

Les impacts du dégel du pergélisol sur les écosystèmes et les communautés arctiques.

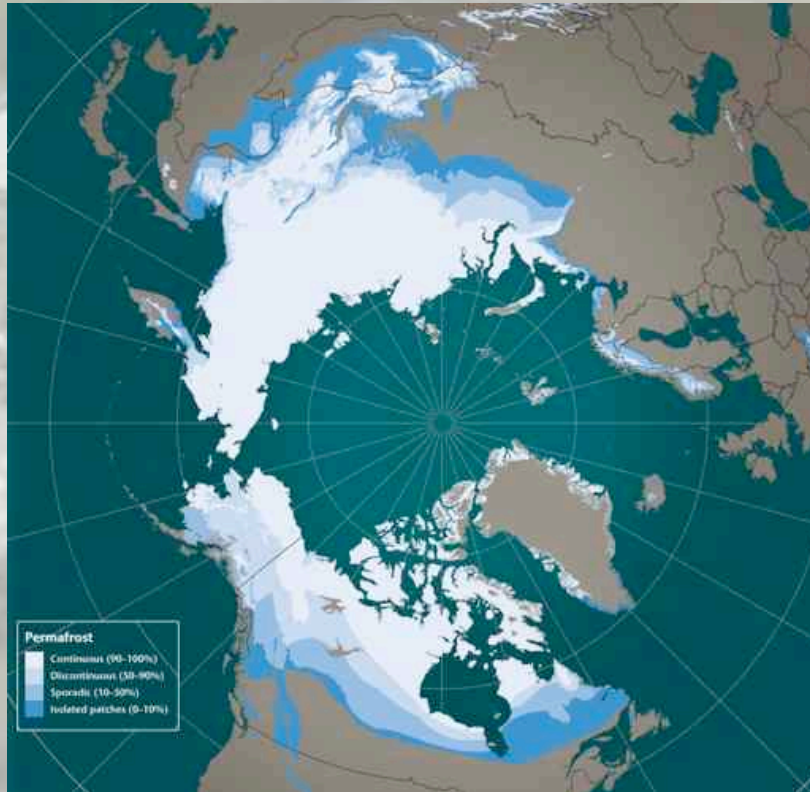
Michel Allard
Centre d'études nordiques
Université Laval

« Arctique: les grands enjeux scientifiques »
Paris 3 juin 2013



Pergélisol

(permafrost)



SOL OU ROC QUI SE MAINTIENT SOUS 0°C DEPUIS LONGTEMPS.

CONTIENT DE LA GLACE SOUS DES FORMES DIVERSES EN LIEN AVEC SA FORMATION, LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES PASSÉS, LES MOUVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE, L'ÉROSION ET LA SÉDIMENTATION.

SUPPORTE LES ÉCOSYSTÈMES.

SUPPORTE LES INFRASTRUCTURES HUMAINES.

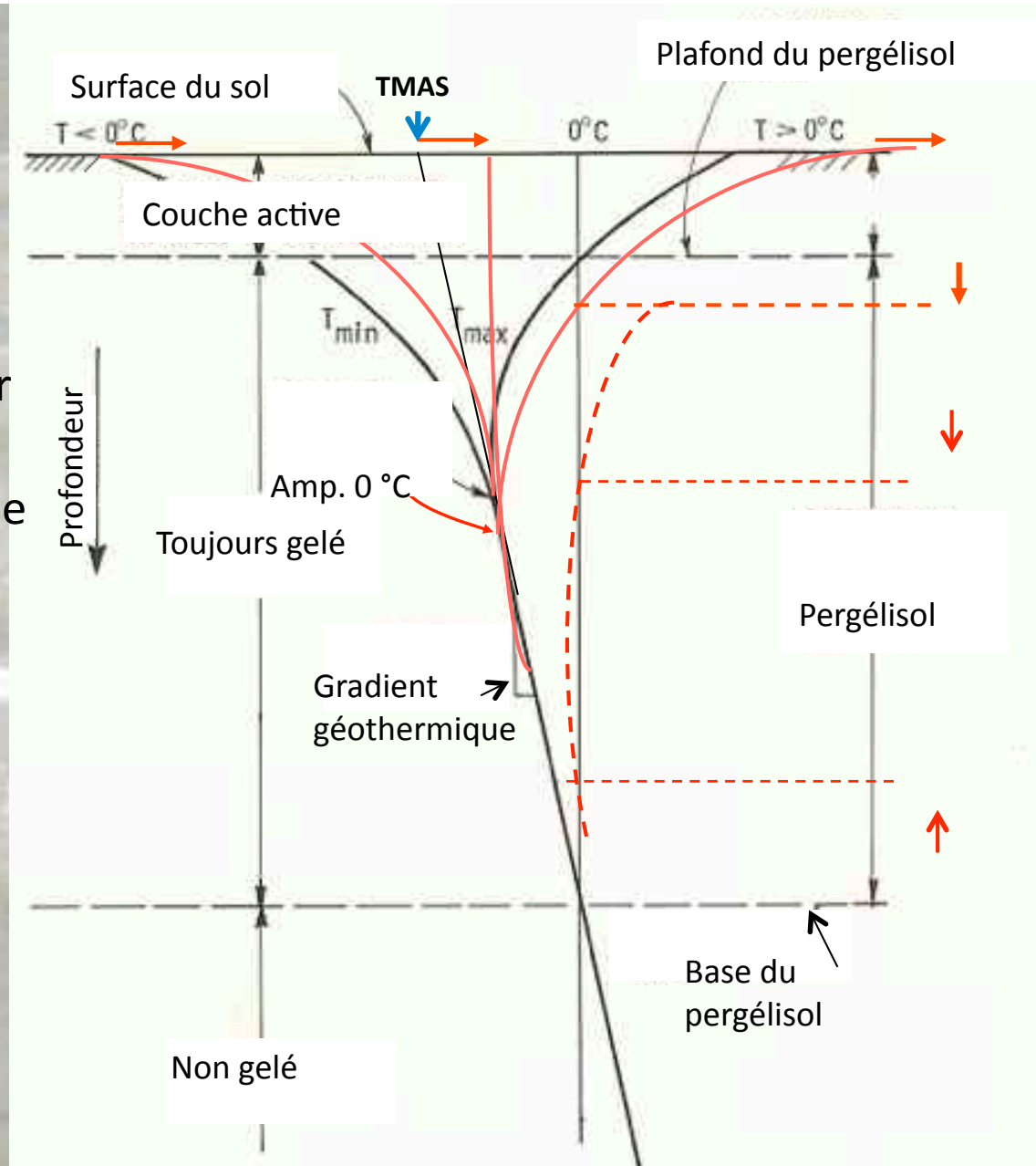
LA CONNAISSANCE DES PROPRIÉTÉS DU PERGÉLISOL (GRANULOMÉTRIE, TENEUR EN GLACE, STRUCTURE INTERNE DE LA GLACE GROSSIÈRE (CRYOSTRUCTURE) ET FINE (CRYOSTEXTURE) ET DE SON RÉGIME THERMIQUE EST ESSENTIELLE À LA COMPRÉHENSION DES PROCESSUS GÉOMORPHOLOGIQUES .

ELLE EST AUSSI INDISPENSABLE POUR LA CONSTRUCTION ET LA PROTECTION ENVIRONNEMENTALE.

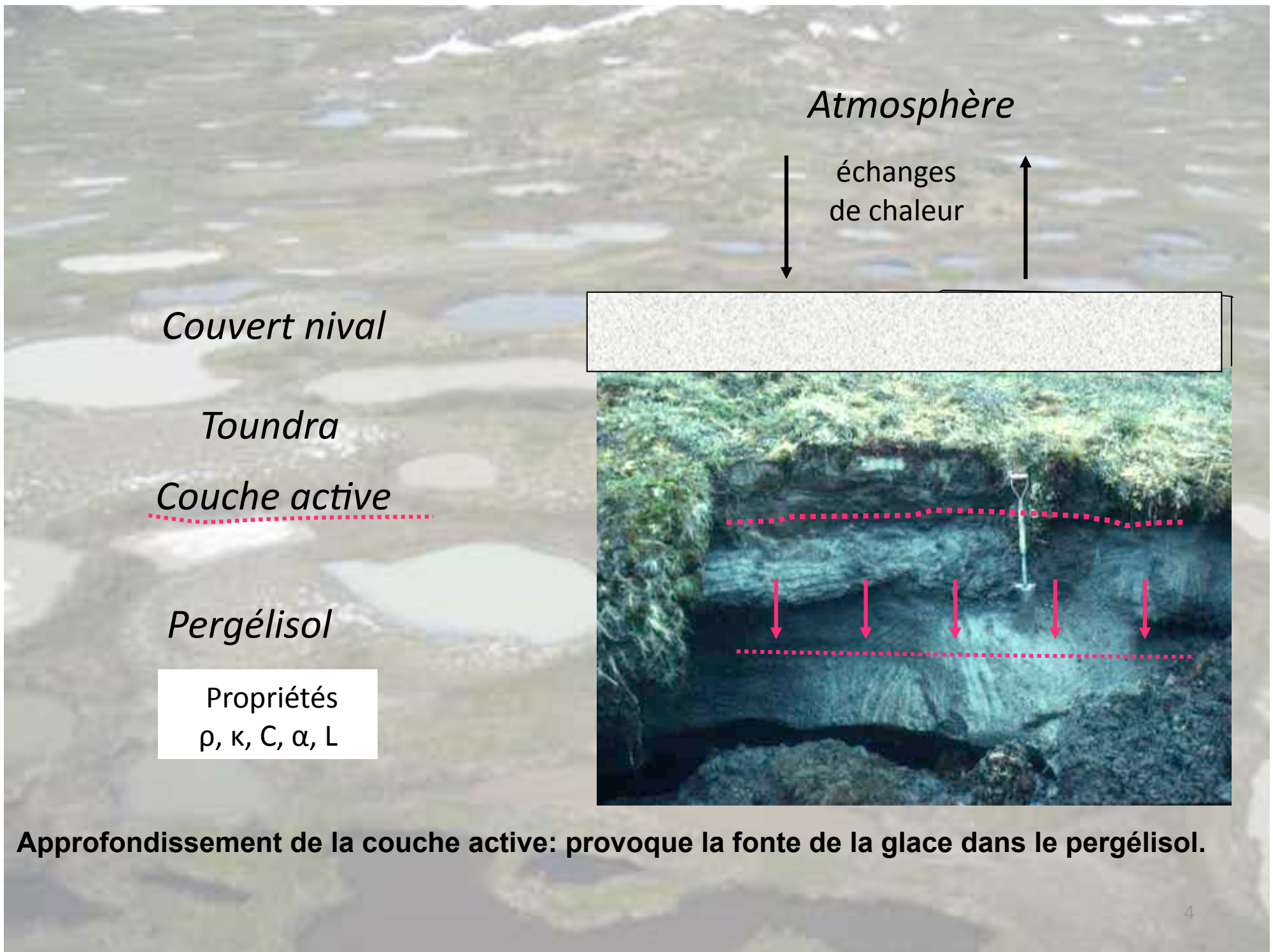
Principes de base du régime thermique et impact d'un réchauffement en surface

Réchauffement en Surface:

- + température air
- + neige
- cause anthropique (construction)



Modifié de van Everdingen 1988

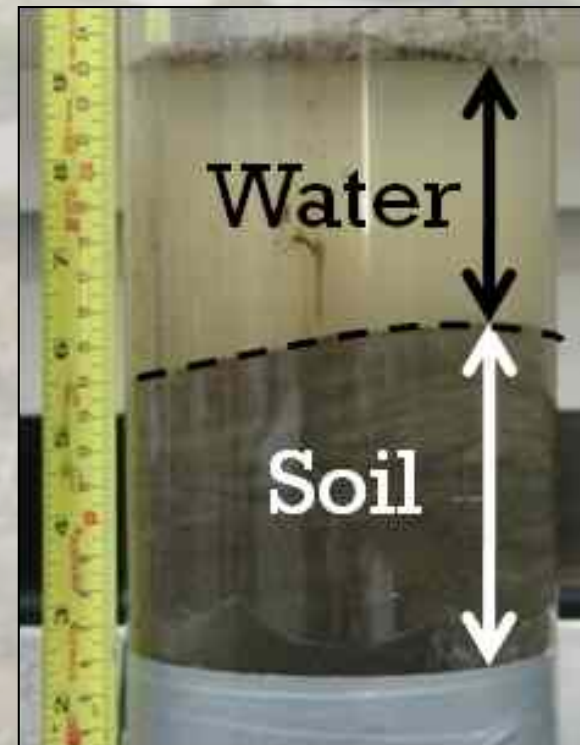


Essai au dégel

Carotte gelée

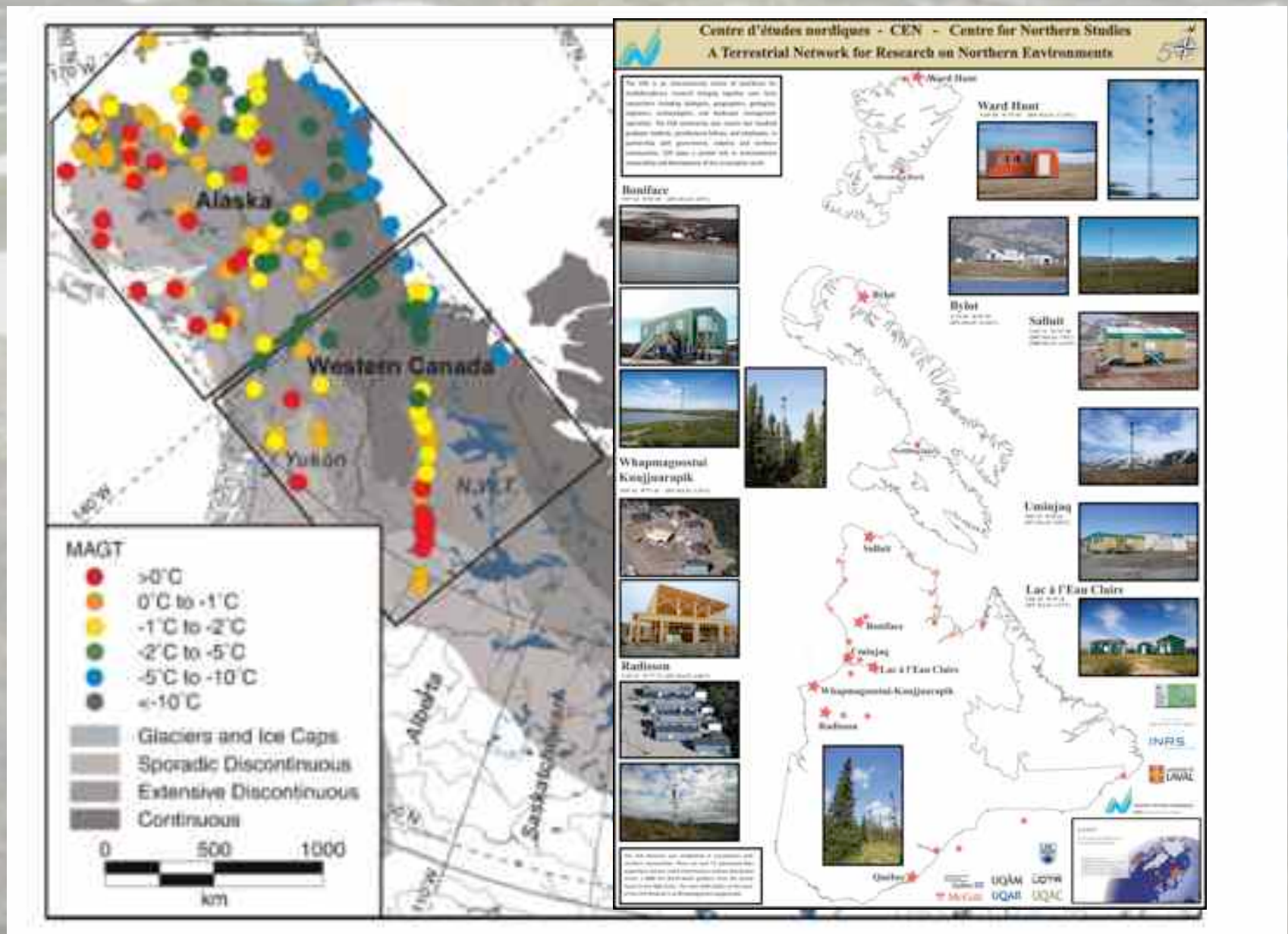


Dégelée

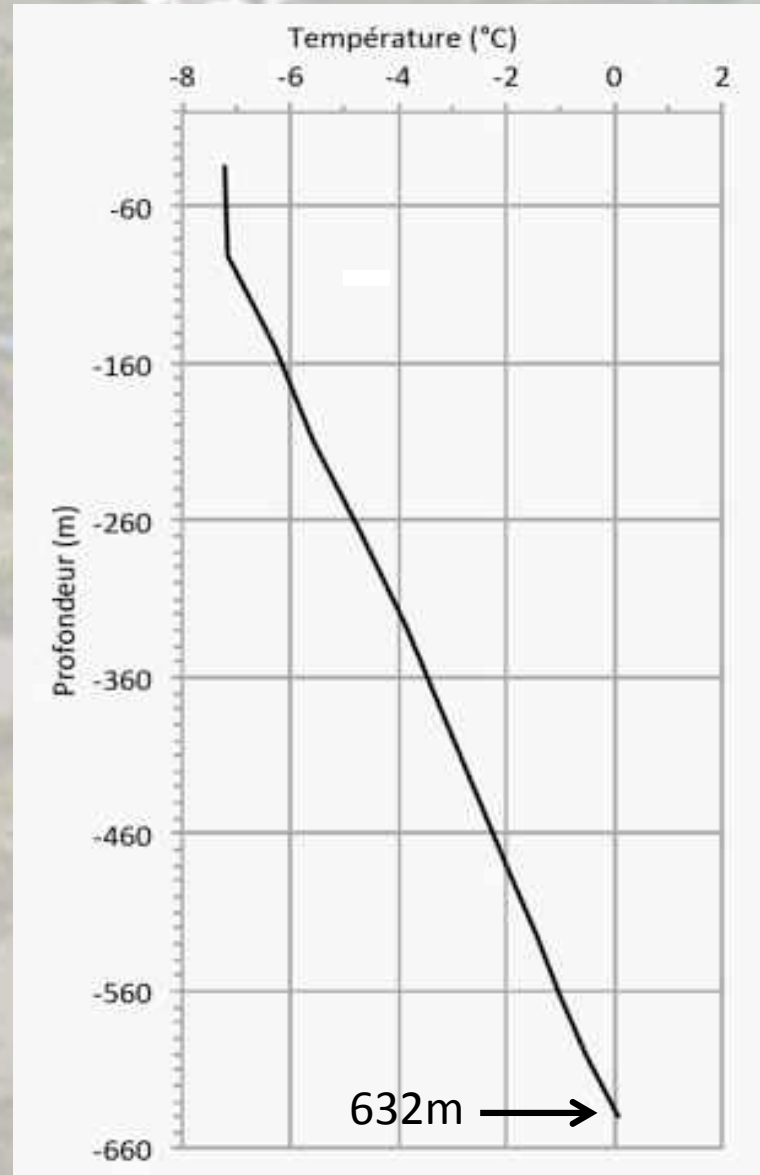


Source: E. Stephani.

Réseau canadien de suivi thermique (RNCan)

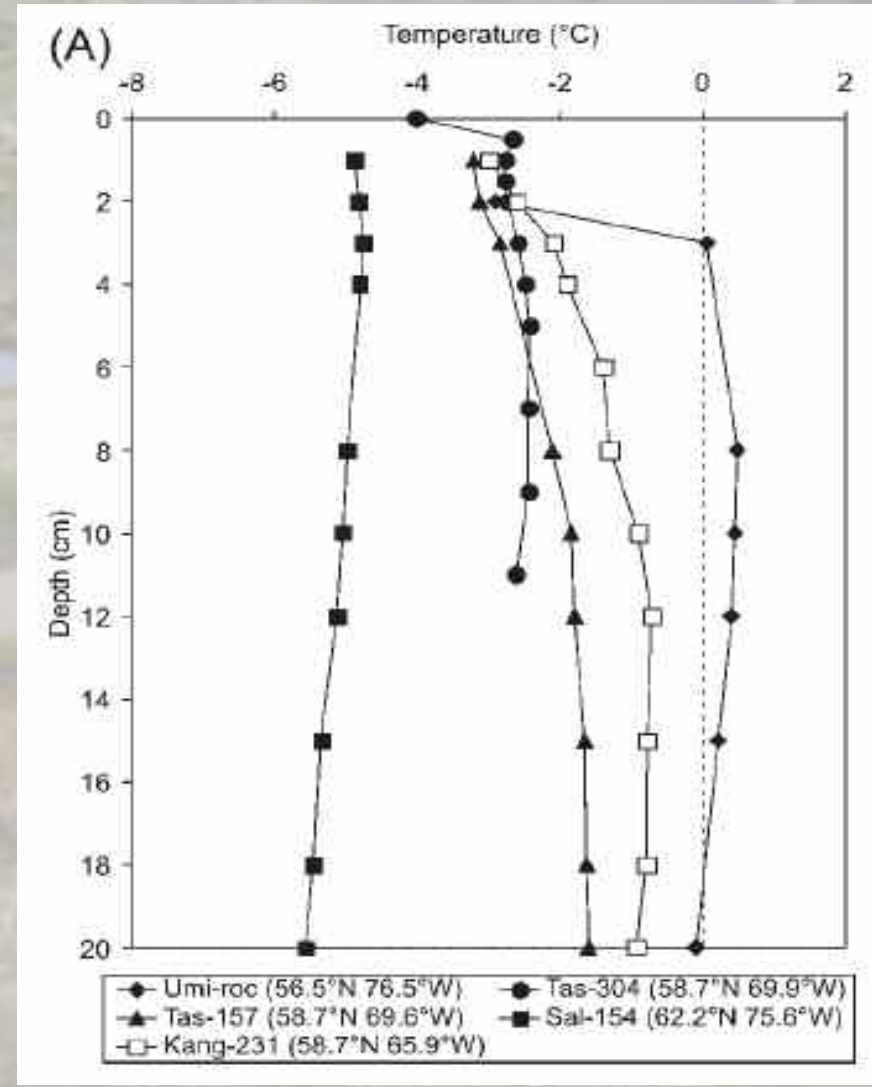
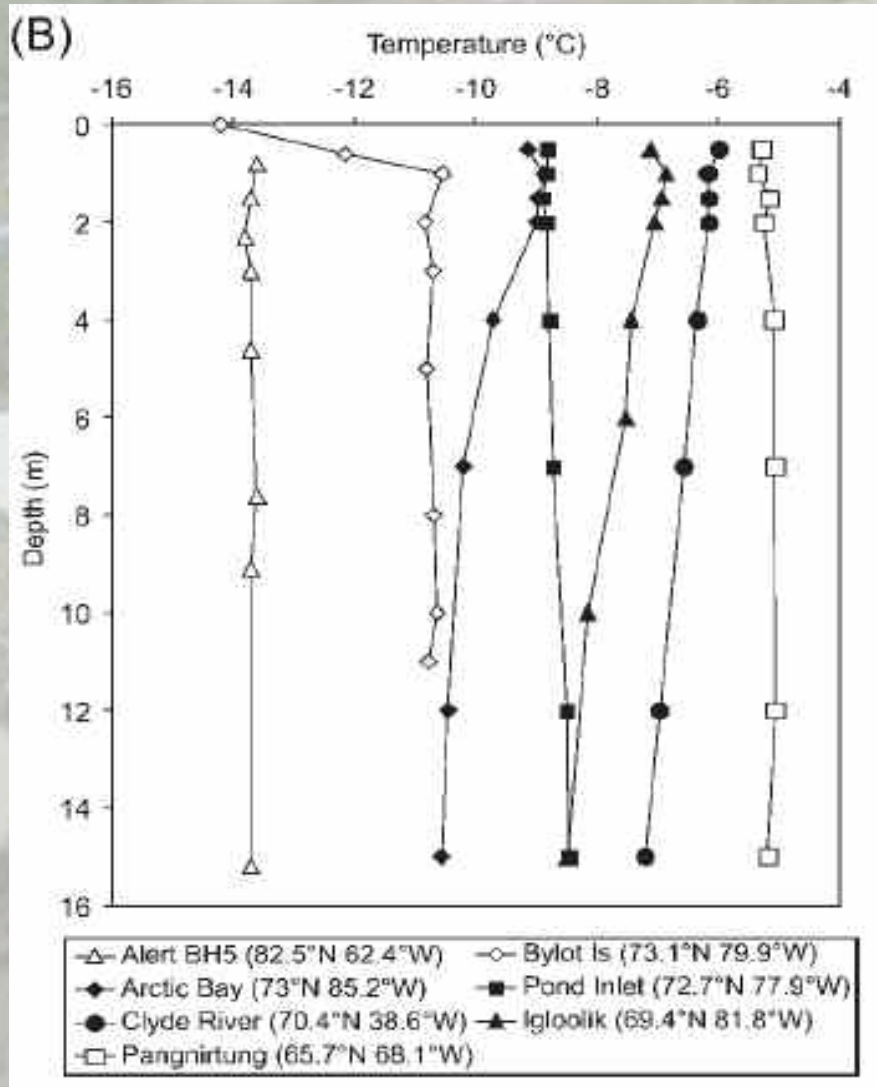


Smith et al. (2010)



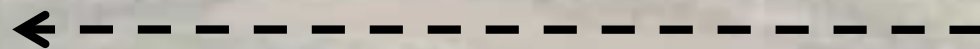
**Profondeur maximum connue
au Québec (Nunavik)
Mine Raglan**

Profils thermiques dans le pergélisol, du sud au nord



N

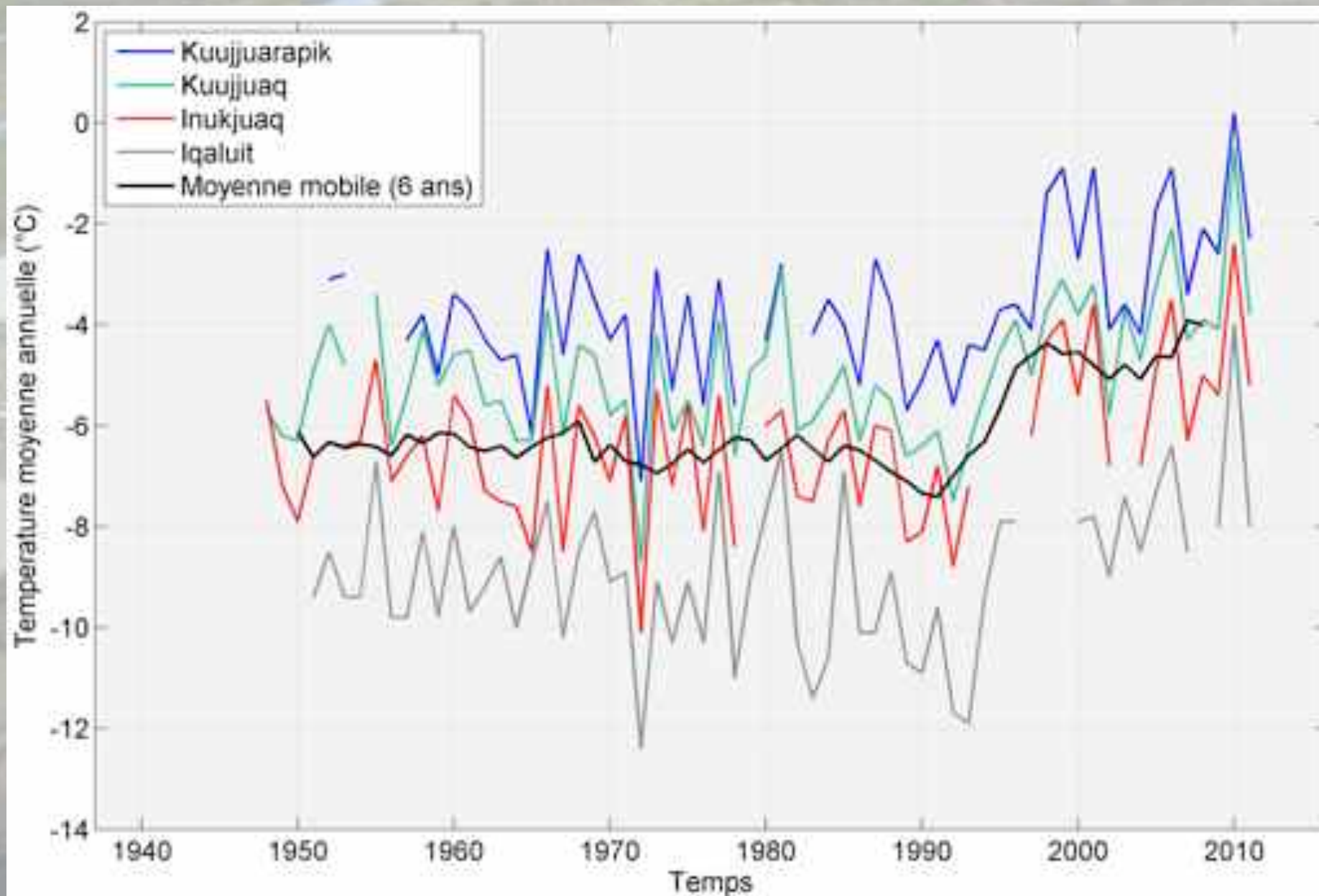
Nunavut



Nunavik

S

Températures moyennes annuelles au Nunavik et à Iqaluit (Nunavut) 1948-2011



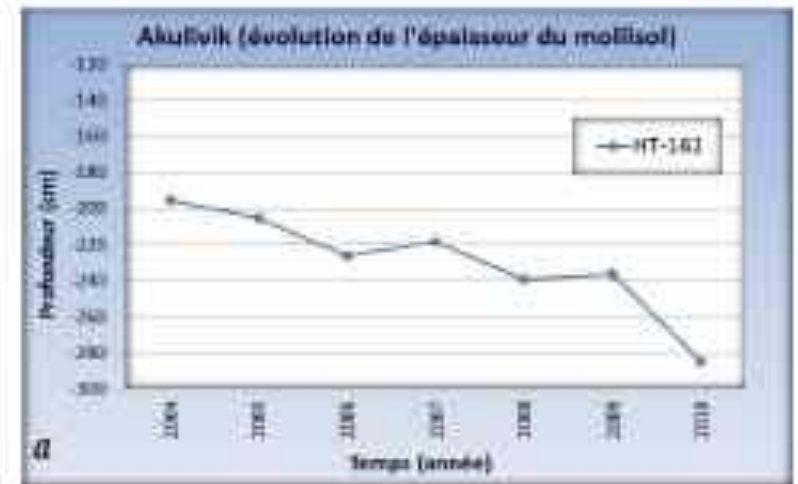
Réchauffement du pergélisol au Nunavik

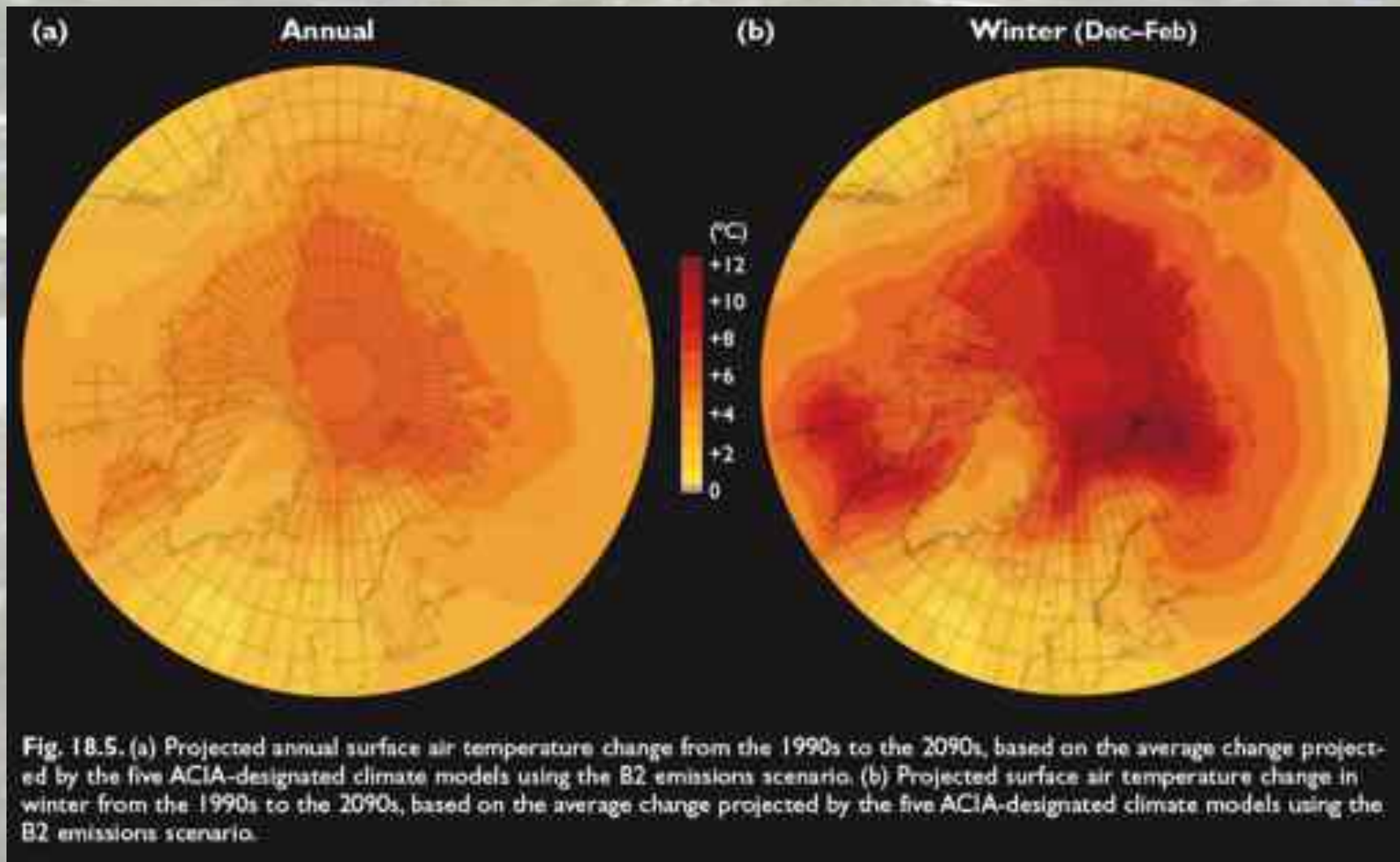
TABLE 1. Changes in active layer depth between the mid 1990s and 2007 and temperature changes 4 and 7 m deep at selected sites and in different surficial materials in Northern Québec

Site (Cable no)	material	AL93 _{cm}	AL07 _{cm}	ΔAL _{cm}	ΔT _{4m}	ΔT _{20m}
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 ²	103	1.6	1.2
Puvirnituq (Puv-303)	Gneiss	339	469 ²	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
Kangiqsualujuaq (Kan-231)	Gneiss	607 ¹	1100	493	3.4	1.2
Kangiqsualujuaq (butte côtière)	Argile	252 ⁴	332 ⁵	80	1.5	0.05
Umiujaq (Umi-roc)	Basalt	1008 ⁶	1556 ²	548	1.5	1.2*

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

Épaisseur de la couche active: + 46%
 T 4m : + 2.1 °C
 T 20 m: + 1.0 °C





Projection des changements de températures moyennes annuelles de l'air de 1990 à 2090 (Acia, 2004)

Glace du pergélisol



Le carottage est requis pour un échantillonnage valide...





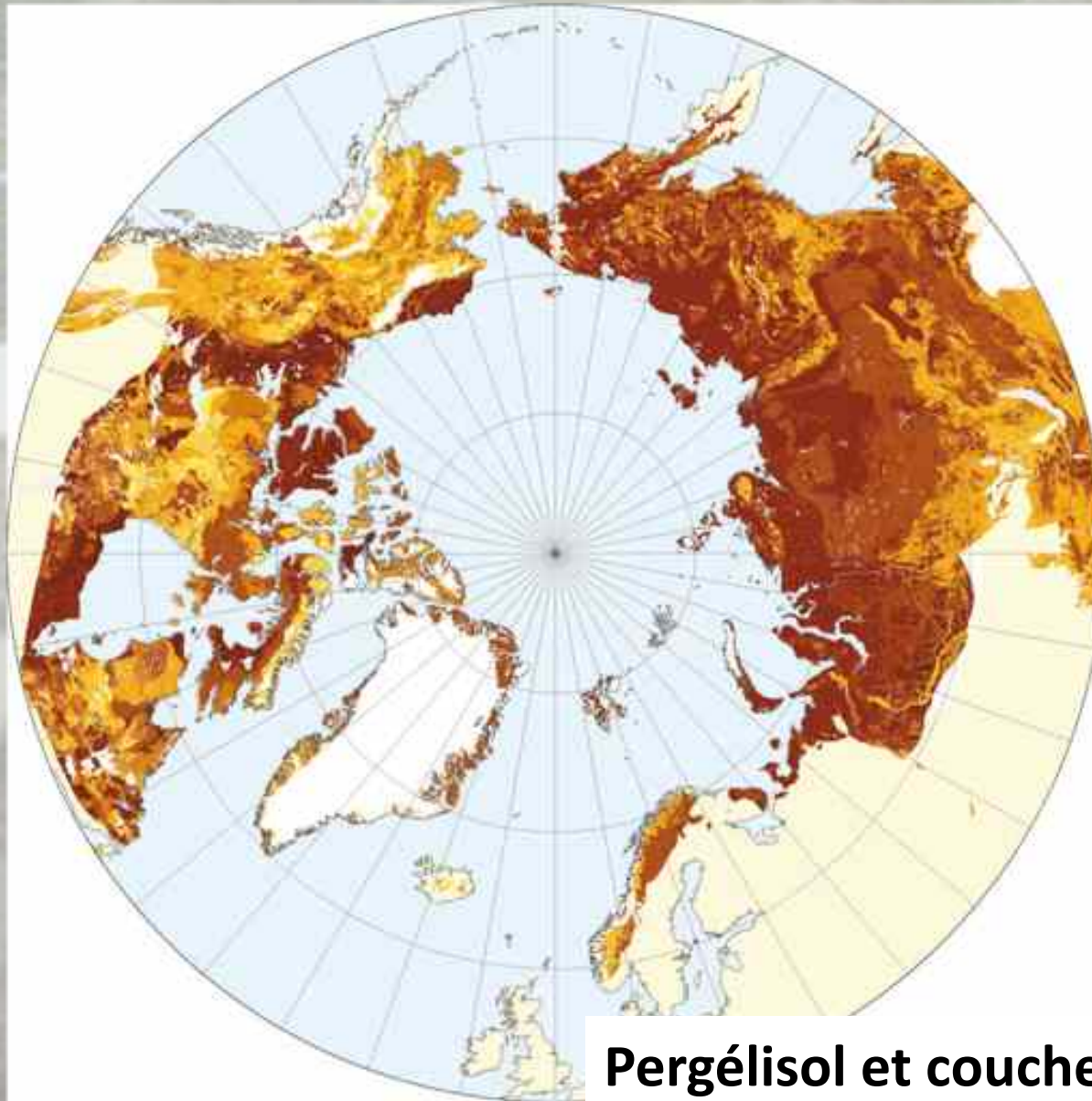
Photo



Cat-scan

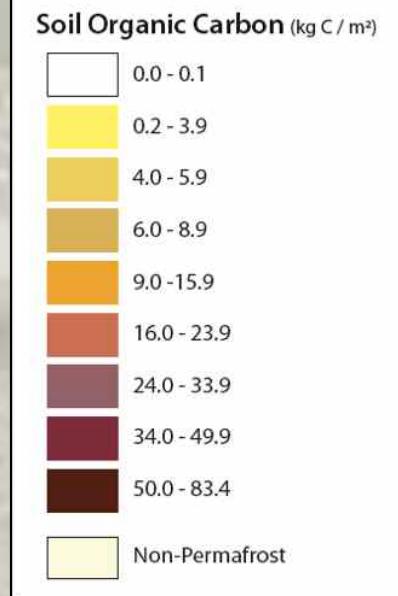
**Glace de ségrégation dans un dépôt
glaciaire du Wisconsin (till)**
Till: 30 à 70 %
Teneur volumétrique en glace

Le pergélisol est aussi en partie composé de carbone organique

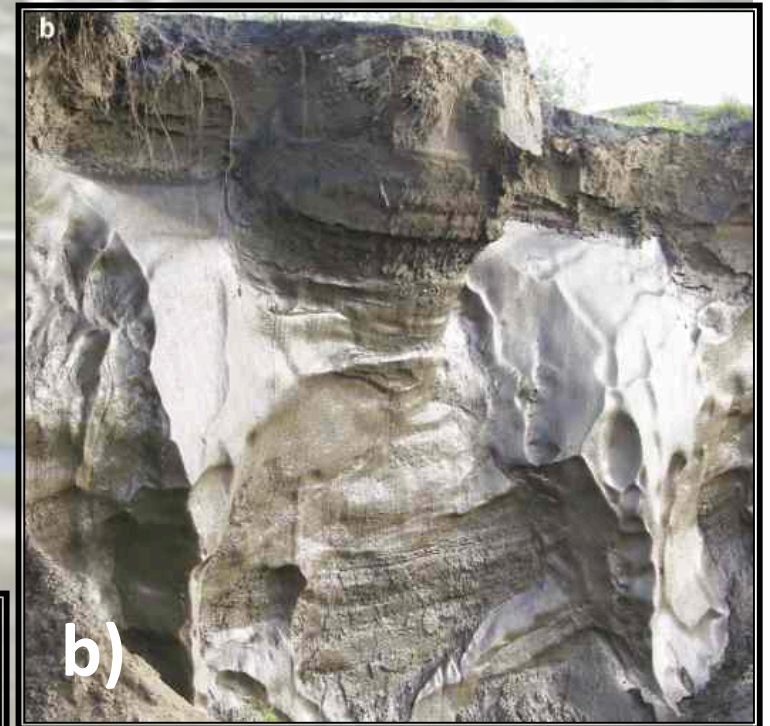


Répartition du SOC sur le premier mètre calculée à partir de 2 horizons :
0 – 30 / 0 – 100 cm

Northern Circumpolar Soil Carbon Database (NCSCD)



Pergélisol et couche active: ≈ 1672 Gt C
Atmosphère: 730 Gt C



a : Cryosol cryoturbé du Nord de l'Alaska (*Schuur et al., 2008*)

b : Cryosol minéral et sédiments gelés de Sibérie (Yedoma) (*Schuur et al., 2008*)

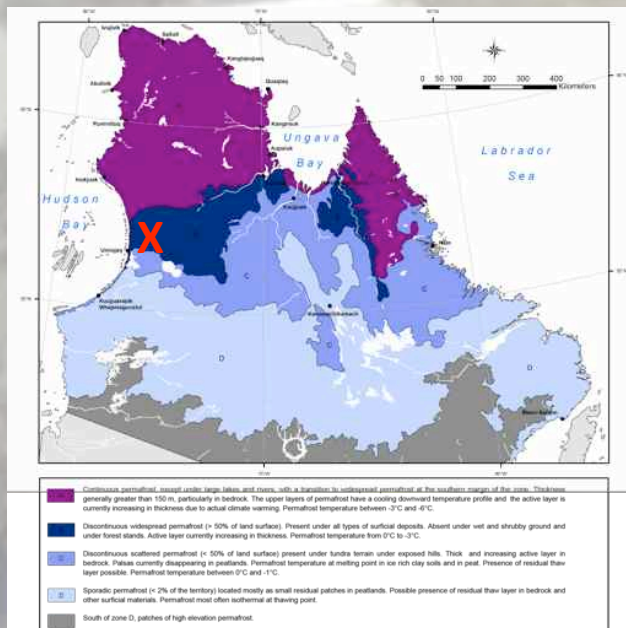
c et d : Cryosols organique (tourbe) et minéral (argile) à Salluit

(Voir Fouché et al., 5 juin)

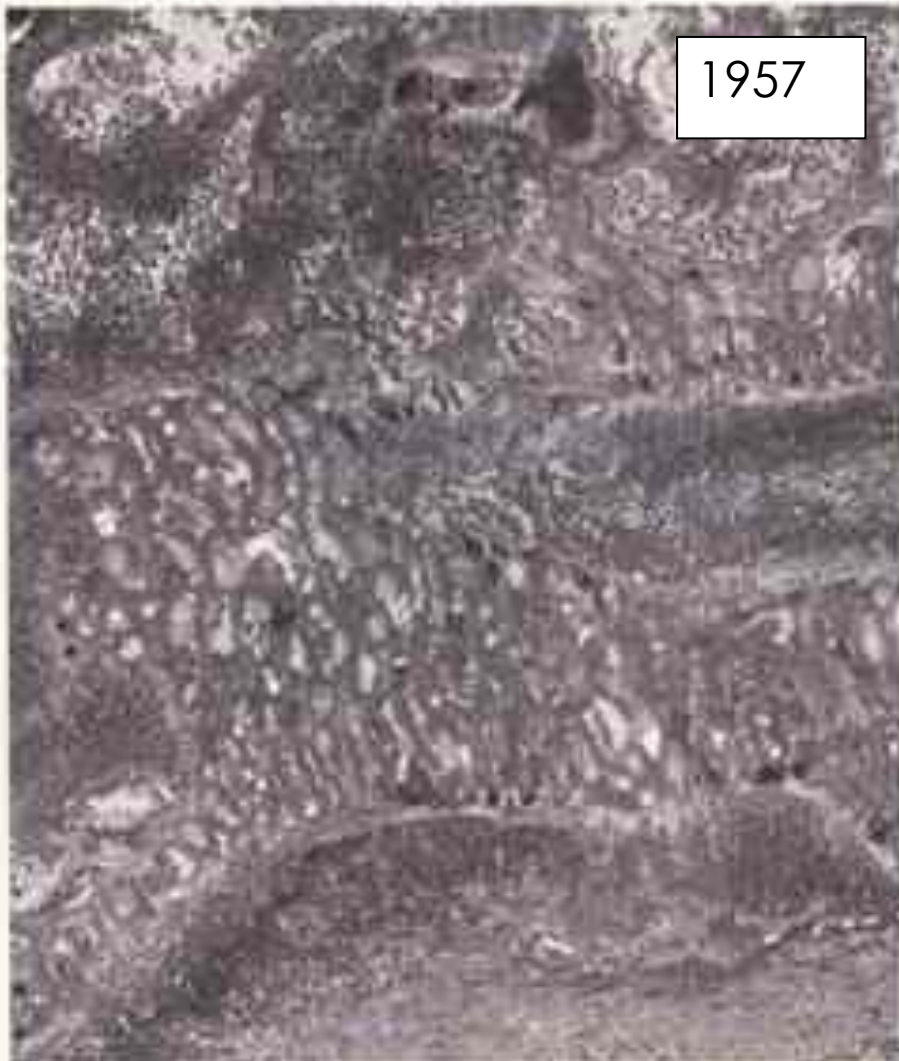
Exemples d'impacts du dégel du pergélisol



Site d'étude du BGR en zone discontinue - lithalse



Dégradation du pergélisol dans la zone discontinue



Photographie aérienne A-15644-119 et 120



Image Ikonos ULaval-Itliq, 25/07/2005, résolution 1m



1957

2005

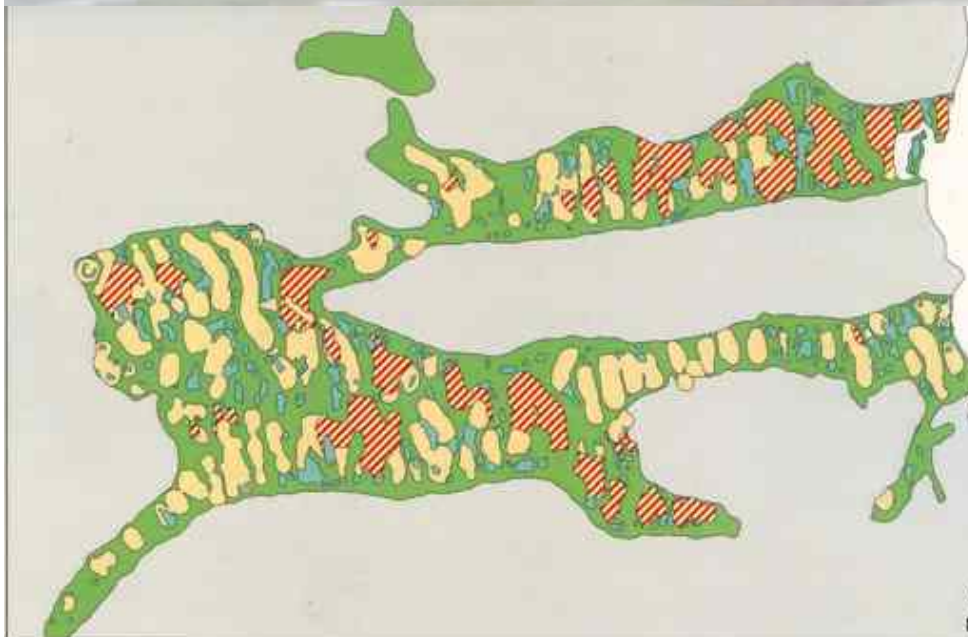


Figure 25: Interprétation des formes périglaciaires Rivière Nastapoka Site NA-1 1957
Cartographie réalisée par Cynthia Marchildon à partir des photos aériennes A-15644-120 à 122.

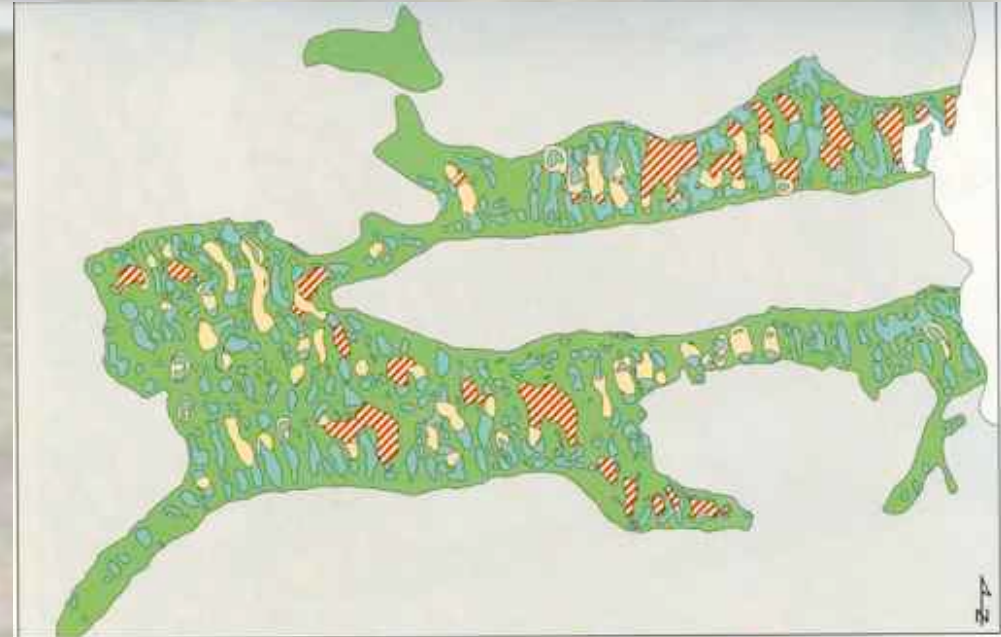


Figure 26: Interprétation des formes périglaciaires Rivière Nastapoka Site NA-1 2005
Cartographie réalisée par Cynthia Marchildon à partir de l'image Ikonos-2, 07/26/05, po_168886, Utlaval-IRG.

51 % moins de pergélisol; 60% d'expansion des lacs et arbustes

Les lacs de thermokarst deviennent des écosystèmes aquatiques émetteurs de CH₄.

Source: Marchildon, 2007

Thermo-érosion



"Thermoerosion refers to erosion by water combined with its thermal effect on frozen ground « (Costard et al., 2003)

" ... a process involving both thermal and mechanical erosion of frozen ground " (Hyatt, 1992)

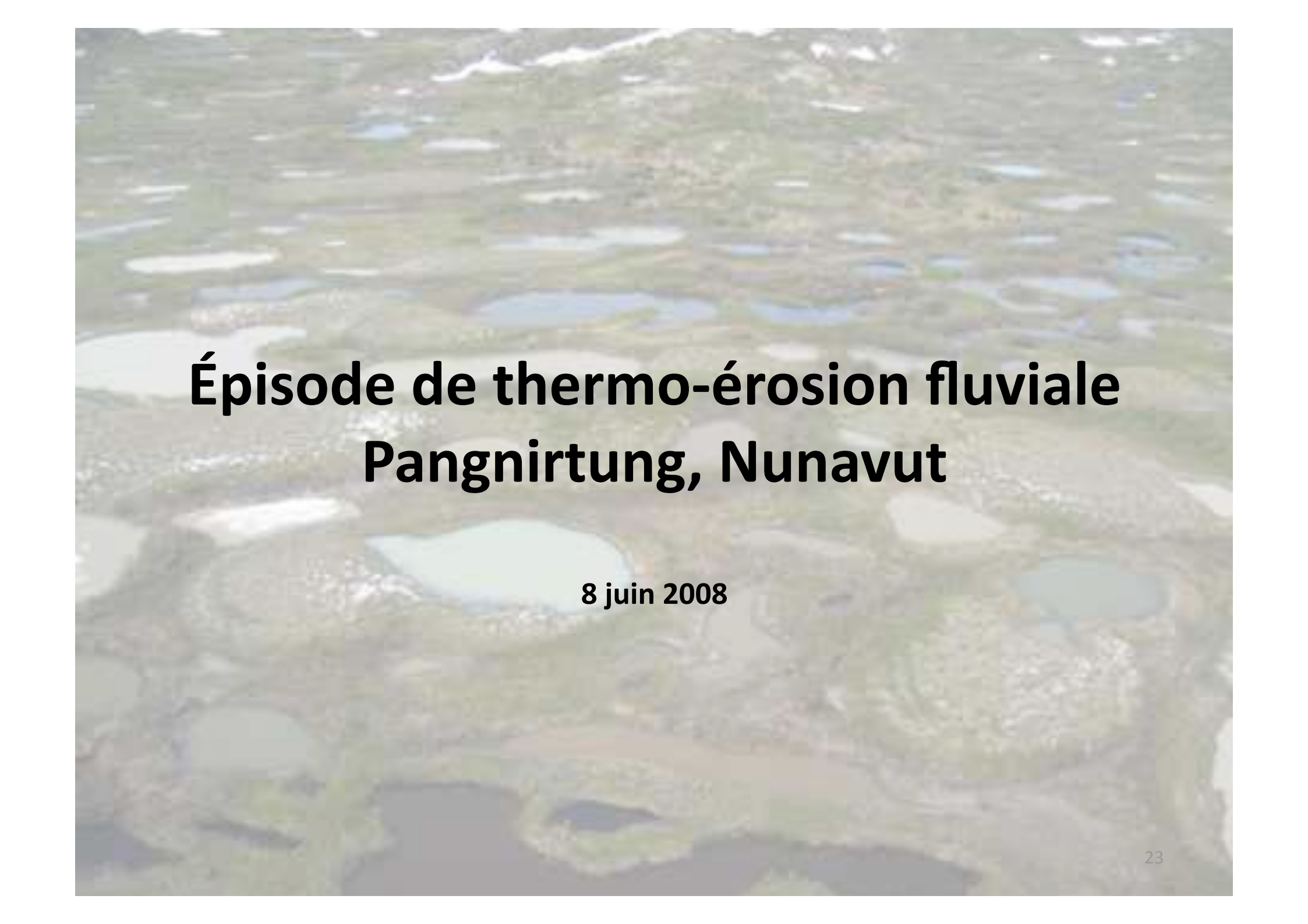
" ... water must be running " (Mackay, 1970)



Impact écologique de la thermo-érosion des coins de glace



Ravinement, assèchement, niches écologiques...



Épisode de thermo-érosion fluviale Pangnirtung, Nunavut

8 juin 2008





Impact du dégel du pergélisol sur des remblais et des bâtiments mal conçus

Polygones de toundra



Aéroport d'Iqaluit



Coin de glace

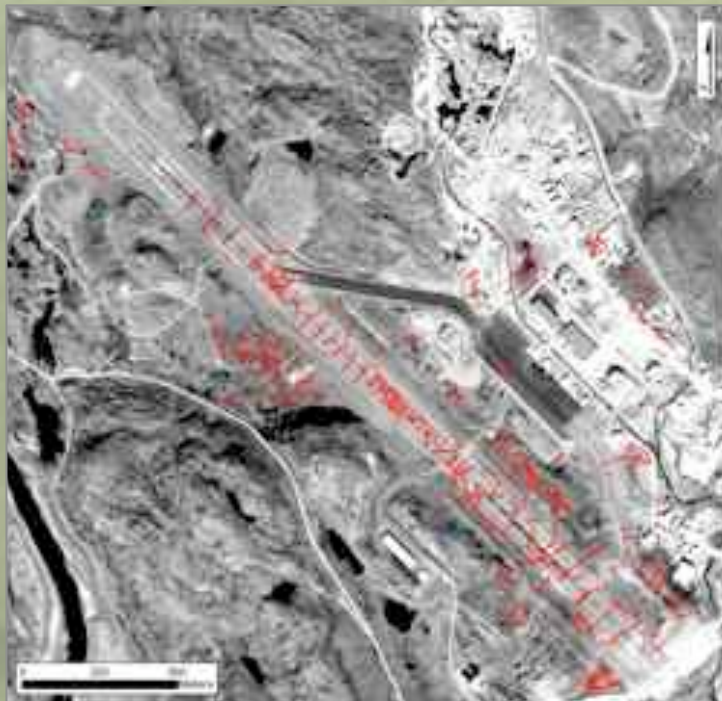
Aéroport d'Iqaluit

Construit initialement sur un réseau de coins de glace

1. Fissures de contraction thermique



2. Tassements linéaires au droit de coins de glace en dégradation



Habitations et infrastructures municipales



Garage municipal neuf sur des thermosiphons Salluit



Communautés inuites Pangnirtung, Nunavut

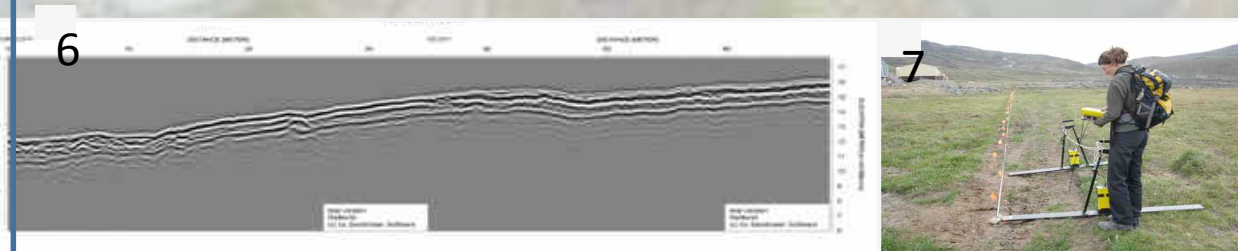
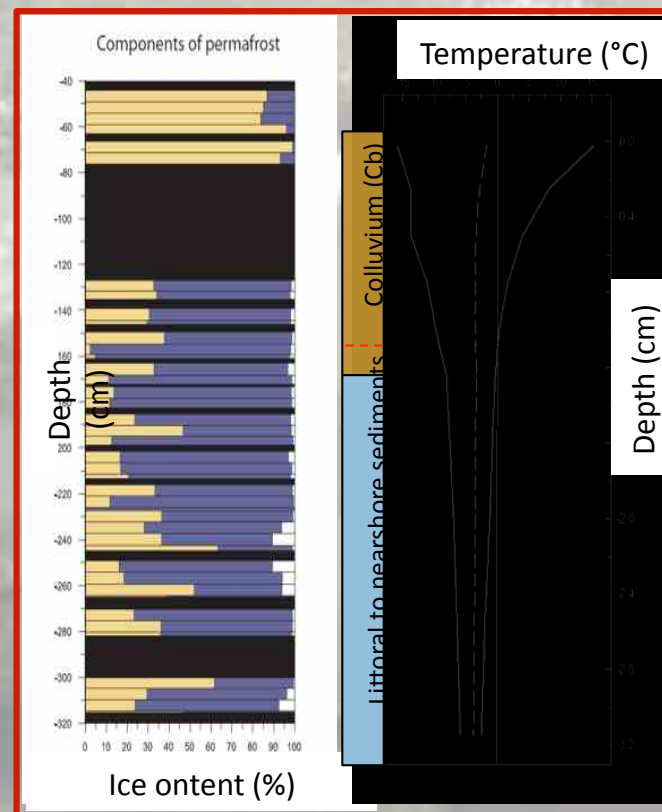


Principale problématique: manque d'espace pour construire et prendre de l'expansion

Méthodologie de recherche

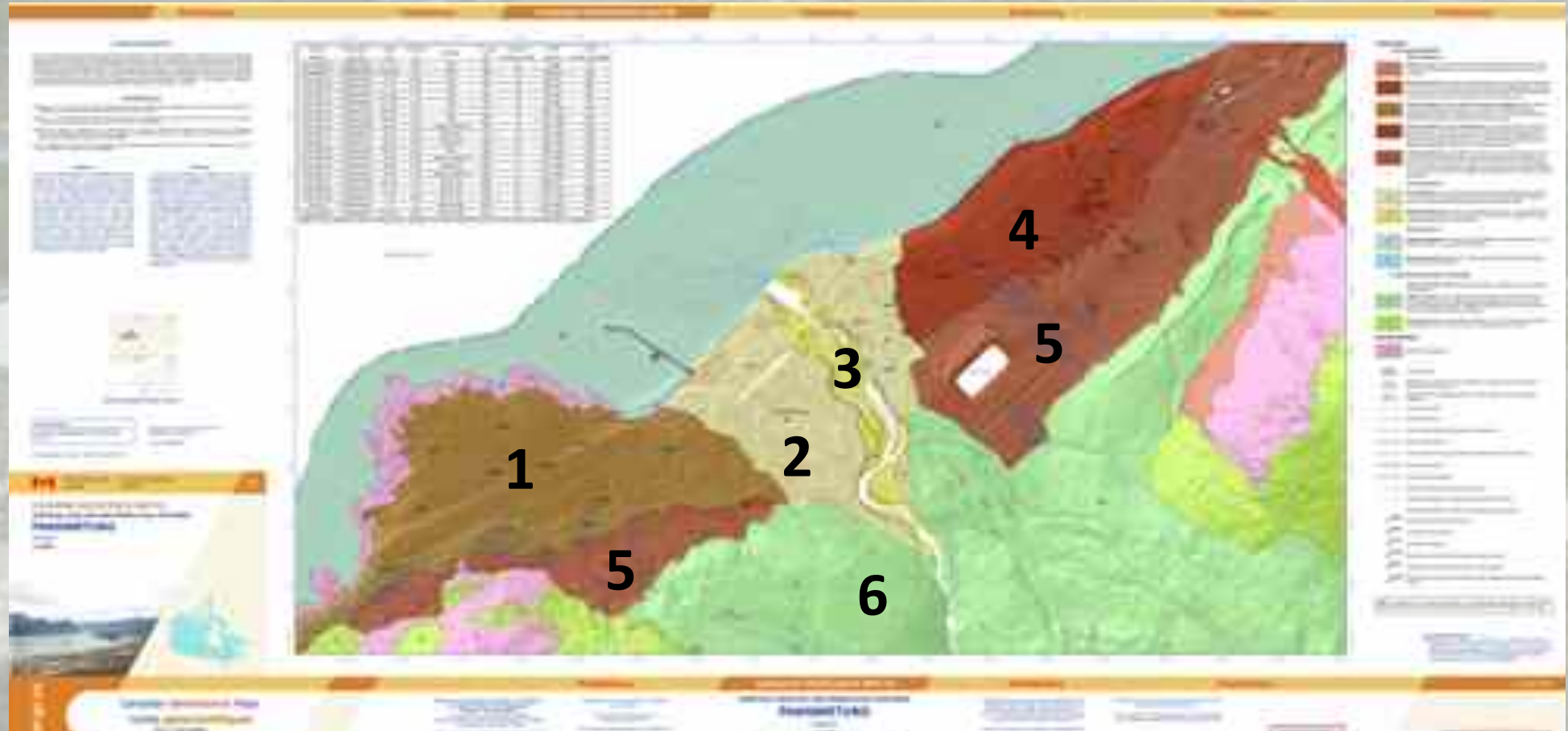


- 1- image par satellite
- 2- forage
- 3- analyses de carottes en laboratoire
- 4- installation se câbles à thermistances
- 5- capteurs de température de surface
- 6- géophysique: géoradar
- 7- géophysique: résistivité électrique



Granulométrie sur tous les échantillons.
Températures du pergélisol mesurées à 5 endroits dans le village

Géologie de surface et pergélisol

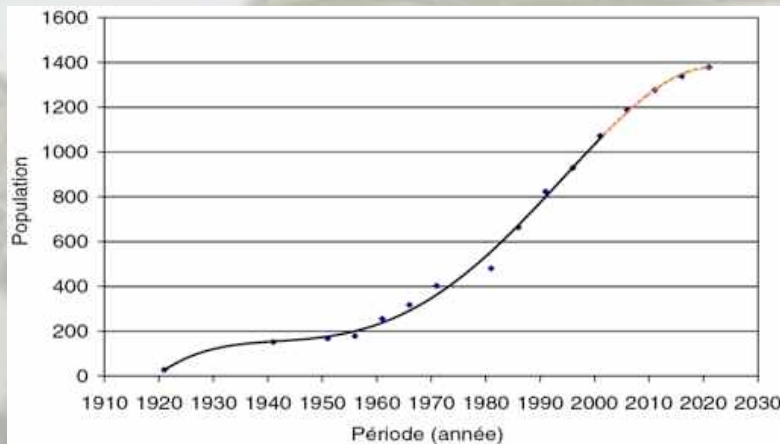


Terrain type	Type of soil	Active layer depth	Type of ice	Recommendations
Terrain type 1	Sand varying in thickness from 0,8 to 1,3 m underlain by silt.	From 0,8 to 1,8 m.	Horizontal lenses up to 80% of the total volume of the soil in the silt.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avoid the impacts on the thermal regime of the permafrost. 2. Piles driven into the underlying bedrock. 3. Surface drainage and culverts designed to avoid permafrost erosion.
Terrain type 2	Sand, silt and boulders.	2,6 m.	Pore ice practically all contained in the voids between sand grains and between stone.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No thaw sensitive permafrost.
Terrain type 3	Sand, silt and boulders.	n.d.	Pore ice.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bank erosion amplify with climate warming and the risk of fast spring melts and rains is due to increase. 2. This area is due for other uses than housing.
Terrain type 4	Colluvium up to 4 meters deep. Underneath is a till made of silt, sand and boulders.	1,3 m.	Ice lenses in the colluvium up to 80% of the total volume of the soil. Pore ice in the till.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avoid any heat transefert to the ground from the buildings. 2. Side slopes of pads and road embankments need to be gentle. 3. Avoid or minimized as much as possible draingae concentration.
Terrain type 5	Stony material (till) belonging to moraine ridges.	n.d.	n.d.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Poor surface and active layer drainage. 2. Thawing in summer creates saturated conditions. 3. This sector has no buildings ans is likely not going to be developed.
Terrain type 6	Stony materiel (till) with a fine matrix.	n.d.	n.d.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Steep topography that makes access difficult. Any cuts will be unstable and will require a large amount of stabilization work. 2. Controlling overland flow and erosion will be very costly.

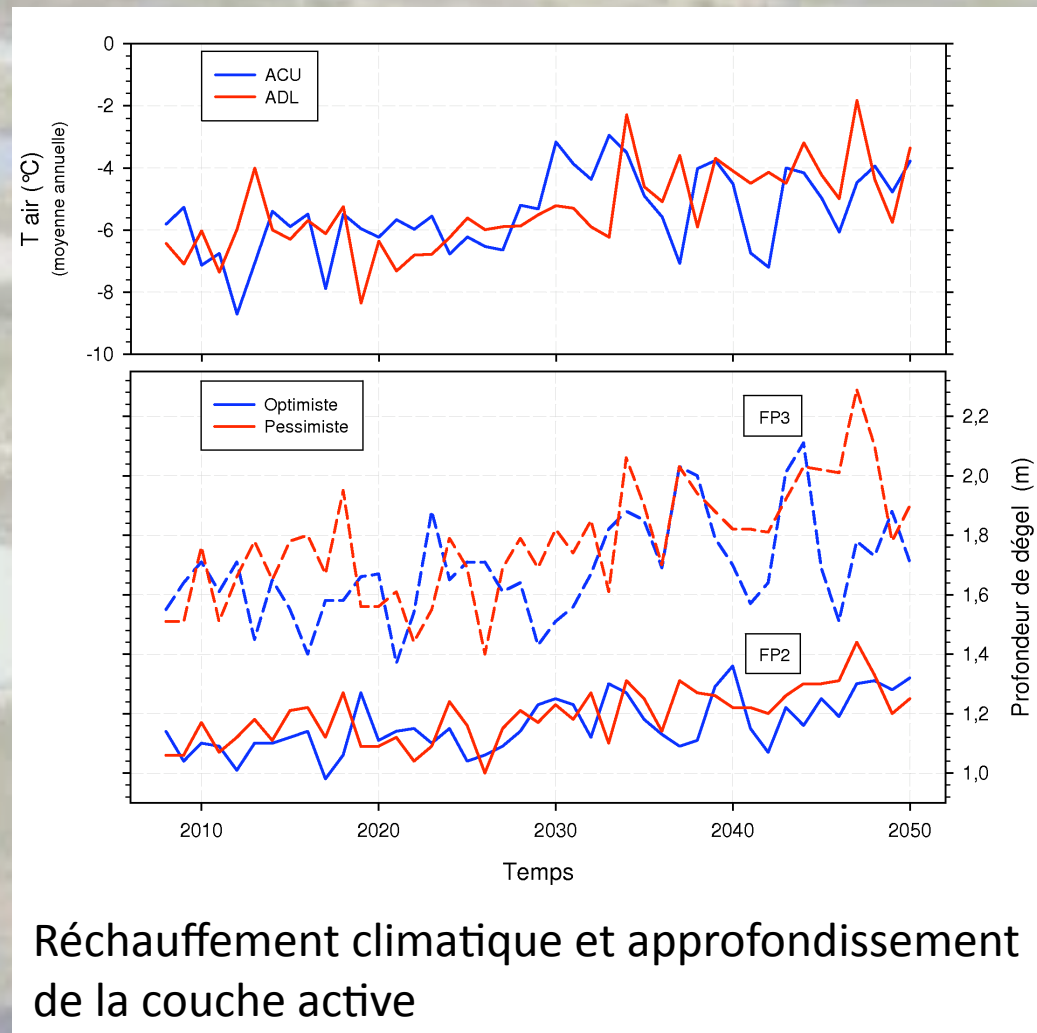


Salluit, Nunavik

Problématique communautaire



Croissance démographique



Réchauffement climatique et approfondissement de la couche active

Potentiel de construction

(Application SIG)

Critères:

- Type de formations superficielles
- Épaisseur/roc
- Teneur en glace
- Pentes
- Signes d'instabilité
(décrochements de couche active, gélifluxion)
- Drainage superficiel
(couloirs de suinments, thermo-érosion)



Aires d'expansion choisies

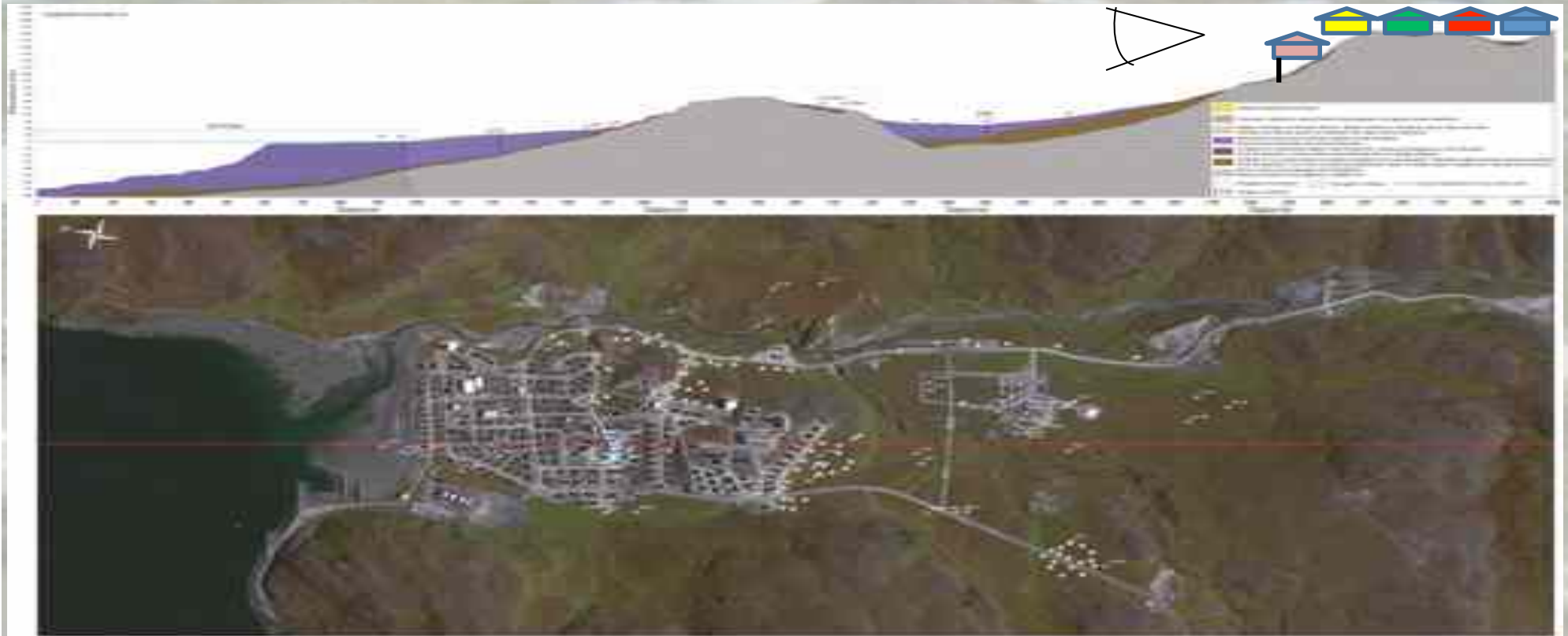
Réhabilitation de lots dans le milieu déjà bâti.

Participation communautaire



Prise de décision communautaire

Comporte une dimension historique et culturelle importante



Coupe géologique

Merci – Nakurmik - Qujannamiik

