

SUIVI DES ÉVÈNEMENTS EXTRÊMES DE PLUIE SUR NEIGE DANS L'ARCTIQUE CANADIEN À L'AIDE DE DONNÉES MICRO-ONDES PASSIVES MULTI-SOURCES



CAROLINE DOLANT

*Groupe de recherche interdisciplinaire sur les milieux polaires
Université de Sherbrooke
caroline.dolant@USherbrooke.ca*

Le changement climatique a des impacts sur l'ensemble de la planète particulièrement en Arctique



Augmentation des températures de l'air

Augmentation des précipitations

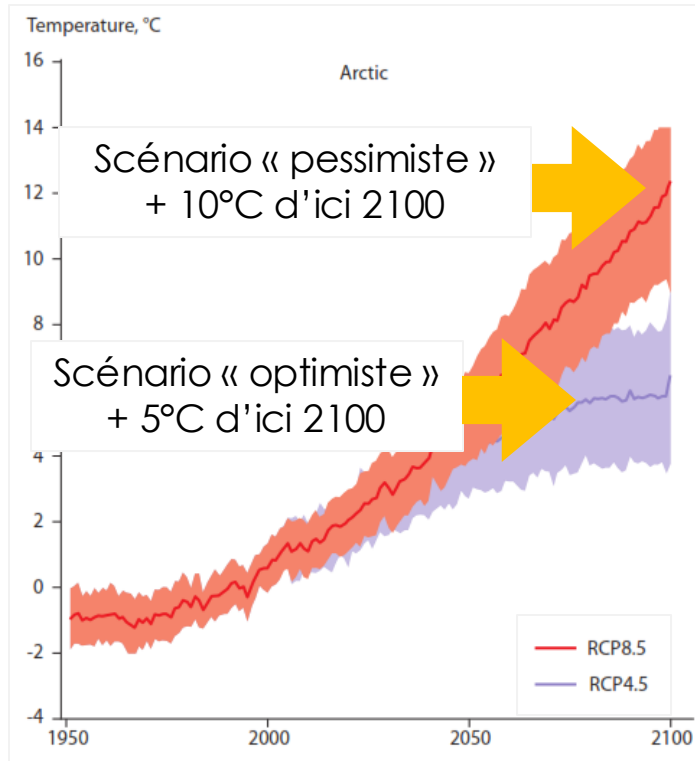
Diminution du temps de présence et de l'étendue de la neige au sol

Modification des directions et intensités des vents
(tempêtes plus fréquentes)

Fonte de la banquise (apport d'humidité sur les côtes)

Réduction de salinité,

etc...





Occurrence de précipitations liquides
en présence de neige au sol
Percolation et ruissellement de l'eau
dans le manteau neigeux



Transport de la neige par le vent

CONSÉQUENCES

Si $T > 0^{\circ}\text{C}$

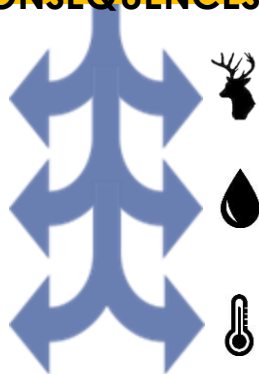
Accélération de la
fonte

Si $T < 0^{\circ}\text{C}$

Densification des couches
du manteau neigeux

Si vitesse du vent soutenue

Densification des couches
de surface du manteau
neigeux



Écologique :

accès à la nourriture modifié

Hydrologique :

modification des processus de
percolation

Énergétique :

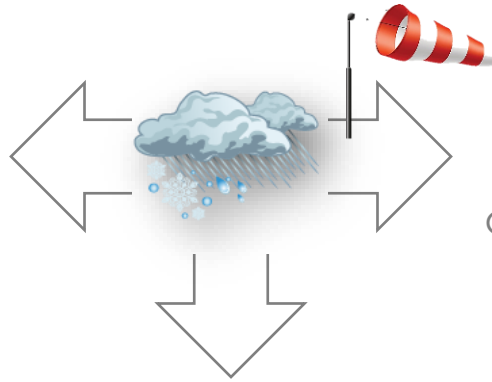
modification des échanges de
température entre les couches et
du bilan d'énergie de surface
(ex. : modification de l'albédo,
...)

PERCOLATION

Neige « mouillée » dans le manteau au début de l'hiver dans le nord de la Suède (Johansson et al., 2011)

Saturation du sol due à la présence d'eau dans le manteau lors de la fonte (Westermann et al., 2011)

Métamorphisme de neige « mouillée » et formation de glace



MÉTAMORPHISME

Augmentation de la présence de glace dans le manteau (Chen et al., 2013 et Langlois et al., 2017)

DENSIFICATION

Densification du couvert nival de $0,29 \text{ kg.m}^{-3}$ / décennie Liston et Hiemstra (2011)

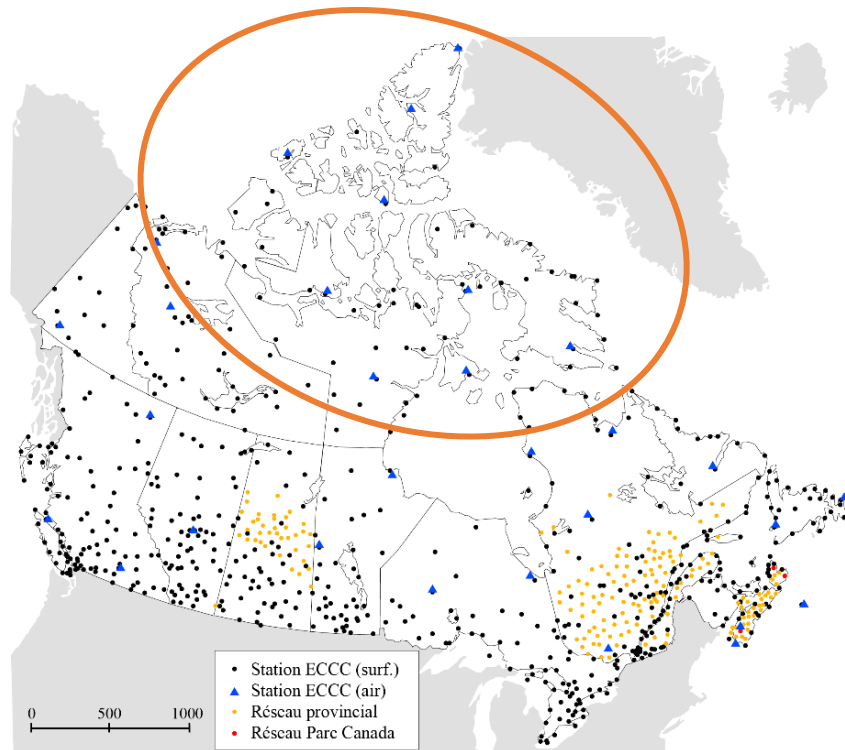
Augmentation des couches denses dans le nord de la Suède entre 1961 et 2009 (Johansson et al., 2011),

Augmentation de la densité

Comment suivre les événements extrêmes ?

- Disdromètres, capteurs de visibilité
 - Pluviomètres
- Observations visuelles aux stations météorologiques
- Mesures in-situ de puits de neige
- Modélisation du manteau neigeux
- Modèles atmosphériques (ex. : WRF, GFS, ...)

■ Télédétection



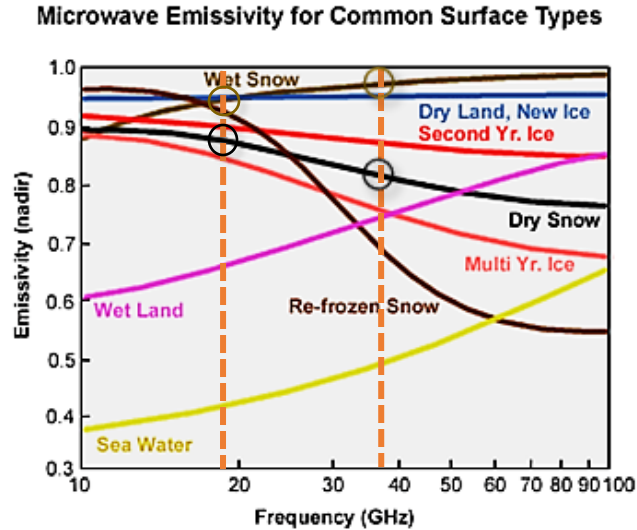
POURQUOI UTILISER LA TÉLÉDÉTECTION MICRO-ONDES PASSIVES?

Approximation de Rayleigh-Jeans

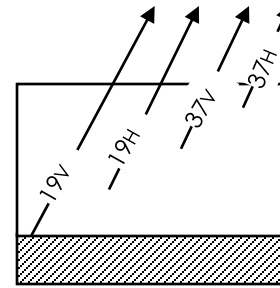
$$T_B \approx \varepsilon \cdot T_{eff}$$

ε dépend de:

- la fréquence
- la structure
- la composition
- la teneur en eau liquide (TEL)

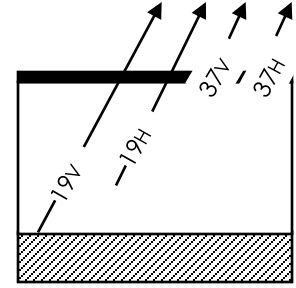


Adapted from Dr. Norman C. Grody



Conditions normales

$$37H < 19H$$
$$37V < 19V$$



Conditions humides

$$37H > 19H$$
$$37V < 19V$$

Development of a rain-on-snow detection algorithm using passive microwave radiometry

Caroline Dolant,^{1,2*} Alexandre Langlois,^{1,2} Benoit Montpetit,^{1,2,3} Ludovic Brucker,^{4,5}
Alexandre Roy¹ and Alain Royer^{1,2}

¹ Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection (CARTEL), Université de Sherbrooke, Québec, Canada

² Centre d'études nordiques, Québec, Canada

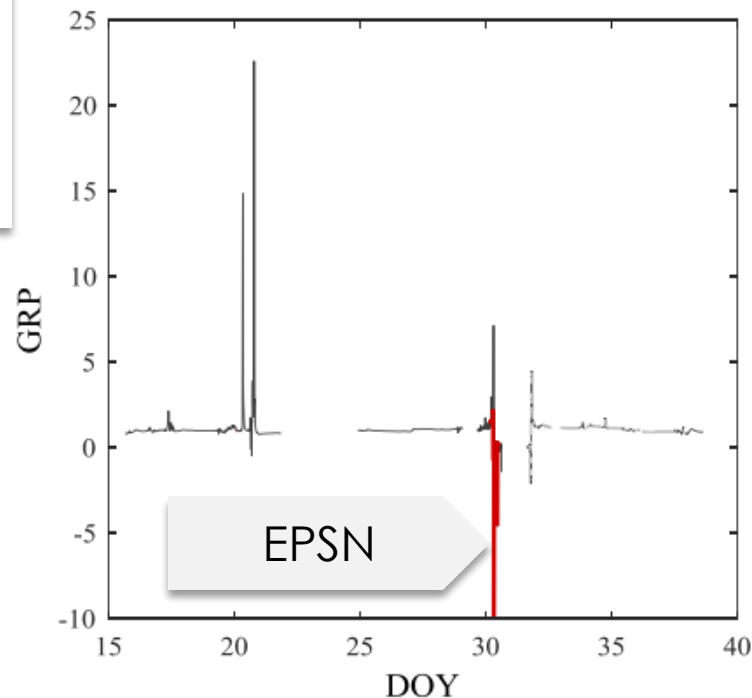
³ Canadian Ice Service, Environment Canada, Ottawa, Canada

⁴ NASA Goddard Space Flight Center, Cryospheric Sciences Laboratory, Code 615, Greenbelt, MD, 20771, USA

⁵ Universities Space Research Association, Goddard Earth Sciences Technology and Research Studies and Investigations, Columbia, MD, 21044, USA

En condition de pluie sur neige
GR-V < 0 et GR-H > 0

$$GR_{pol} = \frac{T_{B_{37}} - T_{B_{19}}}{T_{B_{37}} + T_{B_{19}}} \quad GRP = \frac{GRv}{GRh}$$







Meteorological inventory of rain-on-snow events in the Canadian Arctic Archipelago and satellite detection assessment using passive microwave data

Caroline Dolant^{a,b}, A. Langlois^{a,b}, L. Brucker^{c,d}, A. Royer^{a,b}, A. Roy^{a,b} and B. Montpetit^a 

^aCentre d'Applications et de Recherche en Télédétection, Université de Sherbrooke, Quebec, Canada; ^bCentre for Northern Studies, Université Laval, Quebec, Canada; ^cCryospheric Sciences Laboratory, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA; ^dGoddard Earth Sciences Technology and Research Studies and Investigations, Universities Space Research Association, Columbia, MD, USA

Choix de 14 stations d'ECCC à travers l'Arctique Canadien

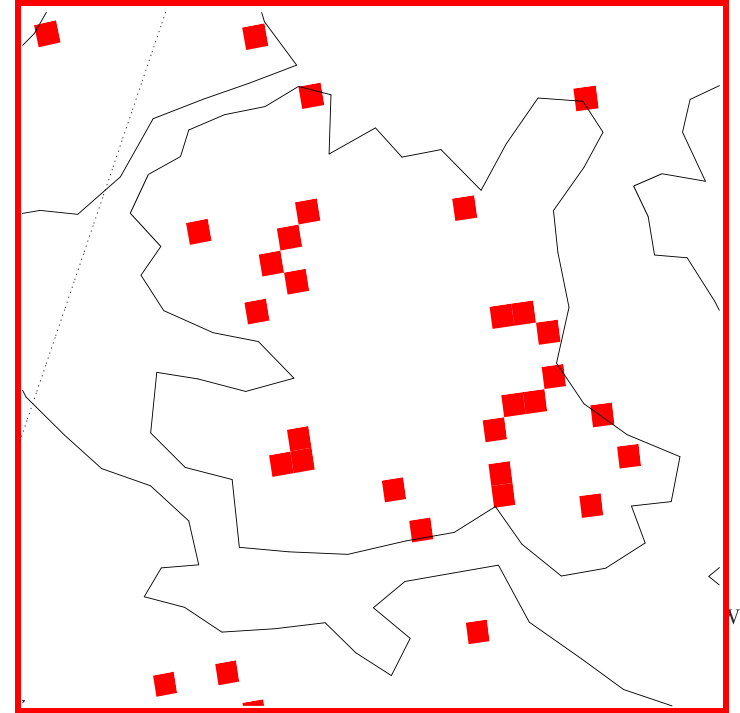
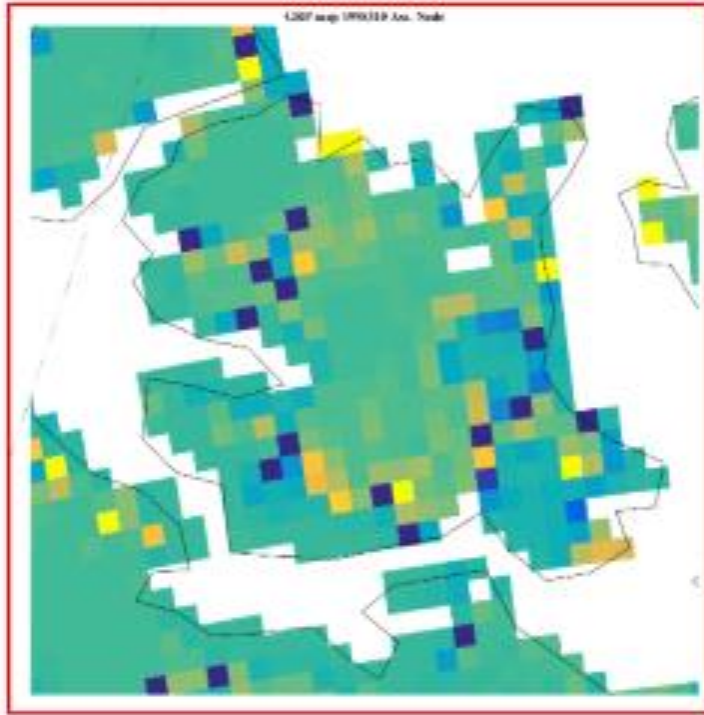
Années inventoriées entre 1984 et 2014

Variables d'intérêts : précipitations (mm), température de l'air (°C), épaisseur de neige cumulée au sol (cm), durée de l'évènement (h) et observations visuelles

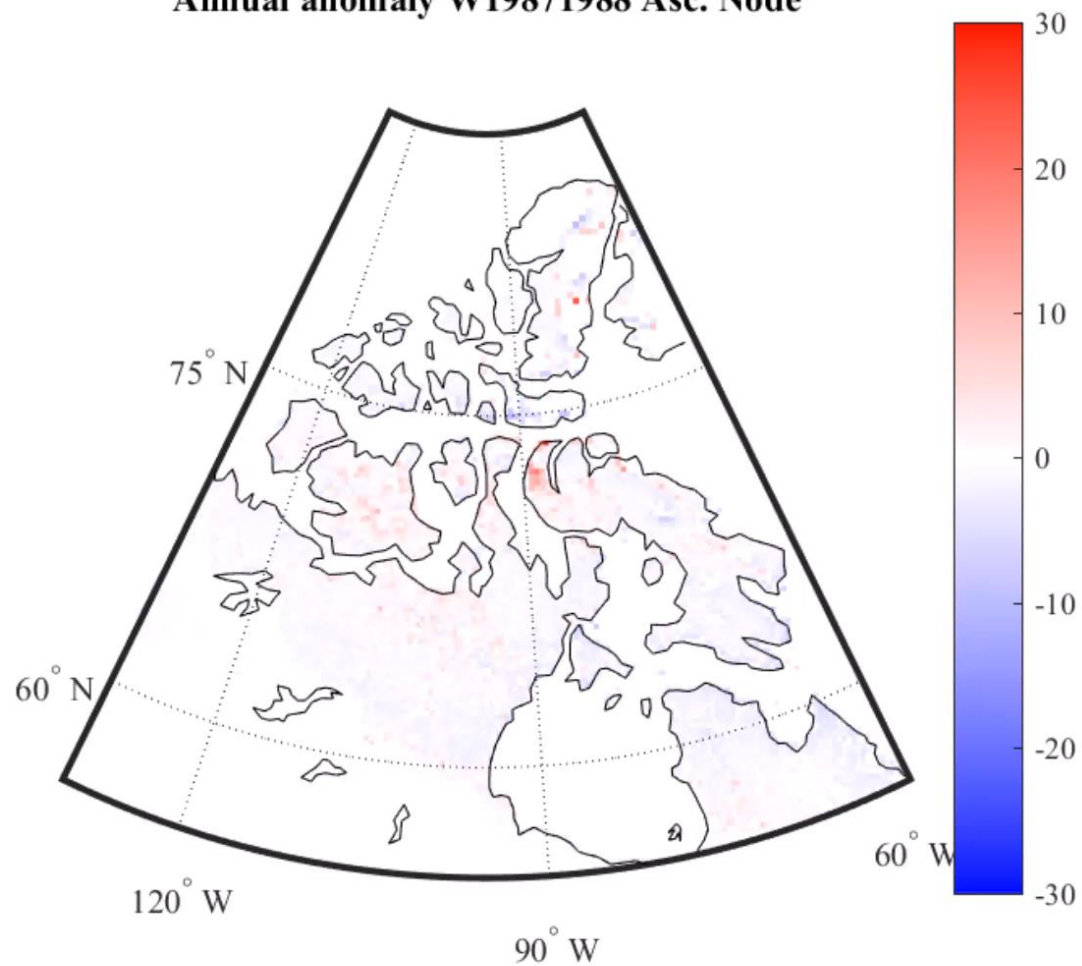
> 600 EPSN inventoriés sur les 14 stations

SEUIL D'APPLICATION POUR L'ARCTIQUE
GRP = -10

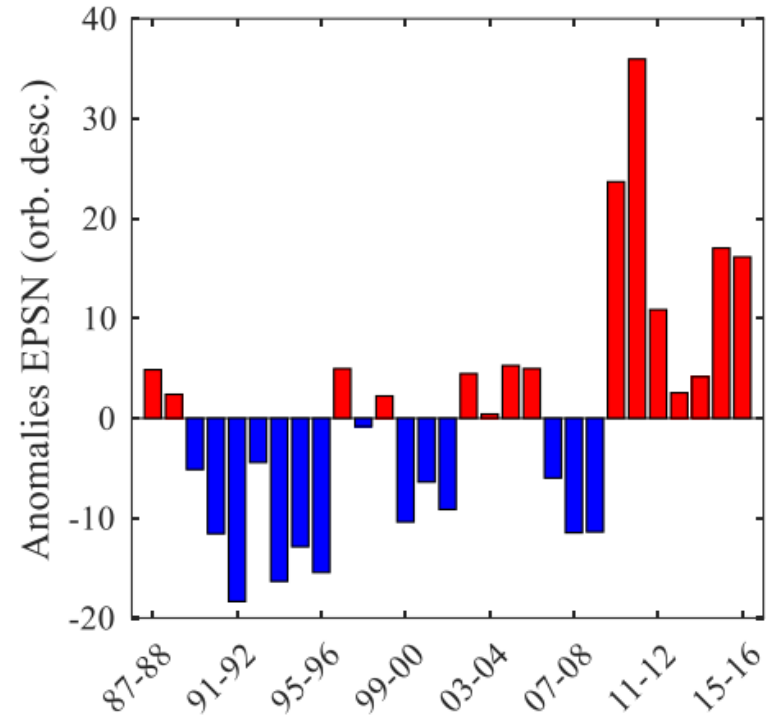
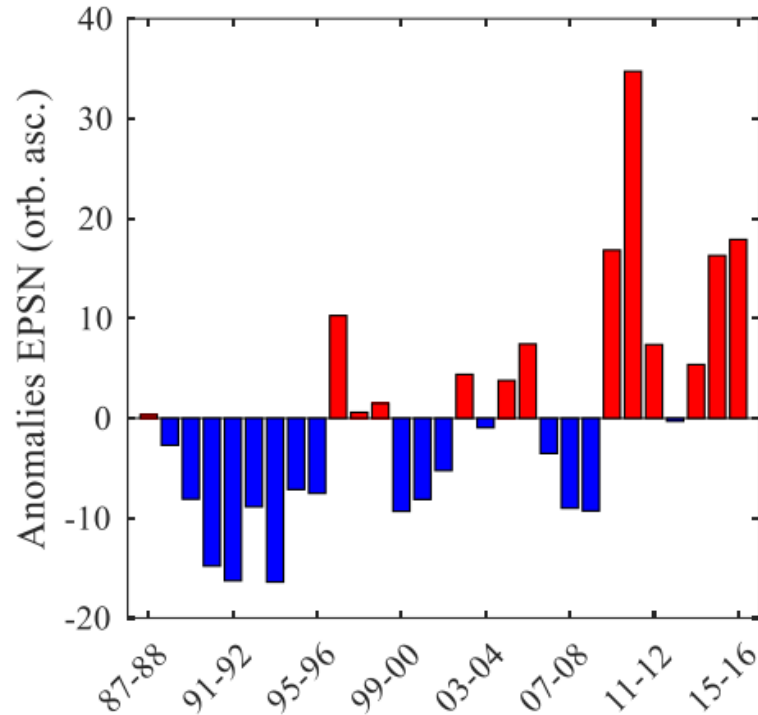
APPLICATION DE LA MÉTHODE DE DÉTECTION SUR L'ENSEMBLE DES OBSERVATIONS MICRO-ONDES PASSIVES DEPUIS 1979



Annual anomaly W19871988 Asc. Node



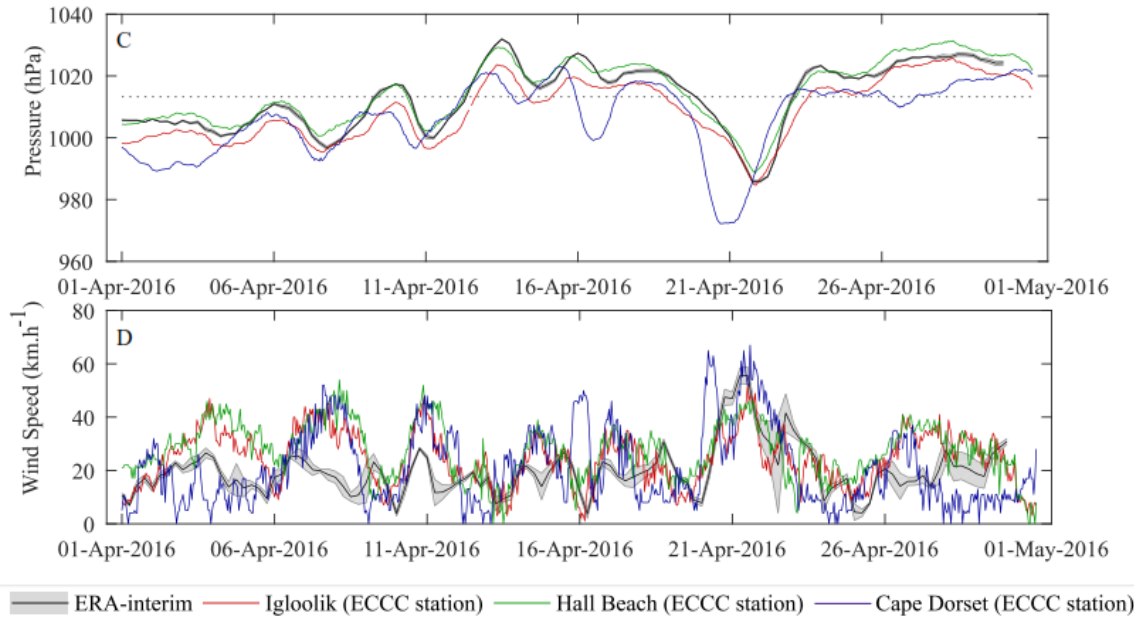
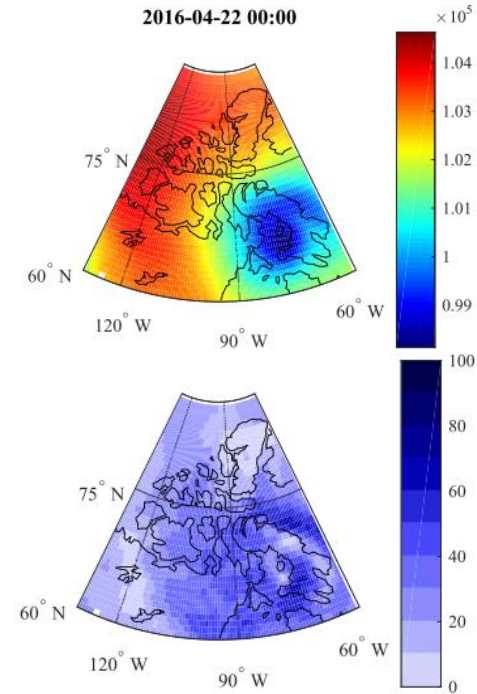
- Période SMMR non prise en compte (sous répétitivité temporelle).
- Moyenne faite entre 1987 et 2016
- Fortes anomalies positives à partir de 2009-2010 pour les deux types d'orbites



Assessment of the Barren Ground Caribou Die-off During Winter 2015–2016 Using Passive Microwave Observations

C. Dolant^{1,2}, B. Montpetit³, A. Langlois^{1,2}, L. Brucker^{4,5}, O. Zolina^{6,7}, C. A. Johnson³, A. Royer^{1,2}, and P. Smith³

¹Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Quebec, Canada, ²Centre d'Études Nordiques, Québec City, Quebec, Canada, ³National Wildlife Research Centre, Environment and Climate Change Canada, Ottawa, Ontario, Canada, ⁴NASA Goddard Space Flight Center, Cryospheric Sciences Laboratory, Greenbelt, MD, USA, ⁵Goddard Earth Sciences Technology and Research Studies and Investigations, Universities Space Research Association, Columbia, MD, USA, ⁶IGE/CNRS-UGA, 38402 Saint Martin d'Hères, Grenoble, France, ⁷Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia



La succession de tempêtes (moins fortes) durant l'hiver modifie la structure du manteau neigeux



Pluie sur neige sur l'île de Banks

Téledétection et savoir traditionnel

**From Endangered to
Threatened in 2015 :**

Slow increase in the last 2
decades

Climate change is the
main threat to caribou

**More extreme
weather events**

(Langlois et al., 2017;
Walsh et al., 2022)



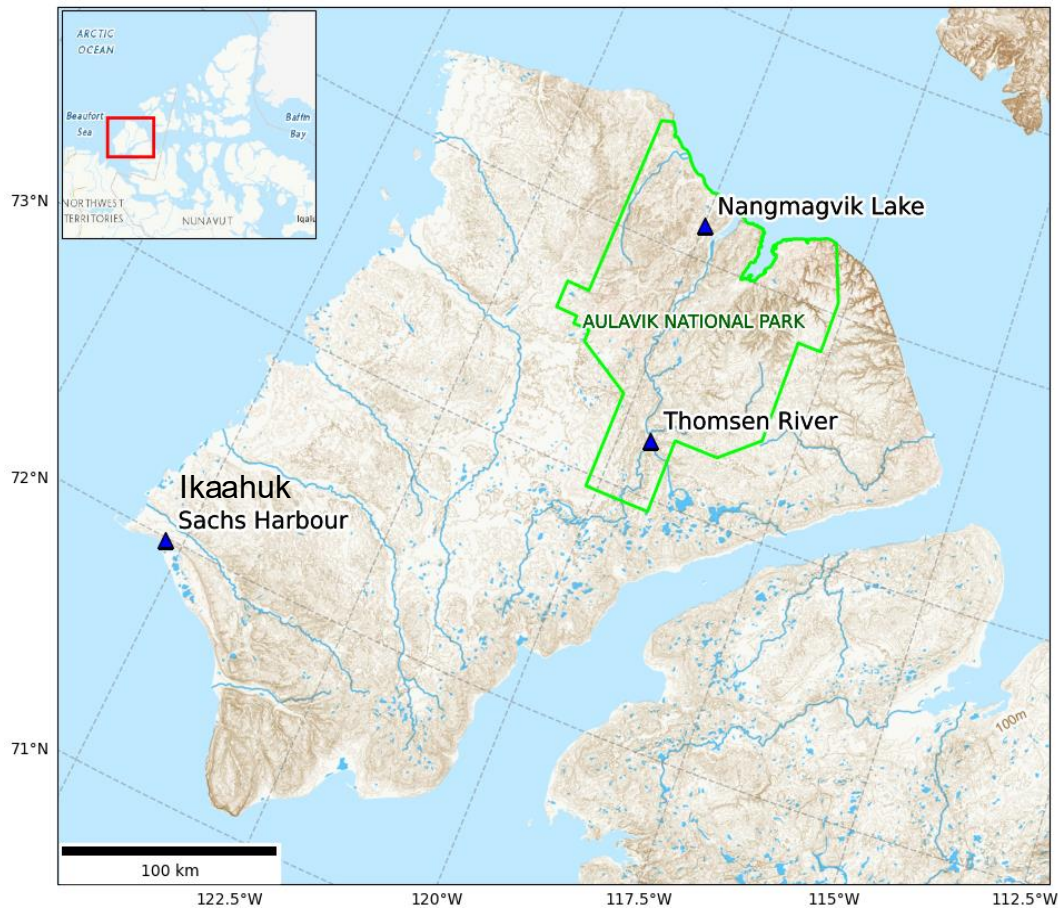
Photo : Morgan Anderson, gouvernement du Nunavut.

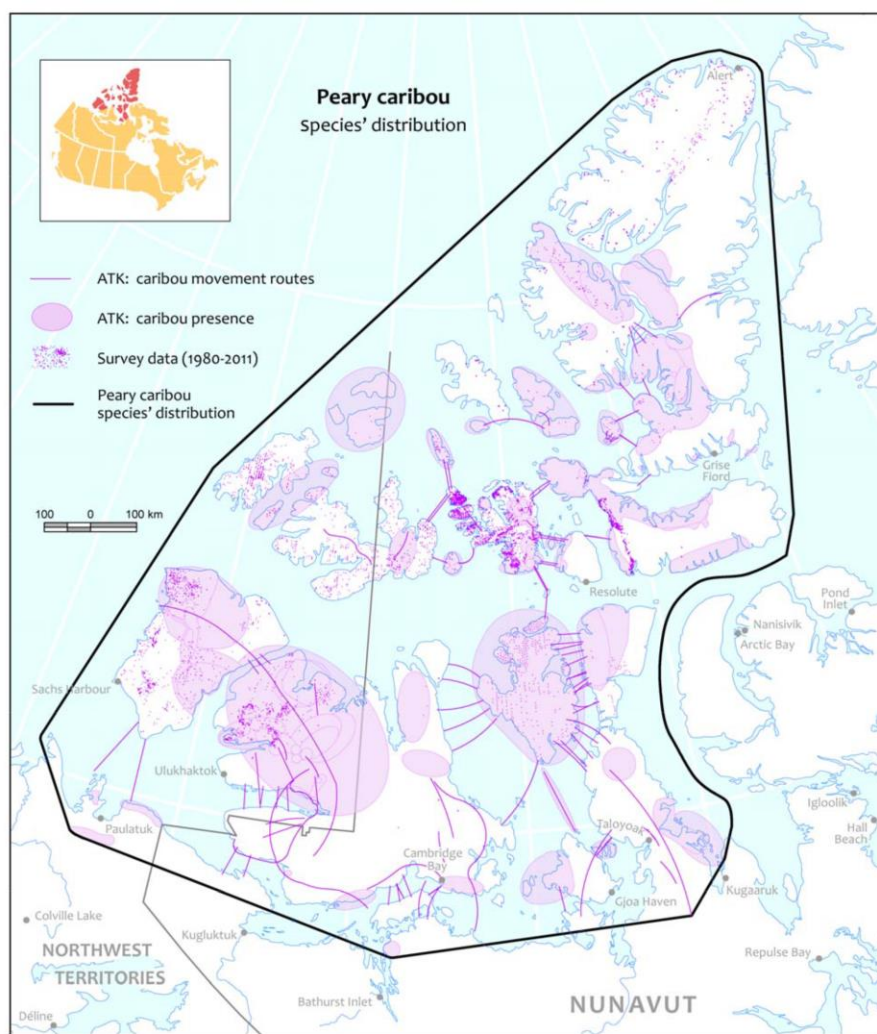
These de Josée-Anne Langlois

Banks Island

Northwest Territories, Canada

- 70 028 km² (almost twice the size of Spitsbergen)
- Une communauté inuit de 118 personnes (2023) : Ikaahuk (“l’endroit où l’on traverse”)
- Boeuf musqué (40K), Peary Caribou (low but stable), Loup, Ours polaire, plus de 40 espèces d’oiseaux, etc.
- Toundra
- Neige de mi septembre à juin





Lorsque la couche inférieure de neige (pukaq) est recouverte par de la neige plus dure ou une croûte de glace, il est plus difficile pour les animaux de sentir la végétation sous la neige. ¹

La croûte de glace empêche les animaux de se nourrir.



Questions de recherche

Y a-t-il **davantage** d'événements de pluie sur neige (ROS) dans l'Arctique canadien et deviennent-ils plus **intenses** ? Et quels sont les précurseurs des EPSN?

Local and Traditional Knowledge



Passive Microwave (PMW)
Remote Sensing



EPSN reportés

Date	Consequences
1987-1988	400 caribous deaths due to weather from 1987 to 1989
1988-1989	
1990-1991	60 caribou deaths due to weather
October 1993	Productivity was reduced: however, overwinter survival of calves for winter 1993-94 was high
October 2003	No die-off associated with icing event for caribou, but high muskox mortality. Rain on snow (October 2003) led to ground fast ice, and was followed by lower calf productivity in 2004
Fall 2022	Participant mentioned that rain, combined with melting of the snow, create ice that lock vegetation.
Fall 2023	Participant mentioned that rain, combined with melting of the snow, create ice that lock vegetation.



Twice daily ROS detection maps (1987-2023)



Brightness Temperature

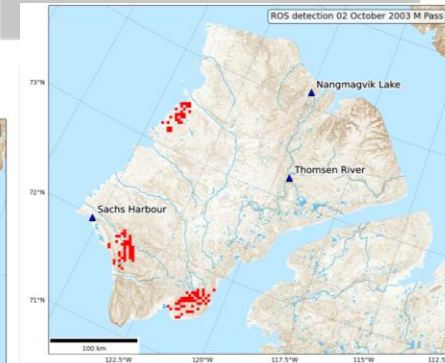
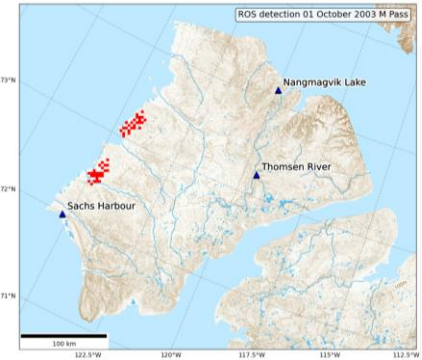
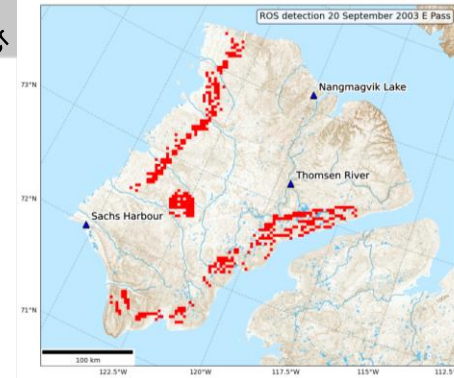
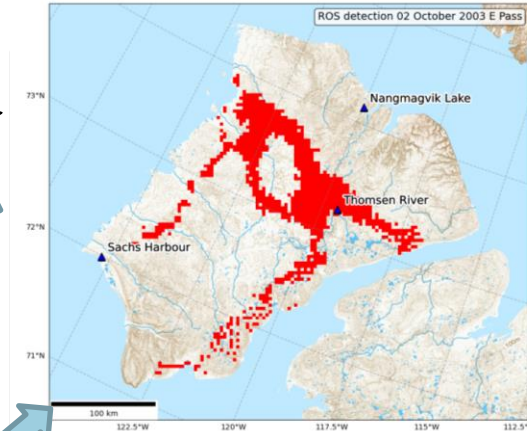
MEaSUREs Calibrated
Enhanced Resolution
Passive Microwave Daily
(Brodzik et al., 2016)

3.125 km X 3.125 km
2 images/day
1978-now

19 and 37 GHz
V/H polarization
GRP ratio
(Dolant et al., 2016)



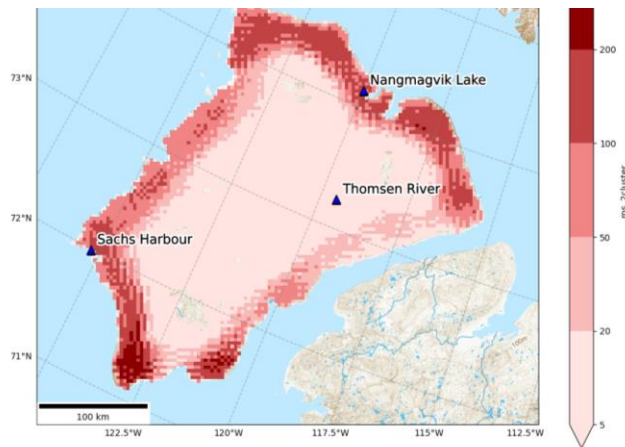
Filtered with
NOAA snow cover



Patron spatio-temporal des EPSN

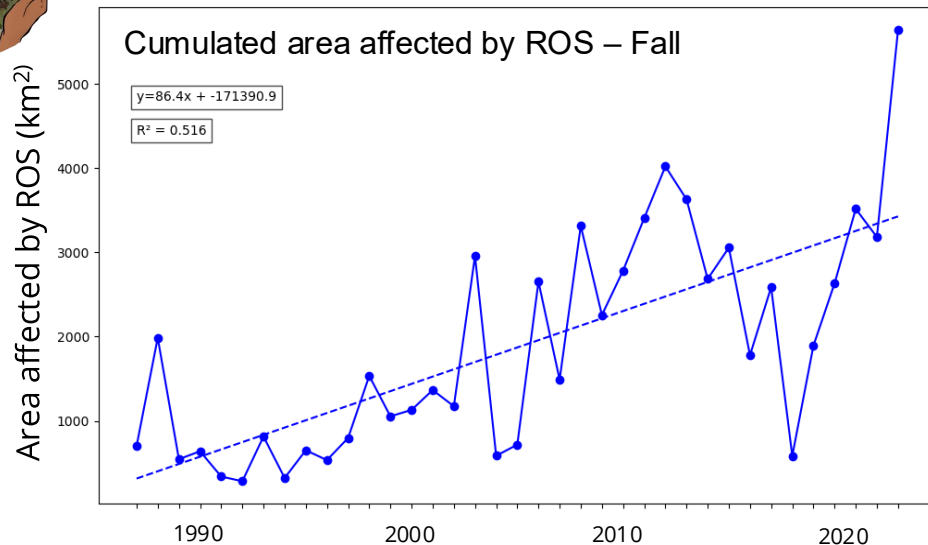
Davantage de pluie et d'humidité à environ 10 miles plus près de l'océan, et plus sec à l'intérieur des terres. ¹

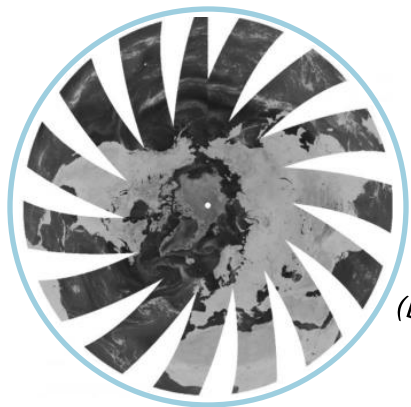
Cumul des pixels avec EPSN pour sept-oct pour la période 1987-2023



Davantage de pluie et de fonte des neiges à la fin de l'automne au cours des 10 dernières années sur Banks. La pluie verglaçante recouvre la nourriture des caribous. ¹

1. Peary Caribou Project, Workshop, Sachs Harbour 2023

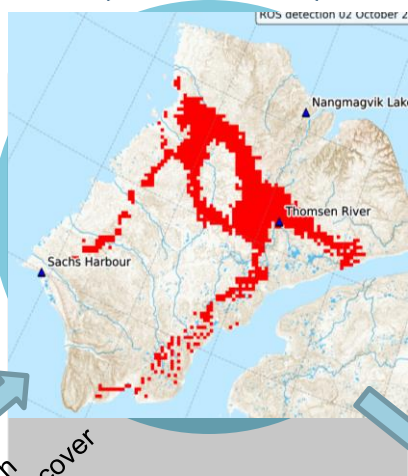




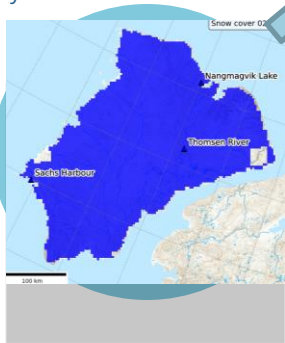
Twice daily ROS detection maps (1987-2023)

19 and 37 GHz
V/H polarization

GRP ratio
(Dolant et al., 2016)

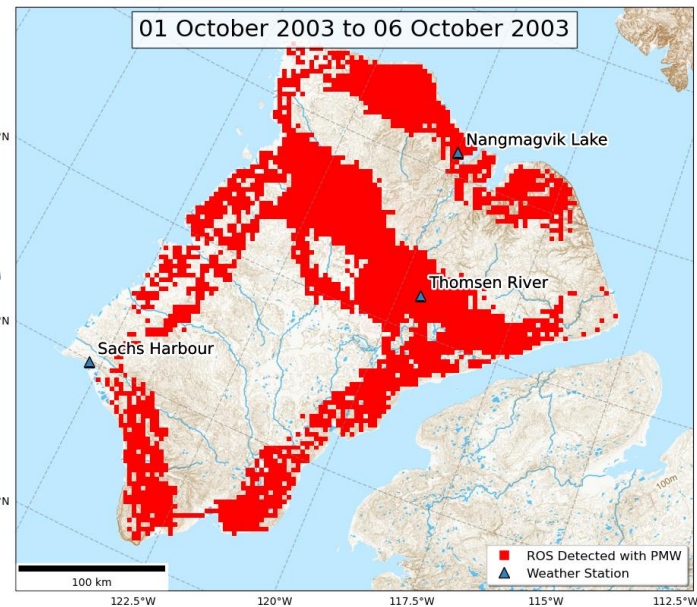


Filtered with
NOAA snow cover



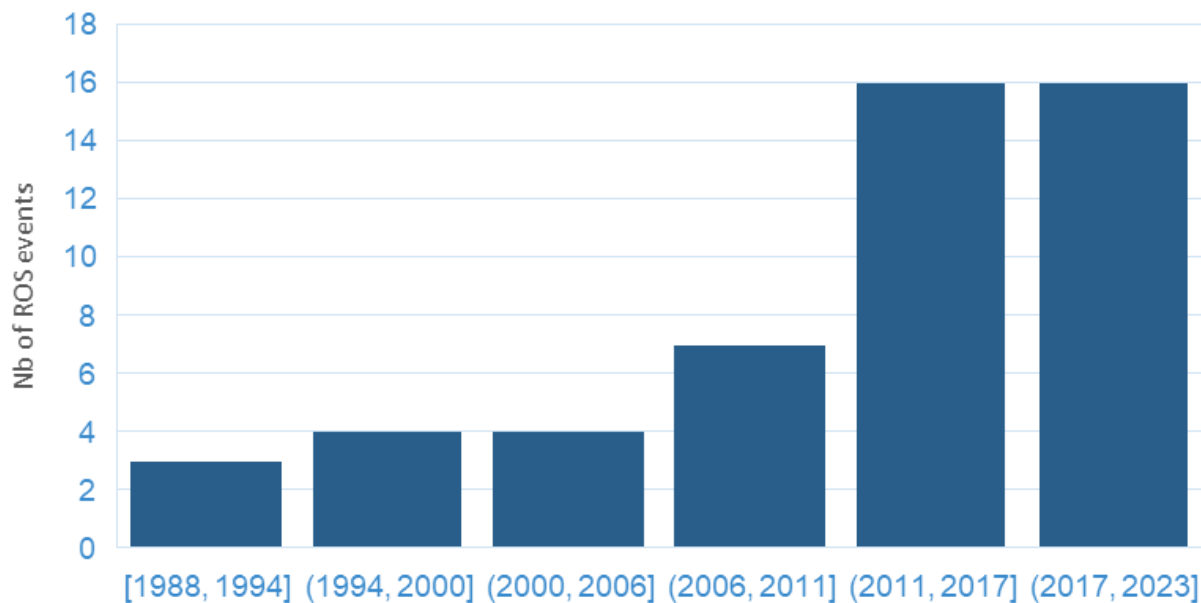
Large-scale ROS events

Consecutive days with significant area affected by ROS (4% or more)



Brightness Temperature

MEaSURES Calibrated
Enhanced Resolution
Passive Microwave Daily
(Brodzik et al., 2016)



0

Large-scale ROS events in the Winter
(1987 to 2023)
Nov-March

50

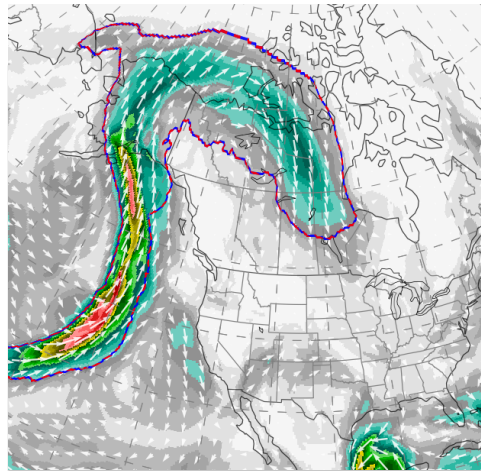
Large-scale ROS events in the fall
(1987 to 2023)
Sept-Oct

32

Also detected by at least one of
the 3 weather stations*

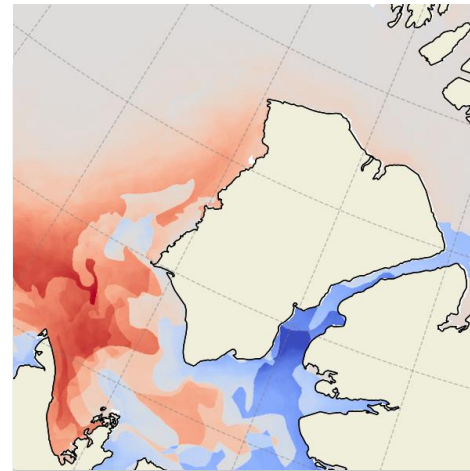
*In situ ROS when Daily mean Temperature $\geq -1.4^{\circ}\text{C}$ and Total Precipitation $\geq 0.2\text{ mm}$

Les événements de pluie sur neige dans l'Arctique canadien sont-ils principalement causés par l'humidité transportée depuis les **latitudes plus basses** ou par une source **locale** d'évaporation ?



Atmospheric rivers

Mo, R., 2024. EDARA: An ERA5-based Dataset for Atmospheric River Analysis



Sea ice anomaly

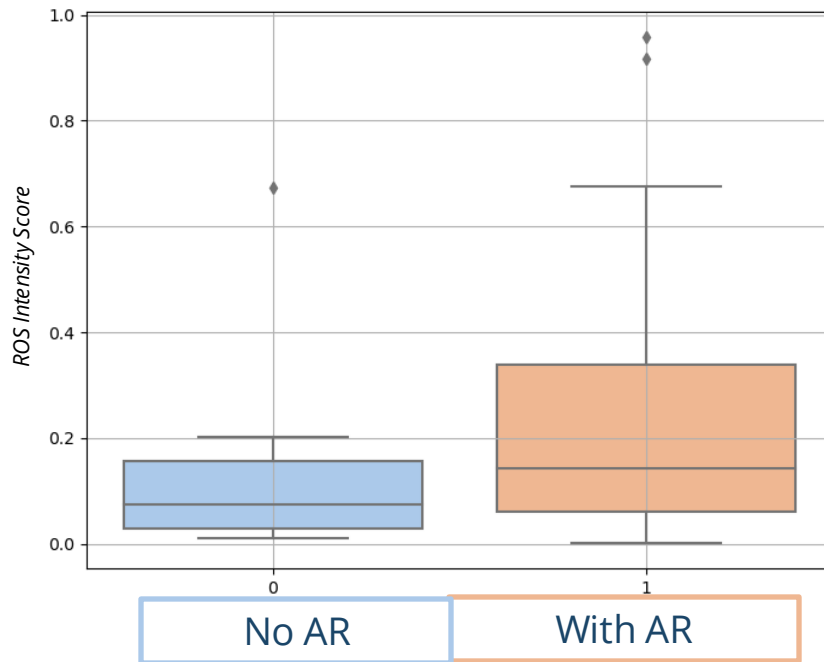
Weekly sea ice charts Canadian Ice Service reference period 1981-2023

EPSN et riviere atmospherique

30/50

ROS events with
Atmospheric River over
Banks

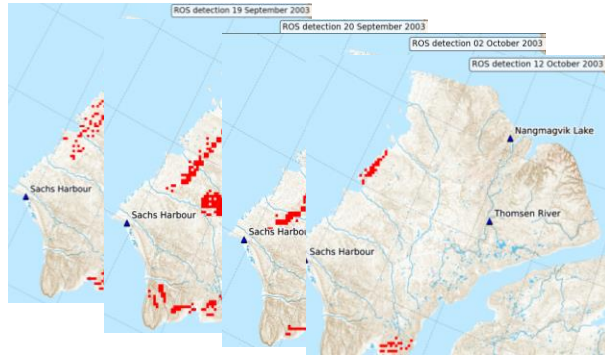
**Les EPSN sont plus intenses lorsqu'une
rivière atmosphérique est présente.**



ROS and Sea ice

Is there a difference in the area affected by ROS with positive or negative anomalies of Sea ice in the fall?

All daily
images for
Sept et Oct



$xx \text{ km}^2 + xx \text{ km}^2 + [...] + xx \text{ km}^2$

13 323 km²*

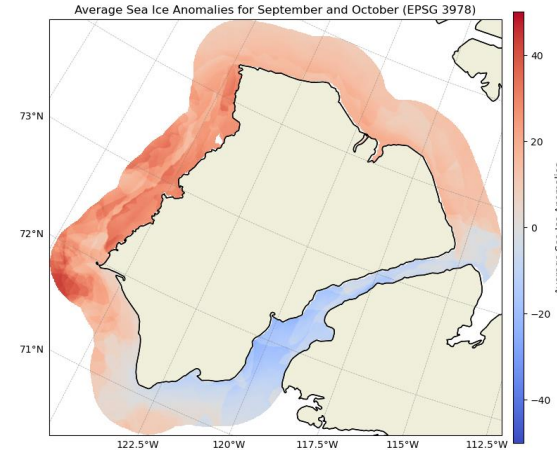
/

44 days with snow**

=

303 km²/days with snow

VS

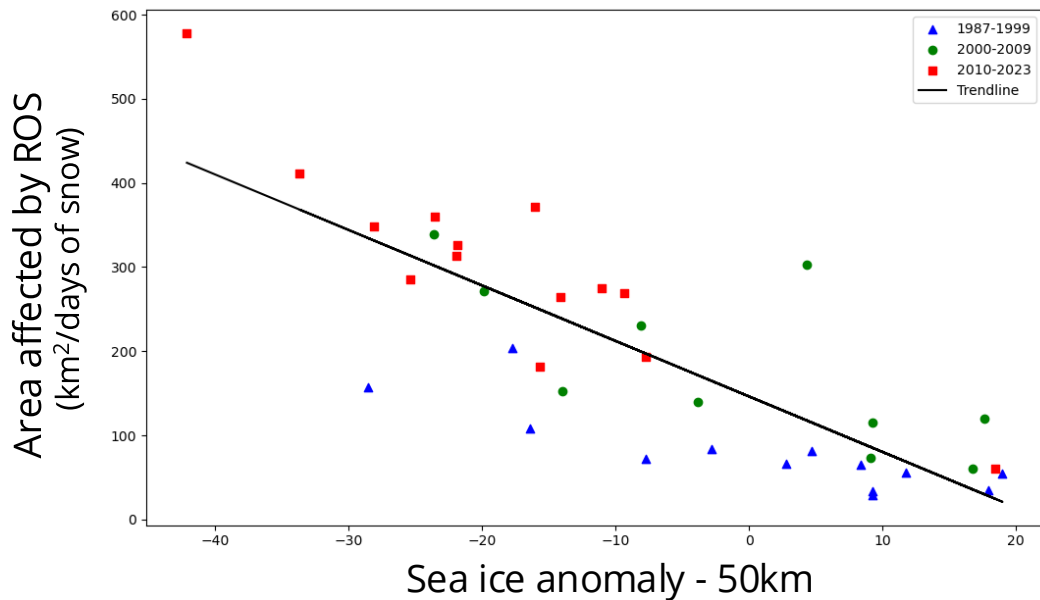


Sea ice concentration anomaly for
Sept and Oct 50 km around
Banks***

- * Cumulated area affected by ROS between sept 1st to oct 31st 2003
- ** more than 70% of snow cover on Banks (NOAA IMS)
- *** Weekly sea ice charts (Canadian Ice Service) : reference period 1981-2023

EPSN et glace de mer

Y a-t-il une différence dans la superficie touchée par les événements de pluie sur neige (ROS) selon que les anomalies de la banquise à l'automne soient positives ou négatives ?



Nous détectons davantage d'événements de pluie sur neige (ROS) à l'automne durant les années où la banquise est moins présente dans un rayon de 50 km autour de l'île.

Conclusion

- **La télédétection par micro-ondes passives** ainsi que les **savoirs locaux et traditionnels** peuvent aider à détecter et à caractériser les événements de pluie sur neige (ROS).
- **Tous les types de savoirs confirment** une tendance positive récente des événements de ROS à l'automne sur Banks.
- **Les rivières atmosphériques sont corrélées avec l'intensité des événements de ROS.**
- **La concentration de la banquise est corrélée avec la superficie cumulée touchée par les ROS sur Banks pour les mois de septembre et octobre.**

Next steps : consequences of ROS!

Rain before freeze up

has more damage to wildlife by soaking the ground and then freezing. ¹



[In Resolute Bay area]
rain in the fall increase
hardness of the snow,
not necessarily ice.³

[In Grise Fiord area], caribous are in the higher ground, where it is colder, and precipitation mostly fall as snow and not rain. The muskox eats mainly in the valley, so are more affected by rain-on-snow.²

1. Peary Caribou Project, Iqaluktuuttiaq 2023
2. Peary Caribou Project, Individual interview, Grise Fiord 2024
3. Peary Caribou Project, Individual interview, Resolute Bay 2024

- Améliorer la validation des événements de pluie sur neige (ROS) et l'appliquer à l'Arctique canadien
- Étudier la relation entre l'intensité et les conséquences pour la faune
- Travailler sur la détection des croûtes de glace
- Analyser la causalité entre les rivières atmosphériques (AR), la banquise et les événements de ROS
- Étudier d'autres facteurs déclencheurs des ROS



MERCI DE VOTRE ATTENTION



CAROLINE DOLANT

*Groupe de recherche interdisciplinaire sur les milieux polaires
Université de Sherbrooke*