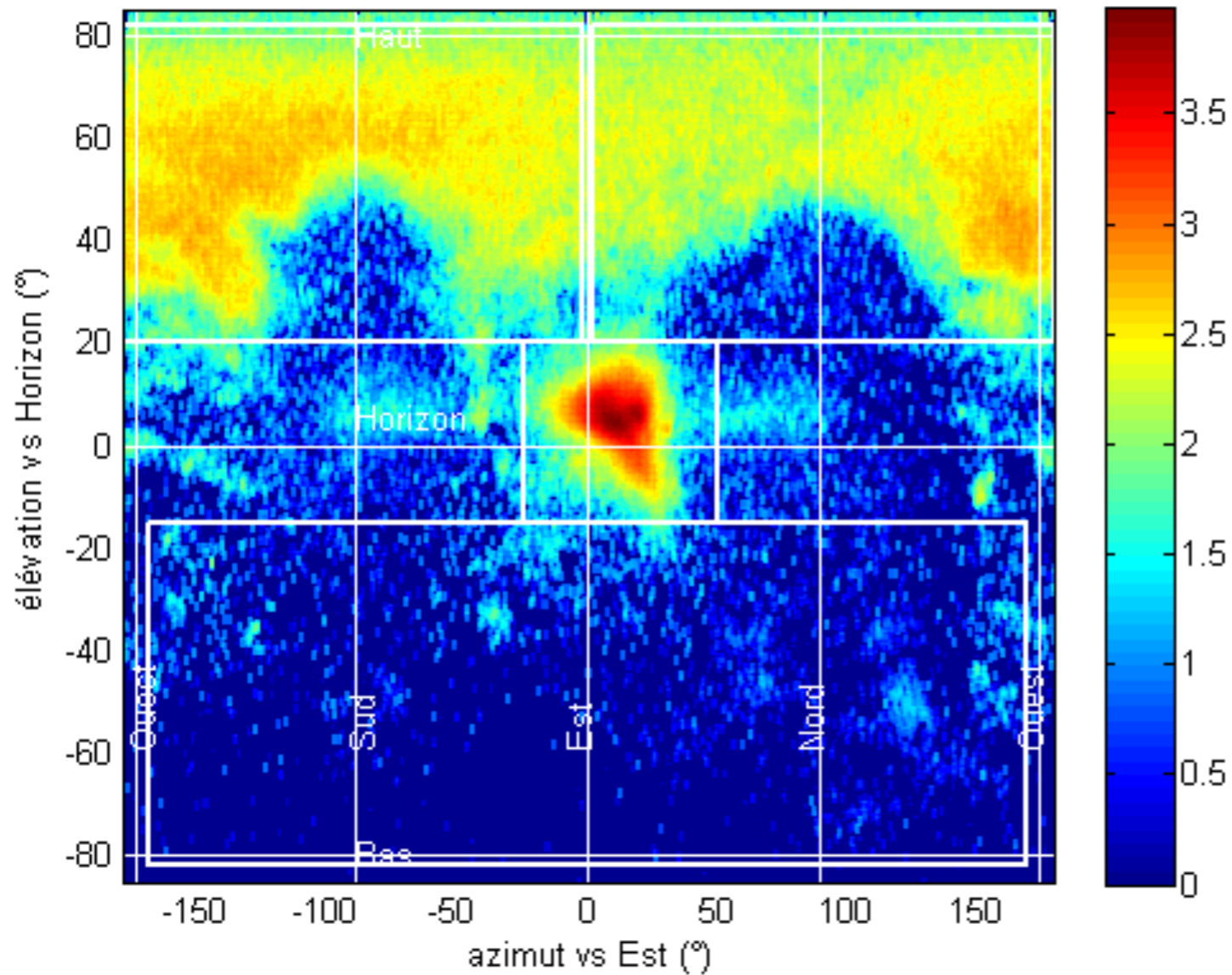
- ➔ Plusieurs 10aine par minute
- ➔ Localisation possible.



➤ **Ecoute acoustique passive :**

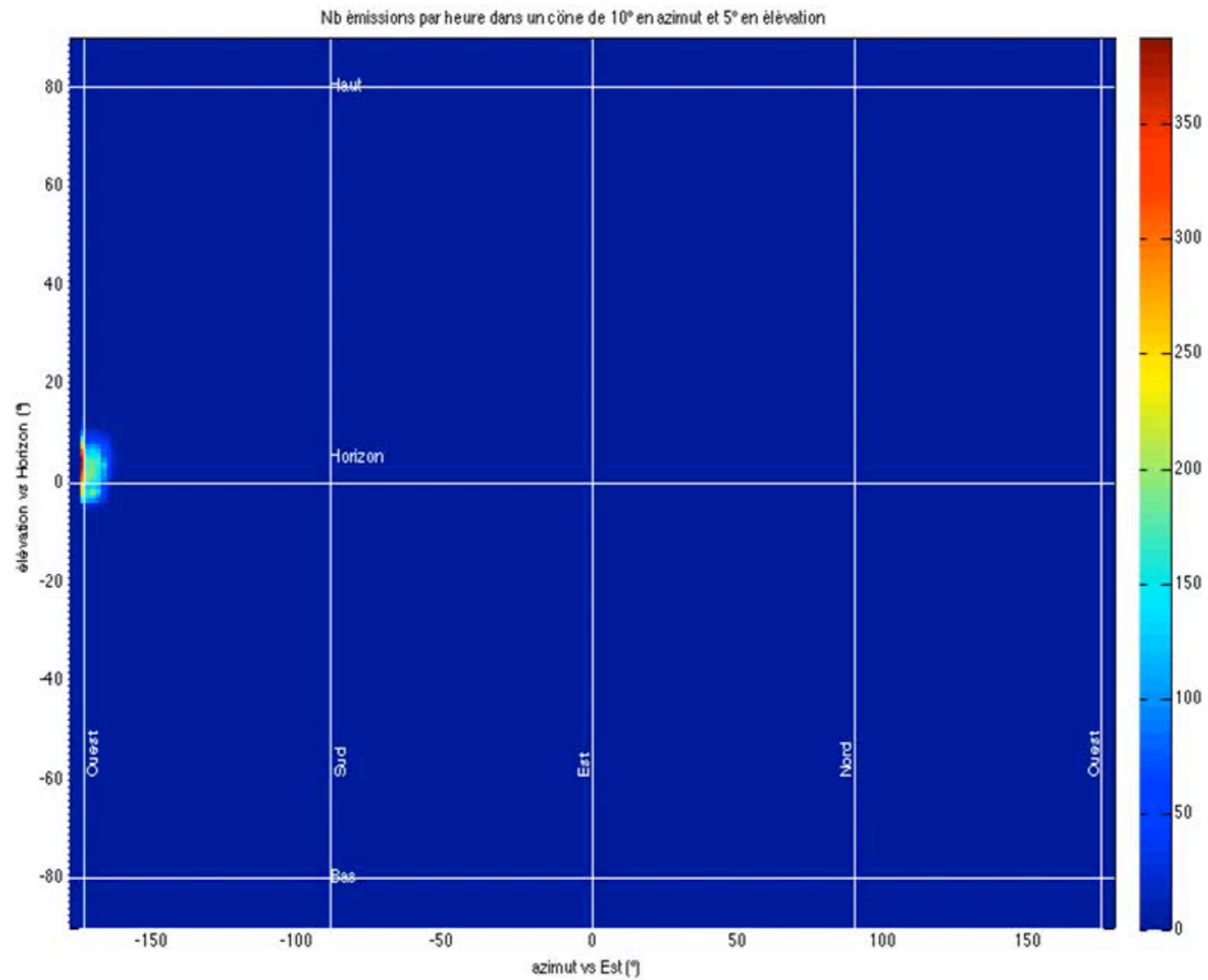
➤ **Localisation d'icebergs**

log10(Nb émissions par heure) dans un cône de 2° en azimut et 2° en élévation

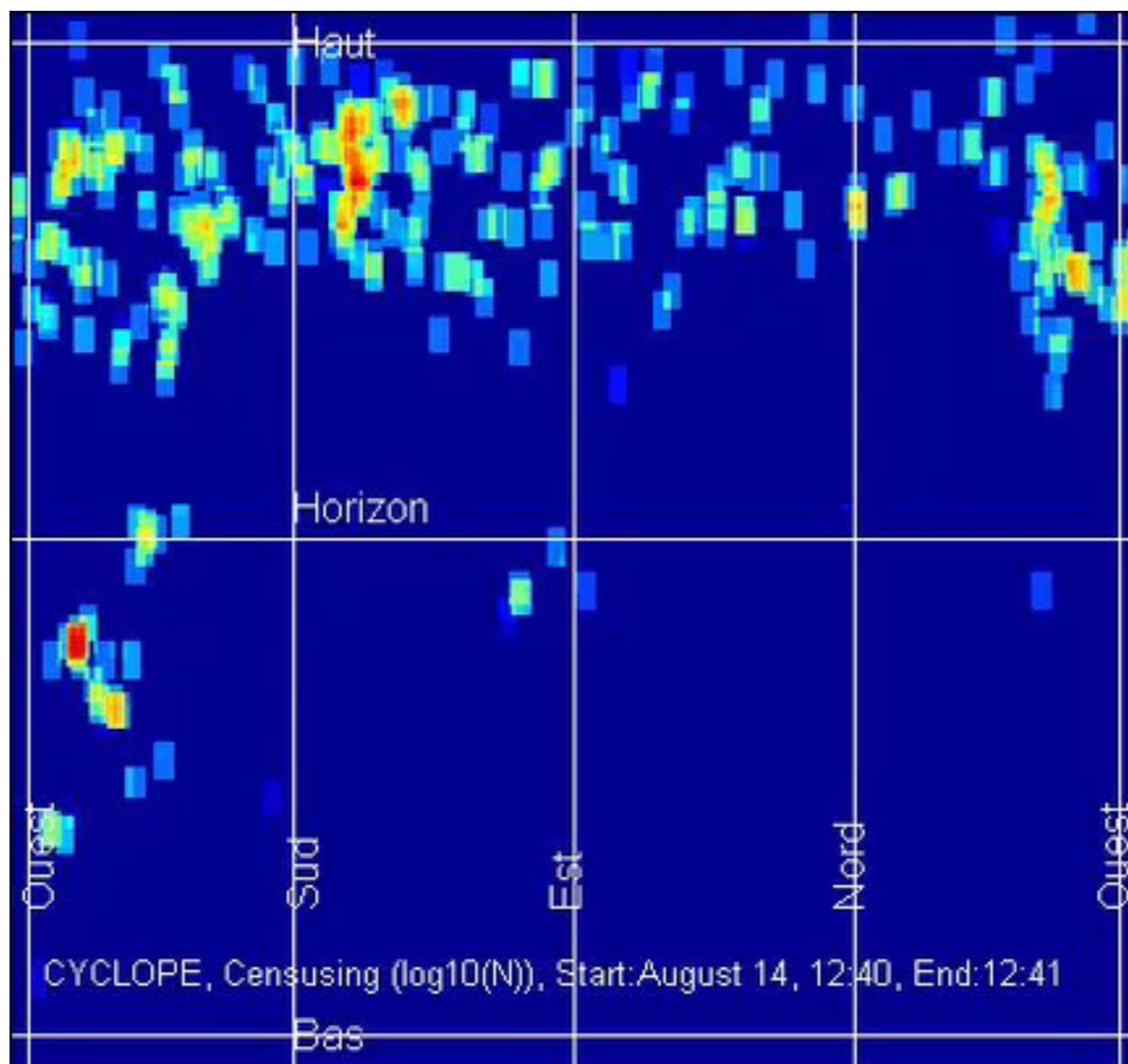


➤ **Ecoute acoustique passive :**

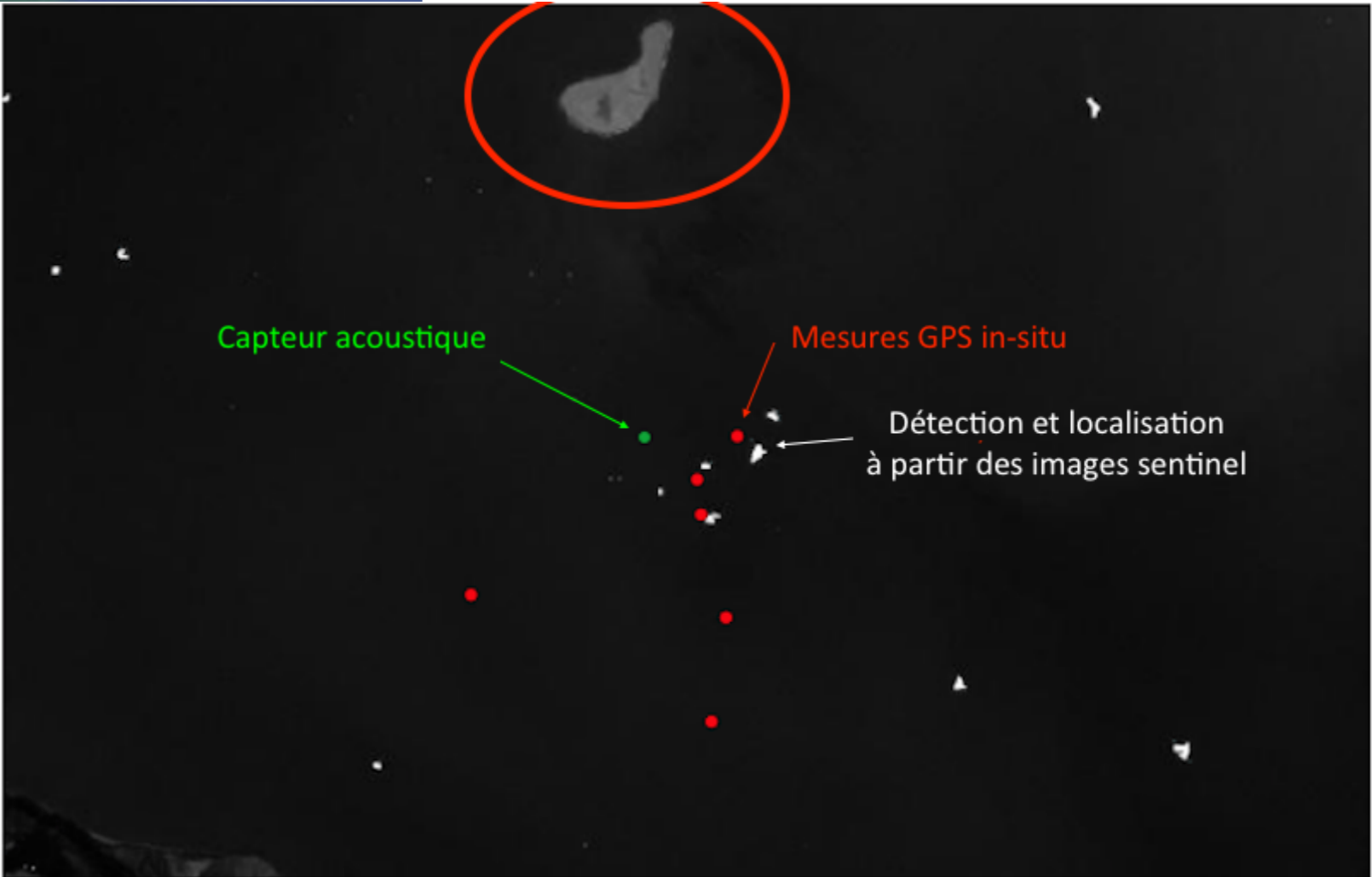
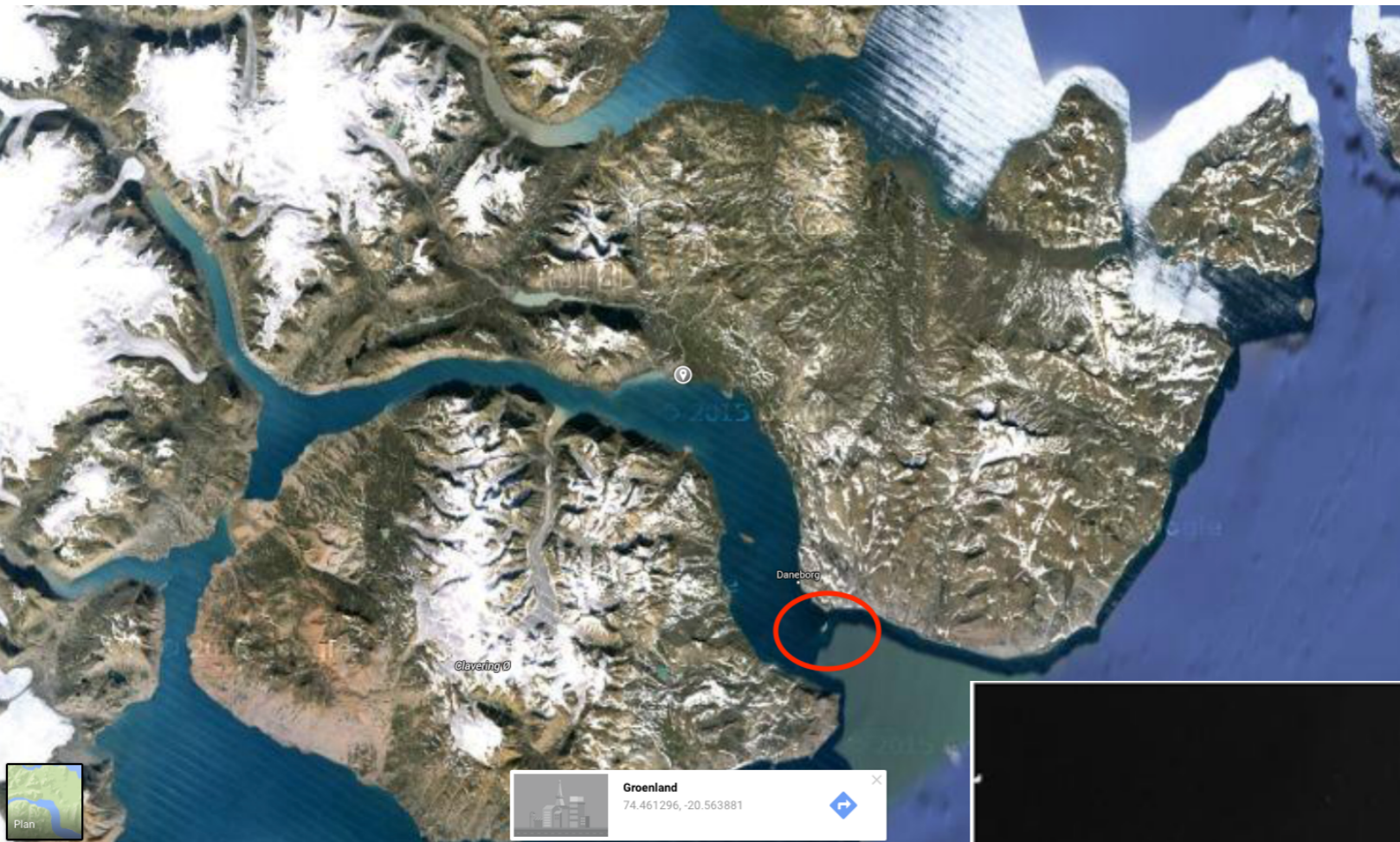
➤ **Simulation**



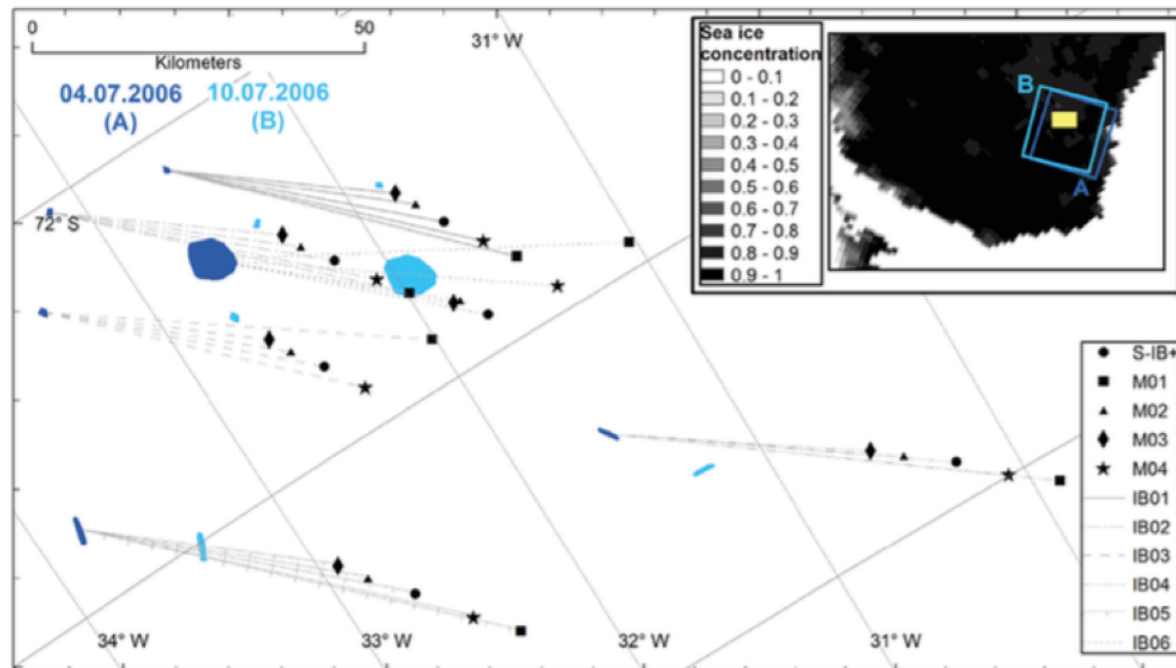
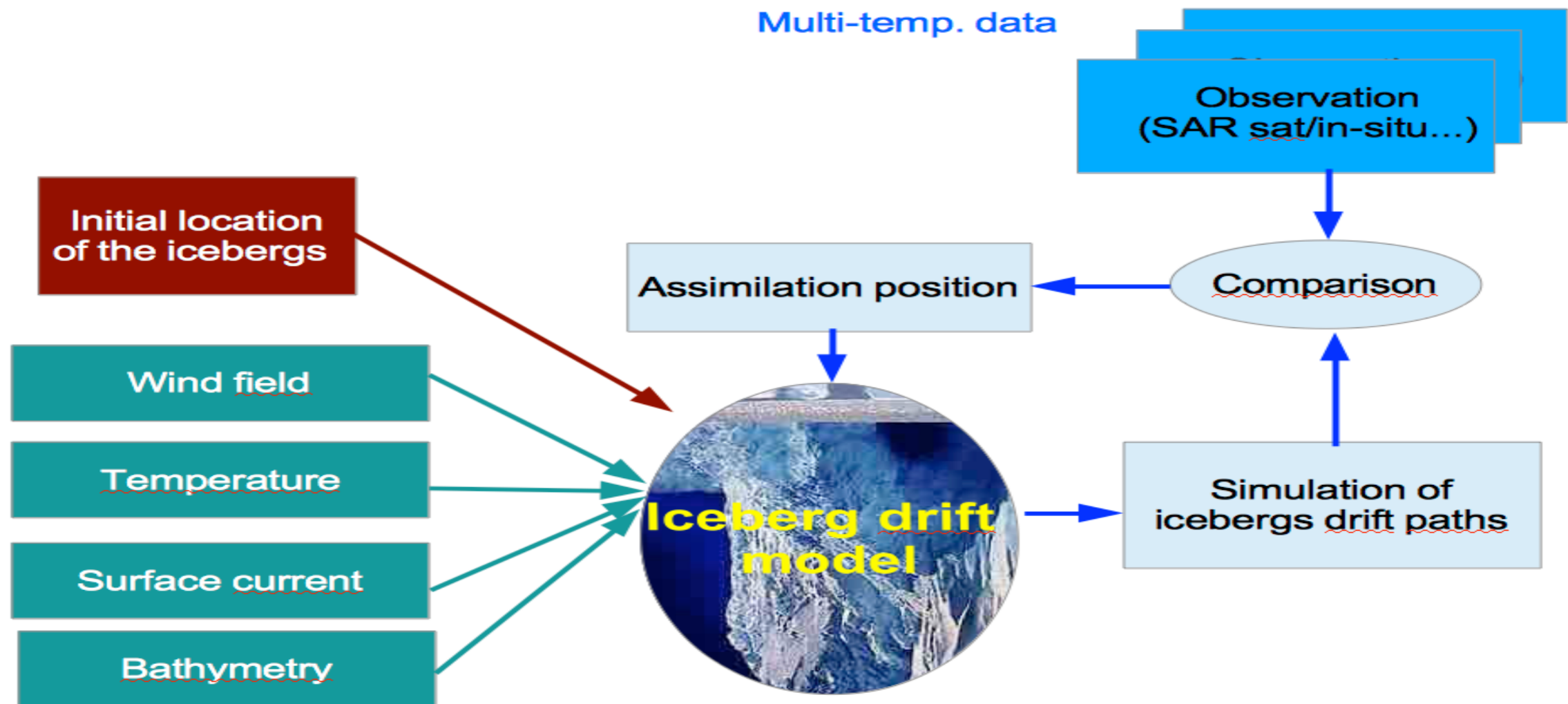
- **Ecoute acoustique passive :**
- Localisation d'icebergs Daneborg



Arctique challenges !!...



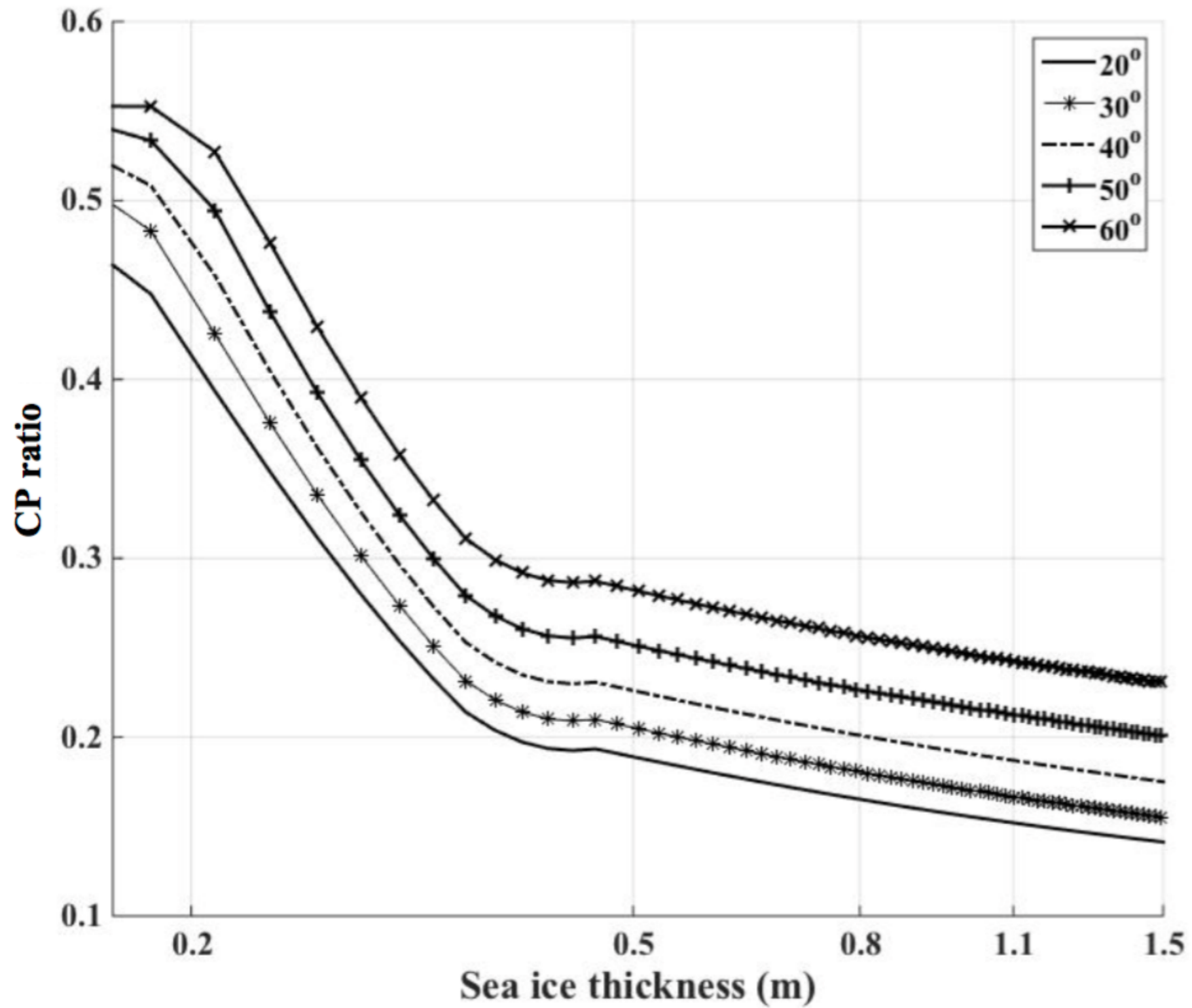
Arctique challenges !!...



Iceberg drift model

Intégration d'informations dynamiques

- □ Ice map (daily product from Ocean and Sea Ice-SAF), detected targets.
- □ Wind field (S1 product), current, MAR...



■ □ Epaisseur de la glace de mer à partir de la C-band CP

Perspectives

- **L'approche basée sur le CFAR n'est pas adaptée pour la détection des icebergs dans le « pack » -> nouvelle méthode.**
- **Besoin de connaissance à priori sur le vêlage des icebergs des glaciers (densité, période, conditions météorologiques...).**
- **Développer un algorithme d'assimilation des données satellitaires basé sur un modèle de courant océanique de déplacement et de dégradation des icebergs.**
- **Coupler les données satellitaires et les données acoustiques.**

Merci de votre attention



Maybe satellite observation will help to save the Arctic icepack and my home...

