

A large graphic of the Earth showing North America, with a blue, swirling, vortex-like pattern overlaid on it.

# Élaboration du portrait climatique régionale du Nunavik

**Diane Chaumont, Isabelle Charron,  
Travis Logan et Alain Mailhot**

2 novembre 2016

Midi-conférence MFFP

CONSORTIUM ON REGIONAL CLIMATOLOGY AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE



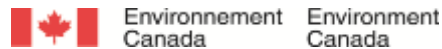
# Ouranos

Ouranos est un **lieu de concertation** et un **pôle d'innovation** permettant à la société québécoise de mieux s'adapter aux changements climatiques en fournissant :

- **Simulations climatiques** à l'échelle régionale
- **Services climatiques** en support aux projets VI&A
- Évaluations de **vulnérabilités** et **impacts**
- Soutien à la prise de décision en matière d'**adaptation**



## MEMBRES



# Contexte- le besoin d'un tel projet

---

- Le territoire nordique du Québec possède un grand potentiel de développement
- Il est important de bien comprendre le climat régional afin de bien encadrer ce développement
- Les données climatiques jouent un rôle primordial dans l'identification et l'analyse des vulnérabilités liées au climat, hors:
  - Les données météorologiques dans le nord sont peu denses et incomplètes
  - Il est donc difficile d'avoir un bon portrait du climat régional du nord
- Il existe des jeux de données alternatives sous forme de données interpolées sur grille ou des réanalyses
  - Ces données peuvent peut-être pallier à la rareté des observations pour mieux caractériser le climat du nord

# Objectifs

---

1. Évaluer les différents jeux de données alternatives afin de mieux caractériser le climat récent du Nunavik;
2. Produire des cartes et des tableaux synthèse du climat de référence pour différents indicateurs;
3. Revoir la distribution des bioclimats pour le territoire à l'étude;
4. Investiguer le potentiel des réanalyses pour l'estimation des quantiles de pluies extrêmes;
5. Proposer des recommandations pour des travaux subséquents.



# Consultations avec les acteurs du milieu

- Pour bien comprendre les besoins
- Sélectionner des indicateurs pertinents
- Consultations avant et durant le projet
  - Comité de suivi: MFFP, MDDELCC, MTQ, MSP, MAMOT, SHQ, ARK, MERN
  - Autres intervenants et collaborateurs: CEN/ArcticNet, ECCC, IREQ, INRS-ETE, RNCAN/SCF



# Indicateurs climatiques

Données journalières requises	Données mensuelles suffisantes
Dates du premier et dernier gel	Température moyenne annuelle
Longueur de la saison sans gel	Température moyenne mensuelle
Nombre mensuelle de gel-dégel	Quantité de précipitations annuelles
Degrés-jours de gel et de dégel	Quantité de précipitation mensuelles
Période de gel tardif	
Période de gel hâtif	
Début, fin et longueur de la saison de croissance	
Période où la température oscille autour de 0°C	
Quantité de précipitations liquide et solide mensuelles	
Type de précipitation (fraction eau/neige)	
Précipitations estivales et hivernales extrêmes	
Début et fin du couvert de neige	
Durée du couvert de neige	
Maximum de l'équivalent en eau de la neige	

**25 indicateurs climatiques  
dont  
4 sont calculés sur une base  
mensuelle**

# Jeux de données

## Jeux de données d'observations (10)

Nom	Période	Résolution	Domaine	Variables
CANGRD	1900-2010	50 km	Canada	Tmean/PCP
CRU TS 3.1	1901-present	~ 55km	global terrestre	Tmean/PCP
Willmott-Matsuura 2	1900-2010	~ 55km	global terrestre	Tmean/PCP
GPCC v6	1900-2010	~ 55km	global terrestre	PCP
GPCP v2	1979-present	~280 km	global	PCP
HadCRUT3v	1850-present	~500 km	global	Tmean anomaly
CRUTEM4v	1850-present	~500 km	global terrestre	Tmean anomaly
GISTEMP	1880-present	~111 km	global	Tmean anomaly
NRCan	1950-2010	10 km	Canada	Tmin/Tmax/PCP
Climatologie	1925-présent	Stations	Québec	Tmax,Tmin, Tmean,PCP

## Réanalyses (8)

Nom	Période	Résolution	Domaine	Variables
NCEP2	1979-present	~280 km	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
NARR	1979-present	32 km	régional North America	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
MERRA	1979-present	~74 km lon – ~55 km lat	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
ERA-Interim	1979-present	~83 km	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
ERA40	1958 -2002	~138 km	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
JRA25	1979-2007	~138 km	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
CFSR	1979-2009	~38 km	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
20CR	1871-2010	~222 km	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP

# Jeux de données – première sélection

Nom	Période	Résolution	Domaine	Variables
CANGRD	1900-2010	50 km	Canada	Tmean/PCP
CRU TS 3.1	1901-present	~ 55km	global terre	Tmean/PCP
Willmott-Matsuura 2	1900-2010	~ 55km	global terre	Tmean/PCP
NRCan	1950-2010	10 km	Canada	Tmean/PCP
Climatologie	1925-présent	Stations	Québec	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
MERRA	1979-present	~74 km lon – ~55 km lat	global	Tmax,Tmin, Tmean,PCP
ERA-Interim	1979-present	~83 km	global	Tmean/PCP
JRA55	1979-2007	~138 km	global	Tmean/PCP
CFSR	1979-2009	~38 km	global	Tmean/PCP

**Observations**

**Réanalyses**

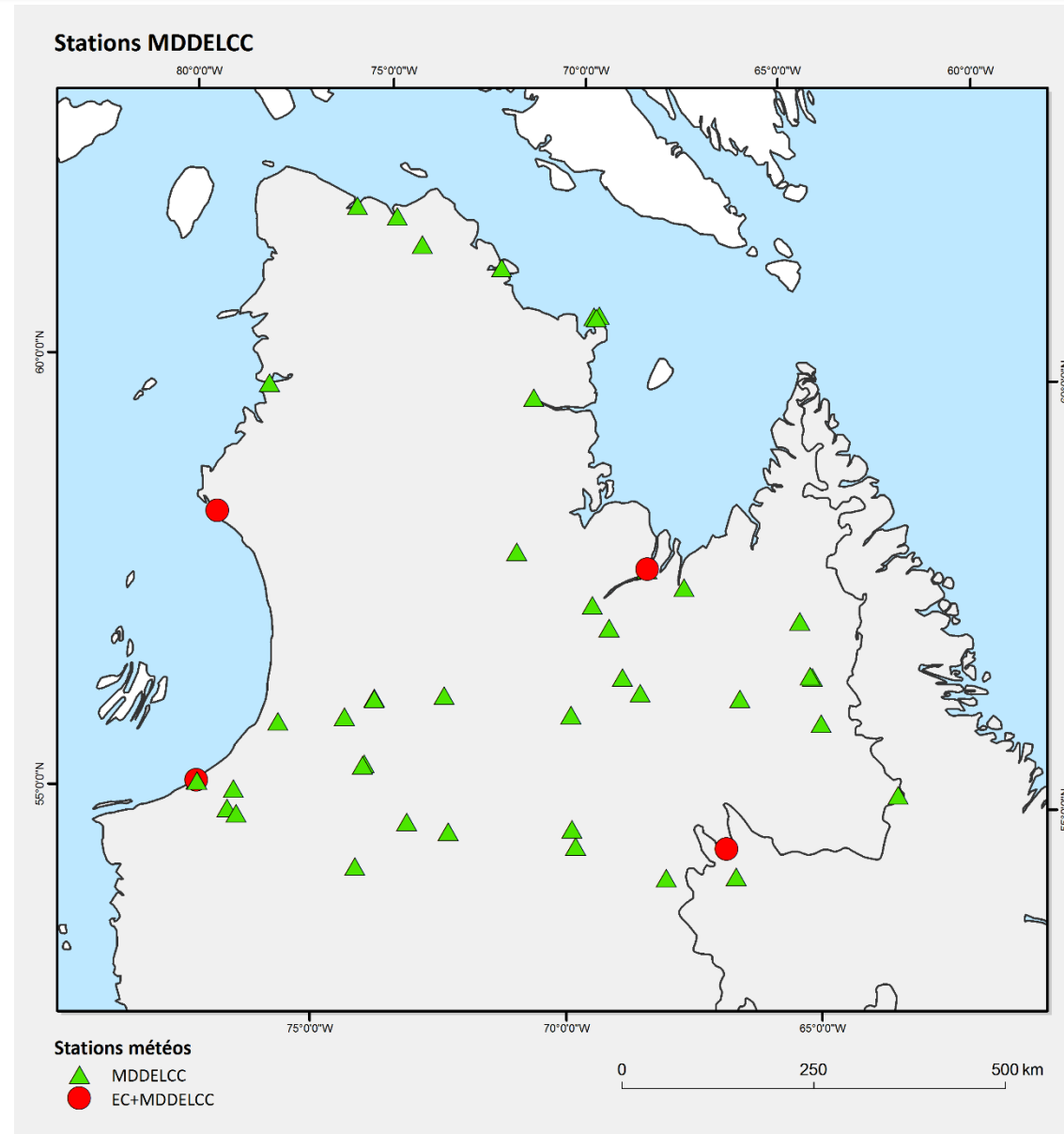
En vert: Jeux de données avec données journalières

En orangé: Données aux stations

# Critères de validation

- Afin de valider les séries sur grille, il importait d'utiliser seulement les stations qui ne sont pas utilisées pour la construction des données sur grille
  - Des données quotidiennes étaient disponibles du MDDELCC pour 46 stations
- Nous utilisons toutes les séries 'valides' pour cette comparaison (pas seulement la période 1981-2010)

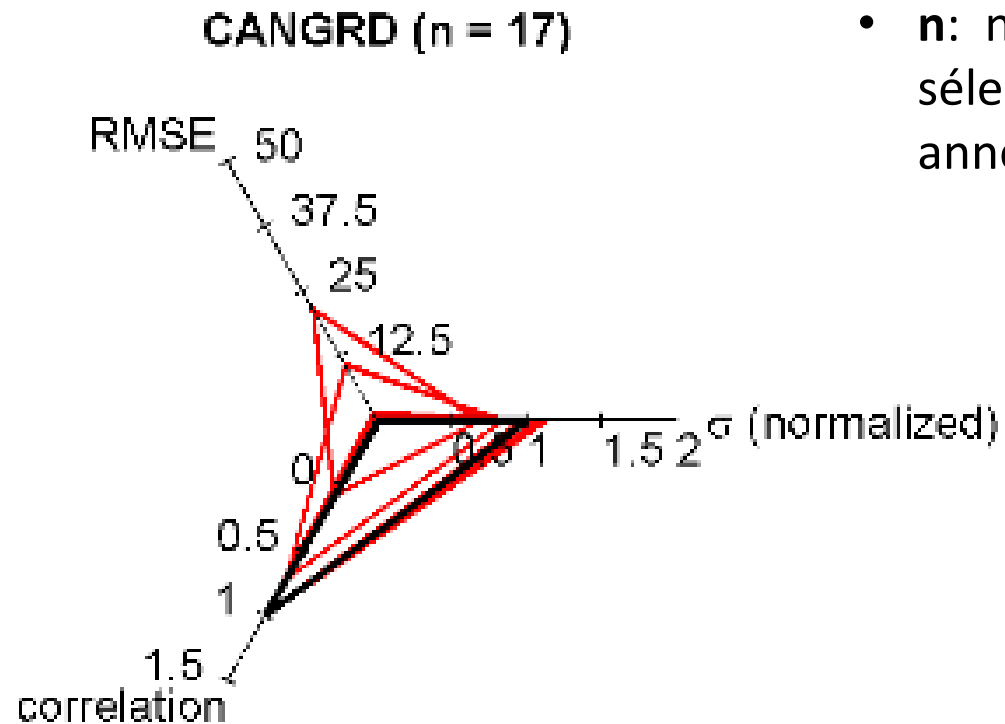
# Stations/séries disponibles



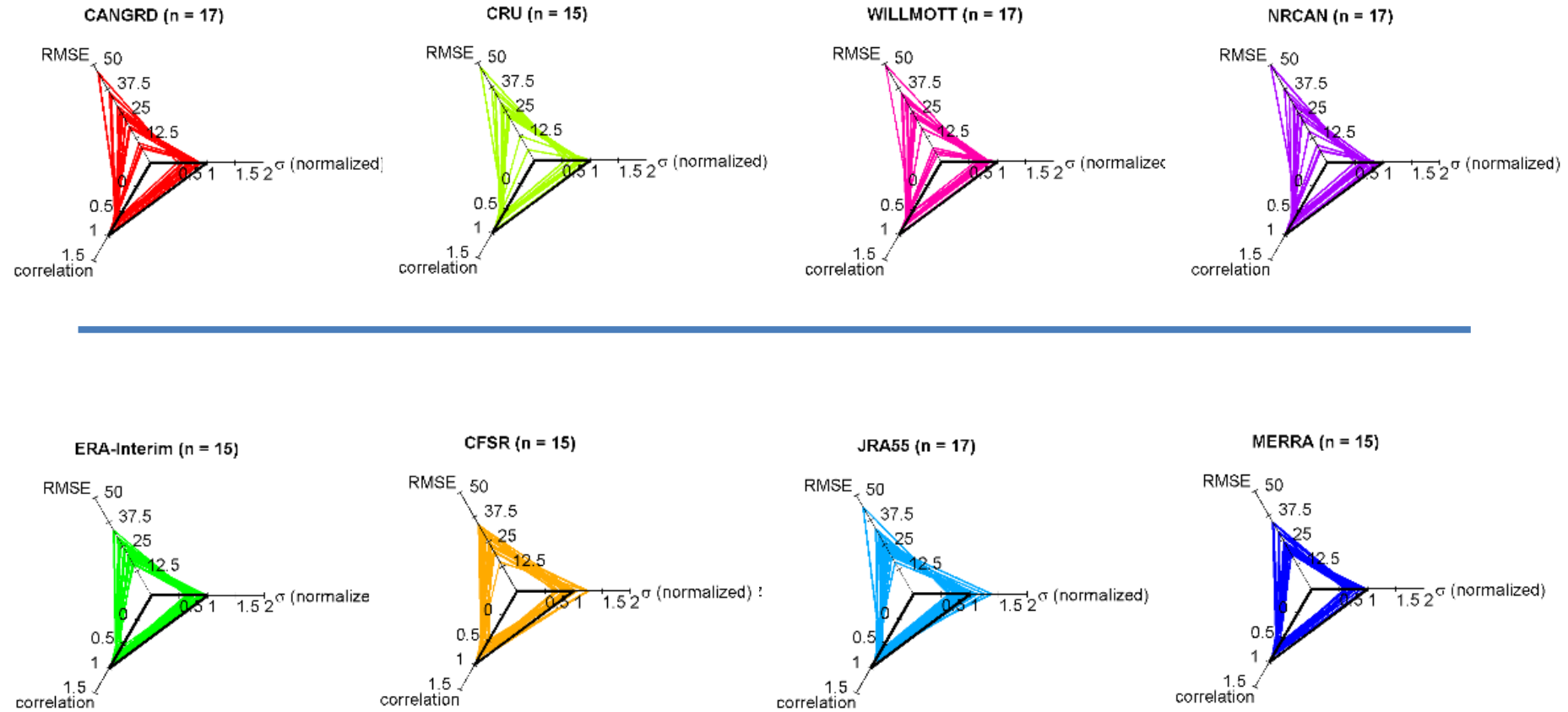
# Validation – comparaison

## Comparaison entre un jeu de données et les données aux stations

- Le triangle **noir** représente des données identiques
- Chaque triangle **rouge** représente la comparaison d'une série station vs le jeu de données
- **n**: nombre de stations qui répondent aux critères de sélection – par exemple, ici 17 stations avec au moins 10 années valides



# Précipitation mensuelle moyenne





# Précipitation maximale annuelle (retour 2 ans)

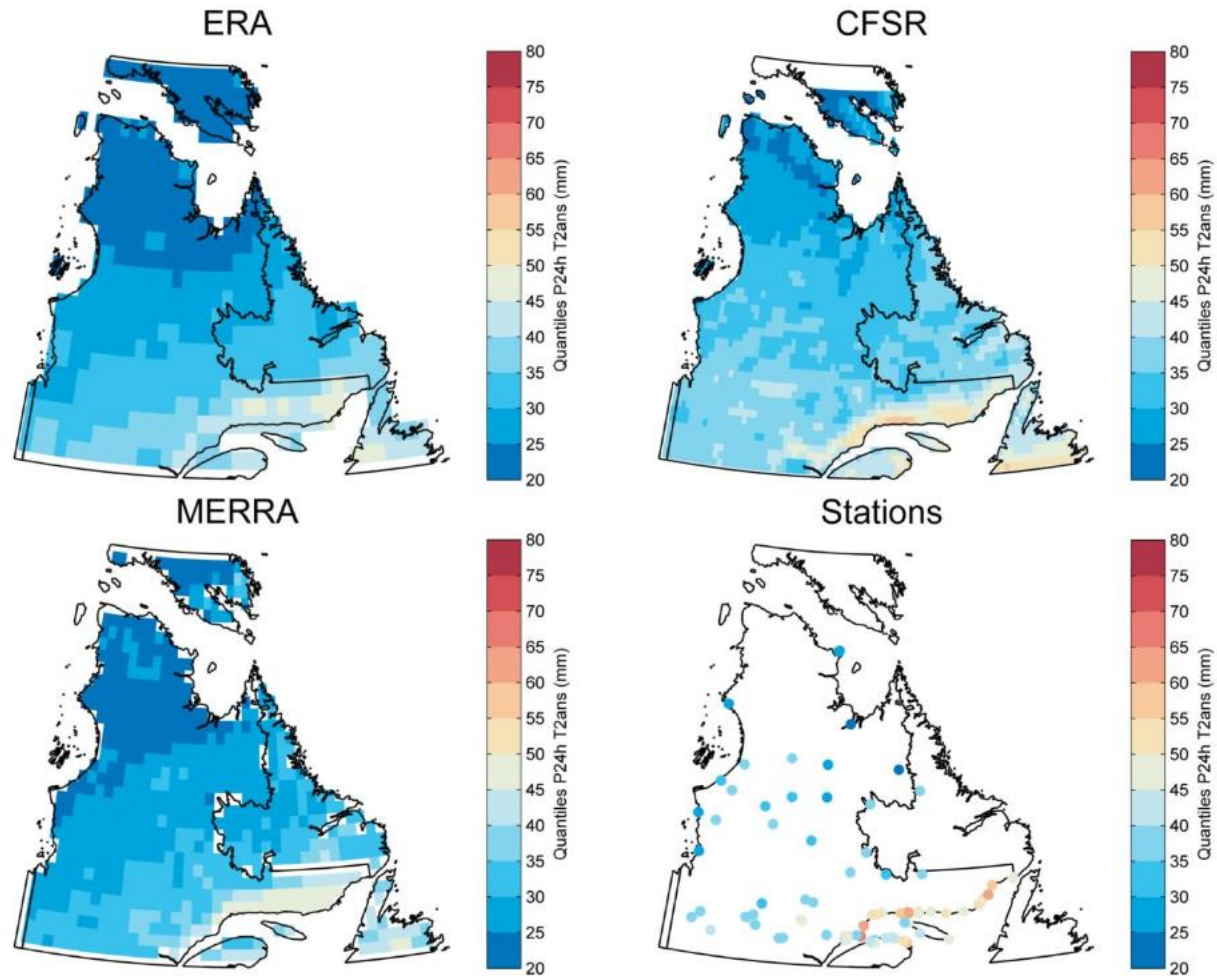


Figure 26. Cartes des hauteurs des maxima annuels de précipitations 1 jour de période de retour 2 ans pour les différentes réanalyses et aux stations.

# Données sélectionnées et cartographie

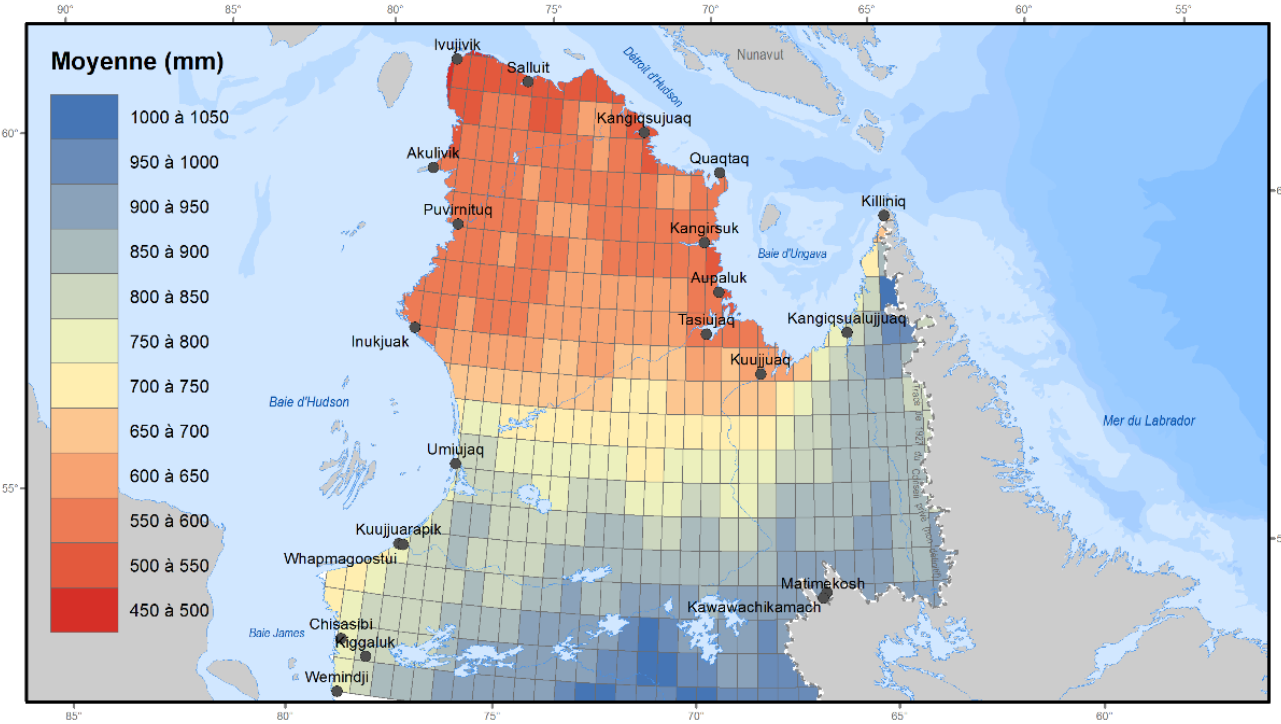
---

## *Données:*

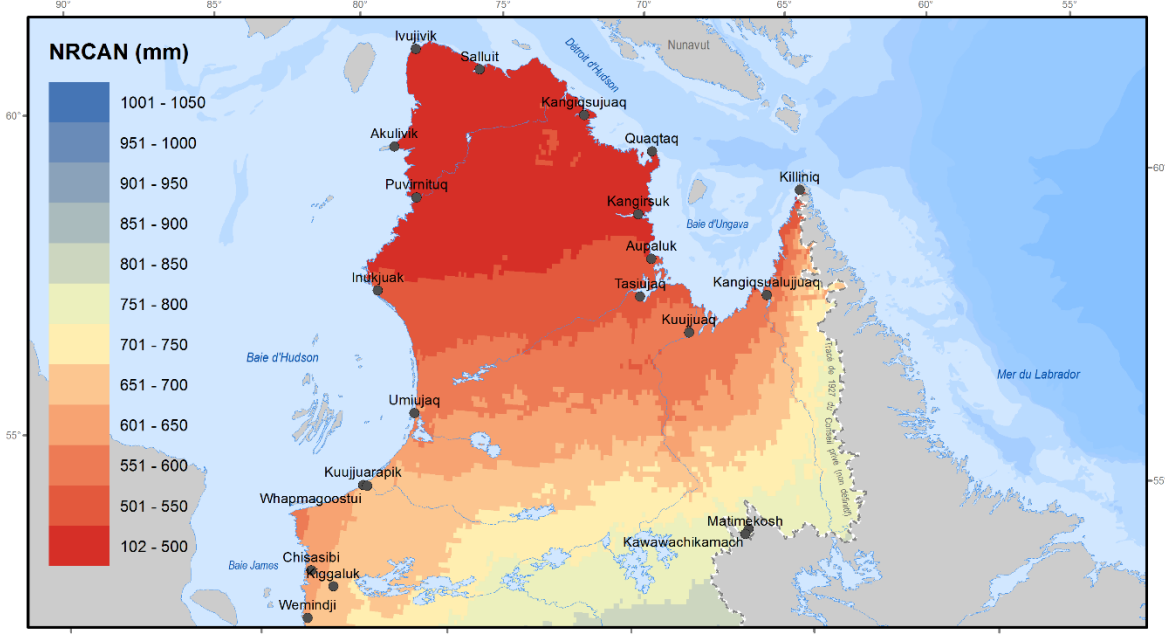
- Quatre bases de données : MERRA, ERA-Interim, CFSR, JRA55
- Résolution : grille commune de 50km
- Période de référence: 1981-2010
- **156 cartes et figures pour représenter tous les indicateurs climatiques demandés**

# Quelques résultats : Précipitations totales annuelles

## Moyenne des 4 réanalyses



## NRCan 10km

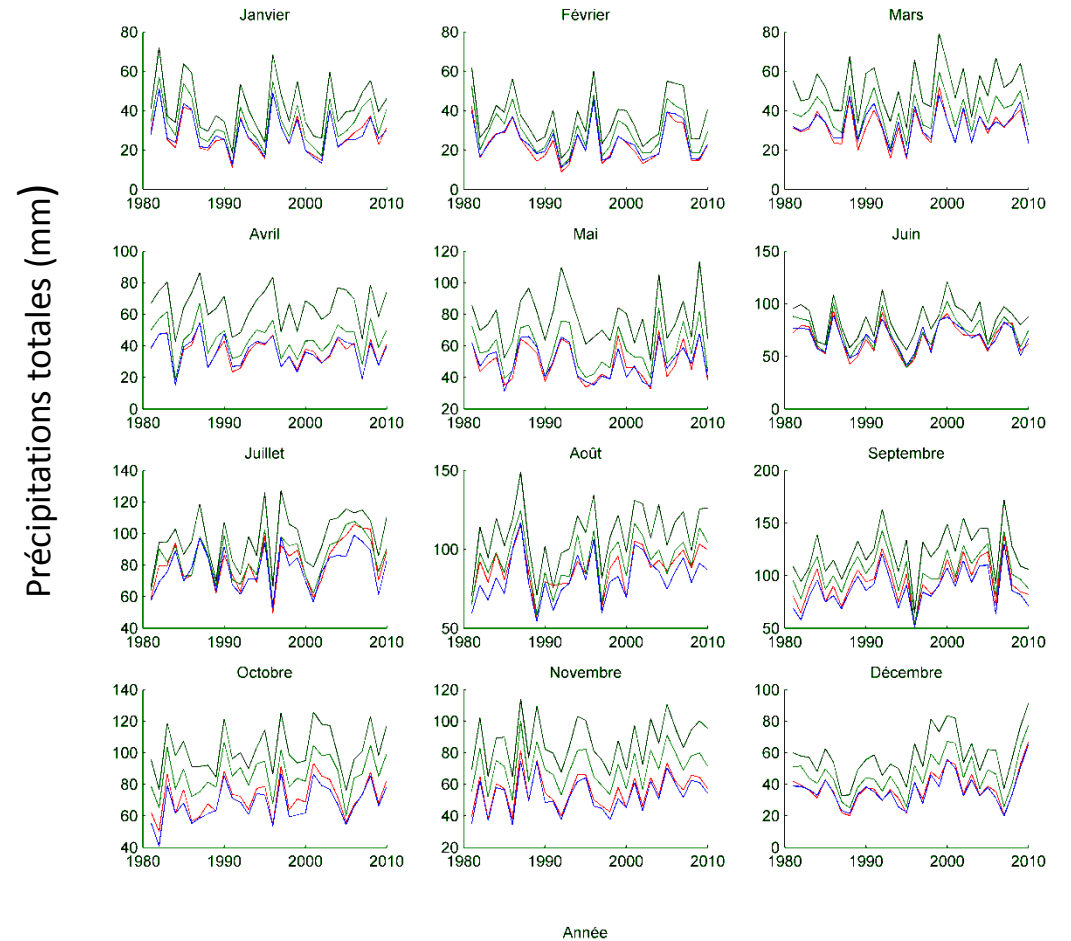
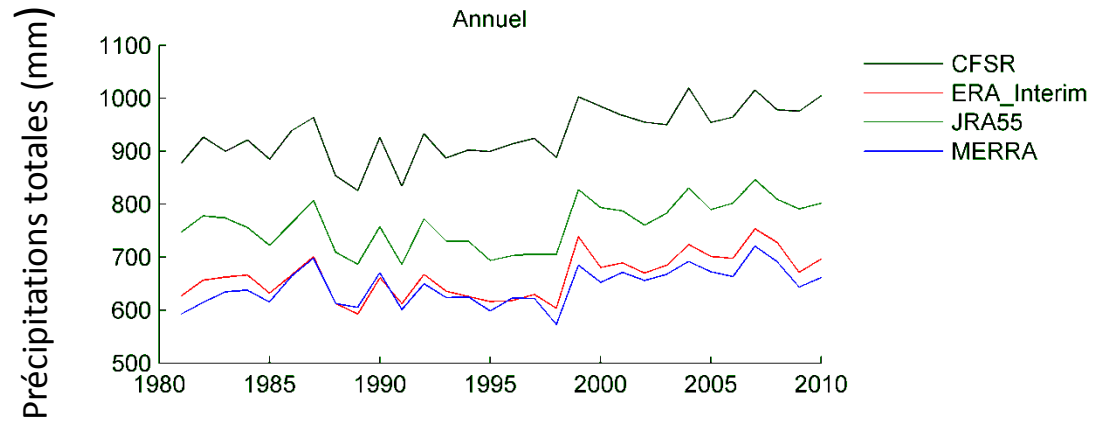


Attention: le dernier échelon de couleur n'est pas le même!

<b>Frontières</b>	<b>Sources</b>	<b>Organisme</b>	<b>Année</b>	<b>Réalisation</b>
--- Frontière Québec – Terre-Neuve-et-Labrador (cette frontière n'est pas définitive)	Donnée: Fond cartographique	MERN	2015	Ouranos
	Données climatiques	Ouranos	2015	Note : Le présent document n'a aucune portée légale. © Ouranos, 2015

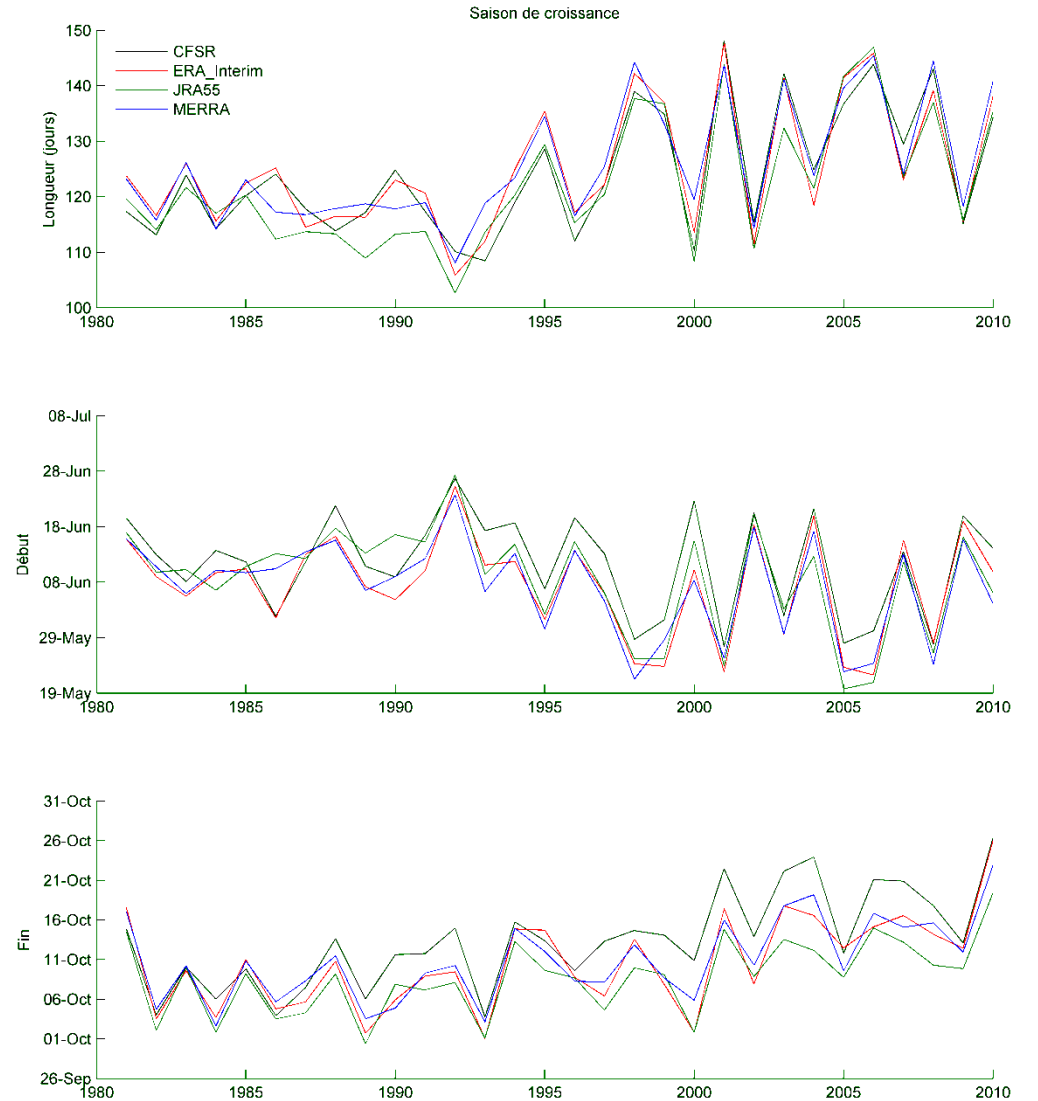
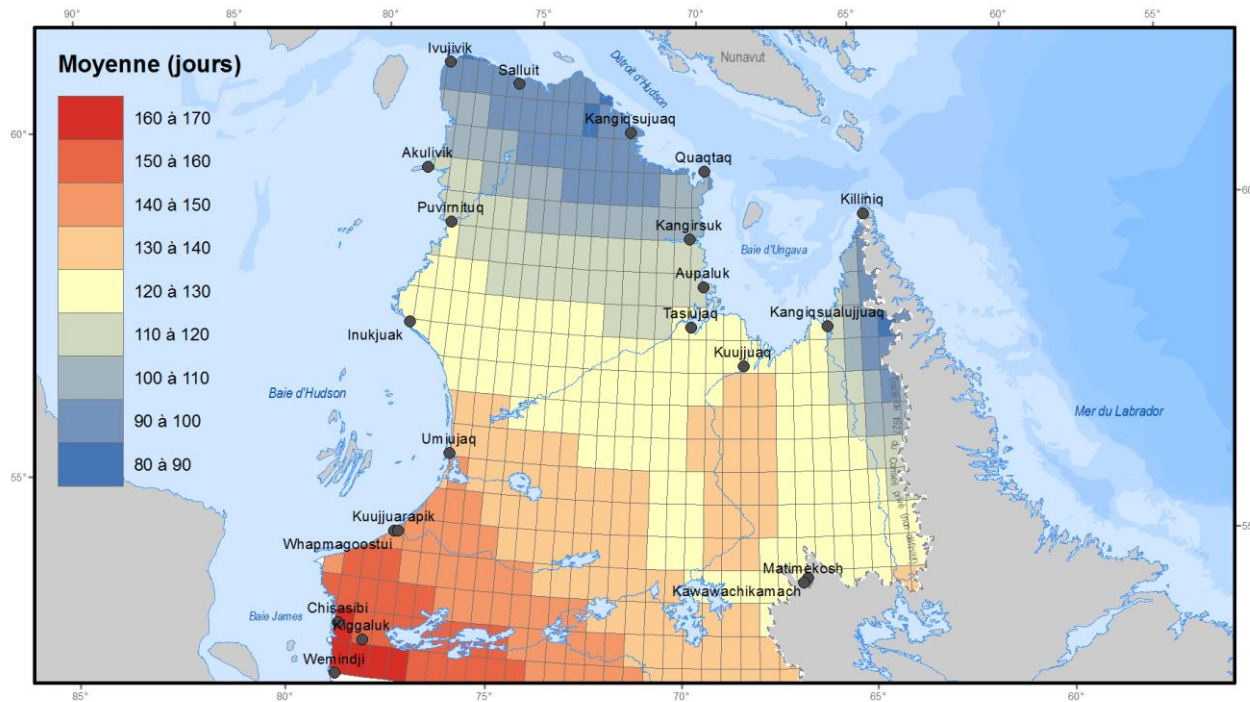


# Tendance des précipitations totales



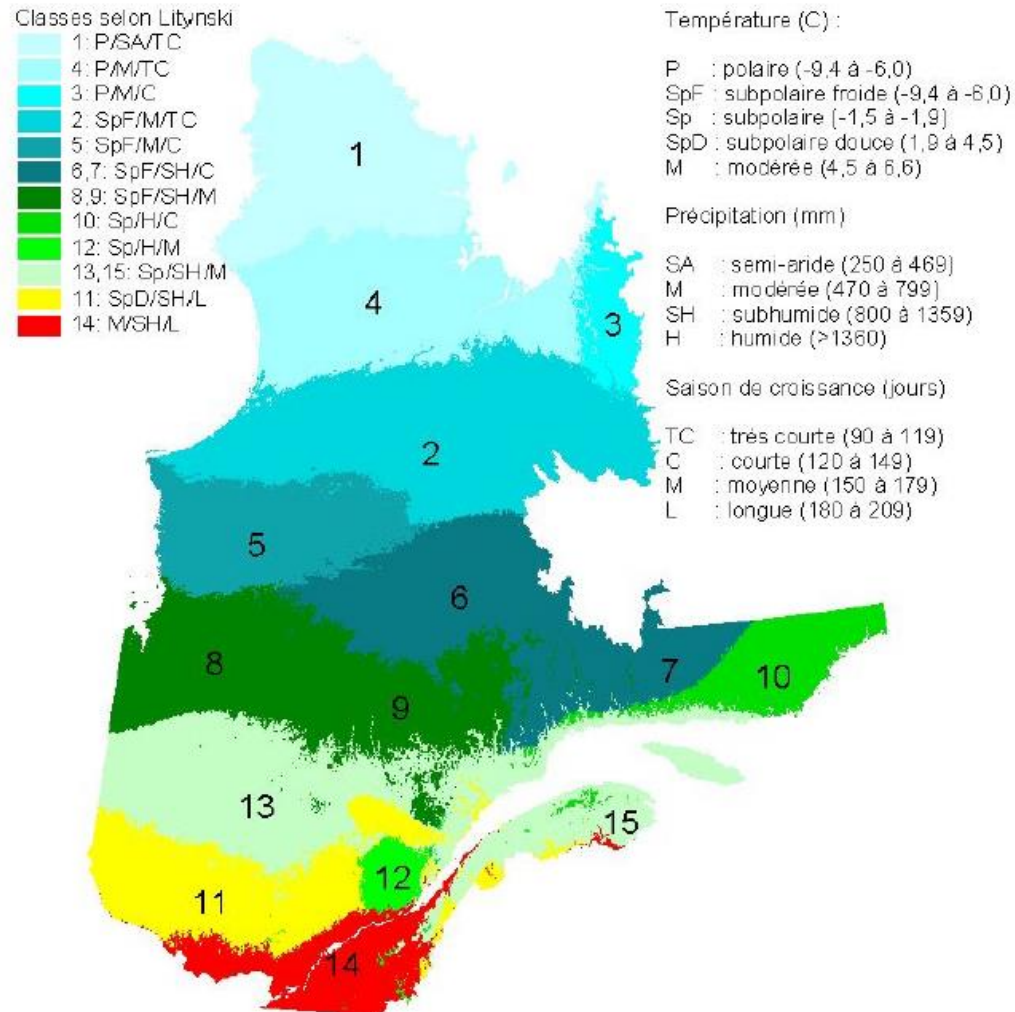
# Saison de croissance

Longueur de la saison de croissance





# Bioclimats



**Basée sur un recoupement avec la classification mondiale de Litynski, basée sur 3 indices climatiques:**

- Température
- Précipitation
- Longueur de la saison de croissance

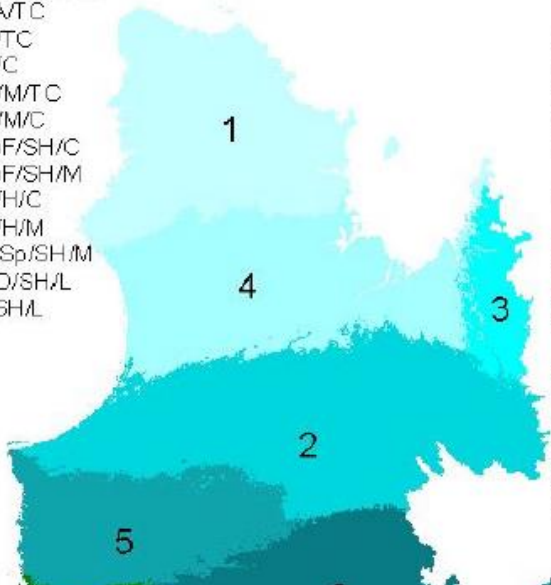
**Actualisation de cette cartographie**

- Données stations de 1966 à 1996

# Bioclimats

## Classes selon Litynski

- 1: P/SA/TC
- 4: P/M/TC
- 3: P/M/C
- 2: SpF/M/TC
- 5: SpF/M/C
- 6,7: SpF/SH/C
- 8,9: SpF/SH/M
- 10: Sp/H/C
- 12: Sp/H/M
- 13,15: Sp/SH/M
- 11: SpD/SH/L
- 14: M/SH/L



## Température (C) :

- P : polaire (-9,4 à -6,0)
- SpF : subpolaire froide (-9,4 à -6,0)
- Sp : subpolaire [-1,5 à -1,9]
- SpD : subpolaire douce (1,9 à 4,5)
- M : modérée (4,5 à 6,6)

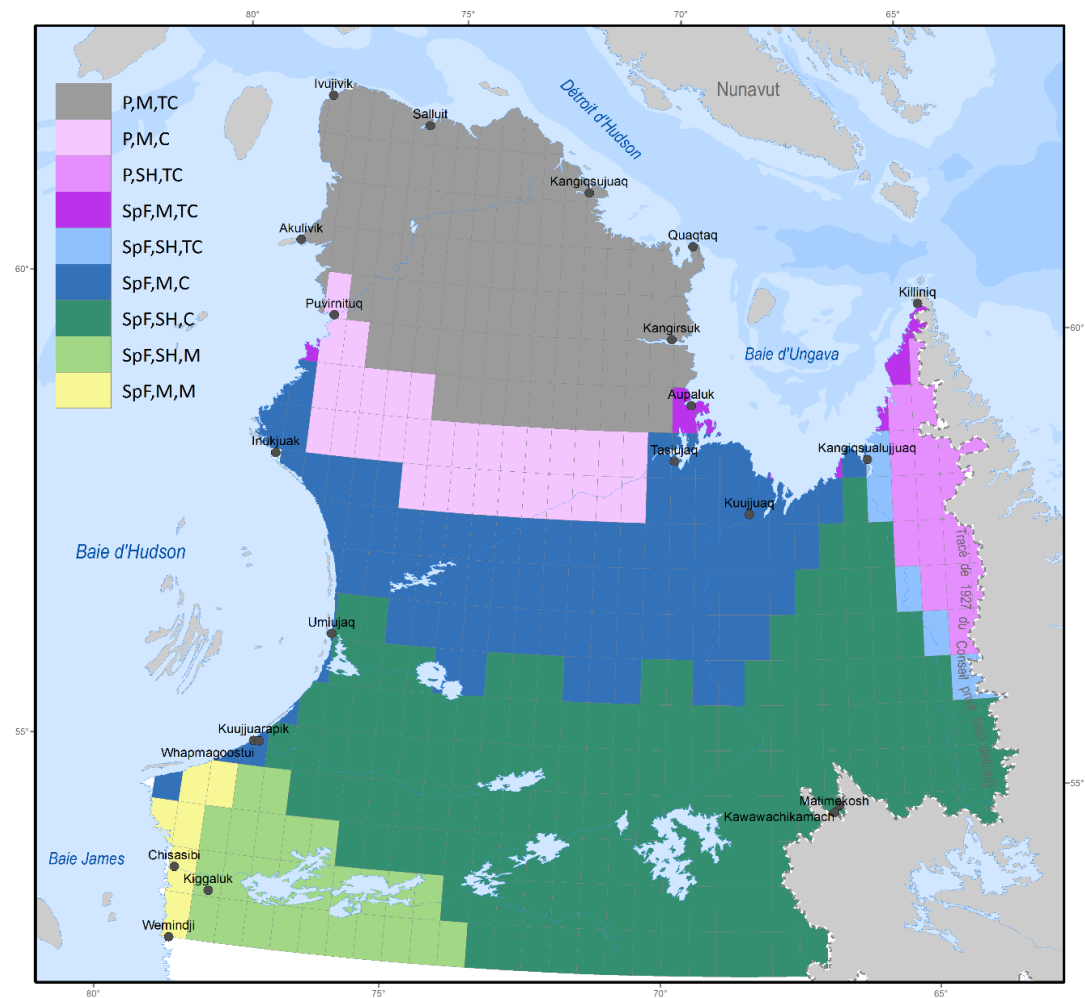
## Précipitation (mm)

- SA : semi-aride (250 à 469)
- M : modérée (470 à 799)
- SH : subhumide (800 à 1359)
- H : humide (>1360)

## Saison de croissance (jours)

- TC : très courte (90 à 119)
- C : courte (120 à 149)
- M : moyenne (150 à 179)
- L : longue (180 à 209)

## Classification des bioclimats (selon Litynski)



Température (C)		Précipitation (mm)		Saison de croissance (jours)	
P : polaire	-9.4 à -6.0	M : modérée	470 à 799	TC : très courte	90 à 119
SpF : subpolaire froide	-5.9 à -1.5	SH : subhumide	800 à 1359	C : courte	120 à 149
				M : moyenne	150 à 179

### Frontières

--- Frontière Québec – Terre-Neuve-et-Labrador  
(cette frontière n'est pas définitive)

0 250 km

### Sources

Donnée : MERN 2015  
Fond cartographique : Ouranos 2015  
Données climatiques : Ouranos 2015

### Réalisation

Ouranos  
Note : Le présent document n'a aucune portée légale.  
© Ouranos, 2015

# Conclusions

- Les réanalyses offrent une bonne performance pour la caractérisation du climat nordique et permettent de pallier à la rareté des longues séries d'observations
- Le suivi climatique avec les données d'observations aux stations demeurent essentiel
- Les indicateurs climatiques pertinents pour l'étude de la faune et la flore du Nunavik ont été actualisés (1981-2010)
- La classification des bioclimats basées sur les réanalyses diffère de la précédente basée sur les données observées (1966-1996)



# Phase 2

- Une seconde phase du projet est en cours avec le but de :
  - Développer les scénarios climatiques futurs pour ces indicateurs (collaboration Alain Mailhot, INRS-ETE)
  - Réaliser des études d'impacts sur la flore et la faune (collaboration Benoît Tremblay et Pascale Ropars)

# **Merci de votre écoute!**

**Rapports disponibles sur: [ouranos.ca](http://ouranos.ca)**

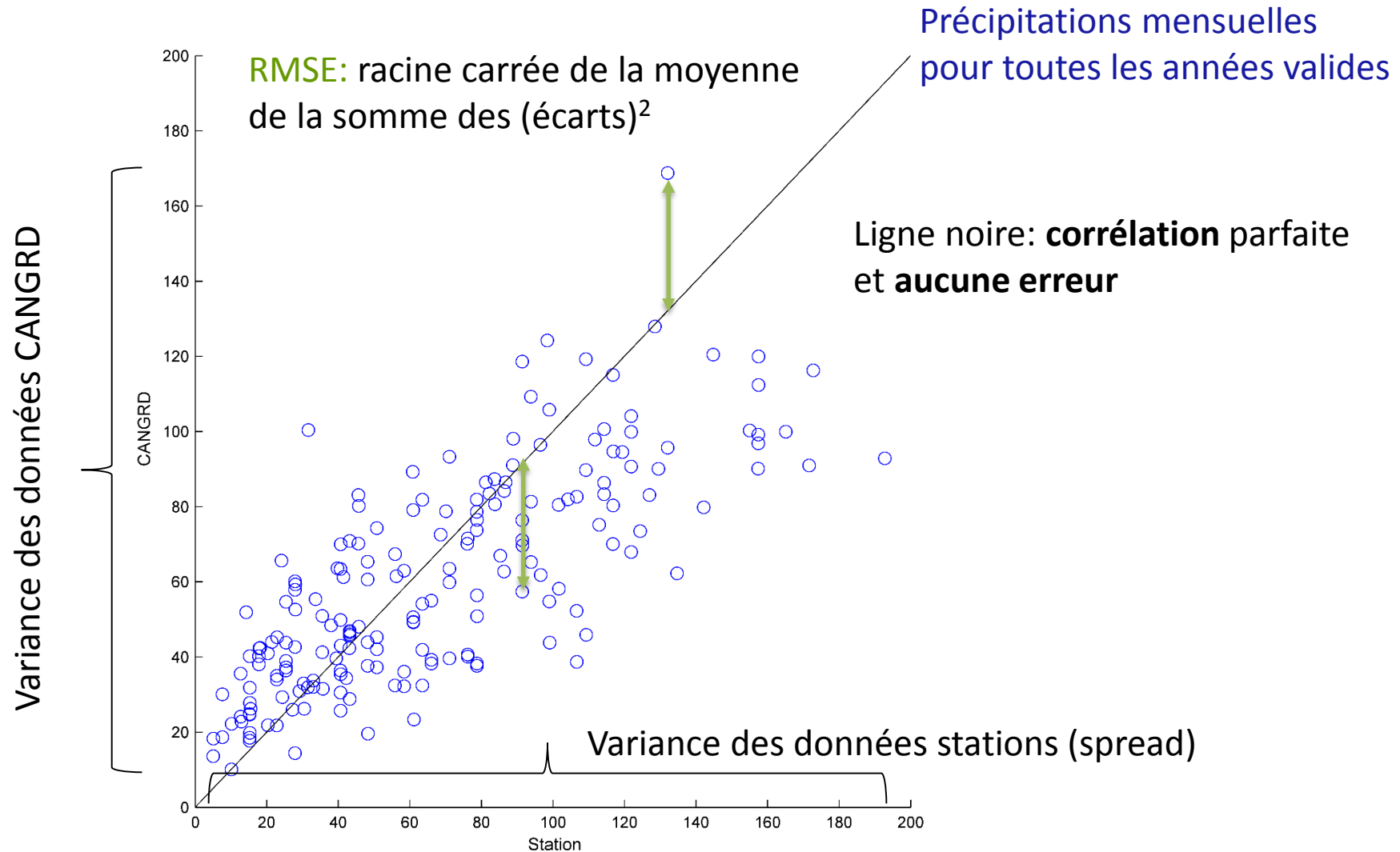
**Diane Chaumont**

**[chaumont.diane@ouranos.ca](mailto:chaumont.diane@ouranos.ca)**

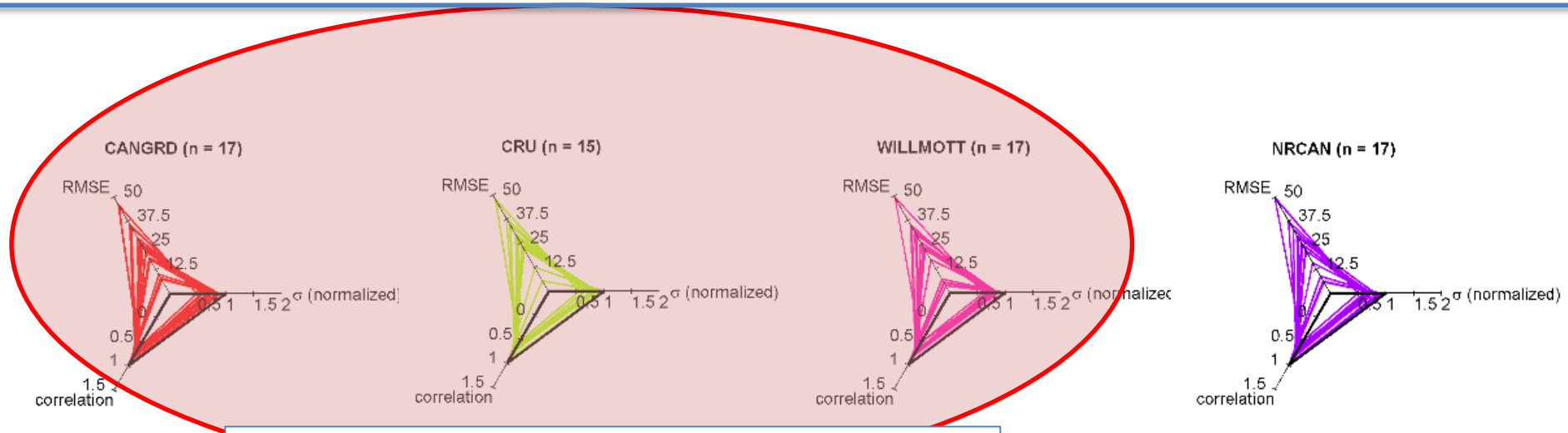
**Isabelle Charron**

**[charron.isabelle@ouranos.ca](mailto:charron.isabelle@ouranos.ca)**

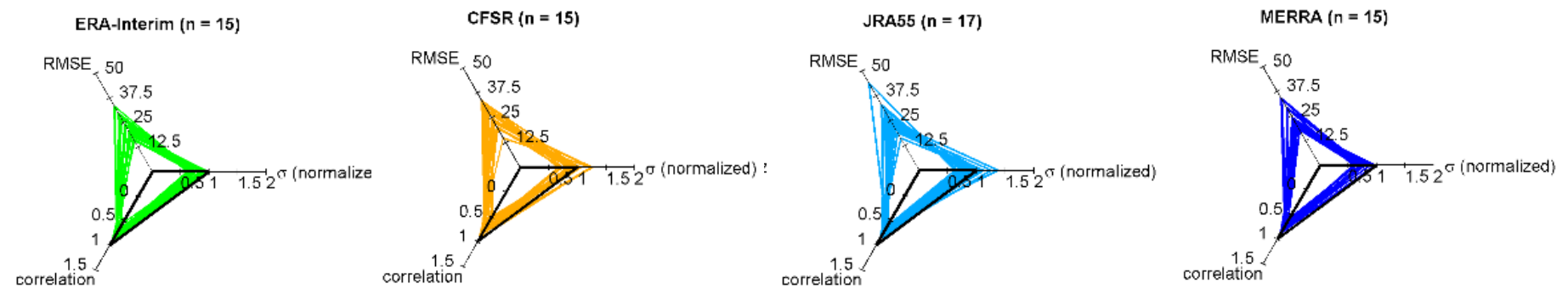
# Validation – comparaison entre données sur grille et stations

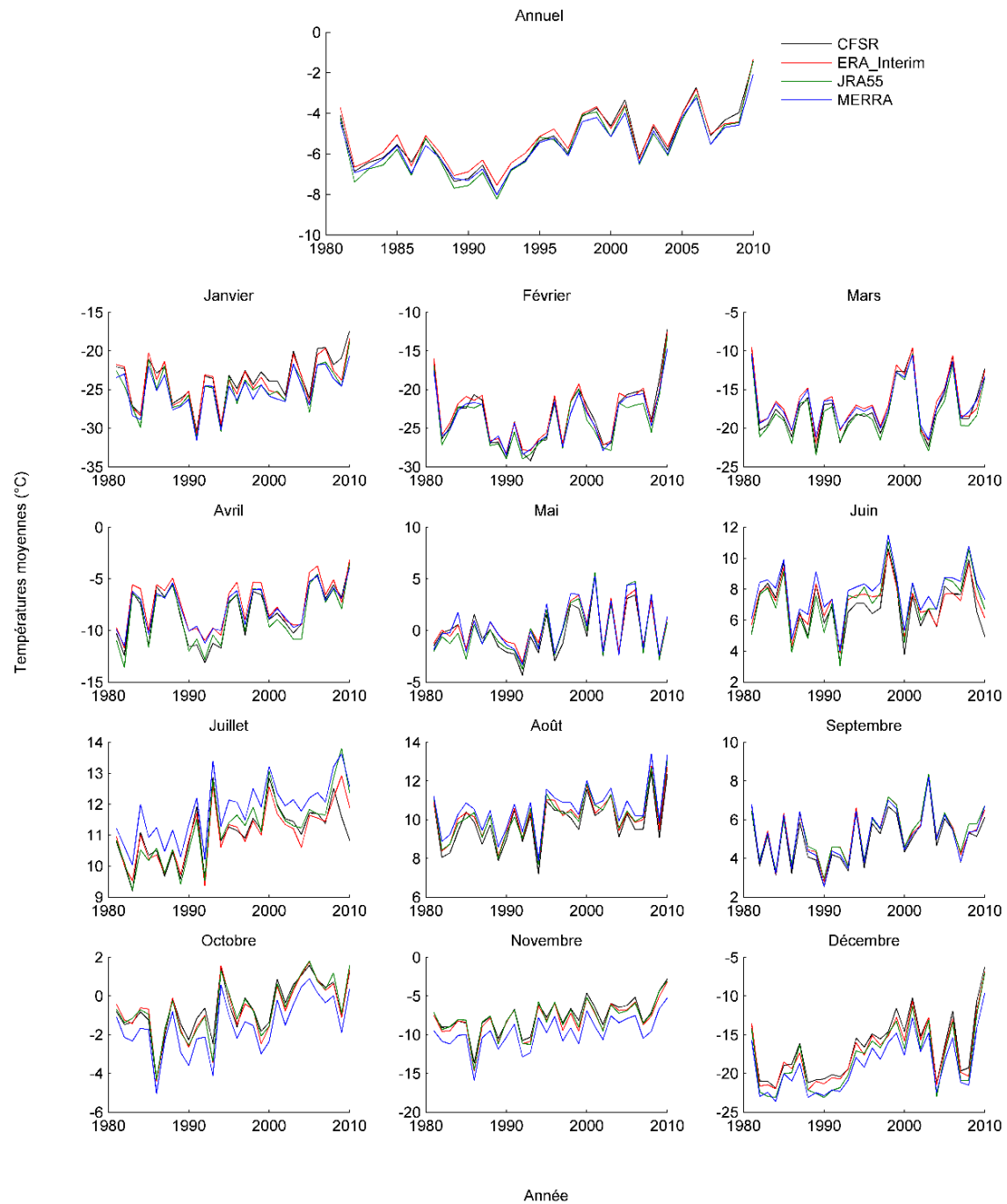


# Précipitation mensuelle moyenne



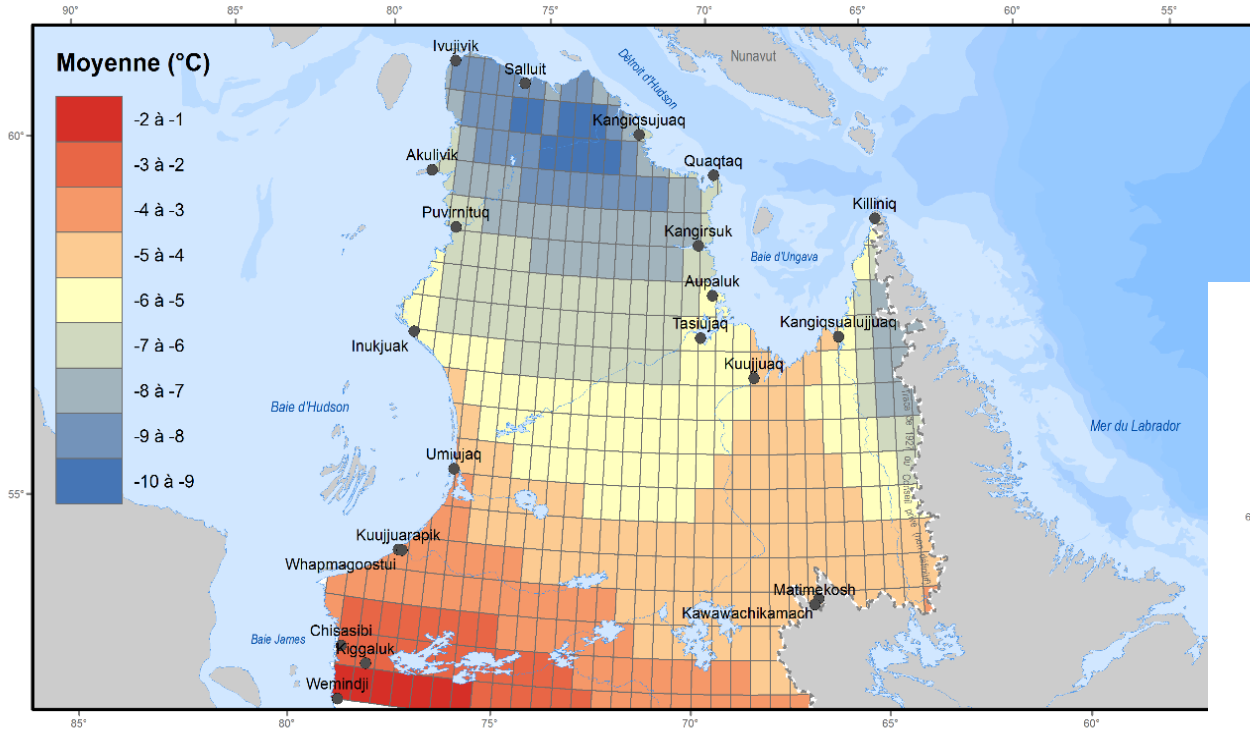
**Aucun avantage à utiliser ces bases de données mensuelles**





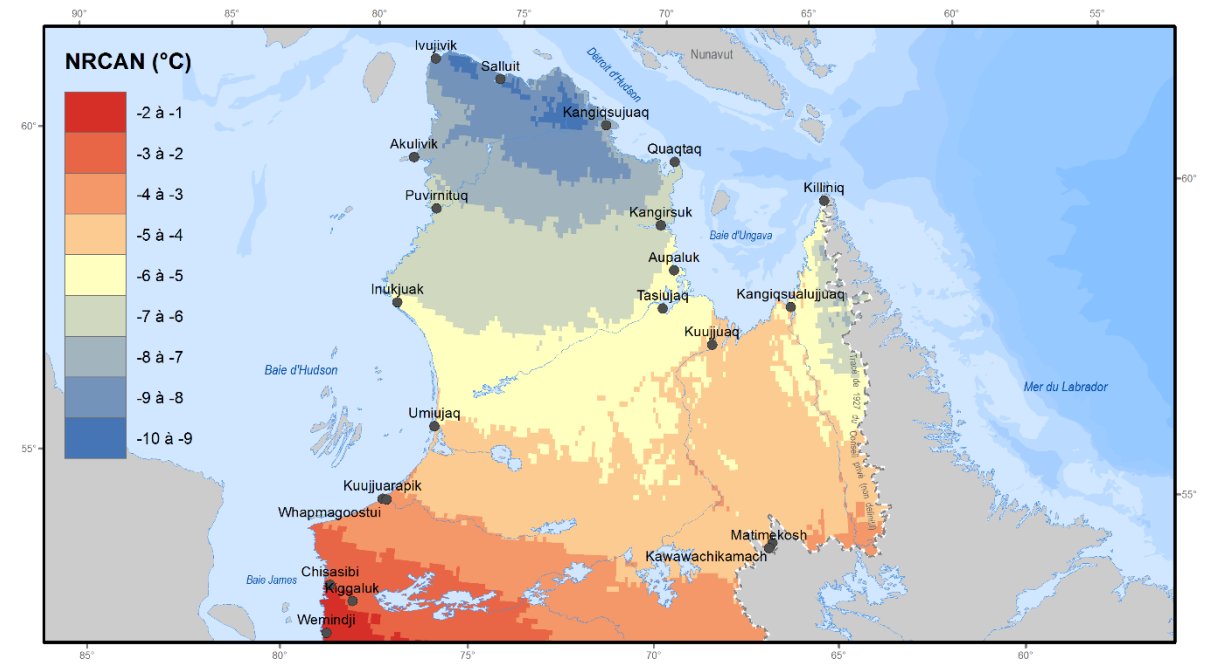
# Moyenne des 4 réanalyses -50 km

Températures moyennes (annuelle)



Températures moyenne (annuelle)

# NRCAN 10km



**Frontières**

--- Frontière Québec – Terre-Neuve-et-Labrador  
(cette frontière n'est pas définitive)

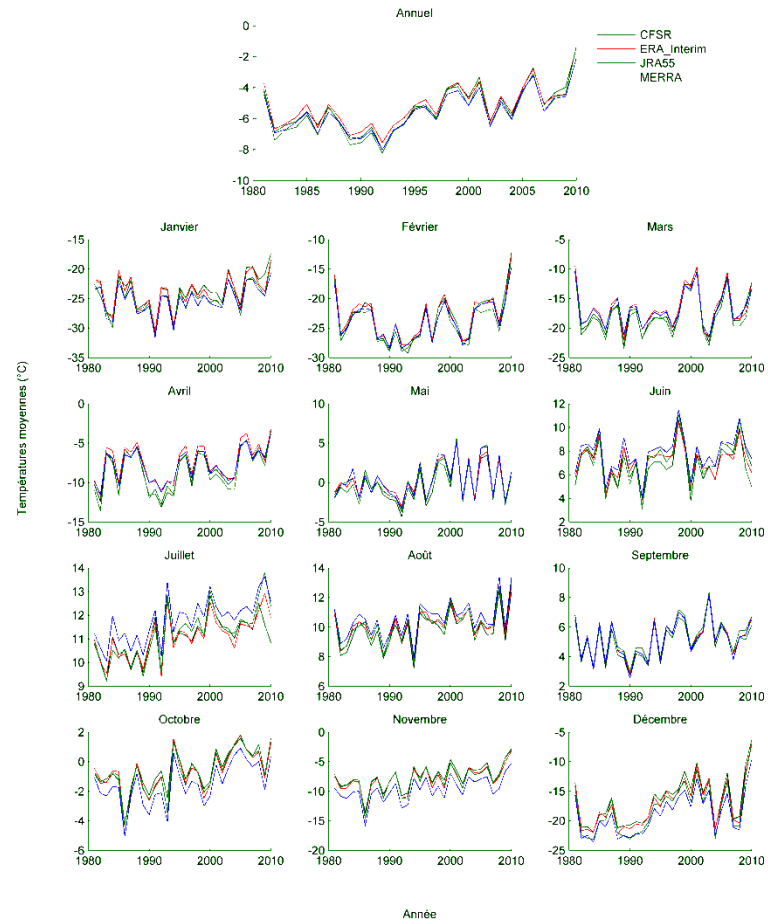
**Sources**

Donnée	Organisme	Année
Fond cartographique	MERN	2015
Données climatiques	Ouranos	2015

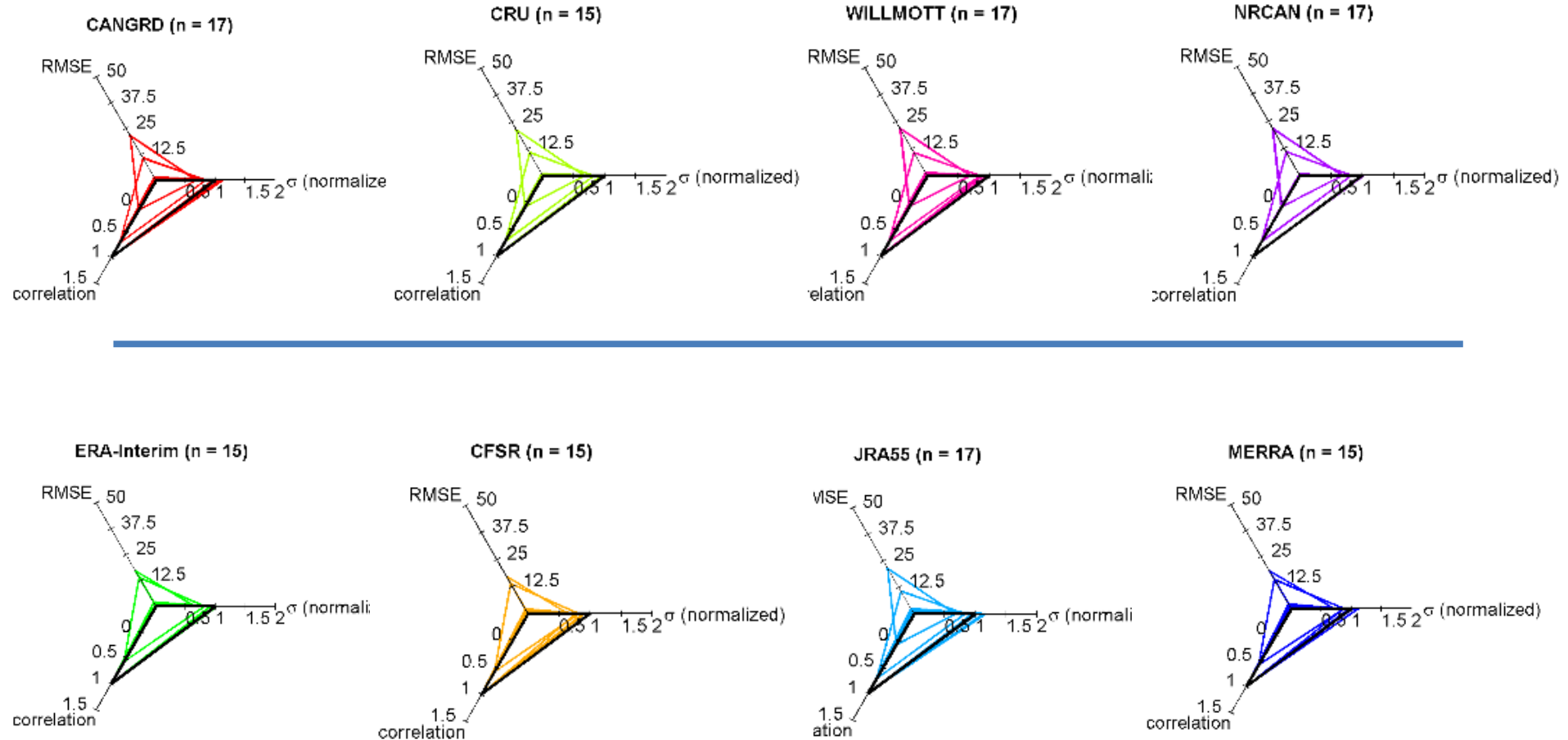
**Réalisation**

Ouranos  
Note : Le présent document n'a aucune portée légale.  
© Ouranos, 2015





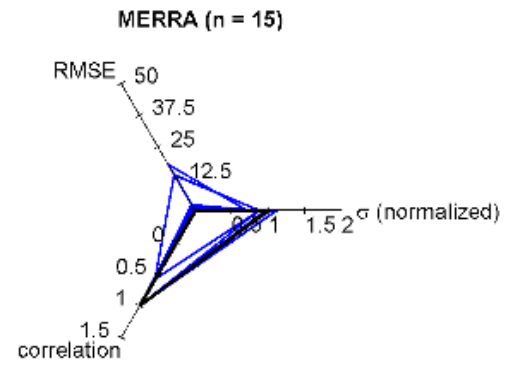
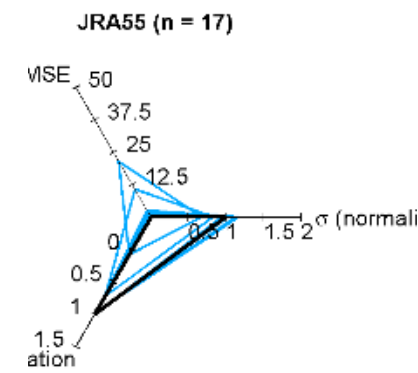
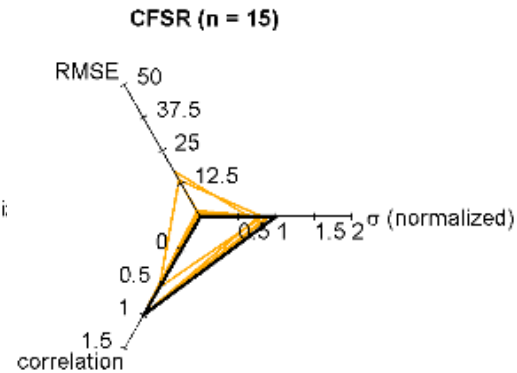
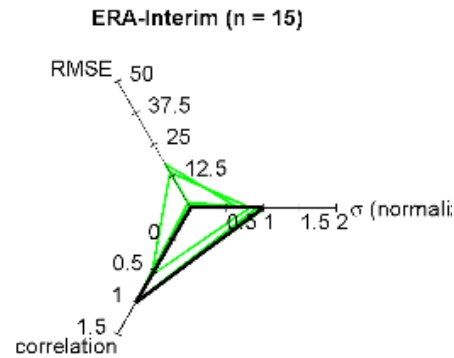
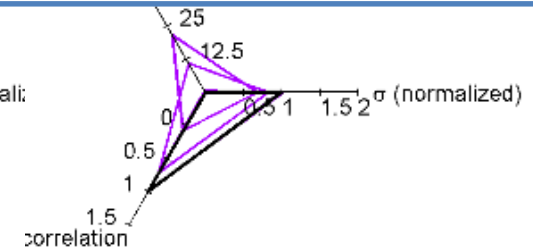
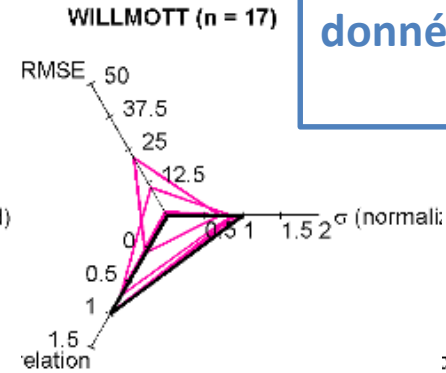
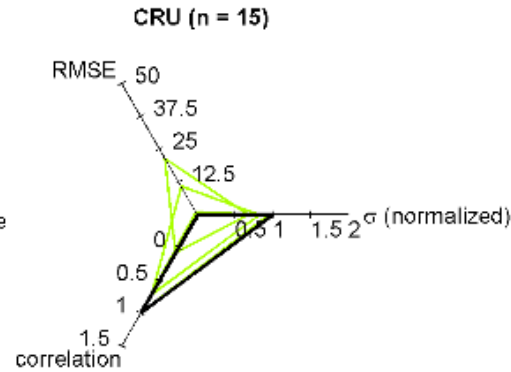
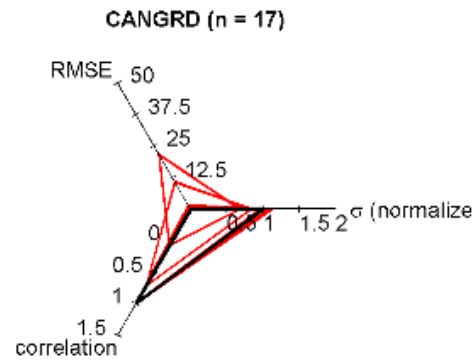
# Température mensuelle moyenne





# Température mensuelle moyenne

Difficile de discriminer entre les jeux de données, ils sont tous équivalents pour la température

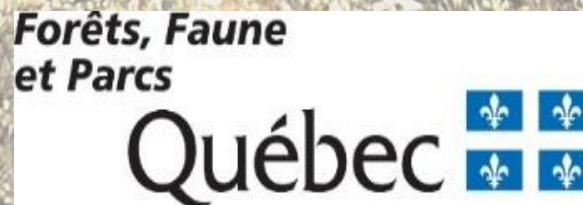




# Détermination et analyse des vulnérabilités propres au milieux naturels du Nunavik : faits saillants et régions sensibles.

Michel Allard,  
Emmanuel L'Hérault, Antoine Boisson, Sarah Aubé-Michaud et Denis Sarrazin  
Centre d'études nordiques, Université Laval

Québec 1<sup>er</sup> novembre 2016





# Objectifs

## Objectif du projet de recherche:

Fournir aux intervenants gouvernementaux, aux entreprises et aux organisations autochtones des connaissances de base essentielles en rapport avec la nature du terrain et les géorisques du milieu afin d'orienter la prise de décision pour le développement du territoire du Nunavik.

## 4 axes

- **Axe I. Documenter et recenser les aléas naturels au Nunavik**
- **Axe II. Améliorer les connaissances sur la distribution spatiale et les propriétés du pergélisol à l'échelle régionale**
- **Axe III. Classifier les côtes**
- **Axe IV. Comblé un vide dans le réseau instrumental de suivi climatique**



# Les aléas naturels au Nunavik

- Le territoire du Nunavik est soumis aux mêmes aléas naturels que le reste du Québec et davantage.
- Ces aléas naturels constituent des risques à prévoir pour la planification sécuritaire du développement, le maintien et l'entretien subséquent des infrastructures.

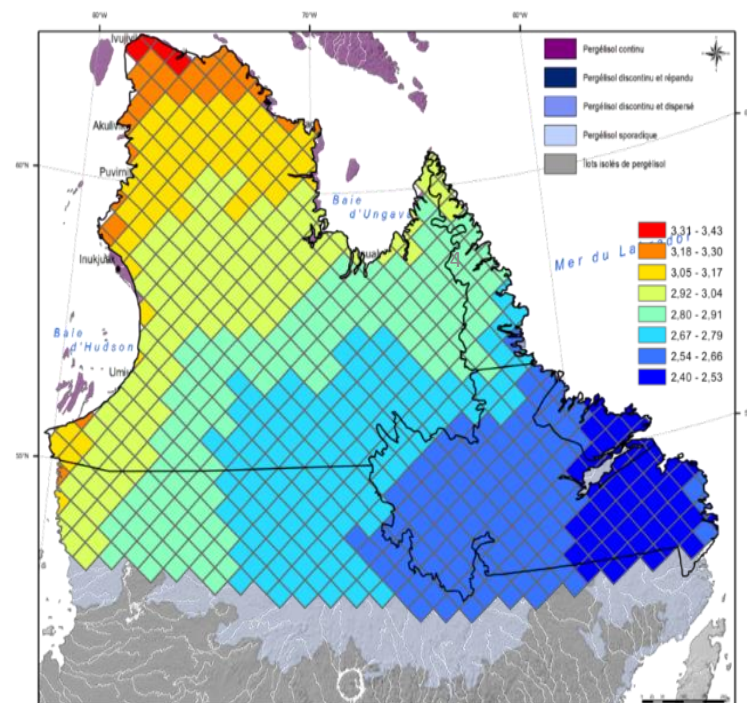




# Les risques naturels et les changements climatiques

TMAA ↑ 2,7 à 3,4°C (MRCC: horizon 2050)

- Les projections suggèrent une augmentation marquée des températures de l'air sur l'ensemble du territoire.
- Modifications de plusieurs variables climatiques
- Susceptible d'augmenter l'amplitude et la fréquence des aléas naturels liés au climat.
  - Submersion côtière
  - Érosion côtière
  - Inondations
  - Fonte du pergélisol
  - Érosion rapide
  - Tempête de vents et blizzard
  - Feux de forêt
  - Glissements de terrains
  - Avalanches



« Les changements climatiques auront de effets significatifs sur les niveaux d'eau extrêmes, particulièrement pour les villages sur la côte est de la baie d'Hudson » (Le Groupe-Conseil LaSalle, 2013)

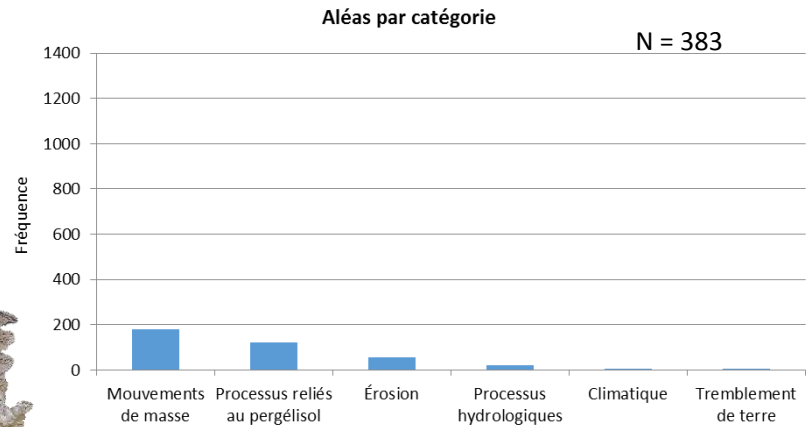
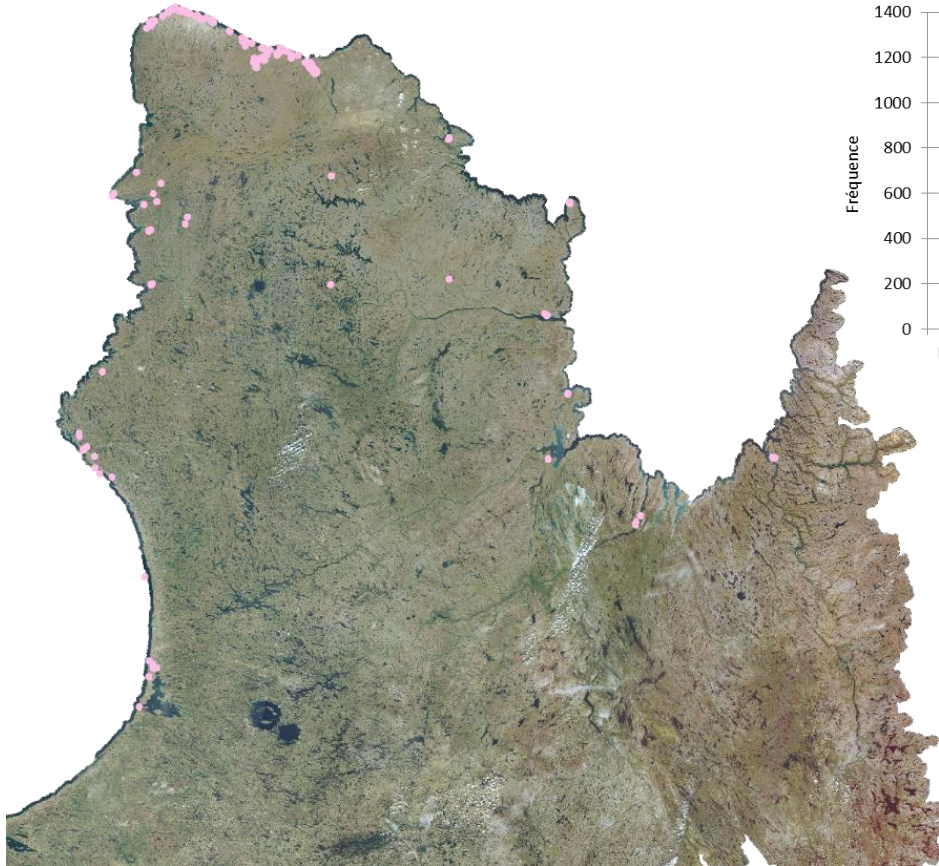
↑Aléa + ↑Vulnérabilité = ↑↑Risque



# Axe 1: Recensement et documentation des aléas

## Enquête informelle

### Résultats:



Le patron de distribution des aléas recensé est intimement lié aux pôles d'occupation du territoire et leurs aires d'influences (en partie???)

Ce patron de distribution relève davantage d'une limitation sur le plan méthodologique.



# Axe 1: Recensement et documentation des aléas

## Bases de données du MFFP

### Photo-interprétation oblique

Relevés photographiques du territoire

- 68 354 photos 2013-2015 (MRNF, DIF)
- 37 000 photos du littoral 2015-2016 (9500 km de littoral) (CEN)

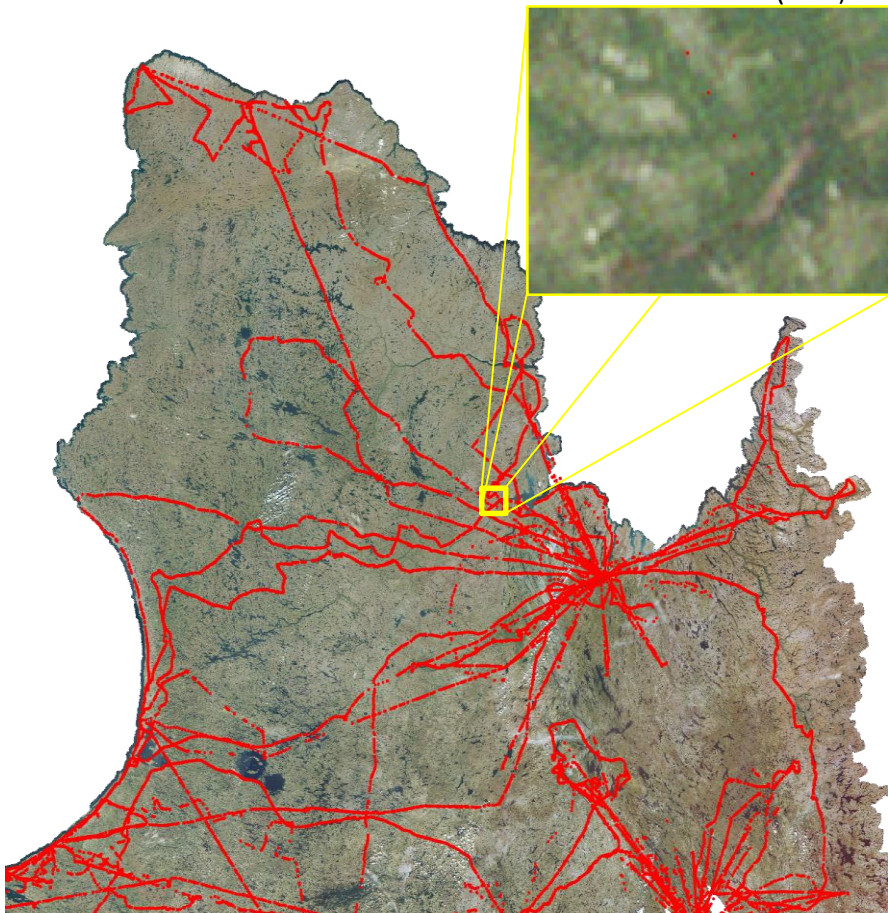


Photo: MFFP



Photo: MFFP

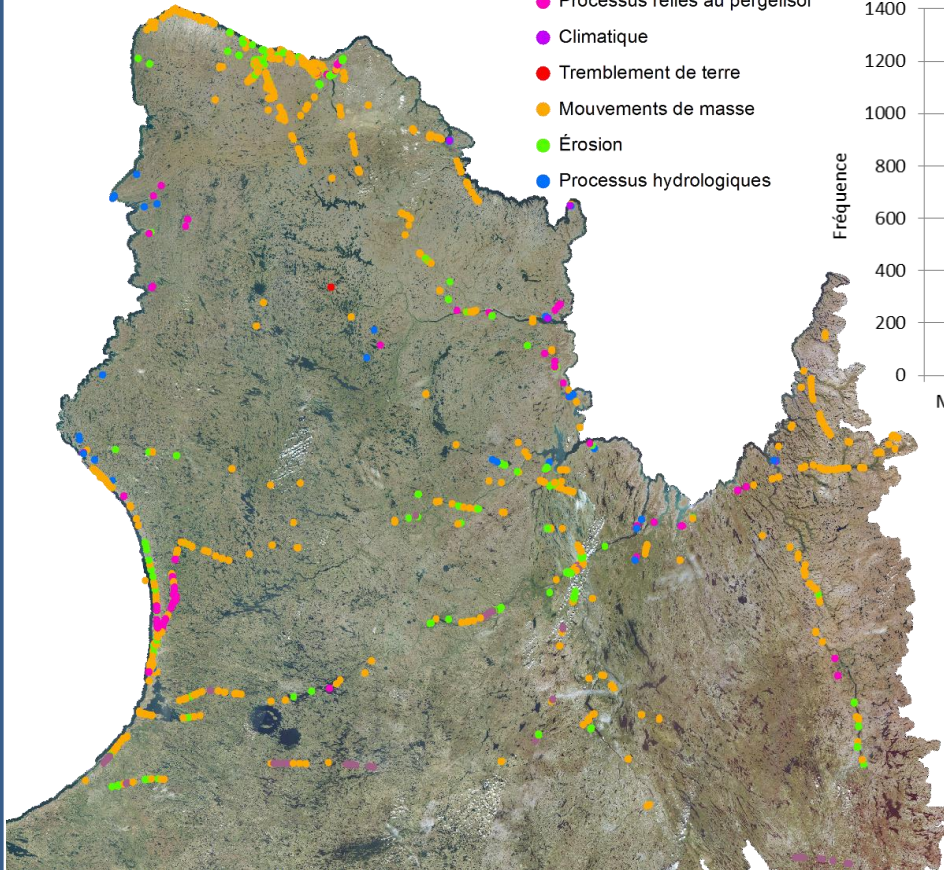


# Axe 1: Recensement et documentation des aléas

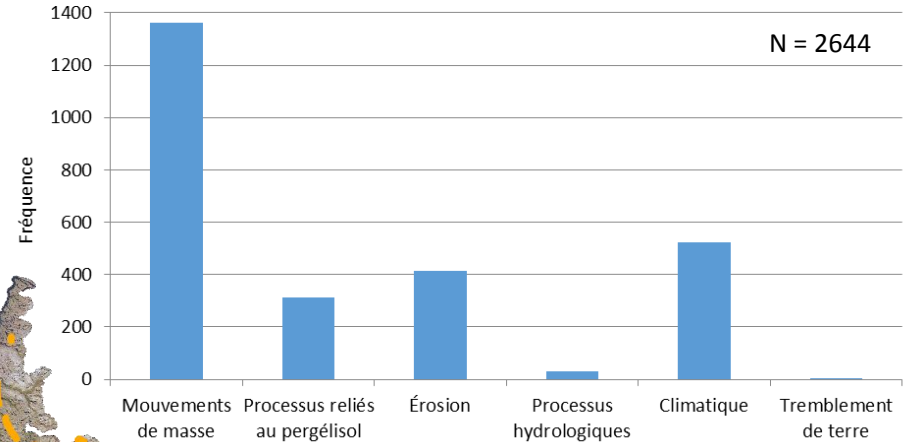
## Résultats

### Résultats compilés:

- Processus reliés au pergélisol
- Climatique
- Tremblement de terre
- Mouvements de masse
- Érosion
- Processus hydrologiques



Aléas par catégorie



Après 39% des photos analysées (n=26 633) le patron de distribution des aléas recensés est un peu plus dispersé.

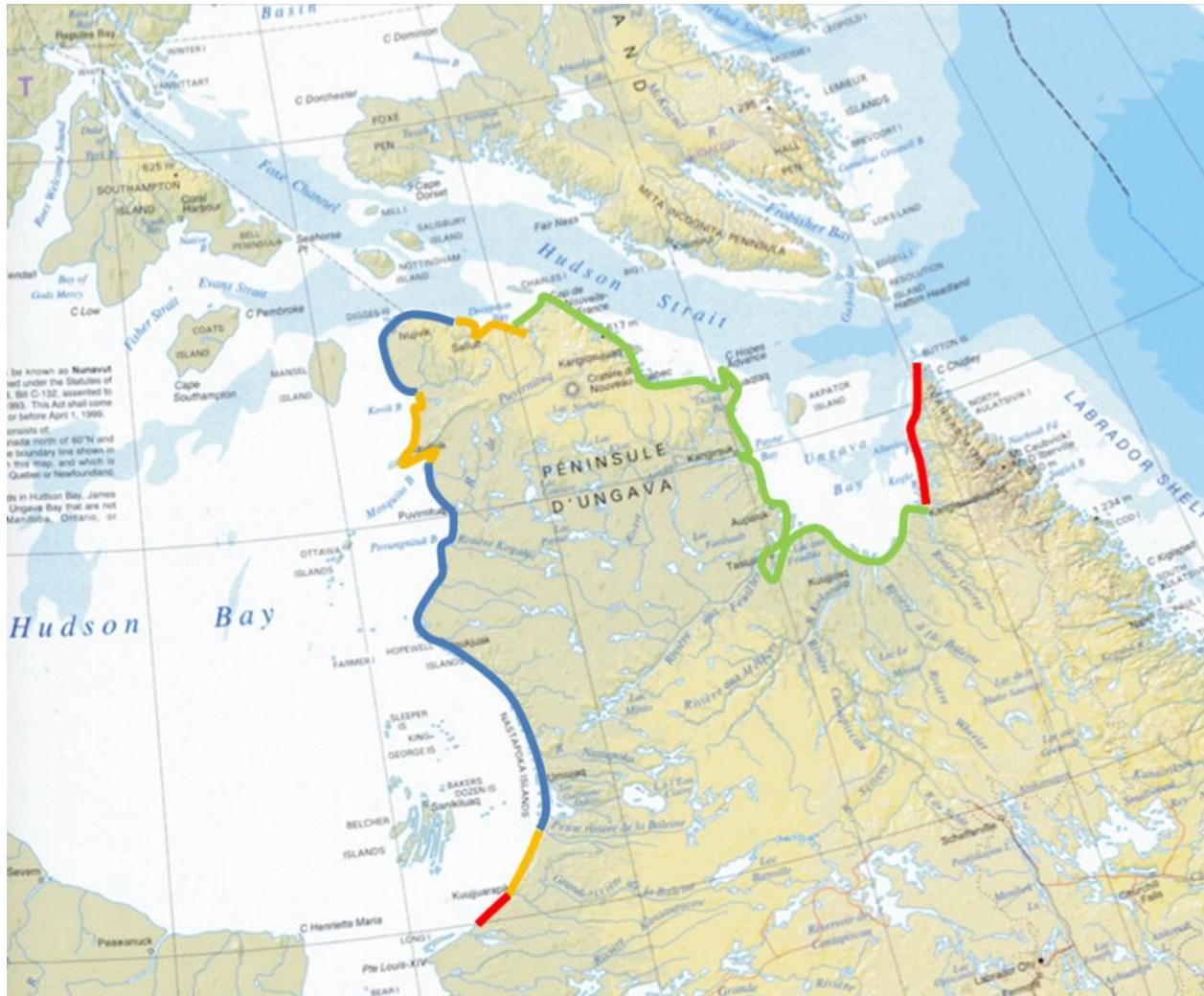
Malgré le gain, le recensement par photo interprétation demeure une vue statique du territoire.

Comment accroître la couverture tant spatiale que temporelle?



# Photographie et vidéographie du littoral Bilan actuel

## Segmentation et classification du littoral



## Version 1.0

- Segmenté
- Quelques modifications à faire
- À faire entre novembre 2016 et mars 2017
- Secteurs non survolés



# Les mouvements de masse



Photo: MIFFP



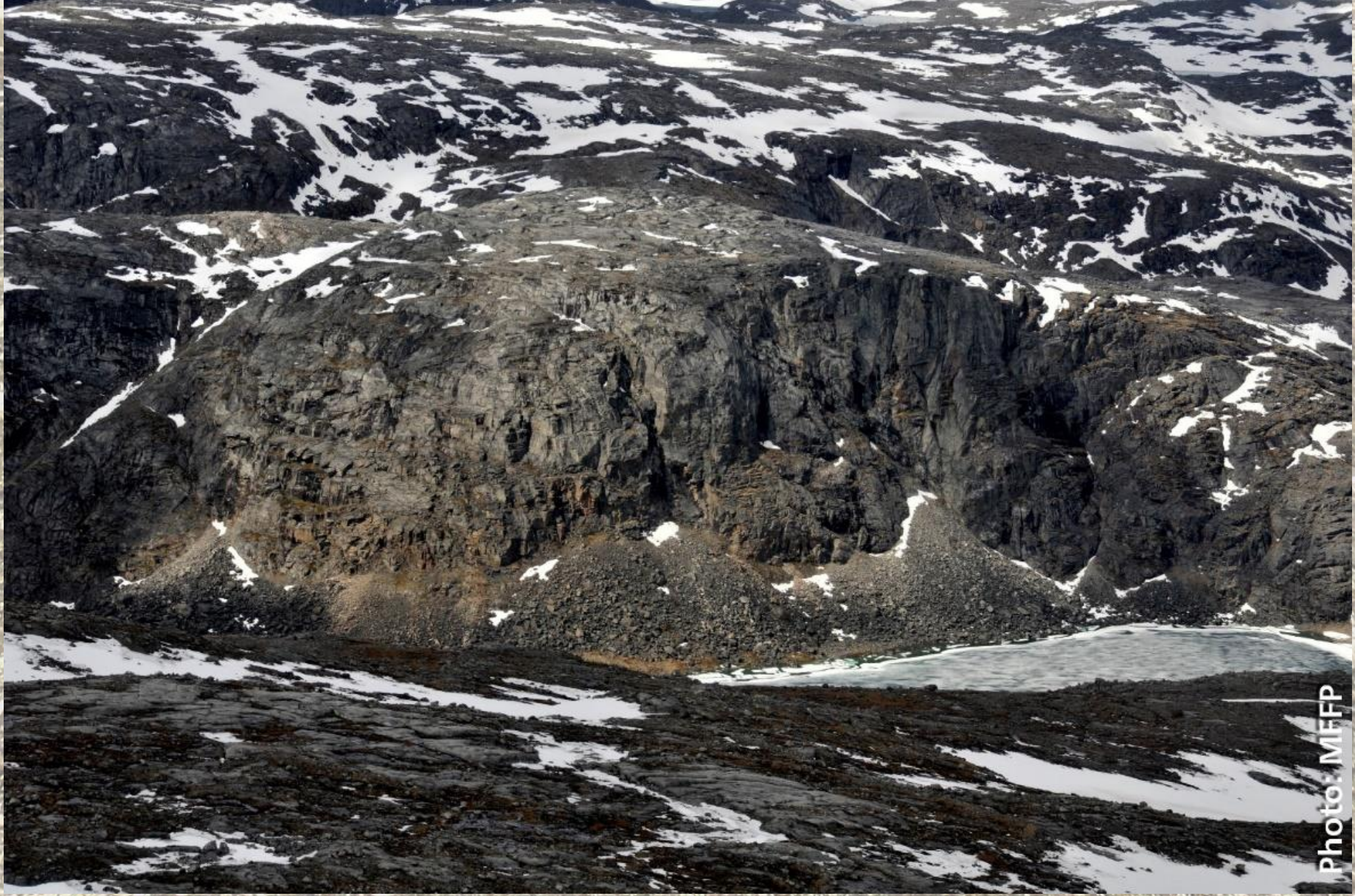


Photo: MIFFP





Photo: MFFP

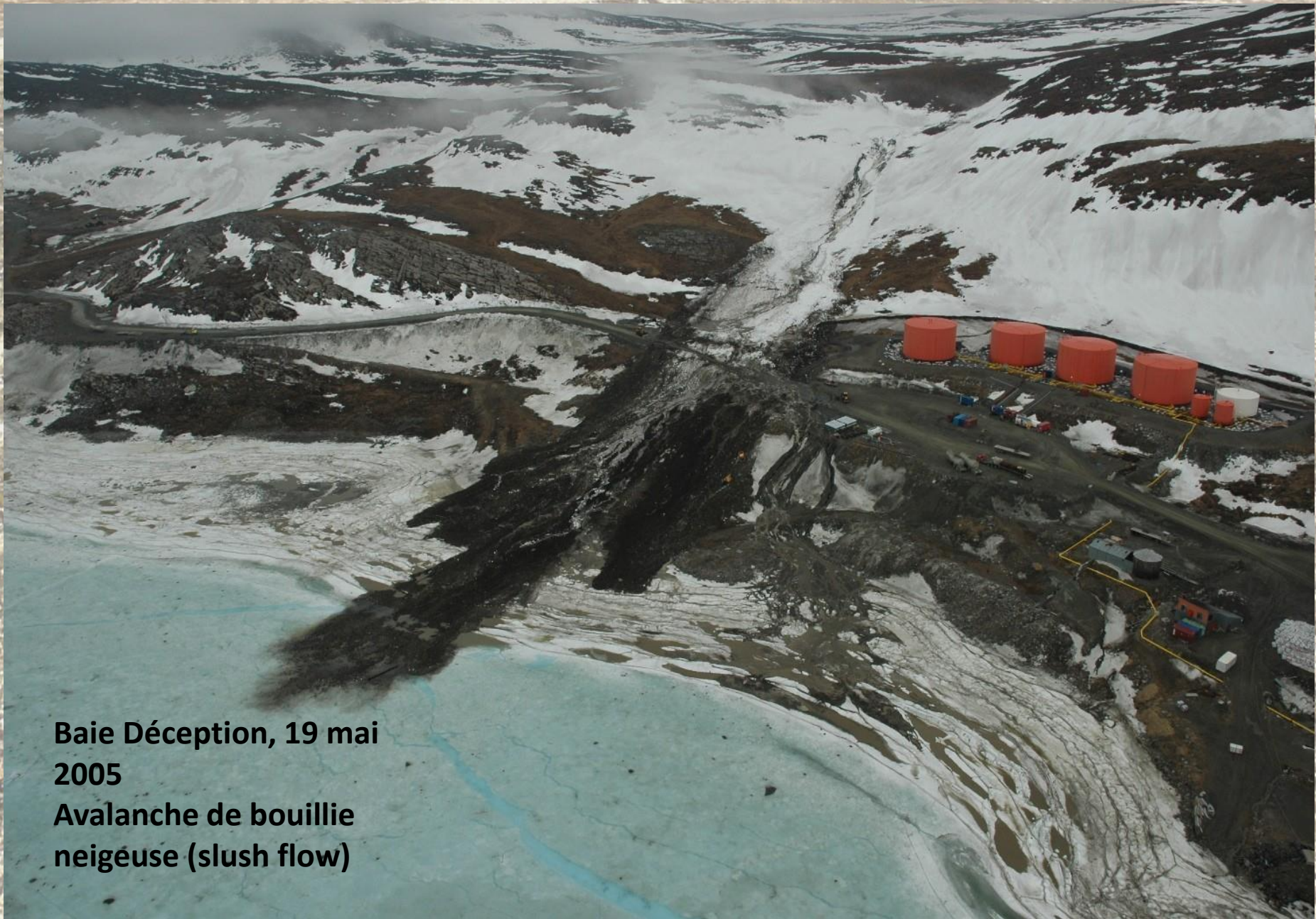




Photo: MFFP

**Cône de déjection actif, avalanches de slush et coulées boueuses (vallée du Koroc)**





**Baie Déception, 19 mai  
2005  
Avalanche de bouillie  
neigeuse (slush flow)**





Photo: MIFFP











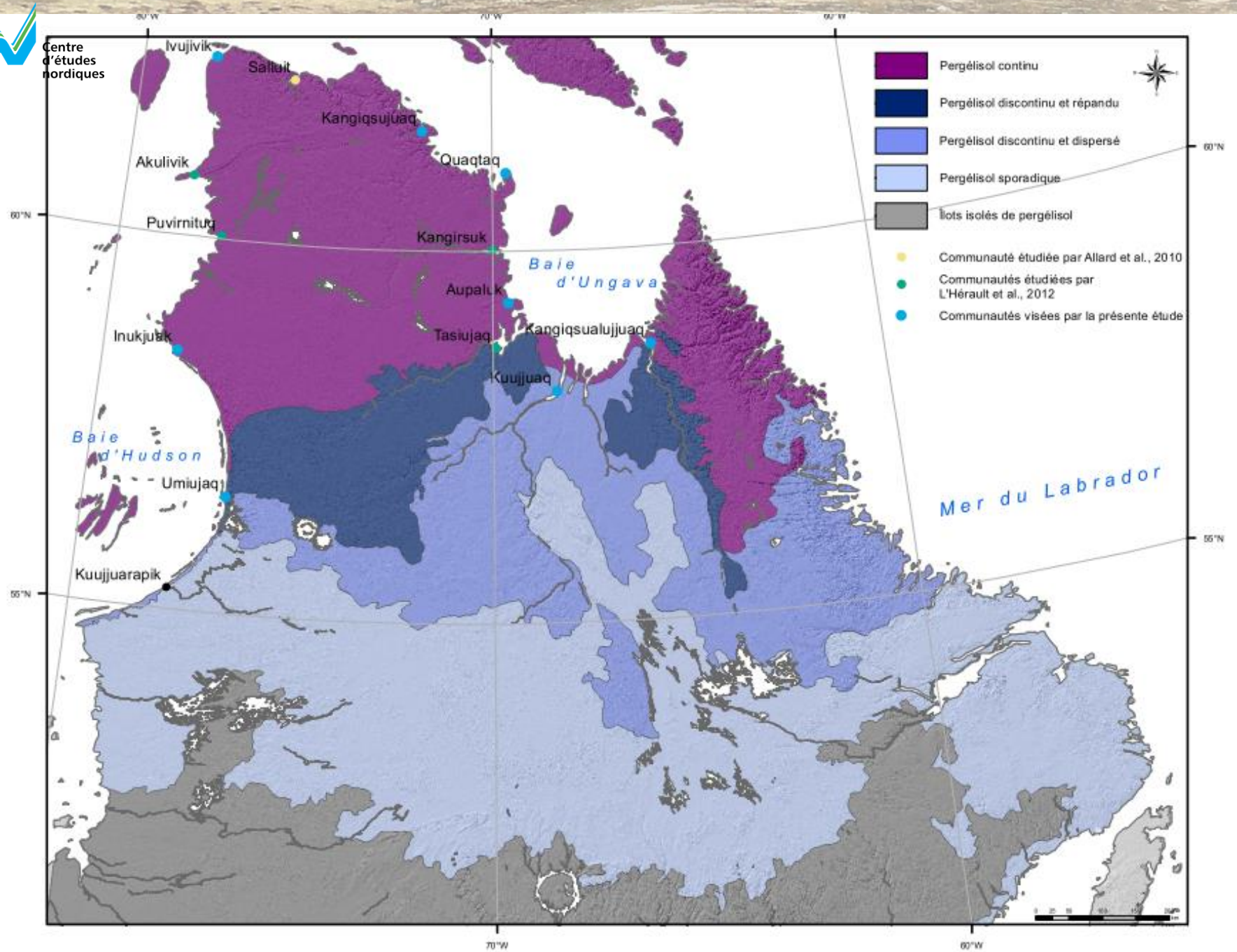
# Route de Douglas Harbour







Centre d'études nordiques





## Axe 2: Conditions du pergélisol 2.0

### Objectif:

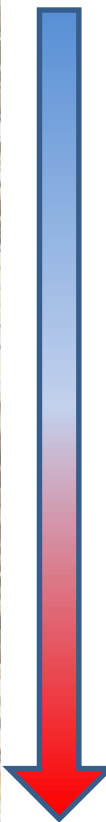
Cartographier les caractéristiques géothermiques et géotechniques du pergélisol en fonction des intrants climatiques, conditions de surface et types de dépôts géologiques à l'échelle du Nunavik.





# Évolution des températures du pergélisol au Nunavik

**TABLE 1. Changes in active layer depth between the mid 1990s and 2007 and temperature changes 4 and 7 m deep at selected sites and in different surficial materials in Northern Québec**



Site (Cable no)	material	AL93 <sub>cm</sub>	AL07 <sub>cm</sub>	ΔAL <sub>cm</sub>	ΔT <sub>4m</sub>	ΔT <sub>20m</sub>
Salluit (Sal-154)	Gneiss	279	374	95	1.8	1.0
Salluit (Sal-155)	Till	168	295	182	2.7	1.3
Akulivik (Aku-162)	Till	138	222	84	1.7	-
Akulivik (Aku-232)	Sand/clay	135	143	8	1.6	0.9
Quaqtaq (Quaq-156)	Sand/gravel	151	170	19	1.5	1.5
Quaqtaq (Quaq-158)	Gneiss	416	519 <sup>3</sup>	103	1.6	1.2
Puvirnituq (Puv-303)	Gneiss	339	469 <sup>2</sup>	130	3.3	1.1
Aupaluk (Aupa-299)	Sand/gravel	155	210	55	1.7	1.0
Tasiujaq (Tas-304)	Sand	113	207	94	1.7	-
Tasiujaq (Tas-roc)	Schist	509	552	43	2.0	1.2
Kangiqsualujjuaq (Kan-231)	Gneiss	607 <sup>1</sup>	1100	493	3.4	1.2
Kangiqsualujjuaq (butte côtière)	Argile	252 <sup>4</sup>	332 <sup>5</sup>	80	1.5	0.05
Umiujaq (Umi-roc)	Basalt	1008 <sup>6</sup>	1556 <sup>2</sup>	548	1.5	1.2*

1- 1995 ; 2- 2005, 3- 2004, 4- 1994, 5-2007, 6- 1997, \* permafrost now at -0.01 °C

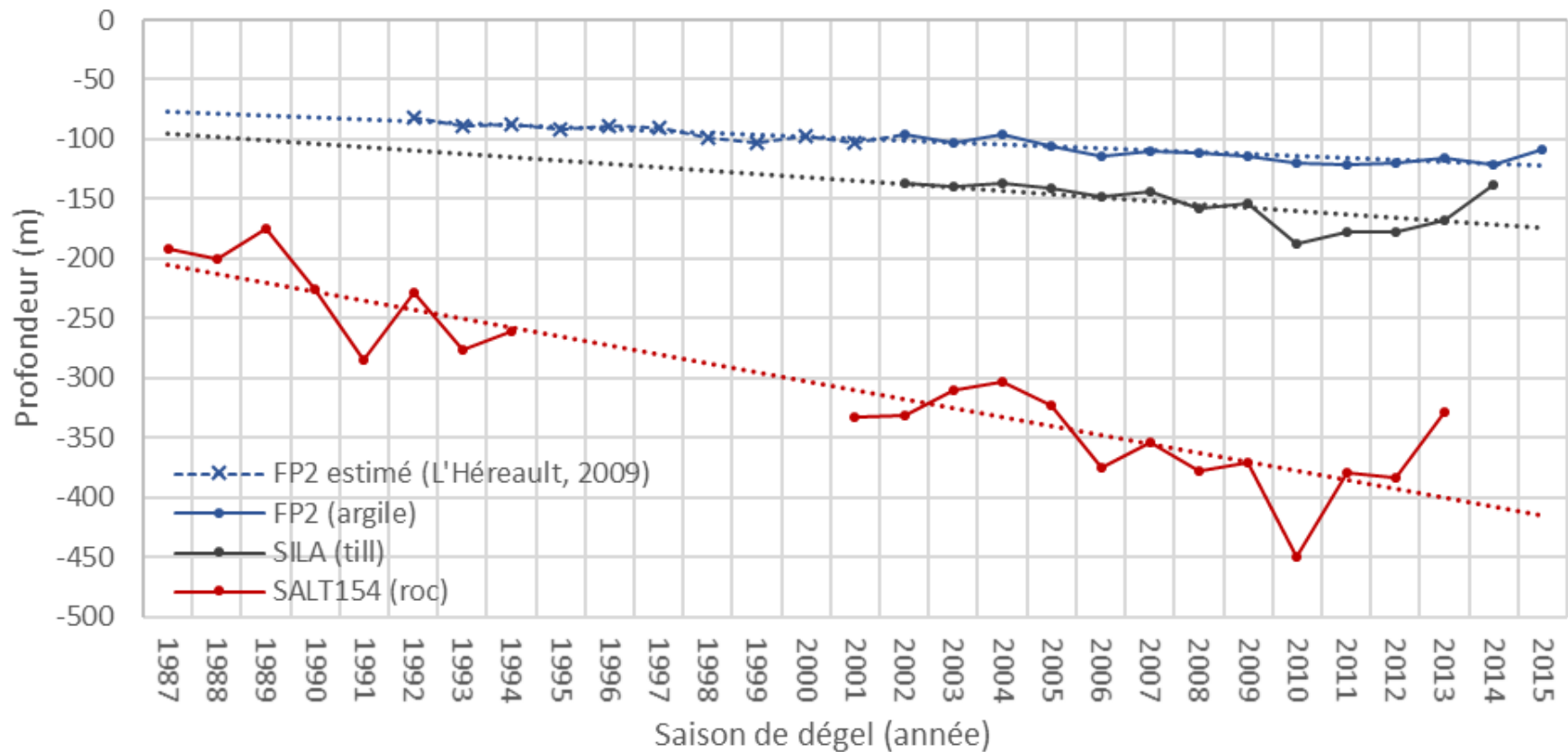
**Active layer thickness: + 46%**

**T 4m : + 2.1 °C**

**T 20 m: + 1.0 °C**



# Approfondissement de la couche active Salluit





# Salluit

## Réalité et modèle

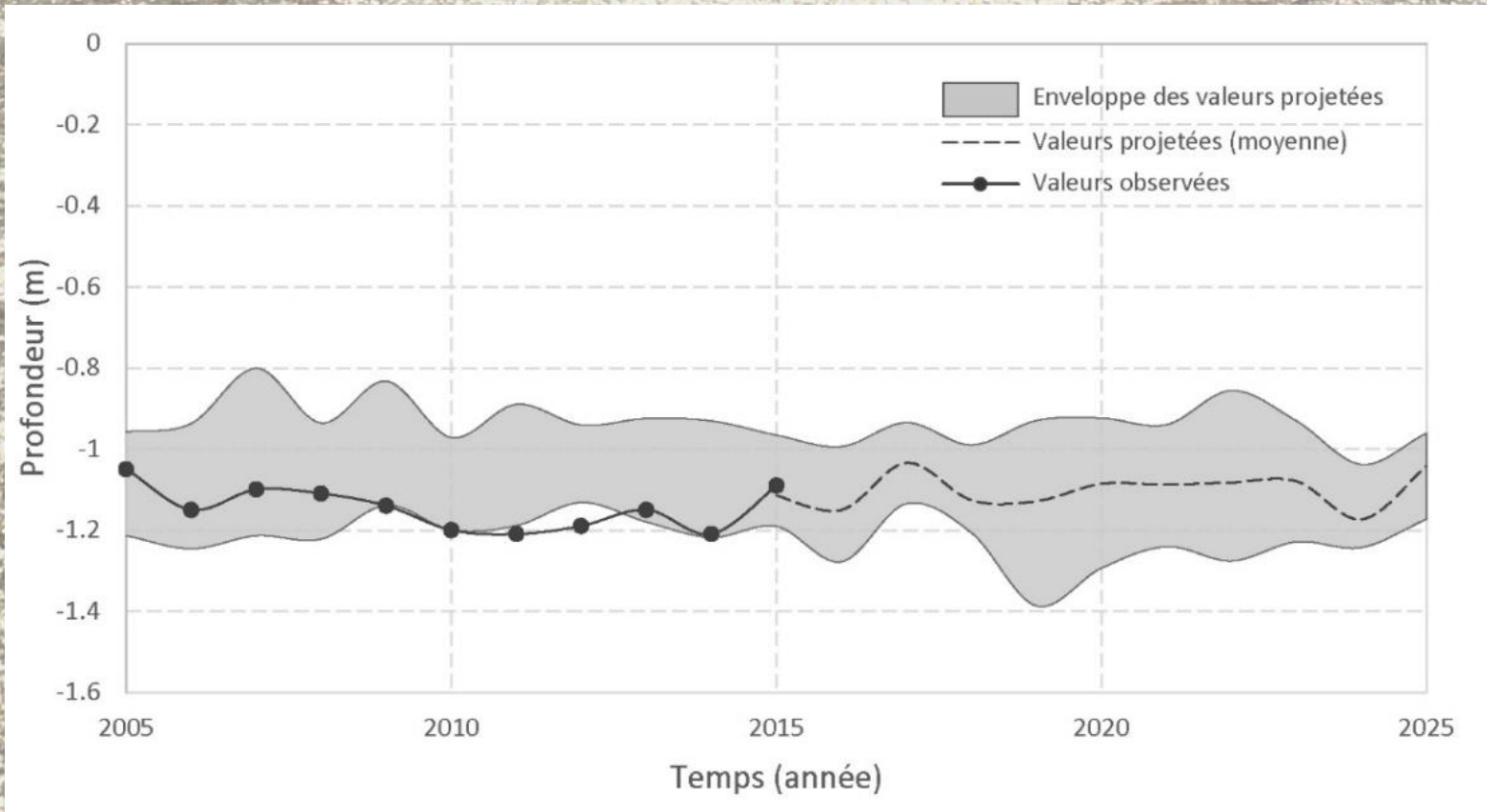






Photo: MFFP





Photo: MFFP





Photo: MFFP



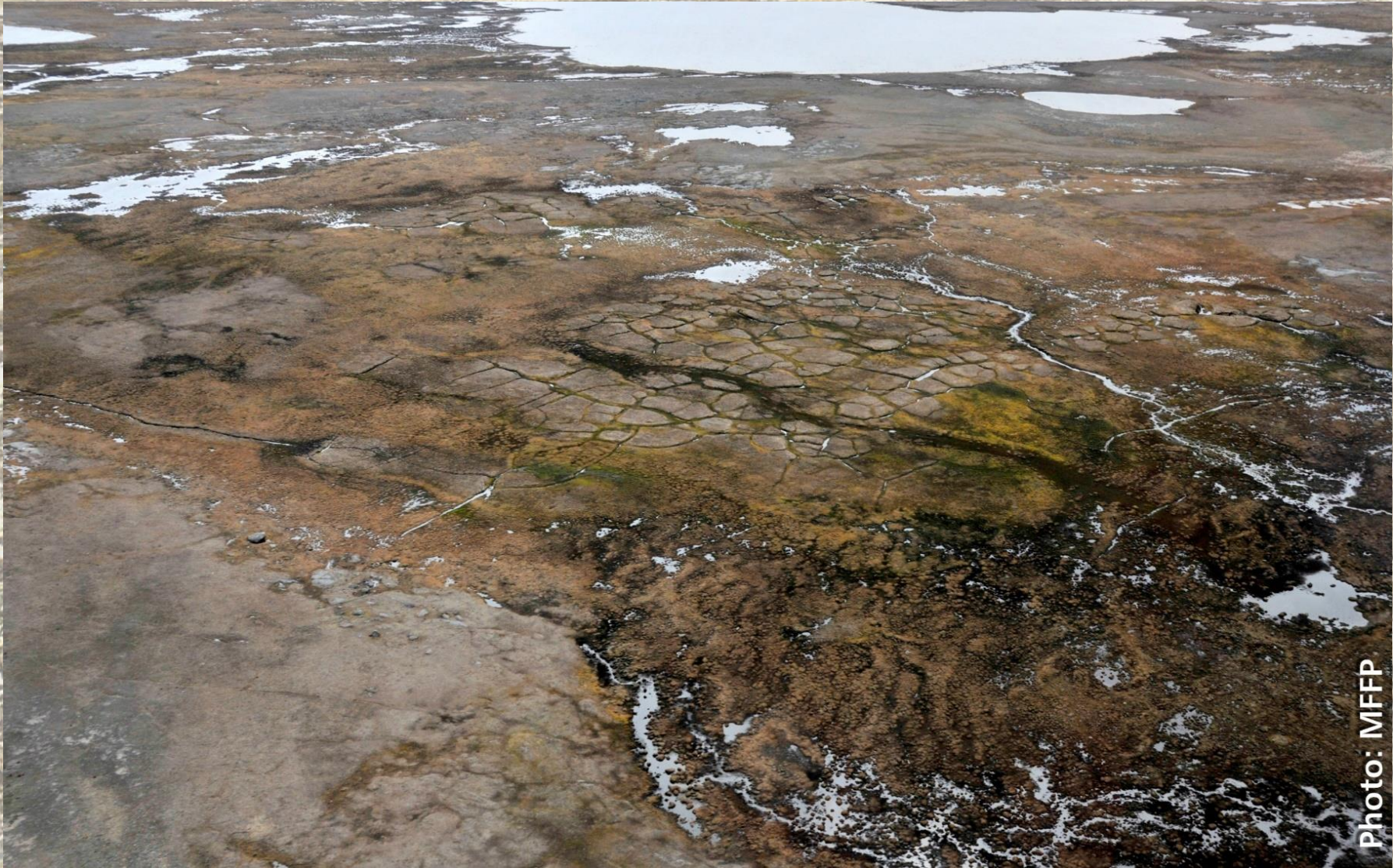


Photo: MFFP



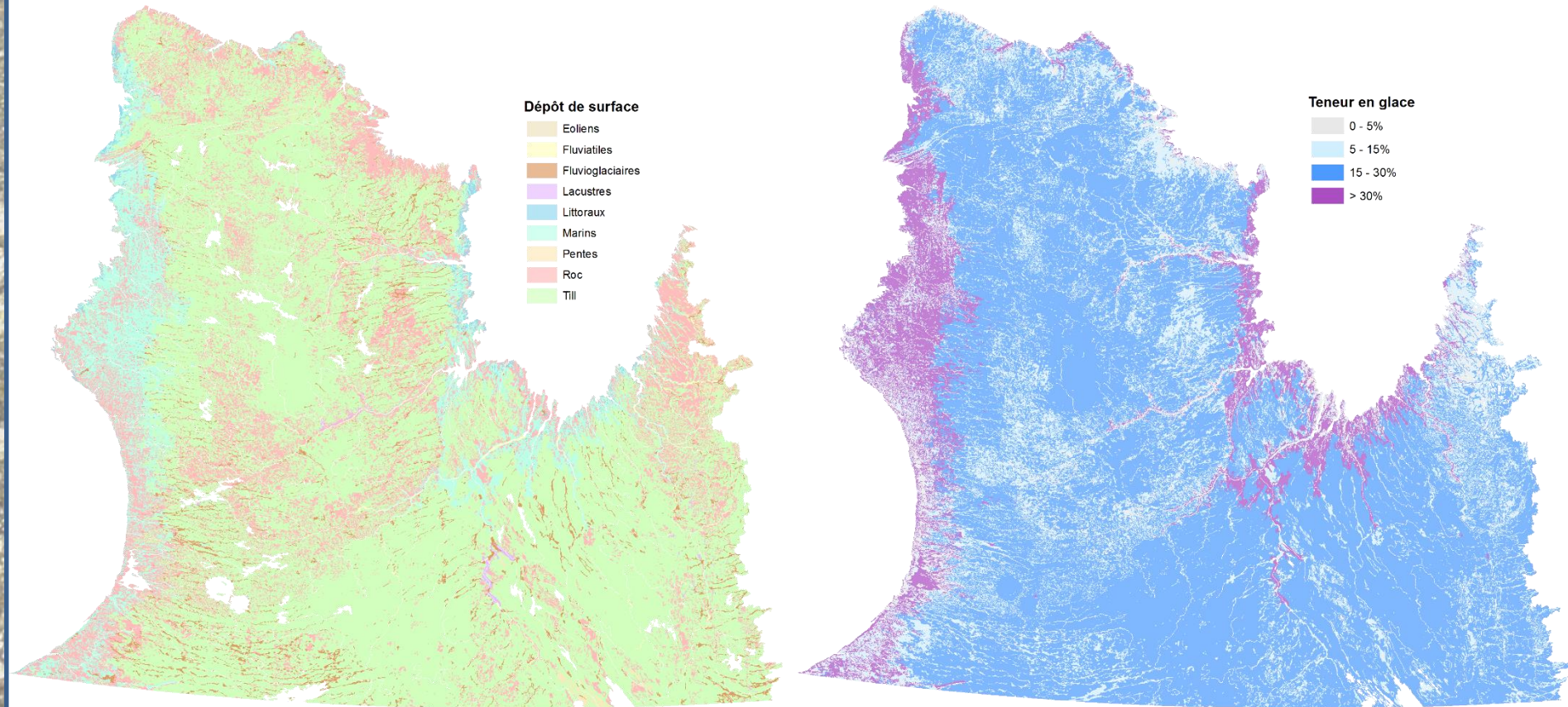


Photo: MFFP



# Axe 2: Conditions du pergélisol 2.0

- Teneur en glace potentielle





# Embâcles glacielles et inondations

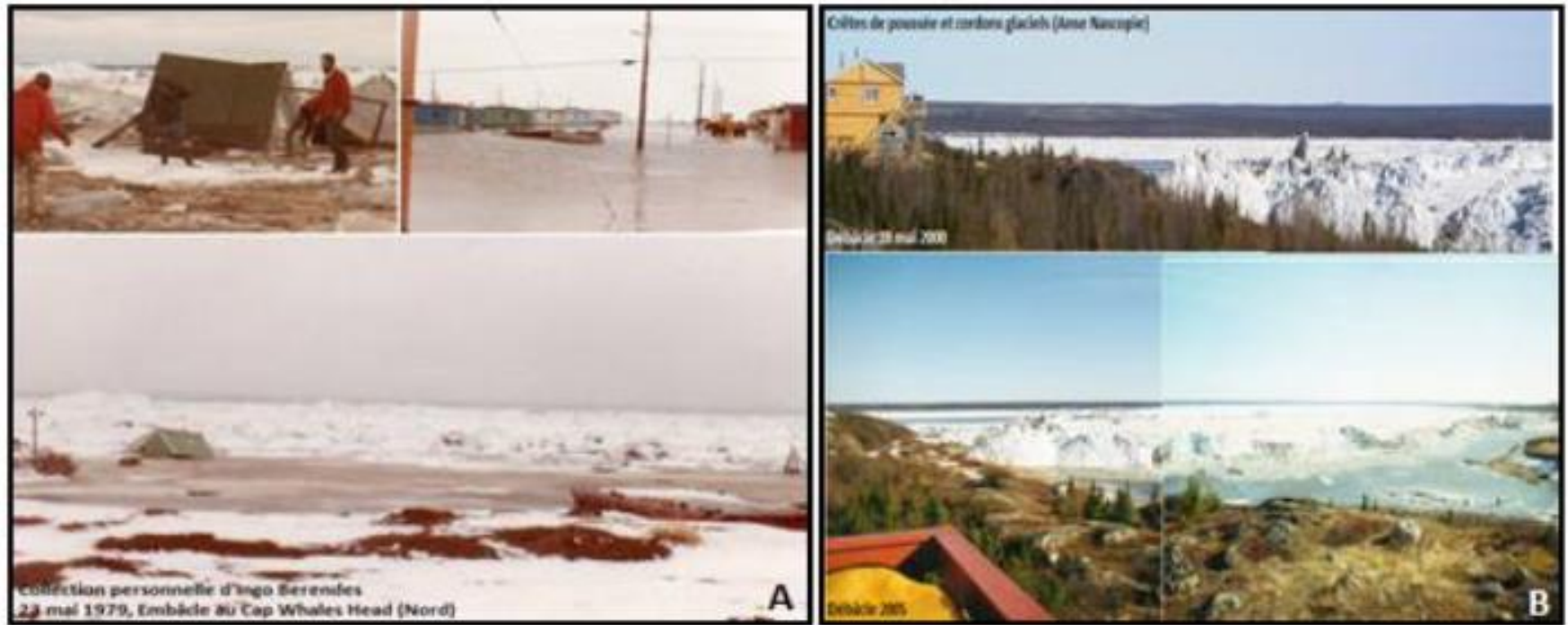


Figure 5.46 A) Embâcle et inondation dans la baie de Kuujjuaq le 23 mai 1979. B) Événements glaciels (crêtes de poussées) observés par la communauté Kuujjuaq en l'an 2000 et 2005. Collection personnelle d'Ingo Berendes.

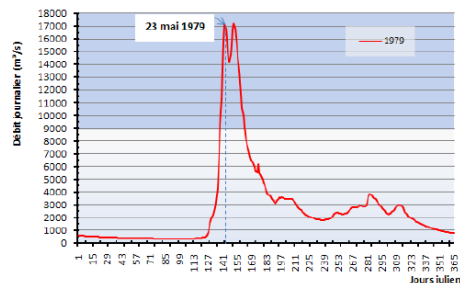


Figure 5.48 Hydrogramme des débits journaliers moyens pour l'année 1979. La grande inondation de mai 1979 dans la baie de Kuujjuaq. Source : Centre d'expertise hydrique du Québec.

## Kuujjuaq 1979

Source: Bleau (2011)





**Figure 5.47 Évènements glaciels (12 m d'altitude) observés par la communauté Kuujjuaq en l'an 2000. Collection personnelle de Bill Doidge, Centre de recherche du Nunavik.**





**Un risque oublié: les argiles marines sensibles en zone intertidale et sub-tidale**



# Le littoral

## Milieu fragile



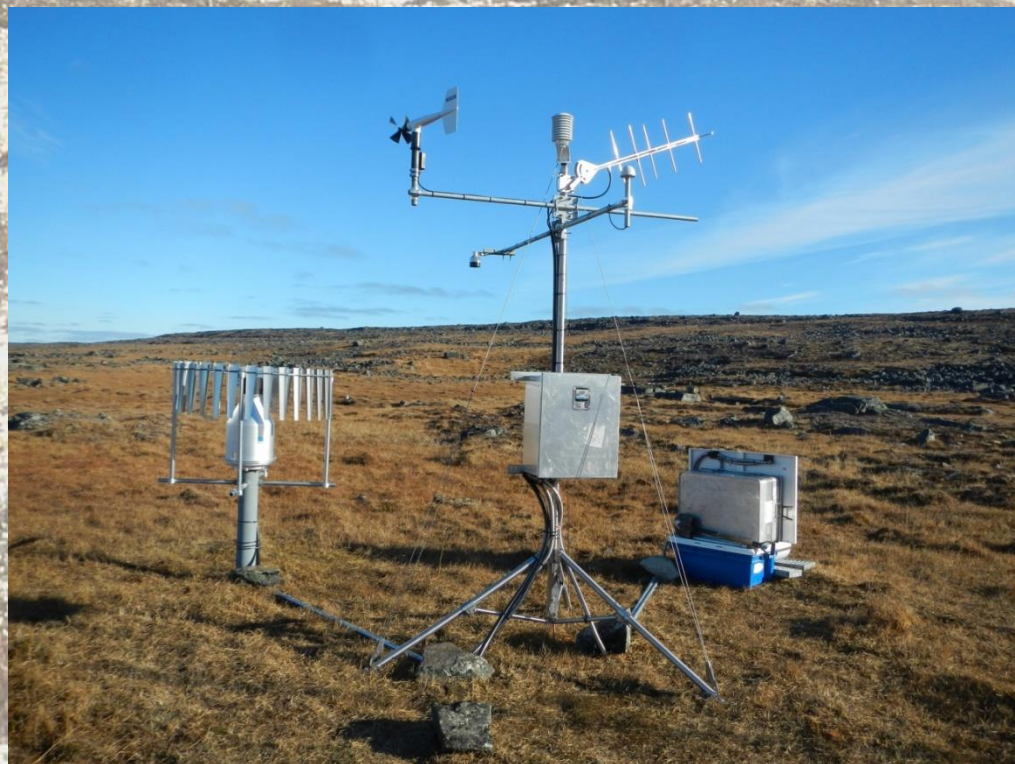
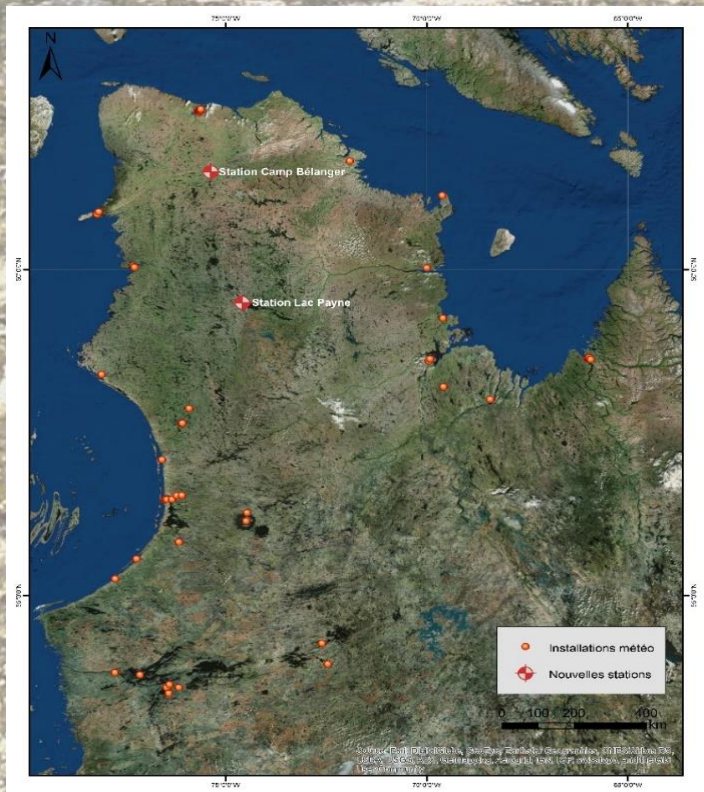
Marais littoraux de la baie d'Ungava





**Un déversement pétrolier majeur? Impossible à nettoyer!**





**Nouvelle station météorologique  
« Camp Bélanger », péninsule d'Ungava.**



# Quels sont les principaux aléas observés et les secteurs à risque?

- **Les grandes surfaces de plateau rocheux ou de faible couverture en dépôts quaternaires posent peu de risques.**
- **Les mouvements de versants sur les reliefs escarpés (éboulis, écroulements, avalanches, coulées). Contextes locaux:**
  - pentes fortes,
  - plateaux surplombants,
  - enneigement différentiel selon les vents hivernaux dominants
  - préexistence de chenaux d'écoulement
  - Les vallées et les fjords de la côte du détroit d'Hudson ainsi que du bassin versant et de la côte sud-est de la baie d'Ungava sont particulièrement affectés
- **Il existe de vastes superficies de pergélisol sensible dans les dépôts meubles marins, mais aussi glaciaires et fluvio-glaciaires et de vastes secteurs de polygones de tundra sensible à l'érosion thermique et au thermokarst.**
- **Les glissements de types décrochement de couche active surviennent en fin d'été lors de saison plus chaudes que les précédentes. Ils sont appelés à se reproduire. Les secteurs riches en glace de la zone côtière (argiles) et les tills épais de l'intérieur des terres sont plus à risque.**
- **Inondations et embâcles: À part l'inondation de Kuujuaq en 1979, il n'y a guère d'événements documentés.**
- **La morphologie côtière et les argiles sensibles méritent d'être mentionnées comme des causes de risque en cas d'aménagements portuaires.**
- **Certains littoraux du Nunavik sont des géosystèmes et écosystèmes uniques au monde, notamment en baie d'Ungava en raison du très grand marnage marégraphique et de la complexité géométrique du trait de côte.**



An aerial photograph of a rugged, rocky landscape. The terrain is covered with patches of low-lying, scrubby vegetation in shades of brown, tan, and grey, interspersed with light-colored rocks and soil. The overall appearance is that of a high-altitude or coastal tundra. The word "Merci!" is printed in a large, bold, black sans-serif font in the center of the image.

**Merci!**

Bleau, 2011





Photo: MIFFP

















Photo: MFFP





Photo: MFFP





Photo: MIFP





Photo: MFFP





Photo: MFFP

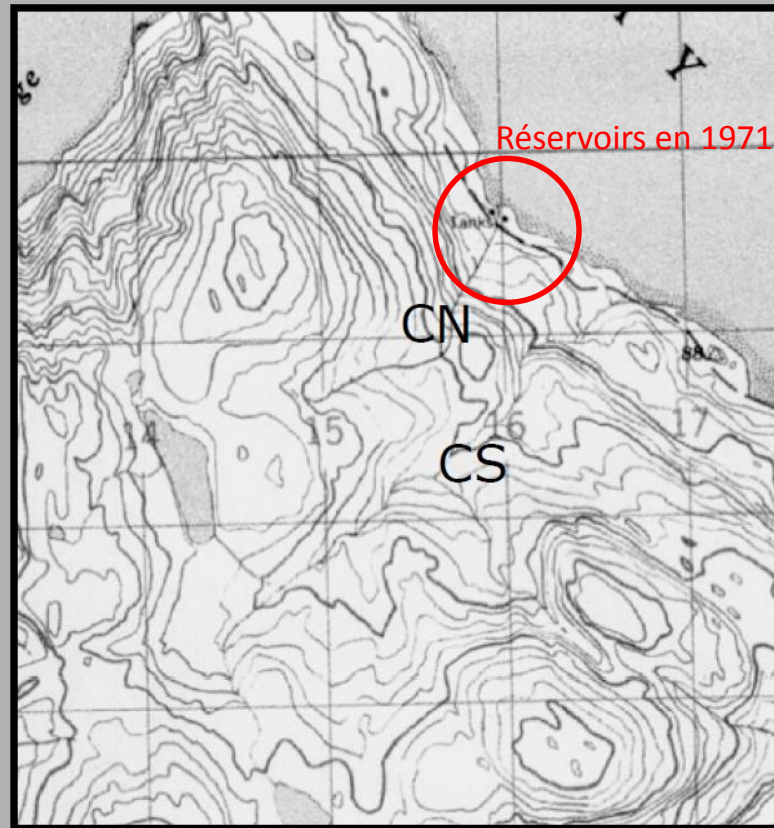




Photo: MFFP



# Localisation des coulées



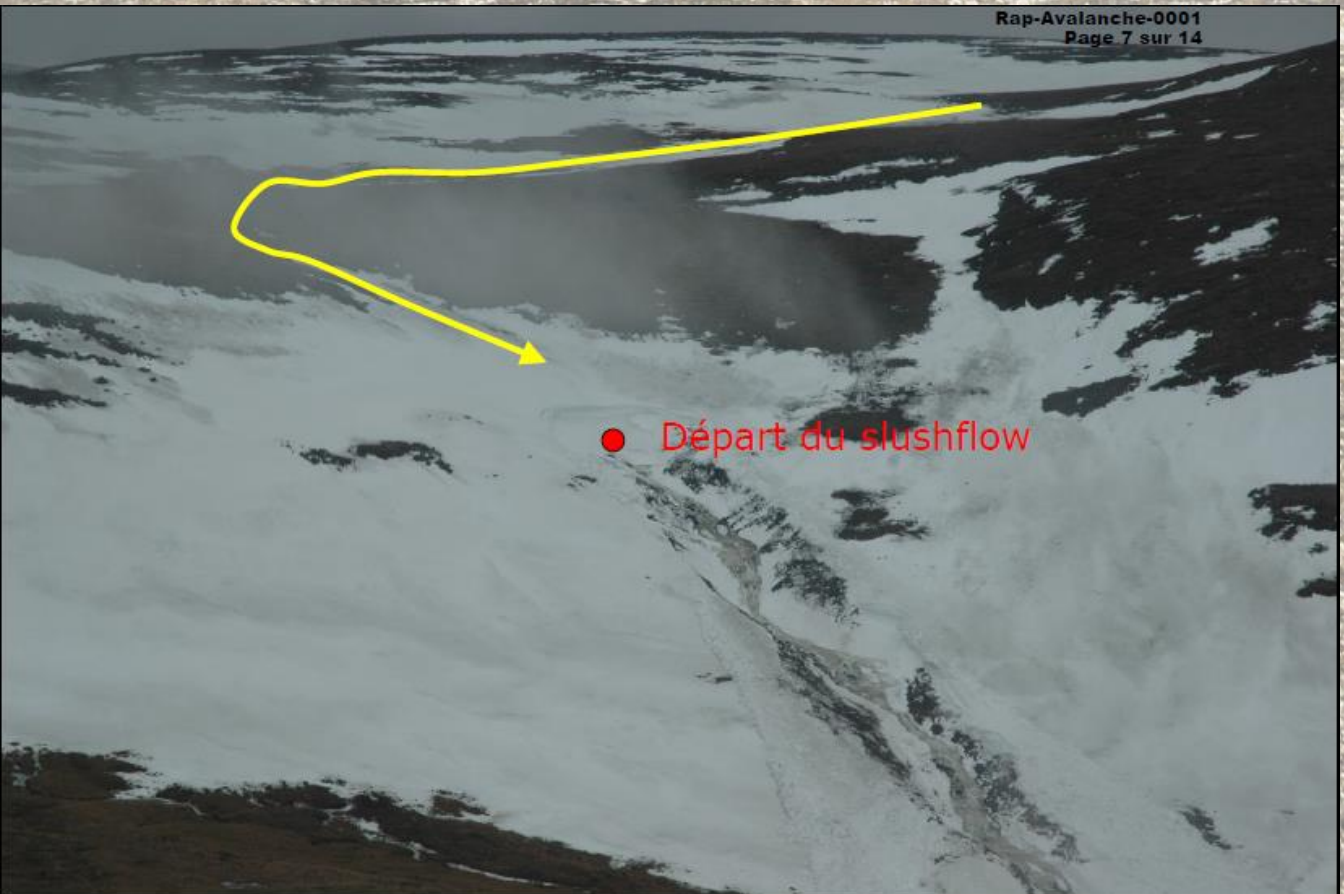
CN: coulée nord  
CS: coulée sud

Contexte  
géomorphologique

Source: B. Héту

Numérisé par Stavibel le :  
2007-01-08



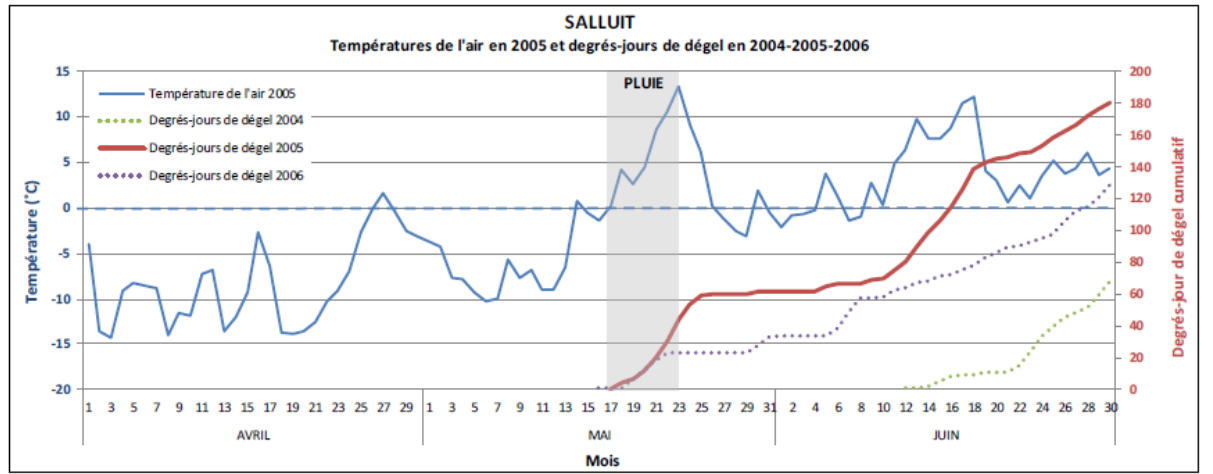


● Départ du slushflow

Source: B. Hétu

Numérisé par Stavibel le :  
2007-01-08





# Un dégel brutal et des pluies abondantes.

2005-05-18	14:00:00	3,6	4,3	93	30	99,41	Généralement nuageux
2005-05-19	07:00:00	3,5	2,4	92	22	99,41	Nuageux
2005-05-19	08:00:00	3,5	2,4	92	26	99,41	Bruine
2005-05-19	09:00:00	3,6	2,7	94	22	99,45	Averses de pluie
2005-05-19	10:00:00	3,5	2,4	92	6	99,52	Bruine
2005-05-19	11:00:00	3,2	2,5	95	9	99,55	Nuageux
2005-05-19	12:00:00	3,0	2,5	97	6	99,58	Brouillard
2005-05-19	13:00:00	3,0	3,0	100	0	99,60	Bruine,Brouillard
2005-05-19	14:00:00	3,5	3,5	100	0	99,64	Averses de pluie,Brouillard
2005-05-20	07:00:00	2,8	-1,7	72	22	99,85	Généralement nuageux
2005-05-20	08:00:00	2,5	1,3	92	22	99,85	Généralement nuageux
2005-05-20	09:00:00	3,0	1,4	89	24	99,87	Généralement nuageux
2005-05-20	10:00:00	3,8	1,8	87	19	99,87	Nuageux
2005-05-20	11:00:00	4,4	2,4	87	0	99,89	Nuageux
2005-05-20	12:00:00	6,0	3,0	81	15	99,95	Généralement nuageux
2005-05-20	13:00:00	6,1	2,9	80	22	99,89	Nuageux
2005-05-20	14:00:00	6,8	3,0	77	17	99,87	Nuageux