



**HAL**  
open science

# Suivi de l'épaisseur de glace avec la sismique passive et l'apprentissage automatique

Ludovic Moreau, Léonard Seydoux, Jérôme Weiss

► **To cite this version:**

Ludovic Moreau, Léonard Seydoux, Jérôme Weiss. Suivi de l'épaisseur de glace avec la sismique passive et l'apprentissage automatique. 2023, pp.11. hal-04224840

**HAL Id: hal-04224840**

**<https://hal.science/hal-04224840>**

Submitted on 2 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Suivi de l'épaisseur de glace avec la sismique passive et l'apprentissage automatique

Comprendre la dynamique de la glace de mer dans le changement climatique est un défi majeur en océanographie et en climatologie, d'autant plus dans la perspective à venir d'un océan Arctique dénué de glace de façon saisonnière. Par exemple, les variations spatiales de l'épaisseur de la glace et de la neige modifient la façon dont la lumière est filtrée à travers la glace de mer, ce qui influence la prolifération de phytoplancton à la fois dans l'Arctique et dans l'Antarctique. Le suivi à grande échelle de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer repose sur des radiomètres à micro-ondes embarqués sur satellite. La résolution spatiale typique pour la couverture et la concentration de glace de mer est d'environ 1 km. L'estimation de l'épaisseur se traduit essentiellement par une épaisseur apparente et intégrée sur la même échelle spatiale, car son estimation est sensible à de nombreux facteurs d'échelle locale, tels que la densité de la glace, la rugosité de surface, l'enneigement, la polynie\*... qui conduisent à de grandes incertitudes, en particulier à des échelles inférieures au kilomètre. Compte tenu de l'évolution rapide de l'état de la glace de mer, l'obtention de résolutions temporelles et spatiales

élevées avec des estimations améliorées de l'épaisseur de la neige et de la glace établira les nouvelles normes de surveillance de la glace de mer.

Le projet Icewaveguide a établi la preuve de concept de méthodes de surveillance sismique passive pour estimer simultanément l'épaisseur, la rigidité et la densité de la banquise, soit par l'interférométrie du bruit sismique enregistré dans la glace soit en exploitant les signaux des tremblements de glace. Une résolution spatiale de quelques dizaines de mètres et une résolution temporelle de quelques heures ont été atteintes. Tant sur la banquise côtière que sur la banquise, les épaisseurs estimées étaient en très bon accord avec celles trouvées avec les forages et les levés électromagnétiques.

Le chaînon manquant entre l'acquisition de données et la surveillance à long terme de la glace de mer est la capacité d'extraire, dans les enregistrements continus, les parties utiles des formes d'onde sismiques du bruit de fond, pour des estimations automatiques des propriétés de la glace de mer. Pour résoudre ce problème, nous proposons de combiner une méthode d'apprentissage pour le regroupement automatique

des formes d'onde enregistrées sur la glace de mer avec l'inférence bayésienne pour localiser la position de milliers de tremblements de glace tout en évaluant simultanément l'épaisseur de la glace (Figure 1a). L'énergie des tremblements de glace peut également être calculée pour dériver une loi d'échelle (Figure 1b), qui peut contenir des informations sur la structure de la glace. On retrouve une loi de puissance avec une pente de -0,9 entre 400 J et 80000 J. Celle-ci est plus importante que pour les séismes, pour lesquels la loi d'échelle typique en énergie a une pente de -0,66.

Ludovic Moreau, Léonard Seydoux, Jérôme Weiss

\* Polynie : zone, en Arctique ou en Antarctique, qui reste libre de glace ou couverte d'une couche de glace très mince, au milieu de la banquise (Wikipedia).

### Références

Moreau, L. and Résif (2019), Svalbard - Vallunden (Icewaveguide), doi.org/10.15778/Résif.XG2019.

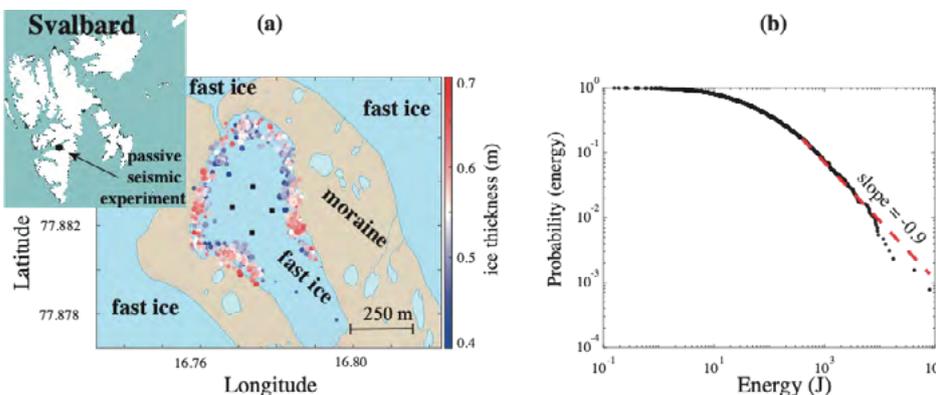
Moreau, L. et al. (2020), Sea ice thickness and elastic properties from the analysis of multimodal guided wave propagation measured with a passive seismic array, *J. Geophys. Res. Oceans* 125, doi.org/10.1029/2019JC015709

Moreau, L. et al., Accurate Estimations of Sea Ice Thickness and Elastic Properties From Seismic Noise Recorded With a Minimal Number of Geophones: From Thin Landfast Ice to Thick Pack Ice, *J. Geophys. Res. Oceans* 125 doi.org/10.1029/2020JC016492

Screen, J. and C. Deser (2019), Pacific Ocean variability influences the time of emergence of a seasonally ice-free Arctic Ocean, *Geophys. Res. Lett.* 46, doi.org/10.1029/2018GL081393

Serripierrri, A. et al. (2022), Recovering and monitoring the thickness, density and elastic properties of sea ice from seismic noise recorded in Svalbard, *The Cryosphere* 16, doi.org/10.5194/tc-16-2527-2022

Seydoux, L. et al. (2020), Clustering earthquake signals and background noises in continuous seismic data with unsupervised deep learning, *Nature Communications*, 11, 3972, doi.org/10.1038/s41467-020-17841-x



1 - (a) Localisation du réseau de l'expérience de sismique passive qui a duré 28 jours au Svalbard (Mars 2019) avec la position de quatre géophones (carrés noirs). Les points colorés indiquent l'épicentre des tremblements de glace et l'épaisseur de glace associée. Notez l'augmentation d'environ 15 cm pendant le déploiement en raison des températures froides. (b) Loi d'échelle de l'énergie des tremblements de glace.