

Recherche en eau souterraine dans un environnement pergélisolé en voie de dégradation pour l'alimentation durable en eau potable des communautés inuites au Nunavik



Camion citerne pour le transport de l'eau potable à Salluit (Nunavik)

Le pergélisol:

- quelques concepts

Le climat du Nunavik:

- variabilité récente et impacts

Recherche en eau souterraine:

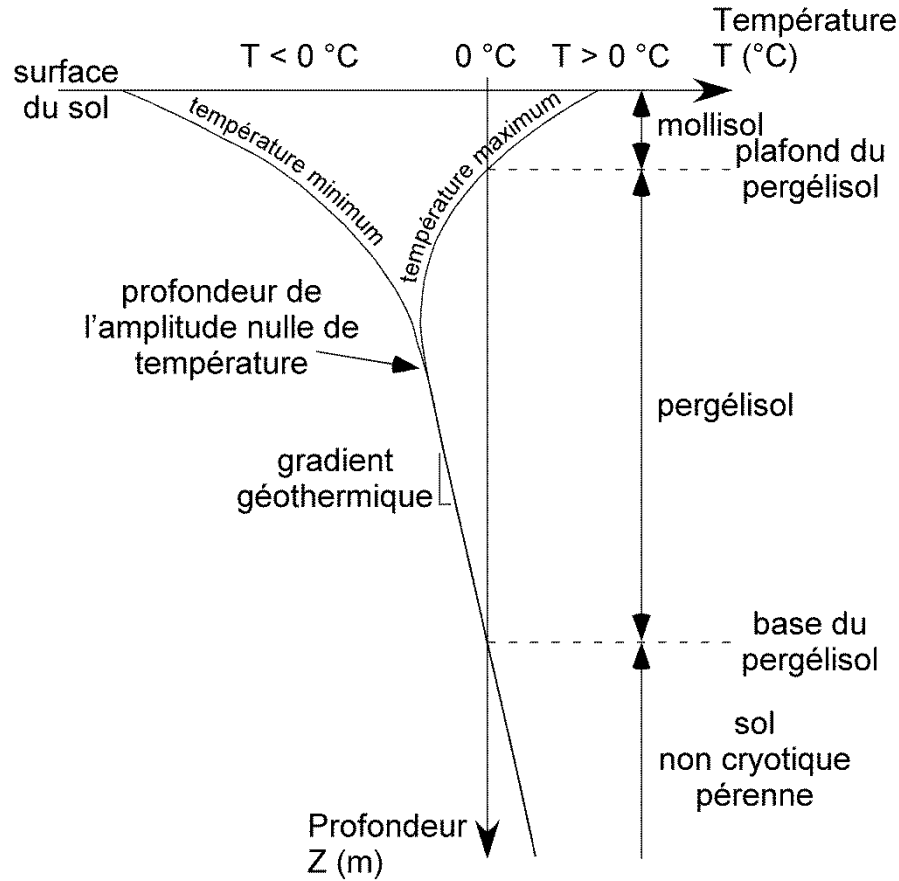
- premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit
- deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (réseau Immatsiak)

Conclusions

Richard Fortier, Jean-Michel Lemieux,
John Molson, René Therrien,
Marie-Catherine Talbot Poulin et Michel Ouellet

Le pergélisol: quelques concepts

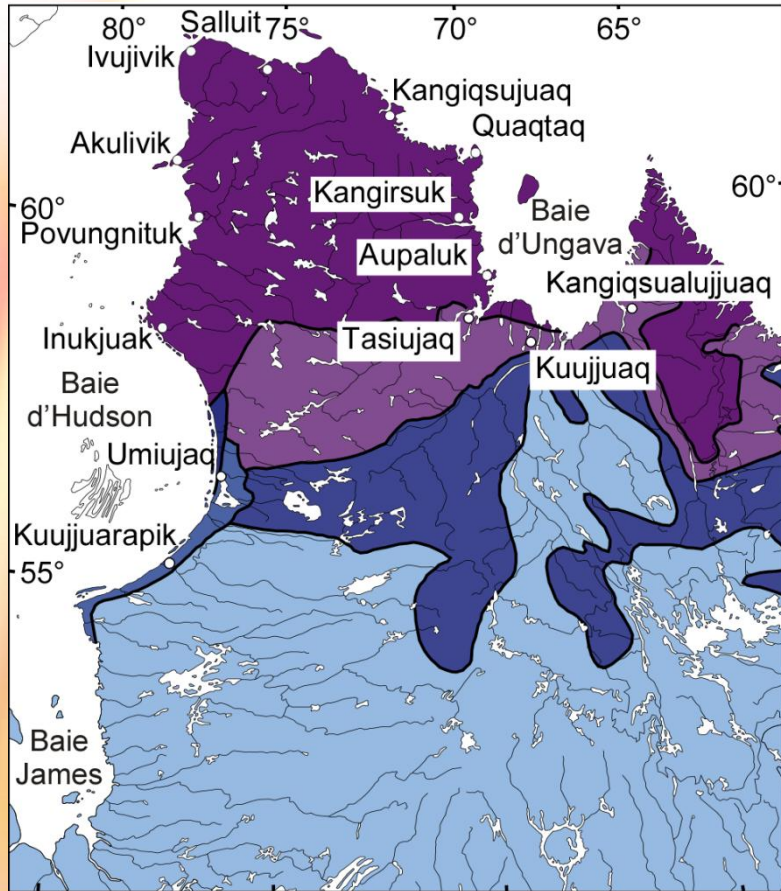
(profil thermique , définitions du pergélisol et du mollisol)



Mollisol:
couche superficielle
affectée par les cycles
de gel-dégel.

Pergélisol:
sol ou roche dont la
température demeure
sous 0 °C durant au
moins deux années.

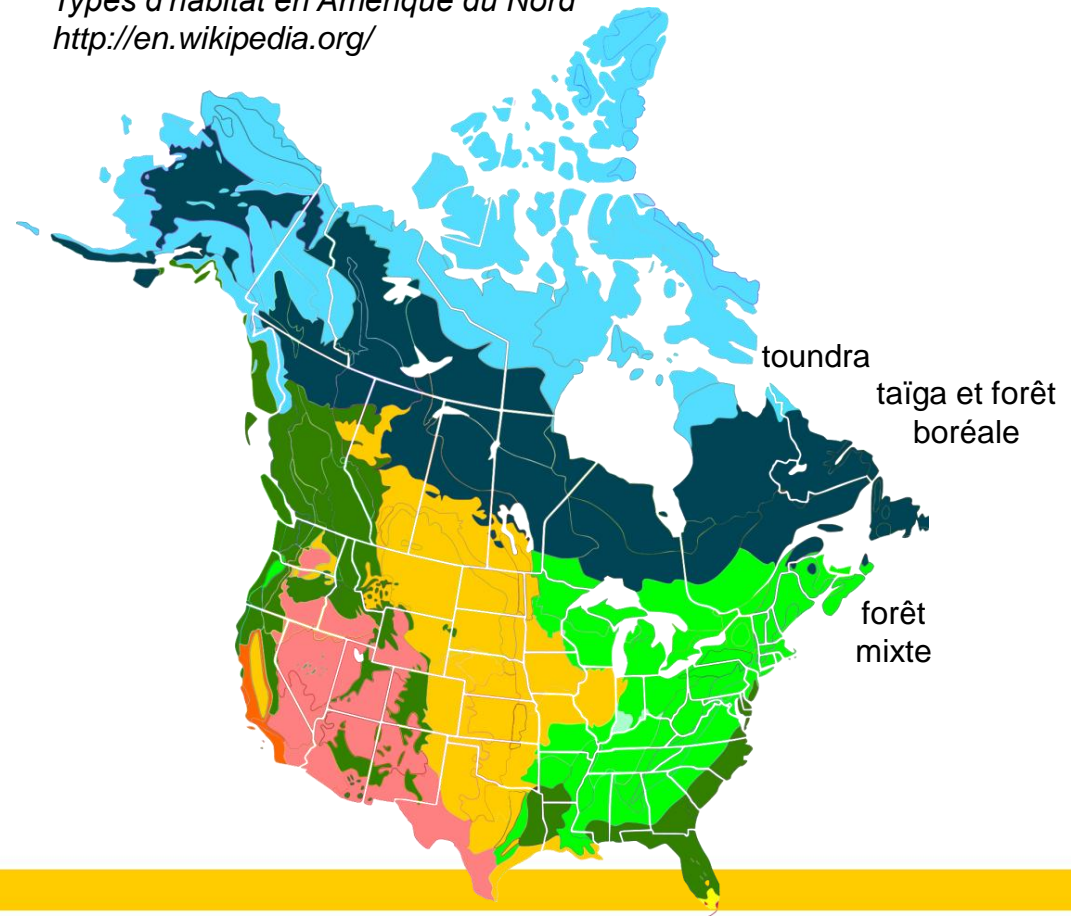
Le pergélisol: quelques concepts (zonation du pergélisol et treize communautés inuites au Nunavik)



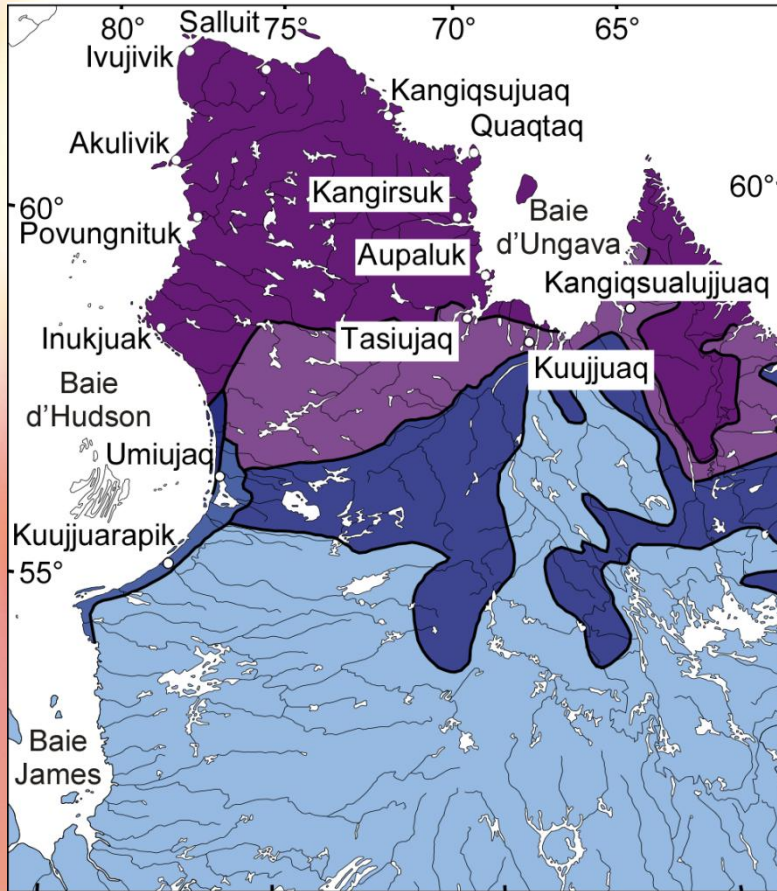
Légende (selon Allard et Seguin, 1987)

| | |
|---|--|
|  Pergélisol sporadique |  Pergélisol discontinu mais répandu |
|  Pergélisol discontinu et dispersé |  Pergélisol continu |

Types d'habitat en Amérique du Nord
<http://en.wikipedia.org/>

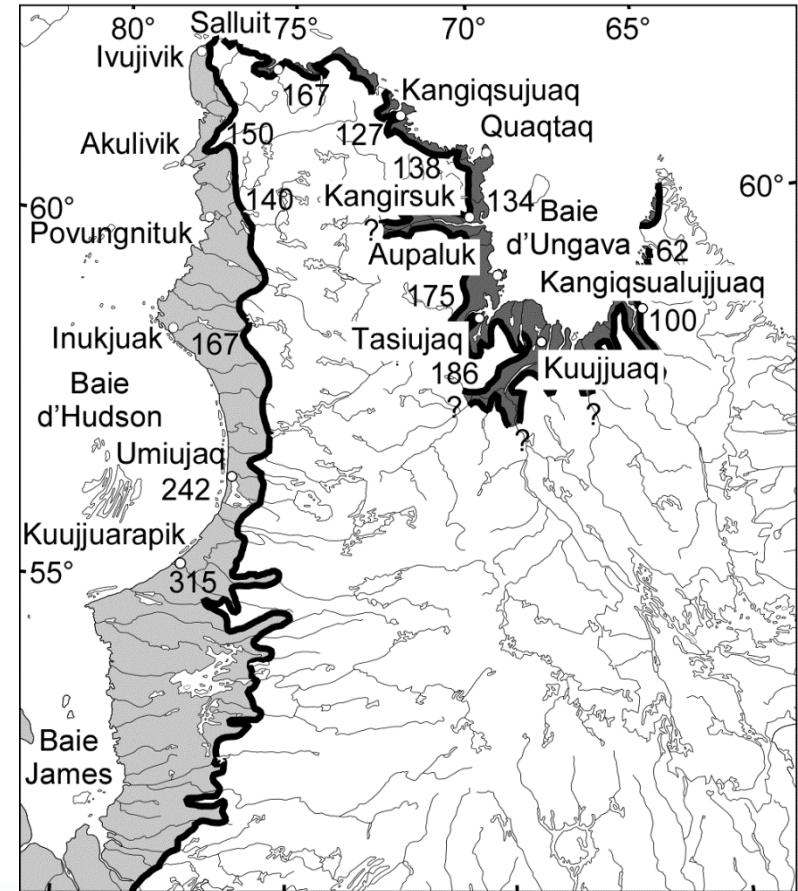


Le pergélisol: quelques concepts (zones de pergélisol et de transgression marine)






Légende (selon Allard et Seguin, 1987)

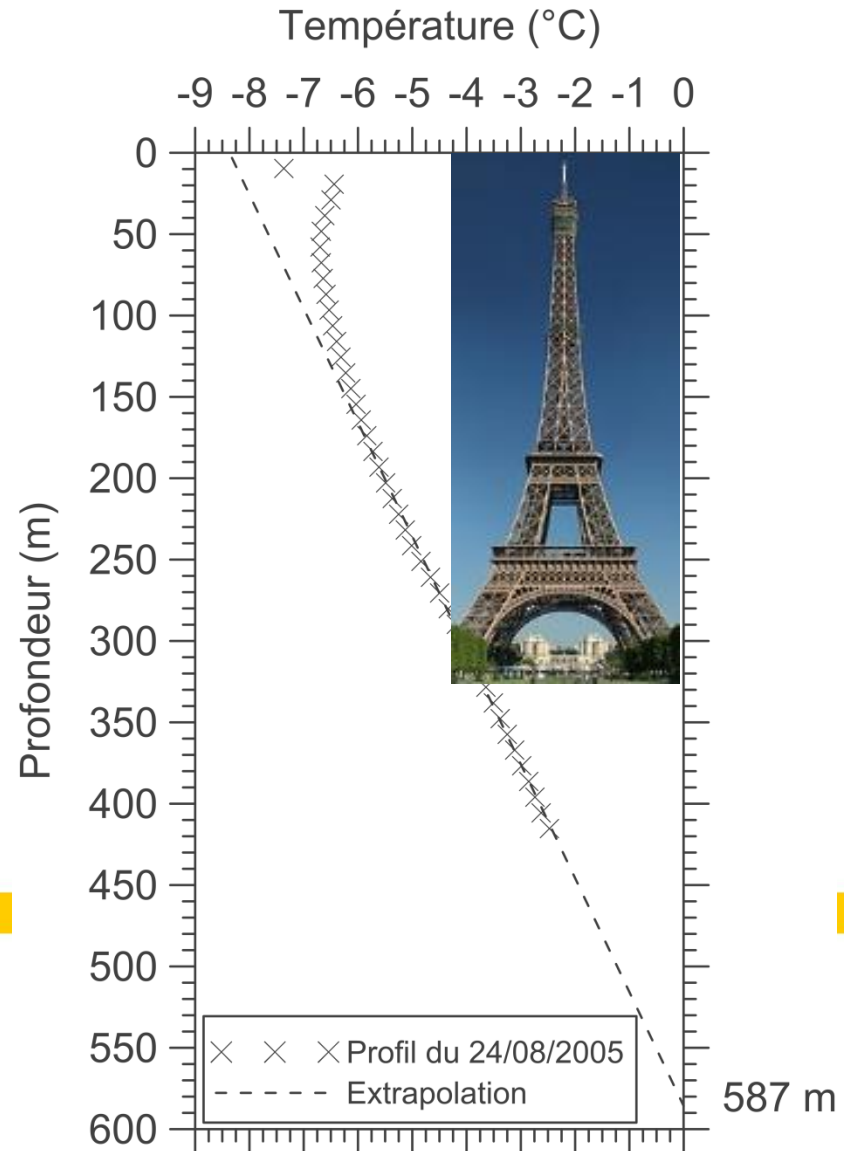
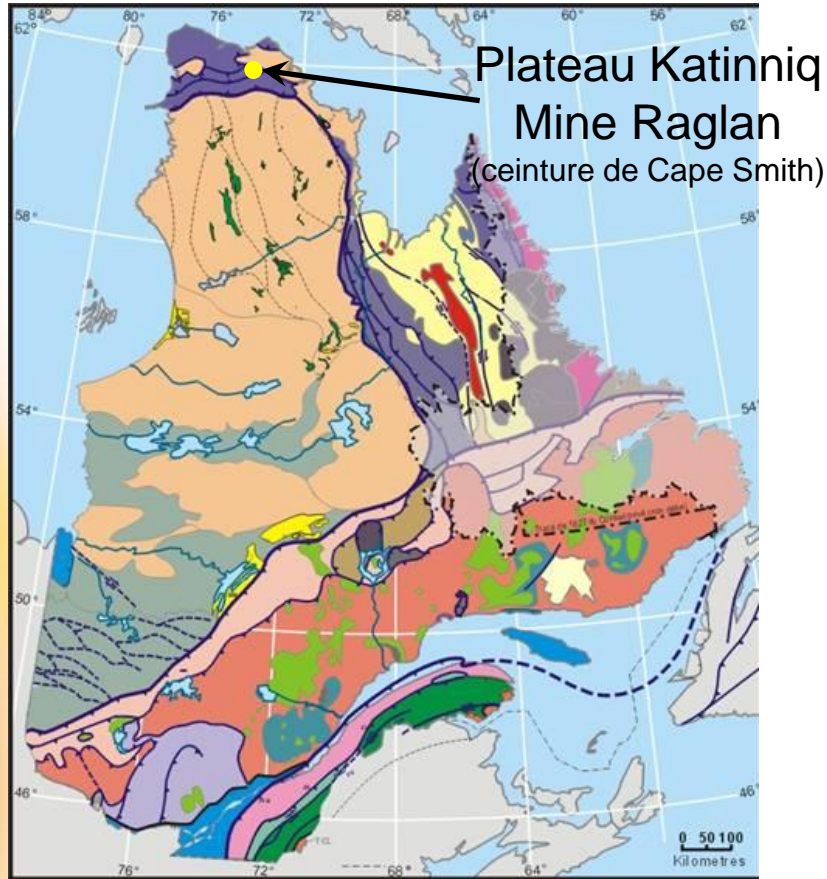
- | | |
|---|--|
|  Pergélisol sporadique |  Pergélisol discontinu mais répandu |
|  Pergélisol discontinu et dispersé |  Pergélisol continu |



Légende

-  Transgression marine post-glaciaire de la Mer D'Iberville
-  Transgression marine post-glaciaire de la Mer de Tyrrell
-  100 Limite marine (m)

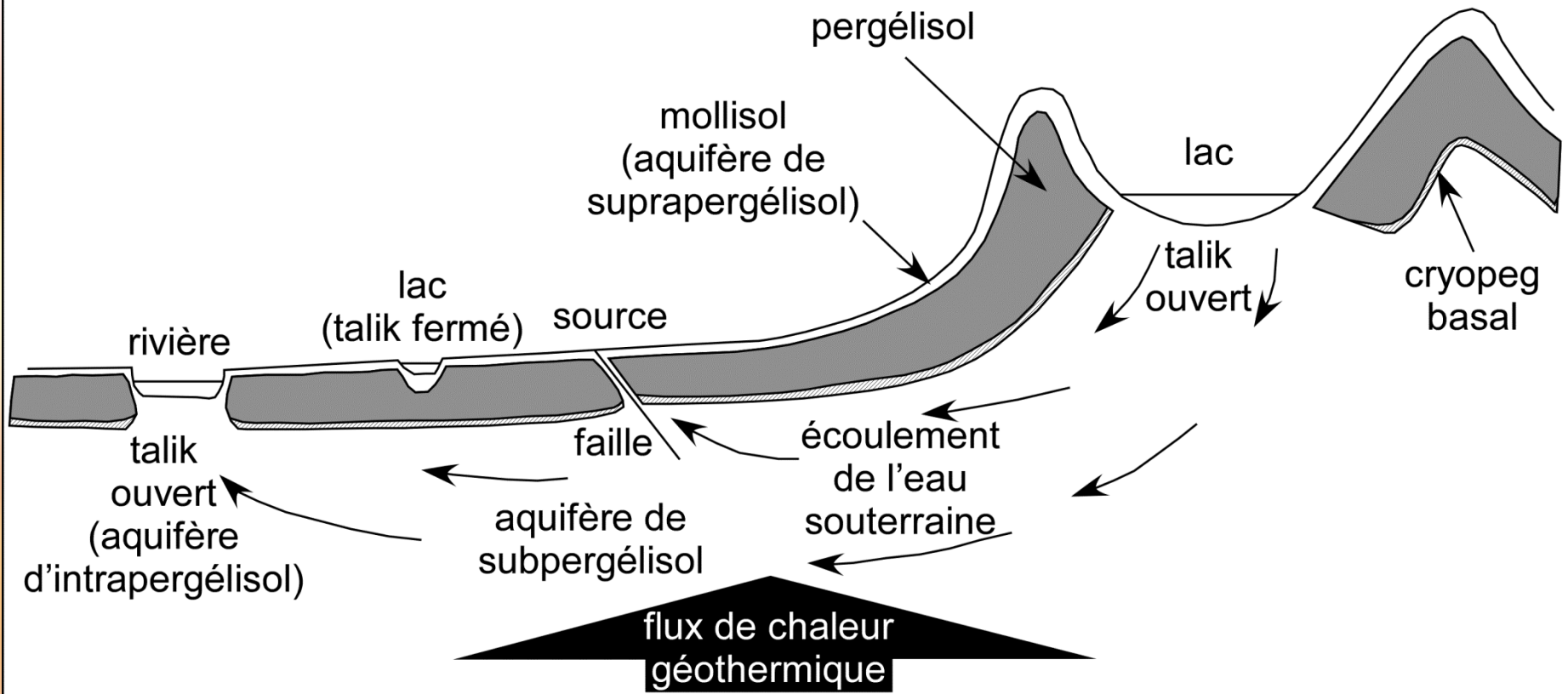
Le pergélisol: quelques concepts (épaisseur du pergélisol du plateau Katinniq)



Le pergélisol: quelques concepts

(types d'aquifère en régions nordiques et talik ouvert ou fermé)

(inspiré de Haldorsen *et coll.* (1996) et van Everdingen (1990))



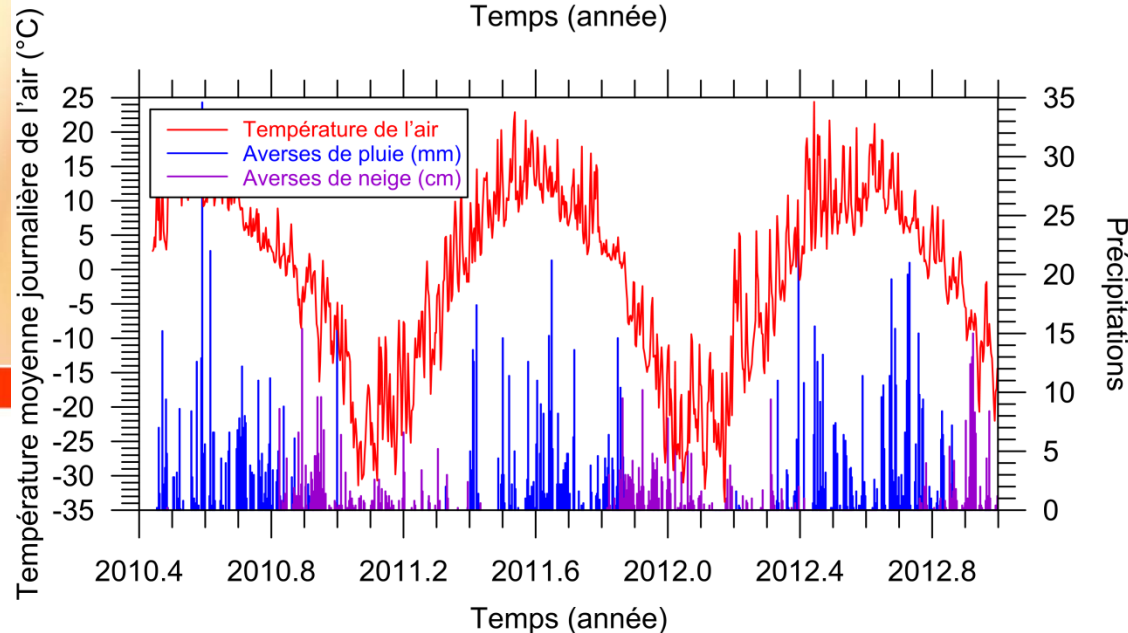
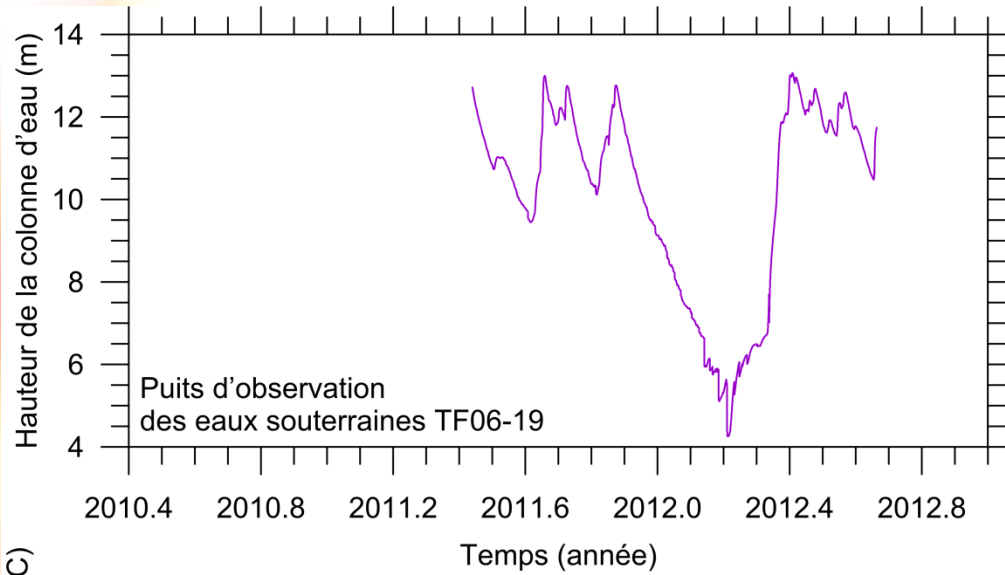
Le pergélisol: quelques concepts (exploitation des eaux souterraines au Nunavik)

La seule communauté au Nunavik qui exploite les eaux souterraines avec un réseau de distribution par aqueduc (et un réseau d'égout) est Whapmagoostui-Kuujuarapik.

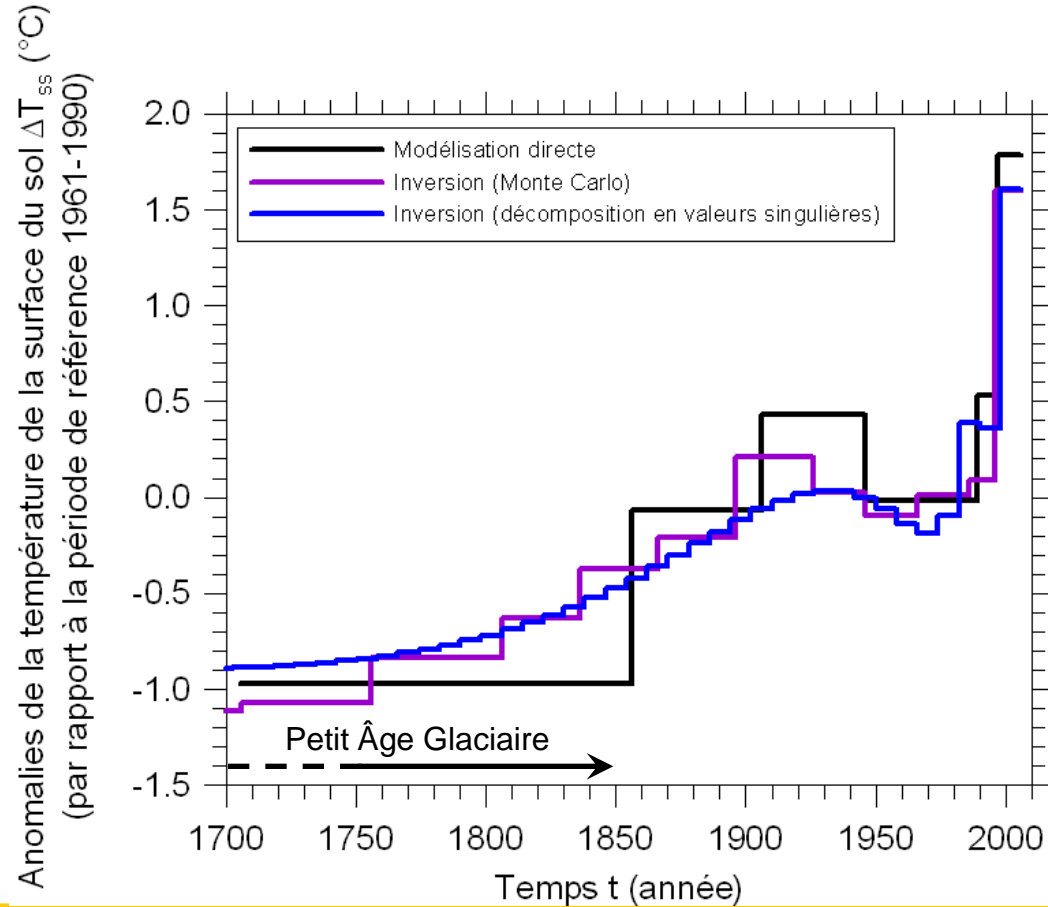
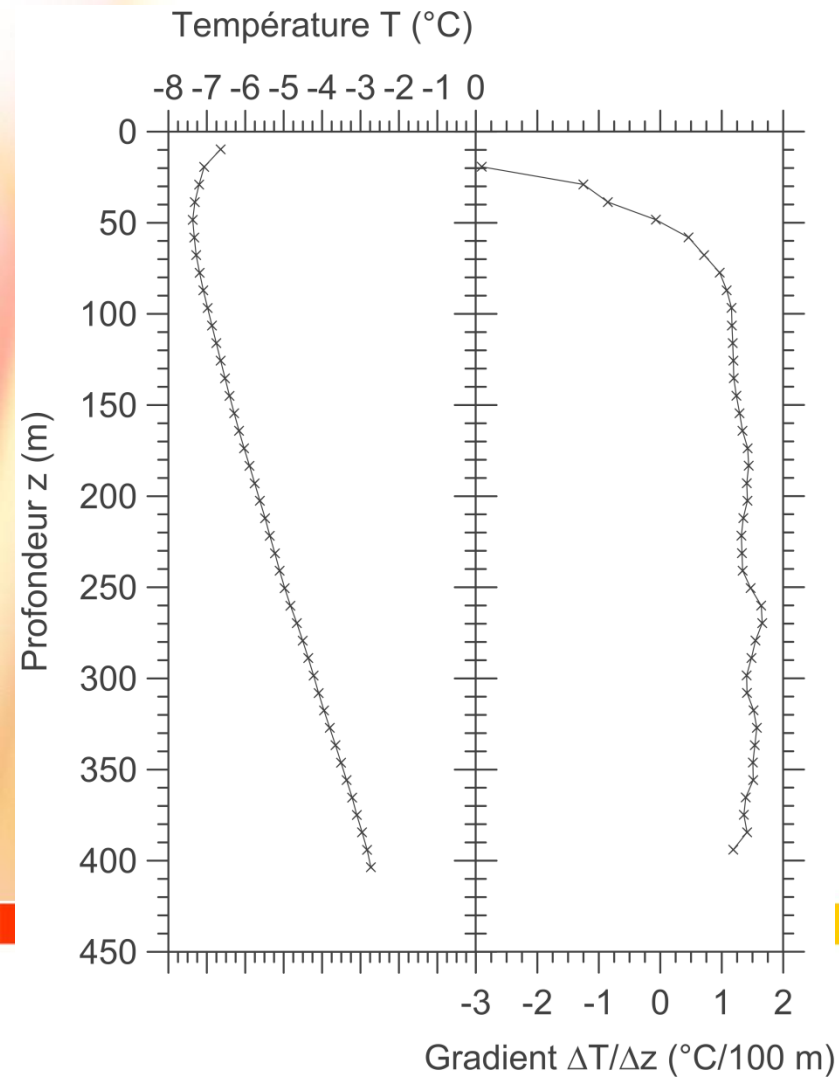


Le pergélisol: quelques concepts (dynamique d'un aquifère en régions nordiques)

Variations du niveau d'eau dans un aquifère de roc fracturé à Whapmagoostui-Kuujuarapik.

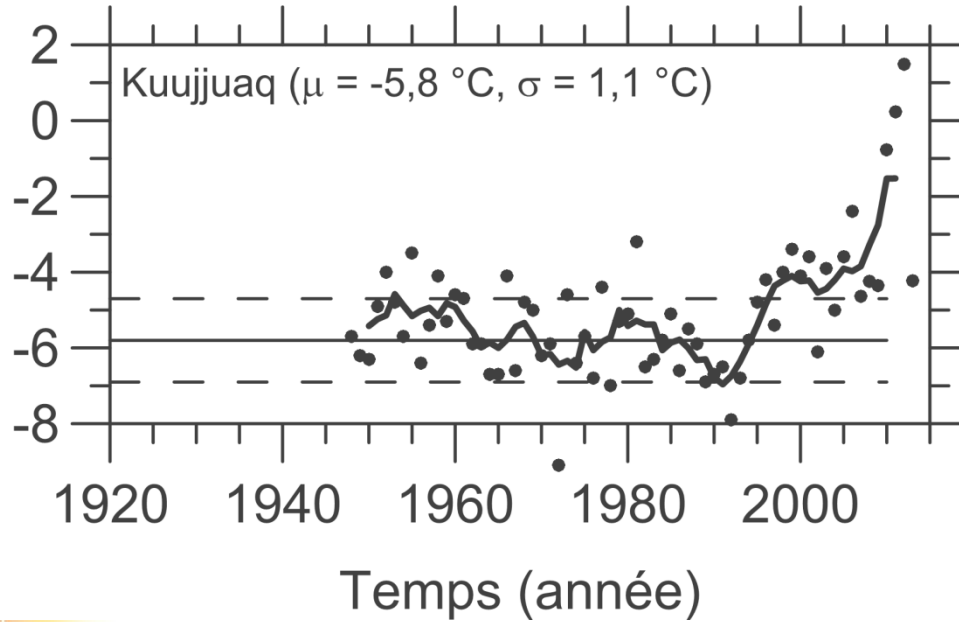


Le climat du Nunavik: variabilité récente (reconstitution du climat passé sur le plateau Katinniq)

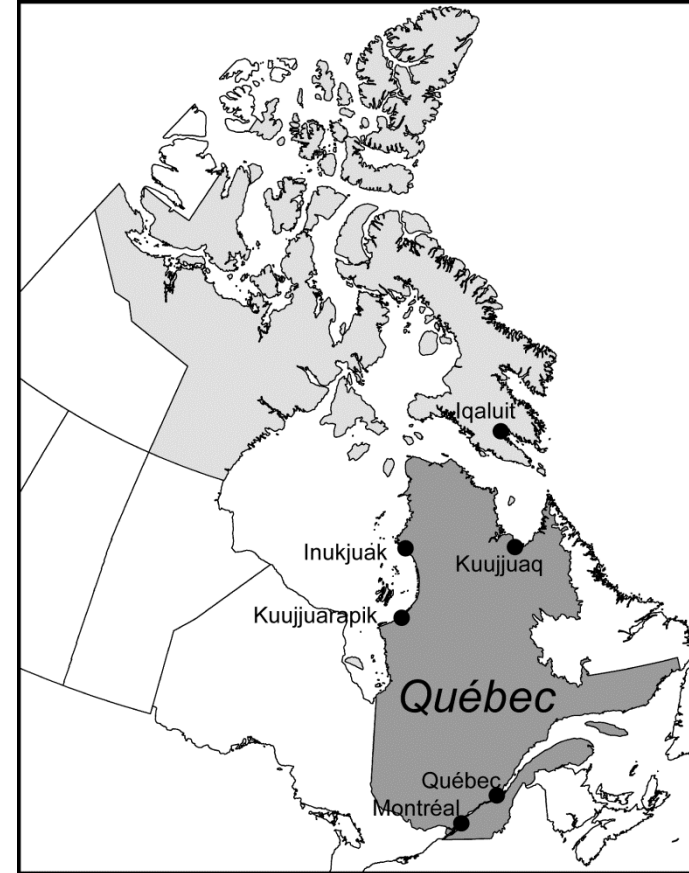


Le climat du Nunavik: variabilité récente (enregistrement climatologique d'Environnement Canada)

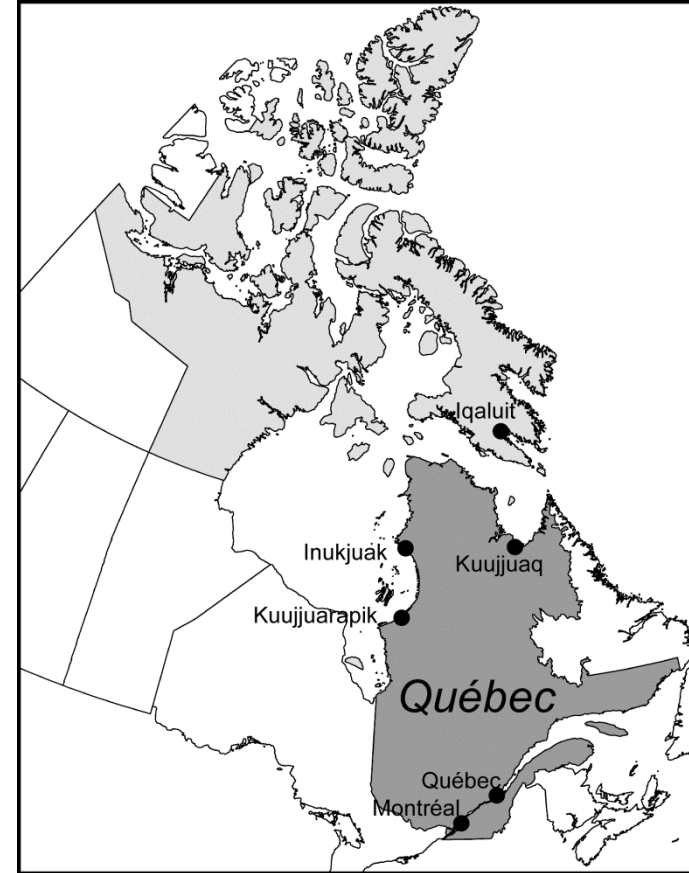
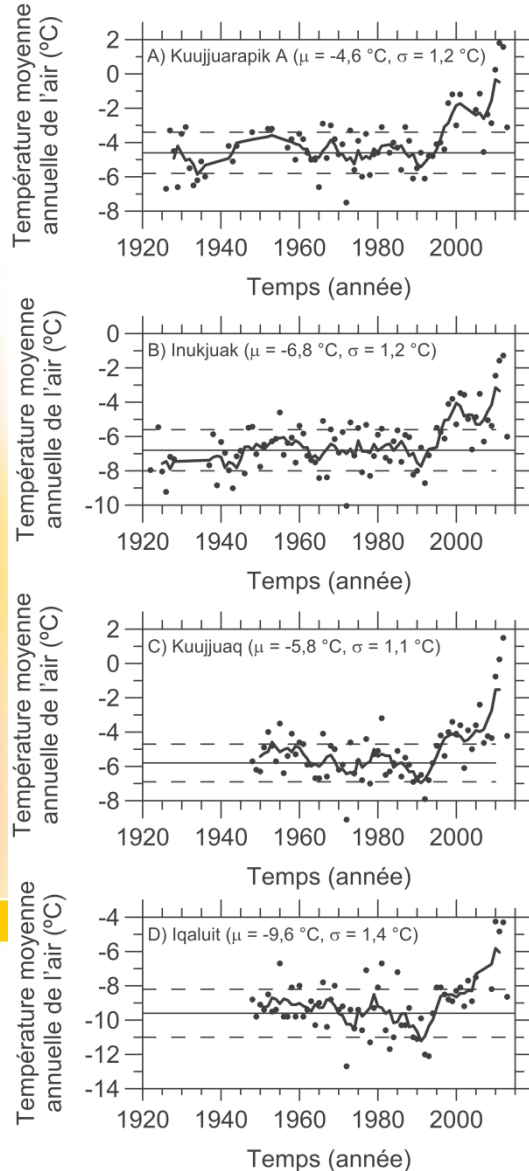
Température moyenne
annuelle de l'air (°C)



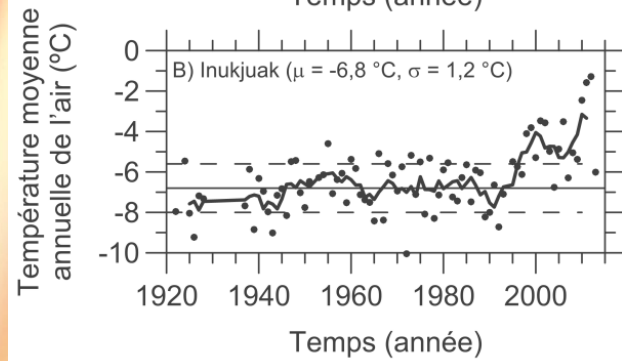
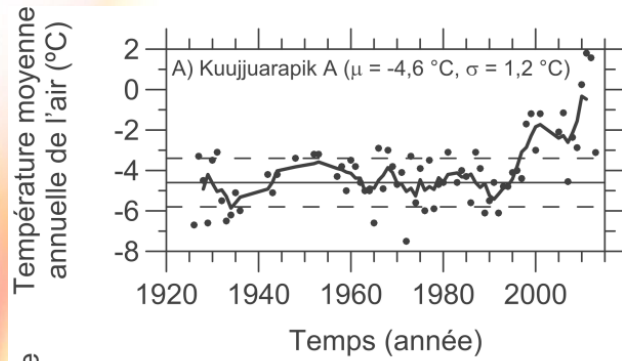
http://climat.meteo.gc.ca/index_f.html#access



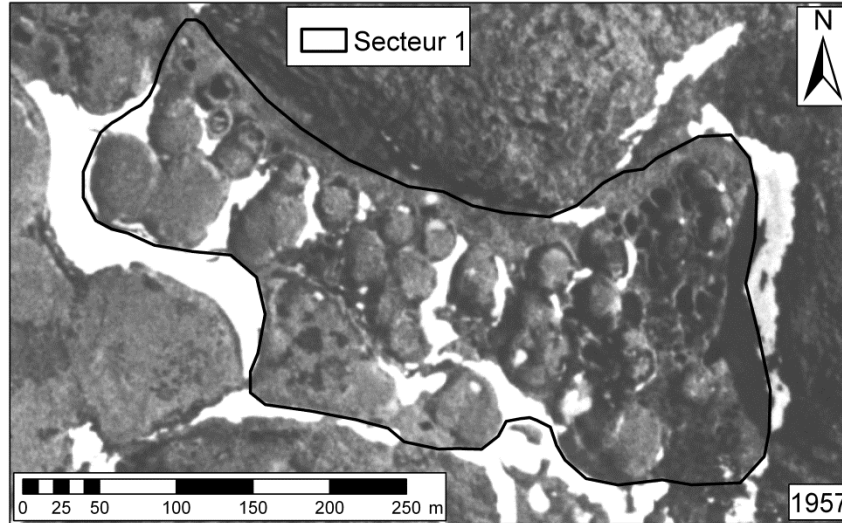
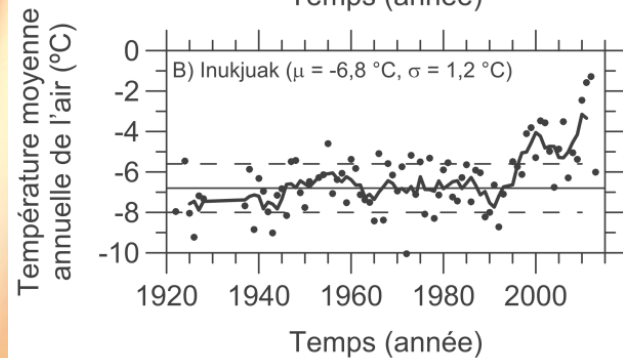
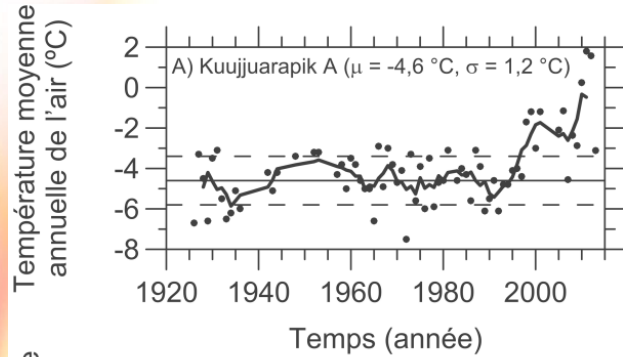
Le climat du Nunavik: variabilité récente (enregistrement climatologique d'Environnement Canada)



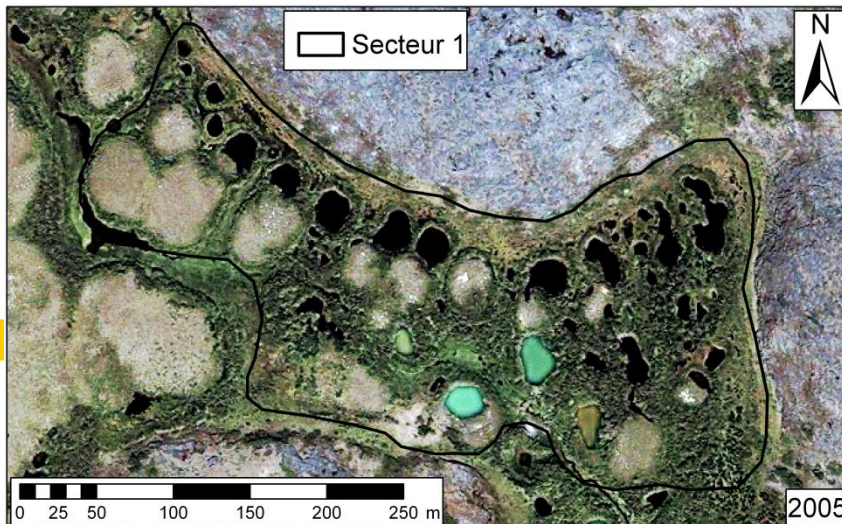
Le climat du Nunavik: impacts (tassement au dégel du pergélisol riche en glace)



Le climat du Nunavik: impacts (tassement au dégel du pergélisol riche en glace)

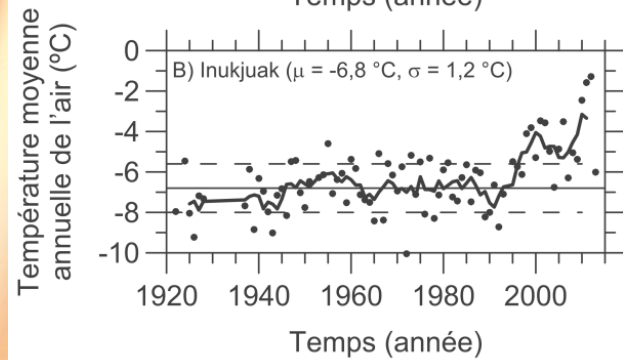
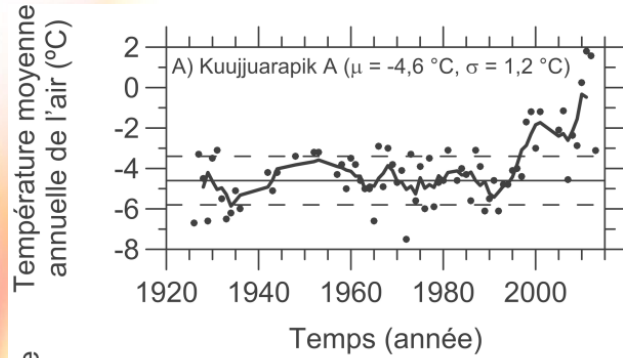


Champ de buttes de pergélisol, Umiujaq
Photographie aérienne no. 39, série A-15618, Ressources naturelles Canada (18 juin 1957)

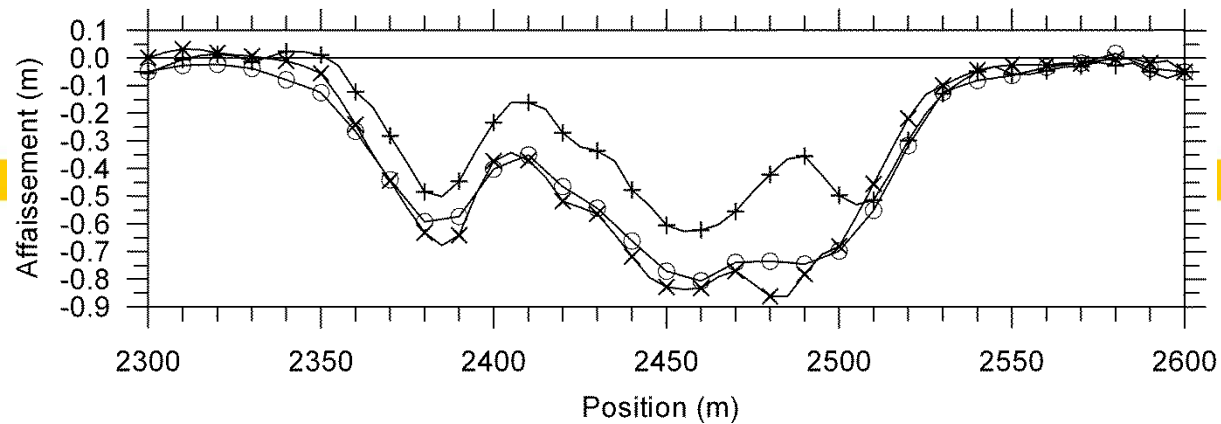


Champ de buttes de pergélisol, Umiujaq
Image satellitaire IKONOS (26 juillet 2005)

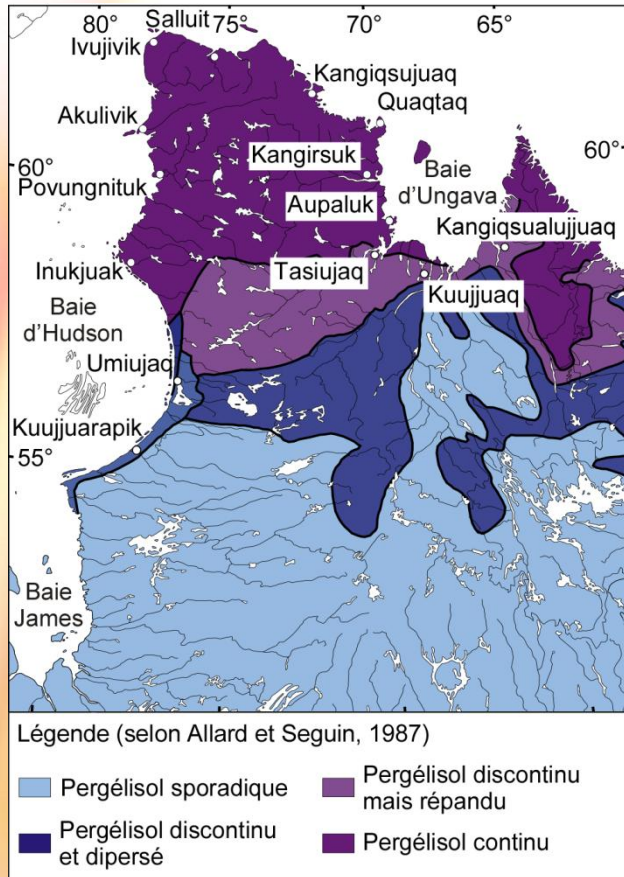
Le climat du Nunavut (tassement au dégel)



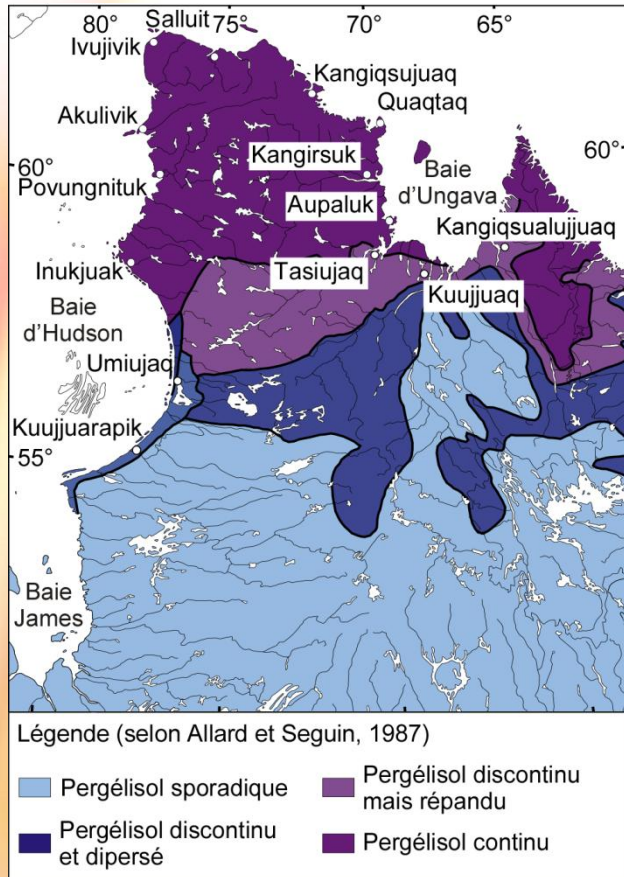
- + — + Affaissement 1991-2006
- — ○ Affaissement 1991-2008
- × — × Affaissement 1991-2009



Recherche en eau souterraine: premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (localisation)



Recherche en eau souterraine: premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (localisation)



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (exploitation de l'eau de surface de la rivière Kuuguluk)



L'eau de surface comme source d'eau potable est vulnérable au gel et à l'assèchement en hiver et à la contamination.

Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (exploitation de l'eau de surface de la rivière Kuuguluk)



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (exploitation de l'eau de surface de la rivière Kuuguluk)



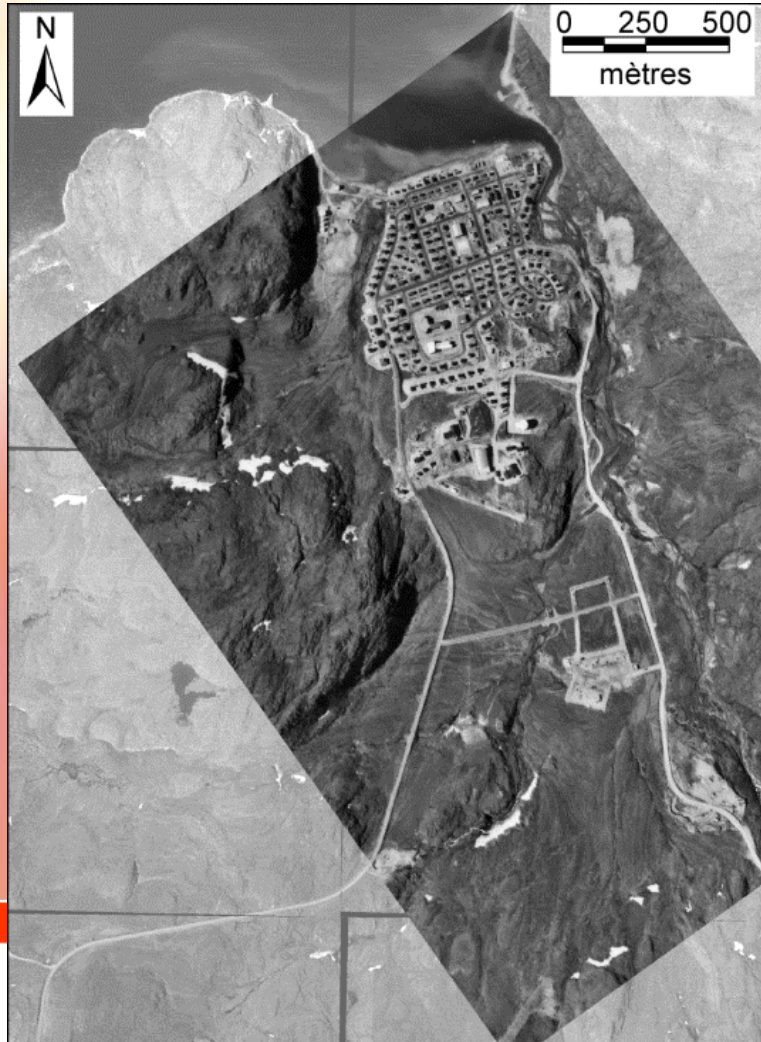
Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (exploitation de l'eau de surface de la rivière Kuuguluk)



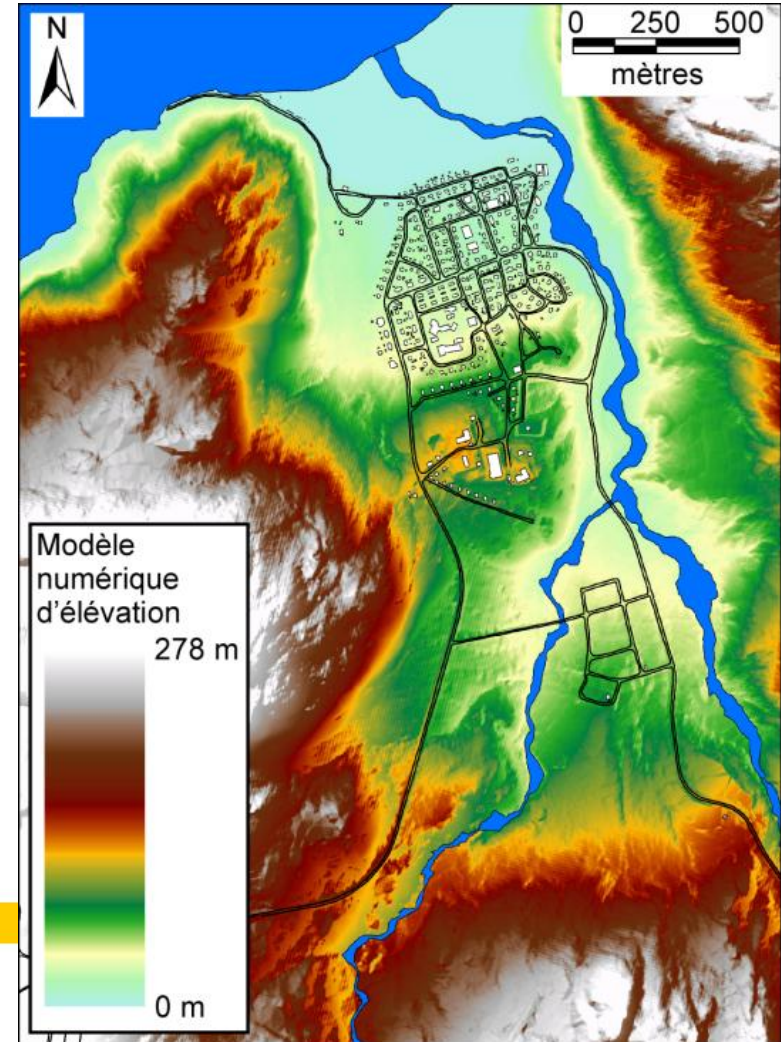
Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (exploitation de l'eau de surface de la rivière Kuuguluk)



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (connaissances du territoire – étude d'expertise d'Allard *et coll.* de 2002 à 2004 pour le compte du Ministère de la sécurité publique)

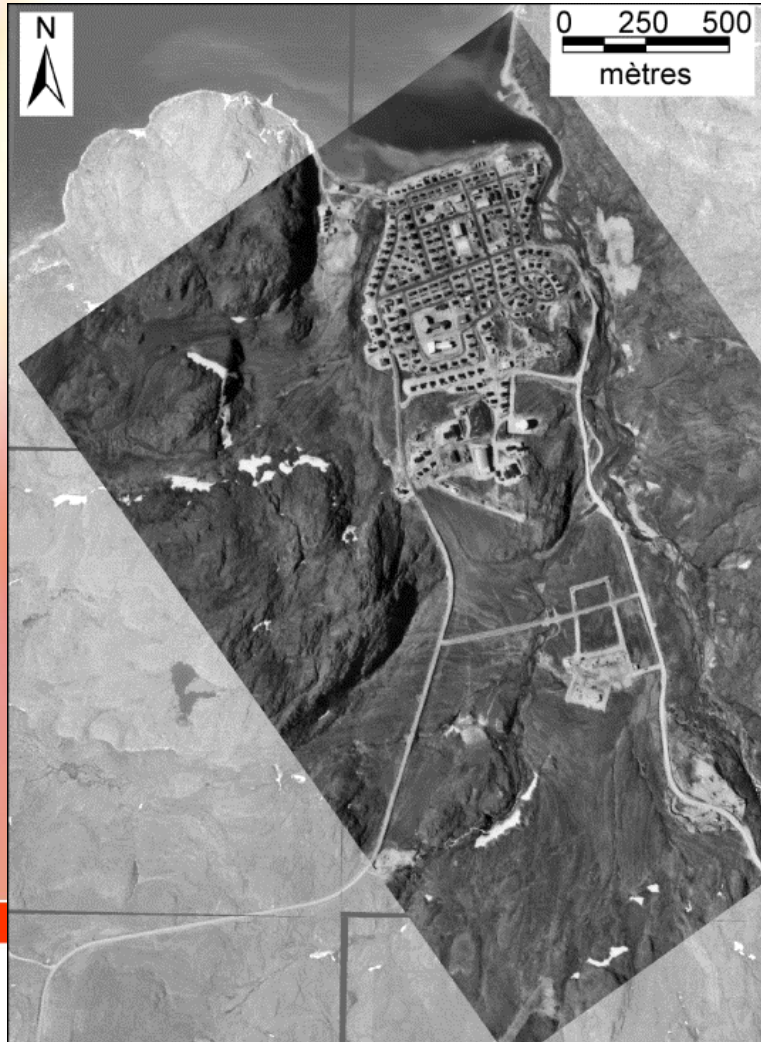


Mosaïque de photographies
aériennes prises en 2003
(© Gouvernement du Québec)

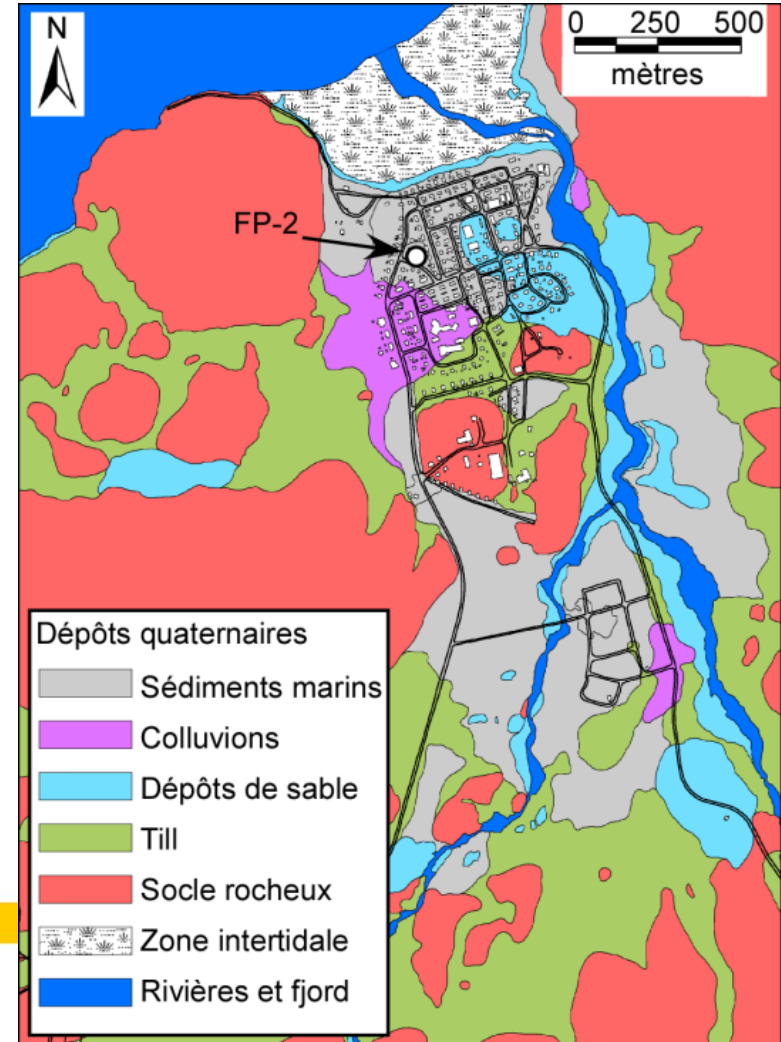


Modèle numérique d'élévation obtenu des
photographies aériennes prises en 2003
(© Gouvernement du Québec)

Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (connaissances du territoire – étude d'expertise d'Allard *et coll.* de 2002 à 2004 pour le compte du Ministère de la sécurité publique)



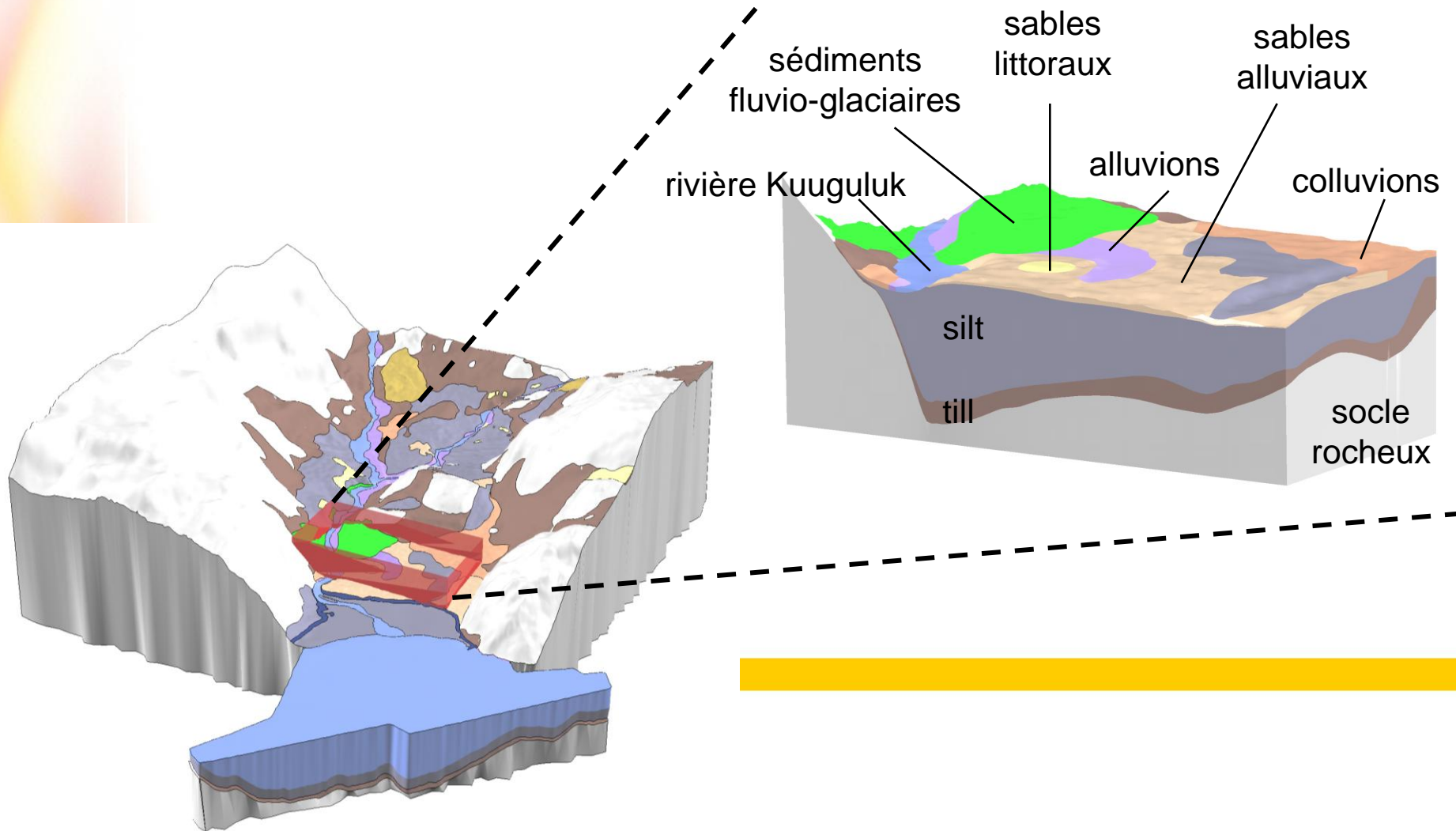
Mosaïque de photographies
aériennes prises en 2003
(© Gouvernement du Québec)



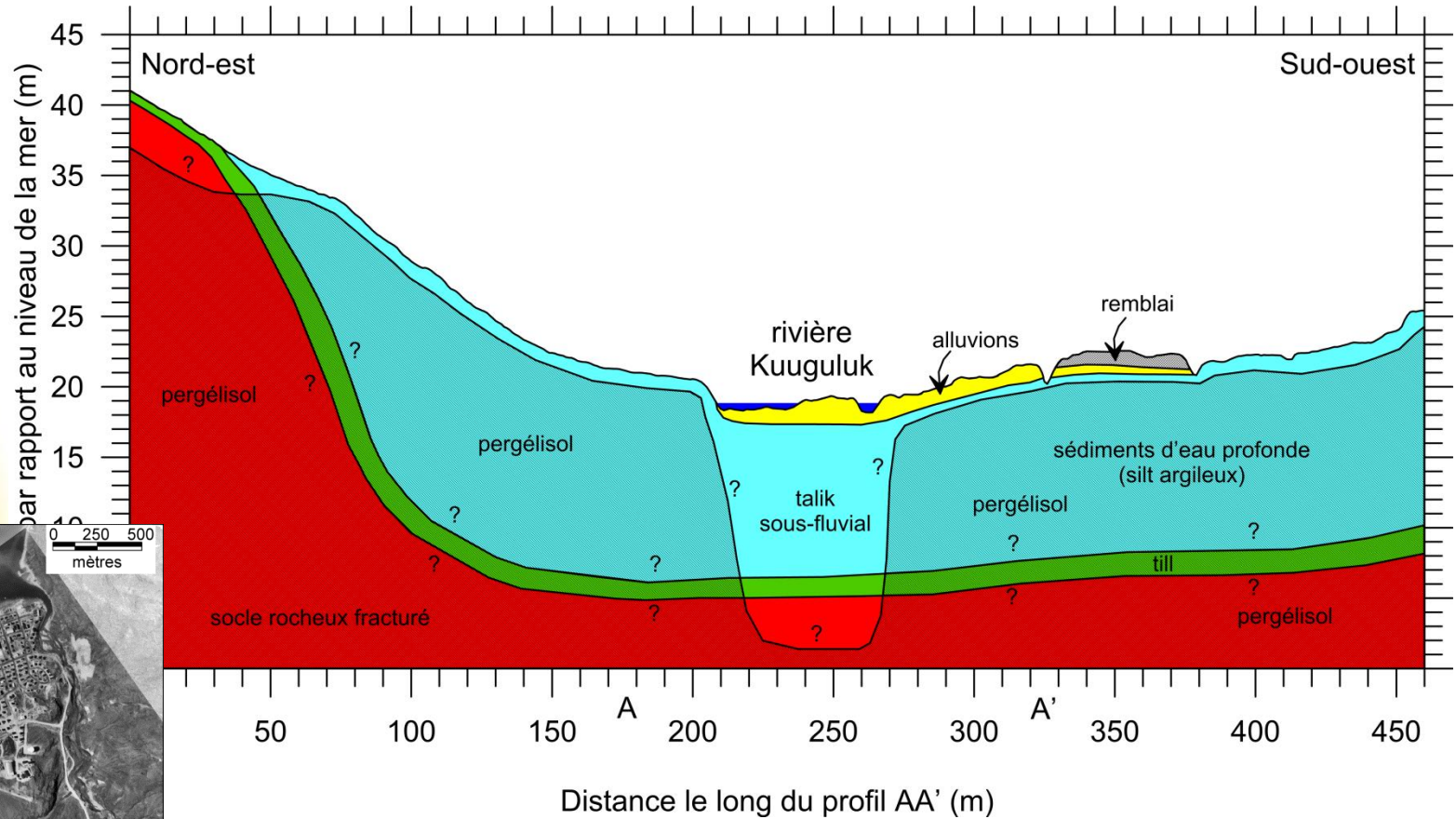
Carte des dépôts quaternaires
(modifiée de Allard *et al.*, 2004)

Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit

(connaissances du territoire – étude d'expertise d'Allard *et coll.* de 2002 à 2004 pour le compte du Ministère de la sécurité publique)



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (coupe cryostratigraphique conceptuelle: y a-t-il un talik sous la rivière Kuuguluk?)



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation cryohydrogéophysique: localisation)

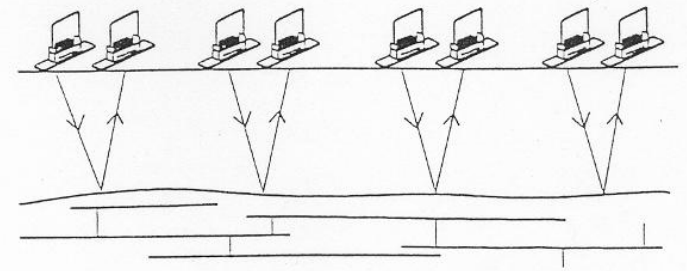


Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit

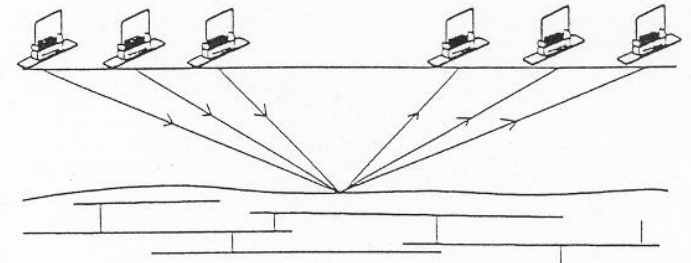
(investigation cryohydrogéophysique:
profilage de géoradar)



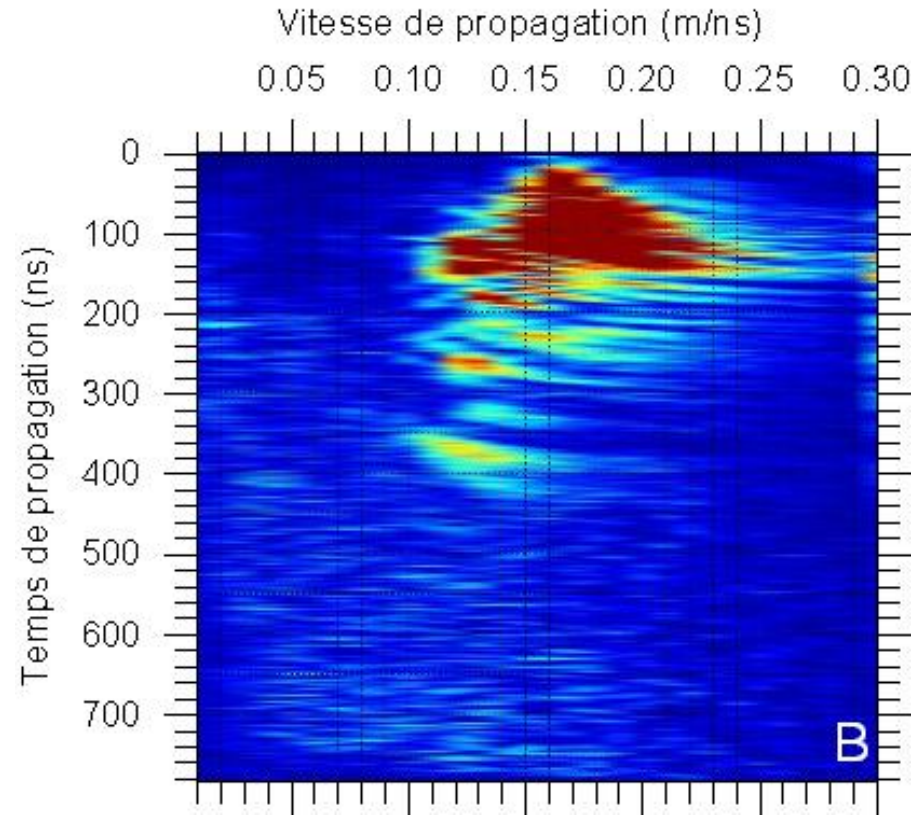
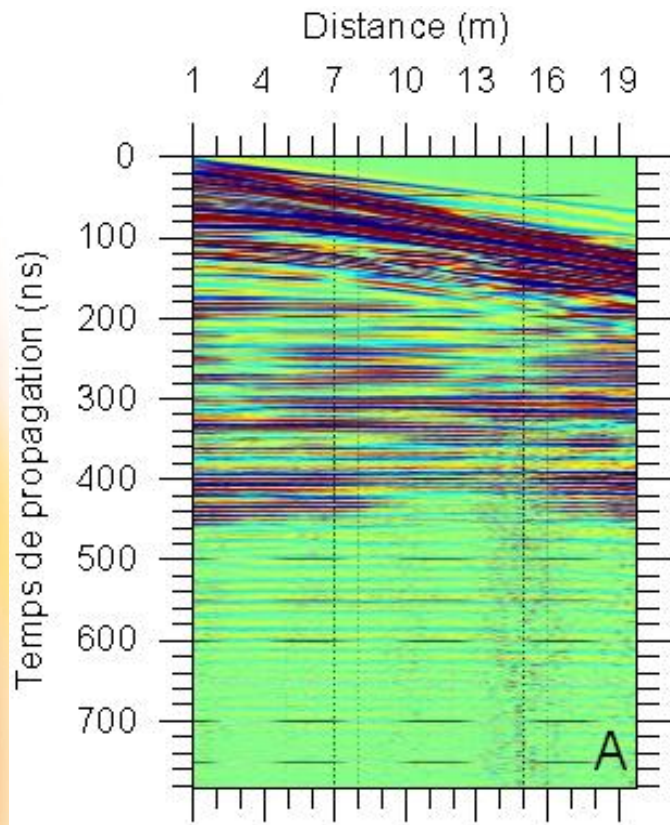
Levé en mode réflexion



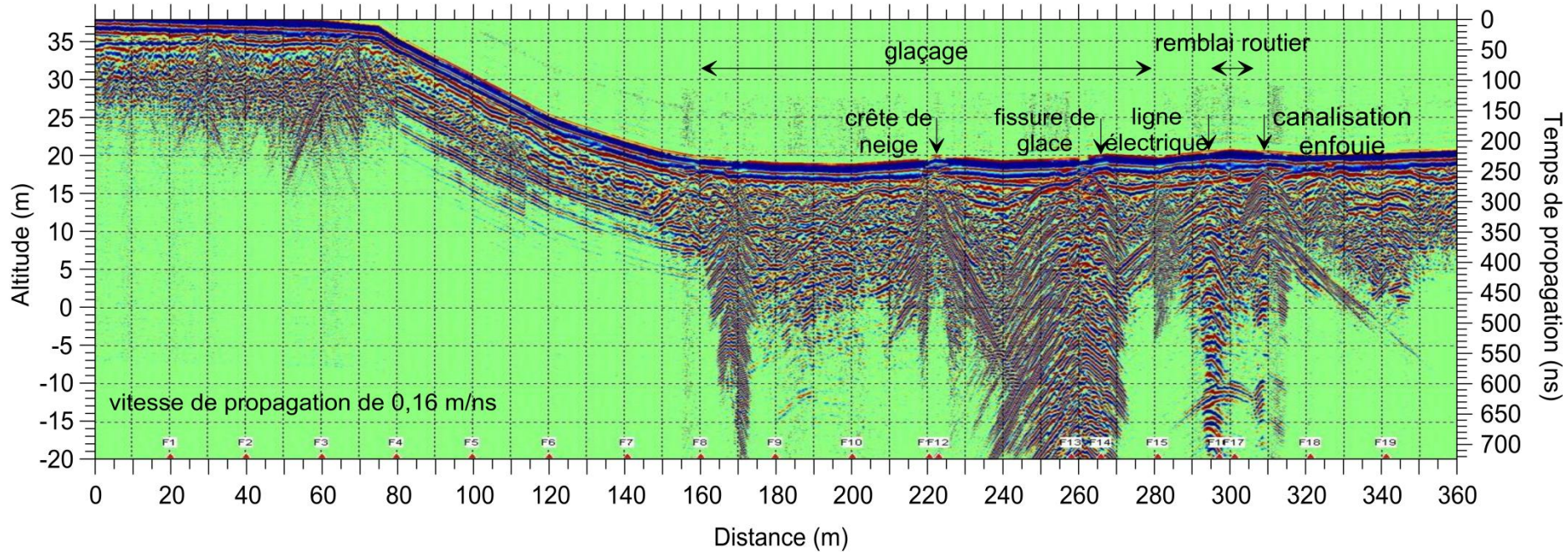
Levé du point milieu commun



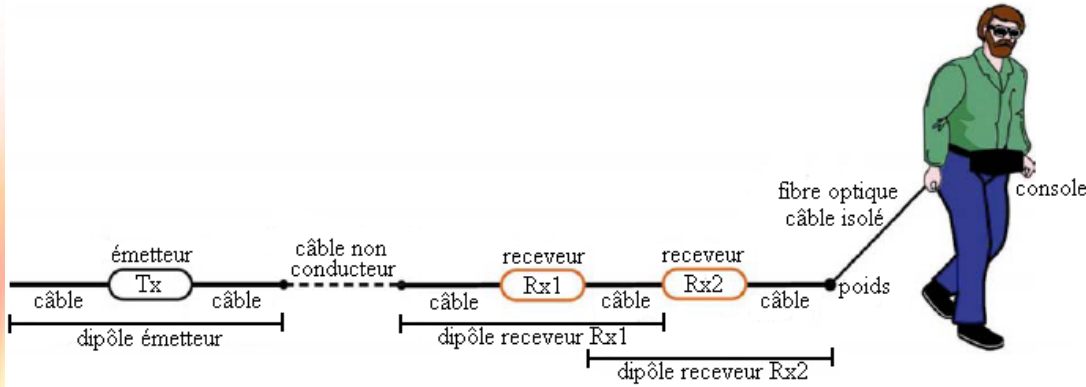
Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation cryohydrogéophysique: profil de géoradar du point milieu commun)



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation cryohydrogéophysique: profil en mode réflexion de géoradar)

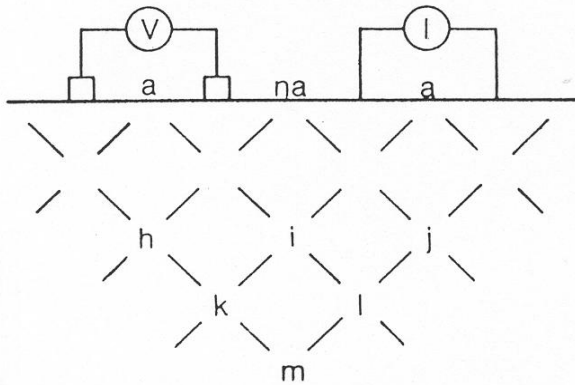


Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation cryohydrogéophysique: tomographie de résistivité électrique)

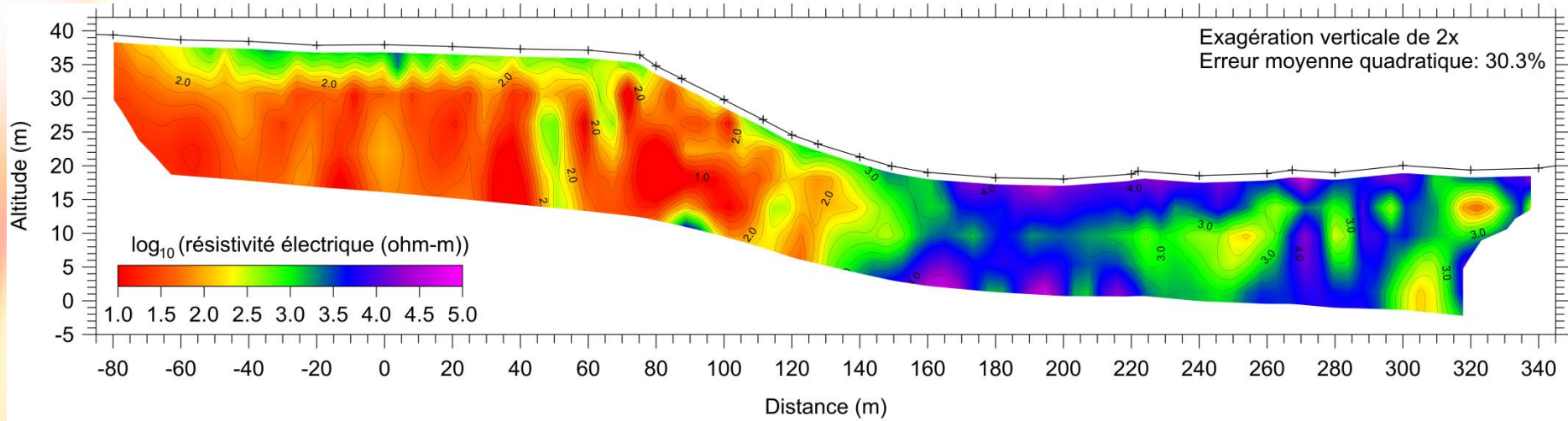


Méthode de mesure
de la résistivité électrique
par induction à couplage capacitif
(OhmMapper)

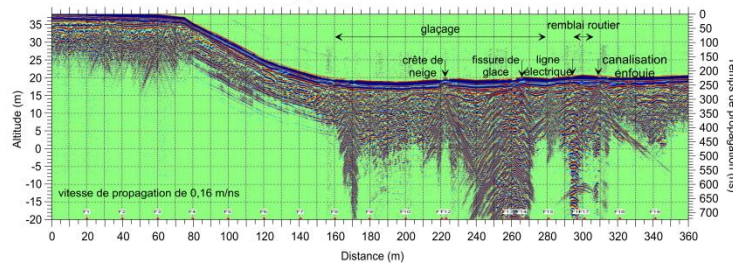
Configuration du dipôle-dipôle



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation cryohydrogéophysique: tomographie de résistivité électrique)



Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation cryohydrogéophysique: complémentarité des deux méthodes géophysiques)



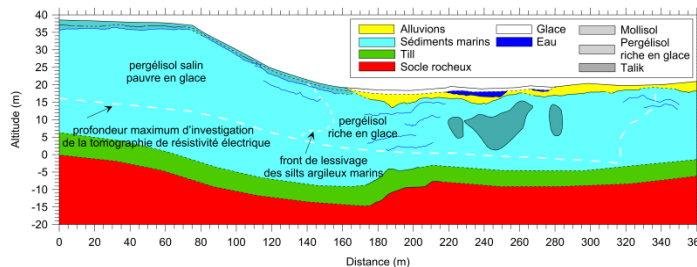
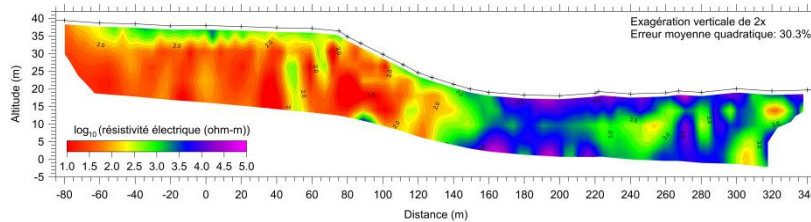
identification
des contacts stratigraphiques

+

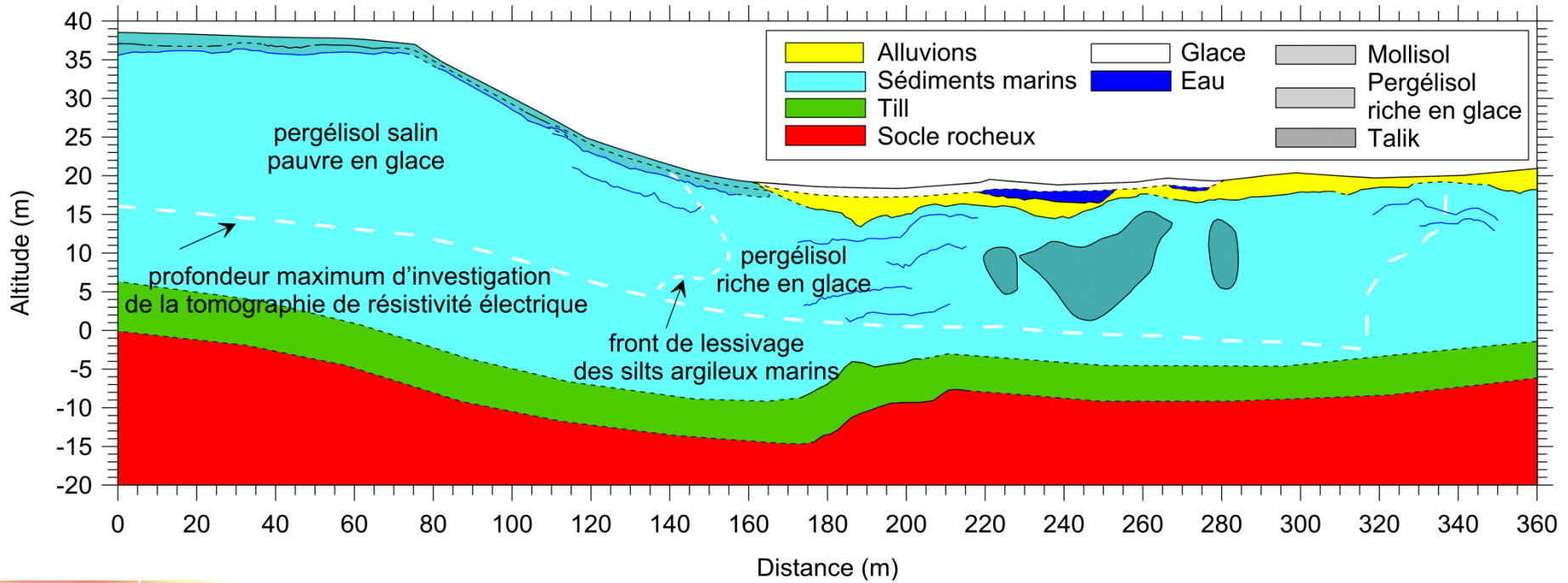
informations
sur les conditions du pergélisol

=

coupe cryohydrostratigraphique
interprétative



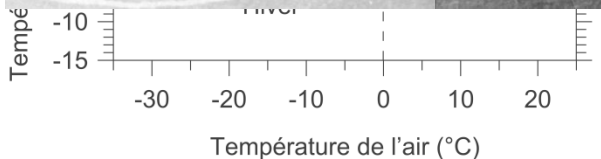
Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation cryohydrogéophysique: coupe cryohydrostratigraphique interprétative)



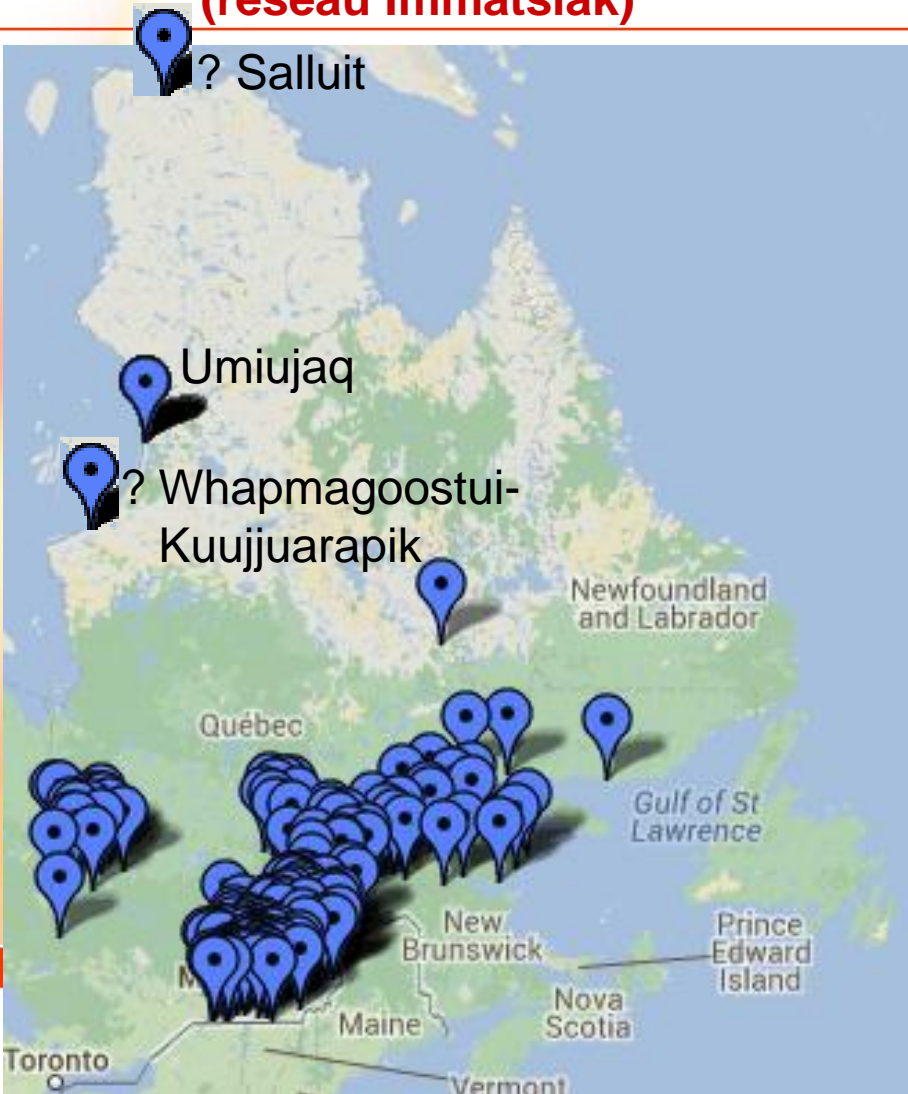
Premier exemple d'un talik sous-fluvial à Salluit (investigation hydrogéologique)



Harry Houdini vers 1899
McManus-Young Collection
Library of Congress



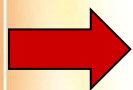
Recherche en eau souterraine: deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (réseau Immatsiak)



- ✓ Réseau de surveillance des eaux souterraines au Québec – RSESQ (<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/piezo/index.htm>):
 - mis en place récemment pour étudier les impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines (plan d'action du gouvernement du Québec)
- ✓ Réseau Immatsiak à Umiujaq (signifie source d'eau fraîche en Inuktitut) (sous-réseau du RSESQ)
- ✓ Développement d'une expertise en hydrogéologie des régions nordiques:
 - projet de recherche stratégique financé par le CRSNG et en partenariat avec le MDDELCC

Recherche en eau souterraine: deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (réseau Immatsiak)

- ✓ Les impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines seront plus importants aux hautes latitudes à cause de la dégradation du pergélisol (un analogue pour anticiper les impacts dans le sud).
- ✓ La dégradation du pergélisol pourrait favoriser la connexion des aquifères normalement confinés avec la surface (une disponibilité plus grande et un usage accru de cette ressource en découleraient).
- ✓ La demande d'approvisionnement fiable en eau potable s'accroîtra avec le développement du Nord.
- ✓ L'eau de surface en régions froides est une source peu fiable.

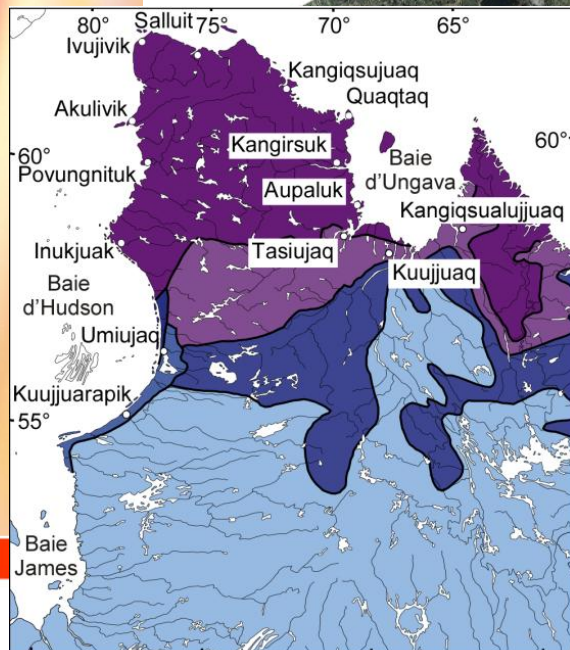
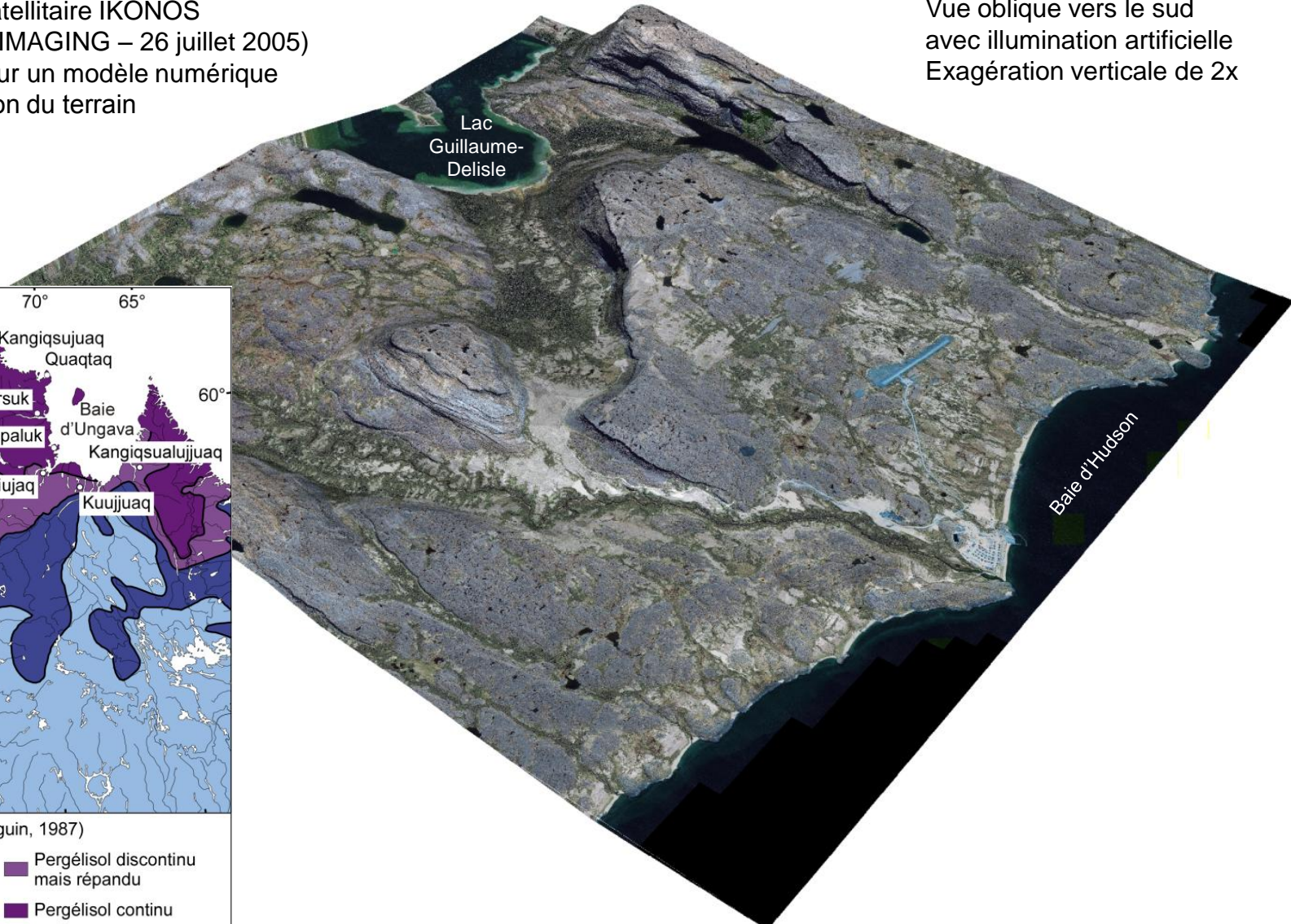


Déploiement d'un sous-réseau au Québec nordique et développement d'une expertise en hydrogéologie des régions nordiques.

Recherche en eau souterraine: deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (localisation du village nordique d'Umiujaq et de la vallée Tasiapik)

Image satellitaire IKONOS
(SPACE IMAGING – 26 juillet 2005)
drapée sur un modèle numérique
d'élévation du terrain

Vue oblique vers le sud
avec illumination artificielle
Exagération verticale de 2x



Légende (selon Allard et Seguin, 1987)

- | | |
|---|--|
|  Pergélisol sporadique |  Pergélisol discontinu mais répandu |
|  Pergélisol discontinu et dispersé |  Pergélisol continu |

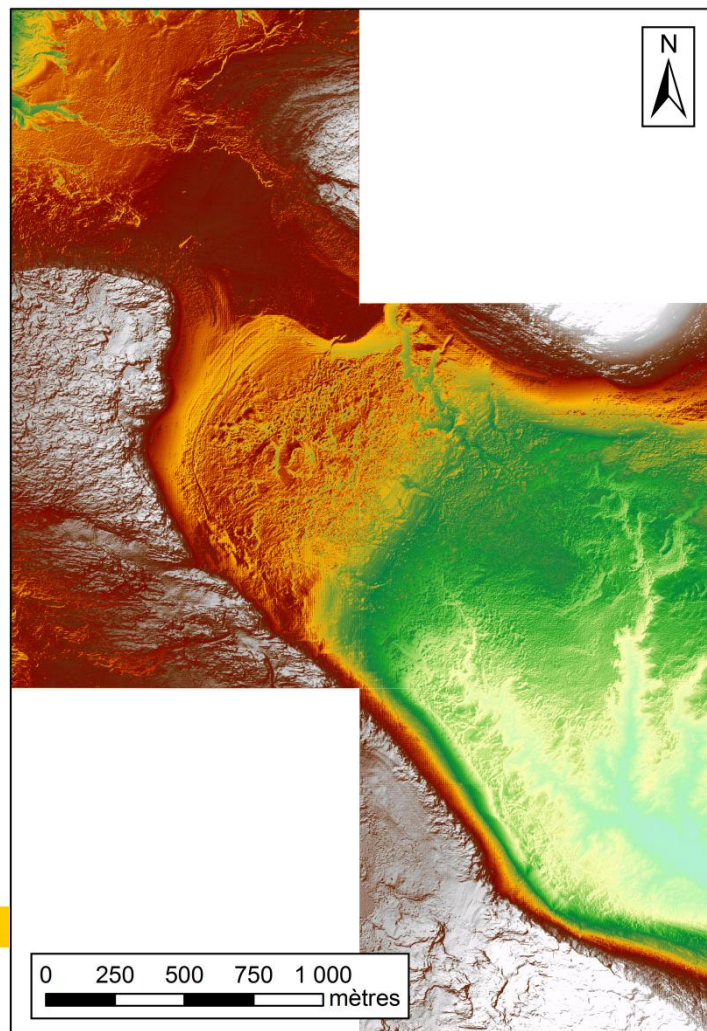
Recherche en eau souterraine: deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (localisation de la vallée Tasiapik)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (connaissances du territoire)



Image satellitaire IKONOS
(SPACE IMAGING – 26 juillet 2005)



Modèle numérique d'élévation obtenu d'un
levé LiDAR aéroporté en juillet 2010
(© Gouvernement du Québec)

Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (connaissances du territoire – délimitation du bassin versant)

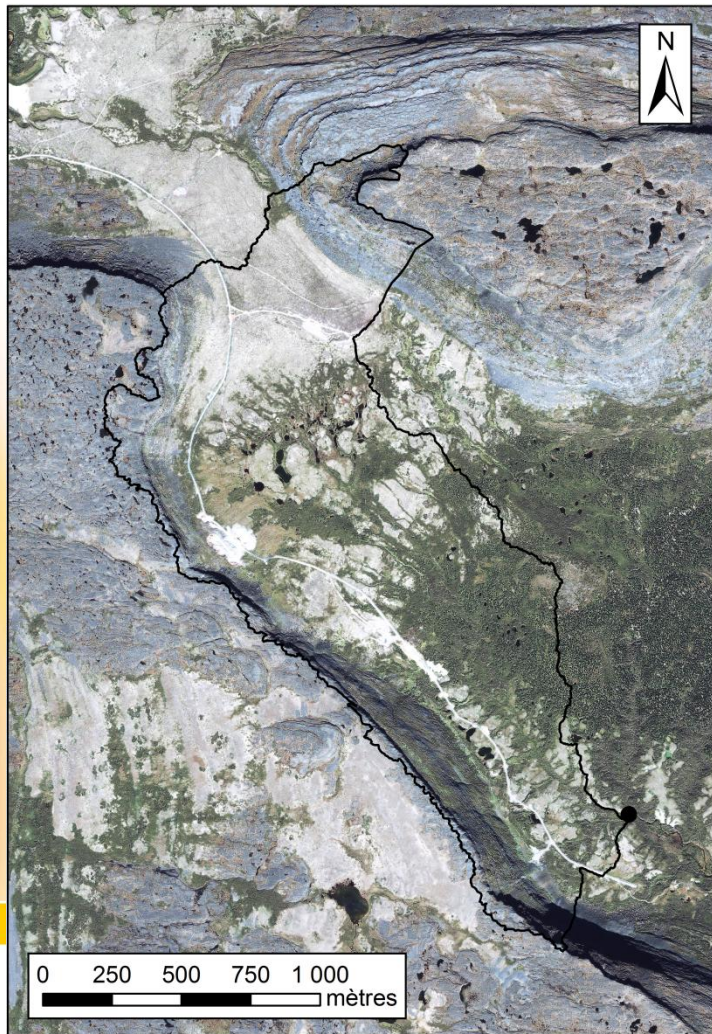
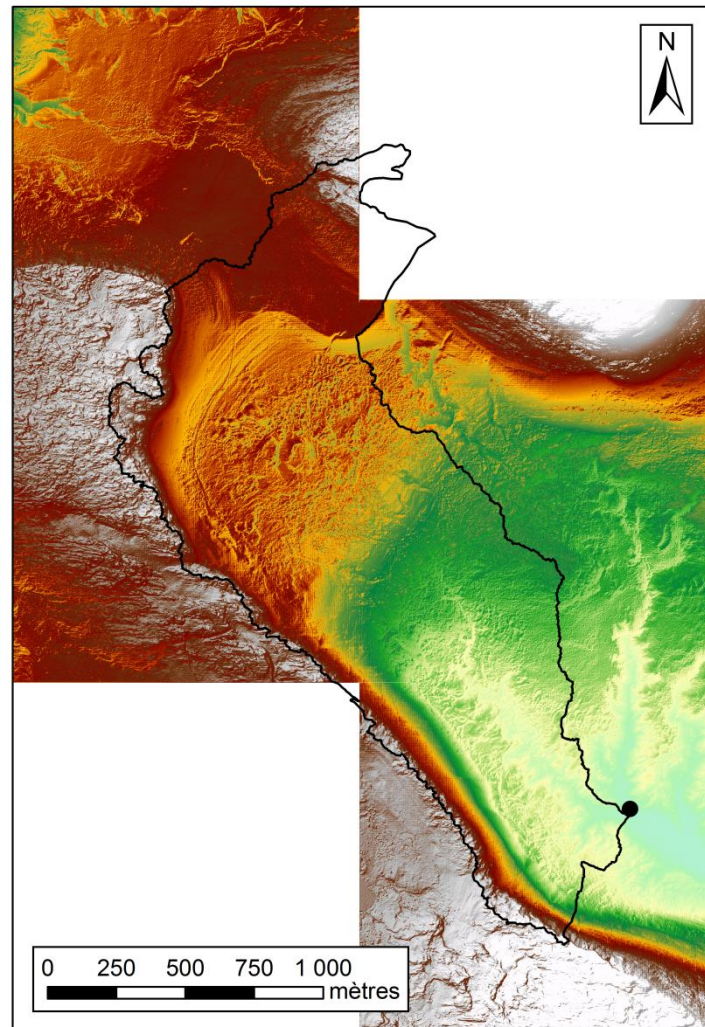


Image satellitaire IKONOS
(SPACE IMAGING – 26 juillet 2005)



Modèle numérique d'élévation obtenu d'un
levé LiDAR aéroporté en juillet 2010
(© Gouvernement du Québec)

Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (connaissances du territoire – cartographie des dépôts quaternaires)

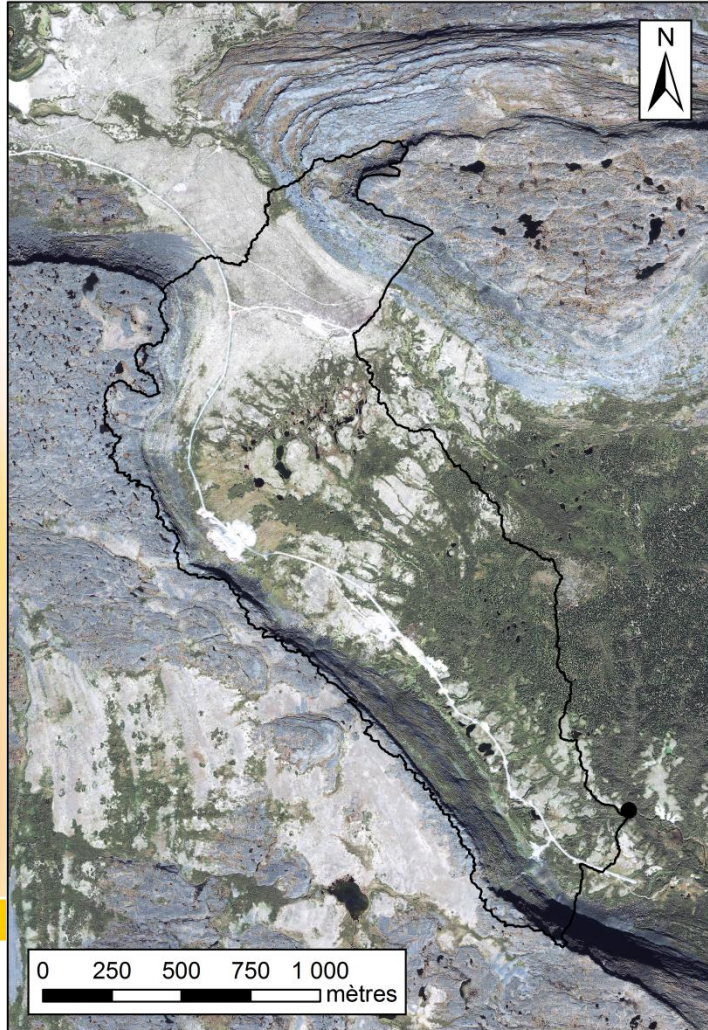
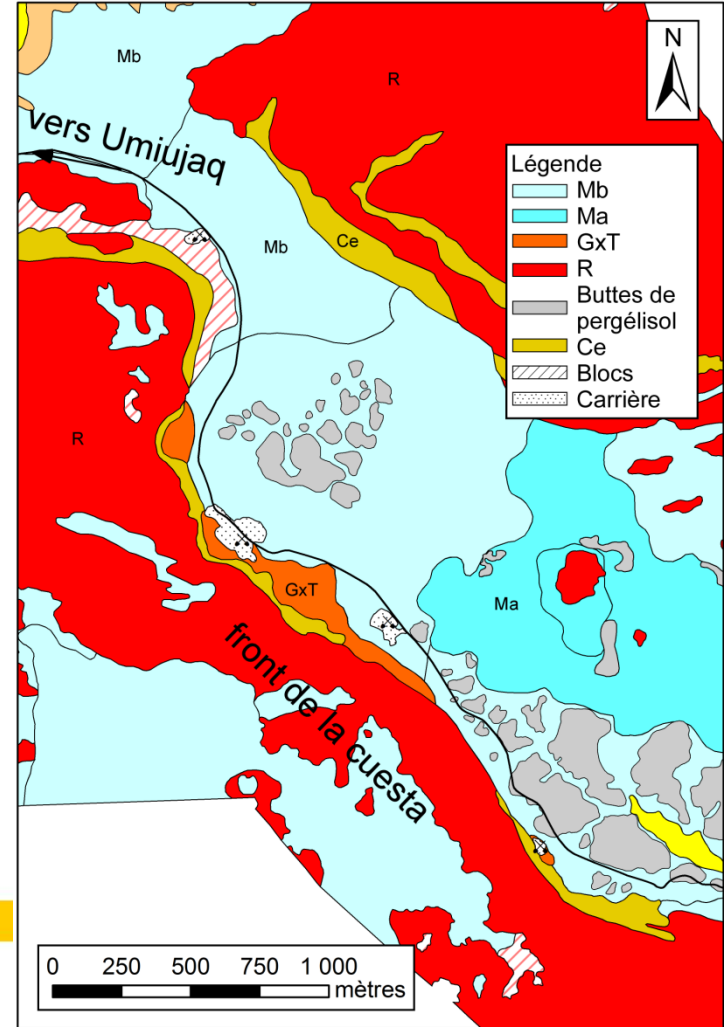


Image satellitaire IKONOS
(SPACE IMAGING – 26 juillet 2005)

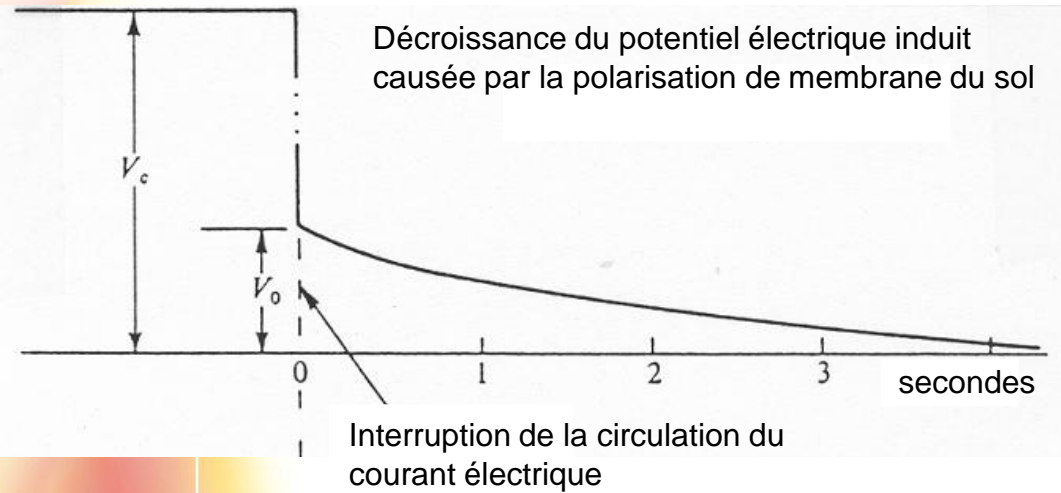


Carte des dépôt quaternaires
(Poly-Géo inc., 2014)

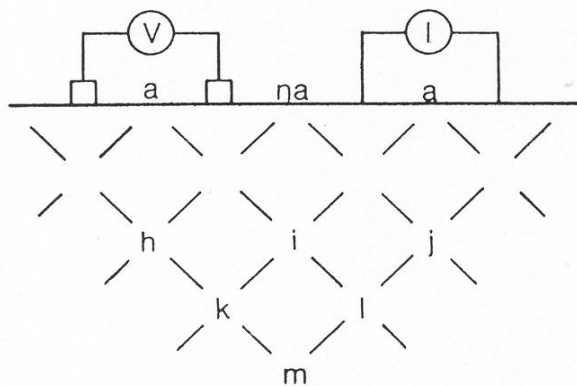
Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation cryohydrogéophysique: localisation)



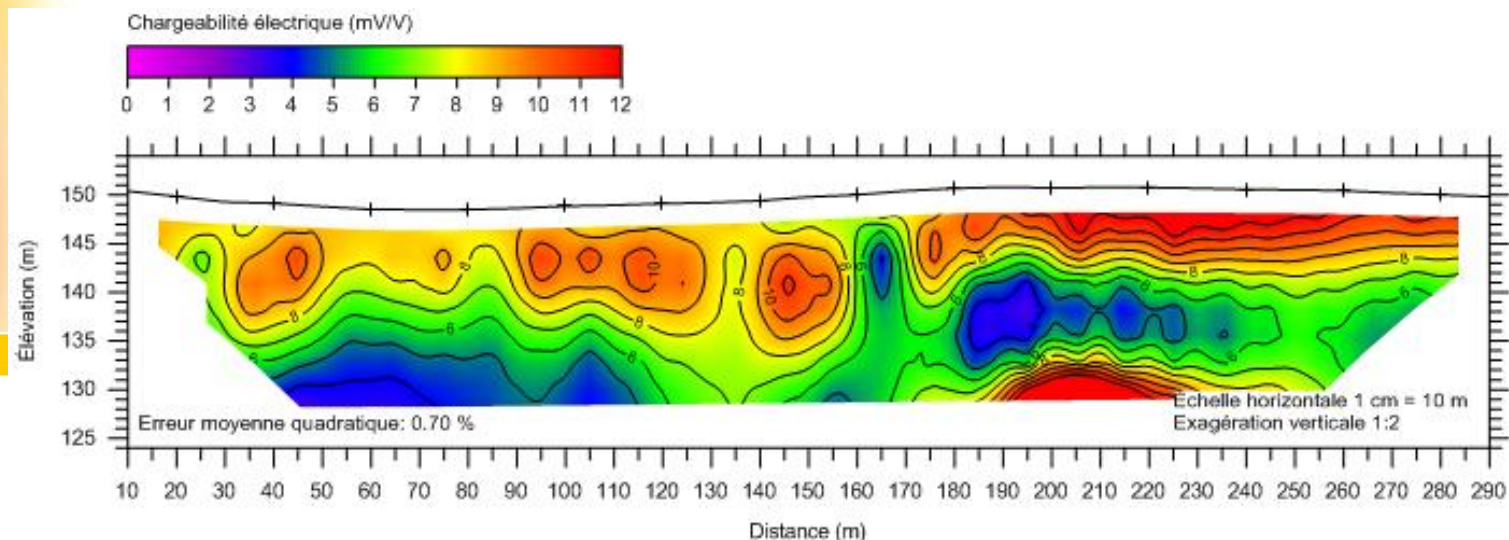
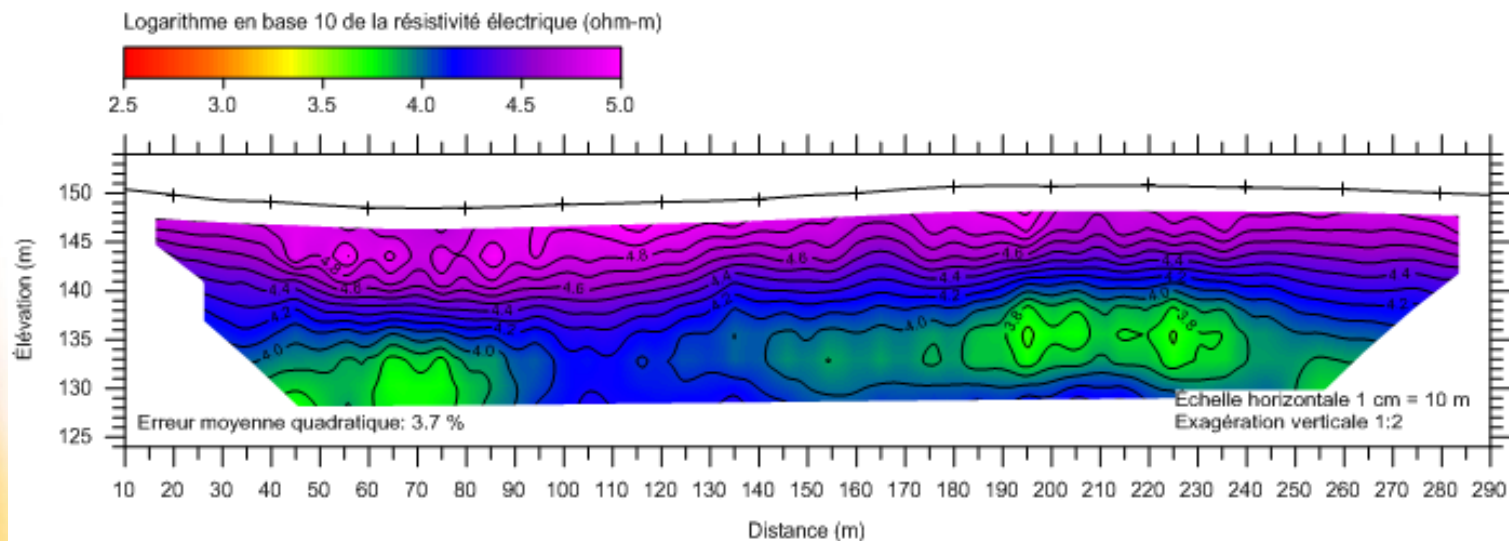
Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation cryohydrogéophysique: tomographie de polarisation provoquée)



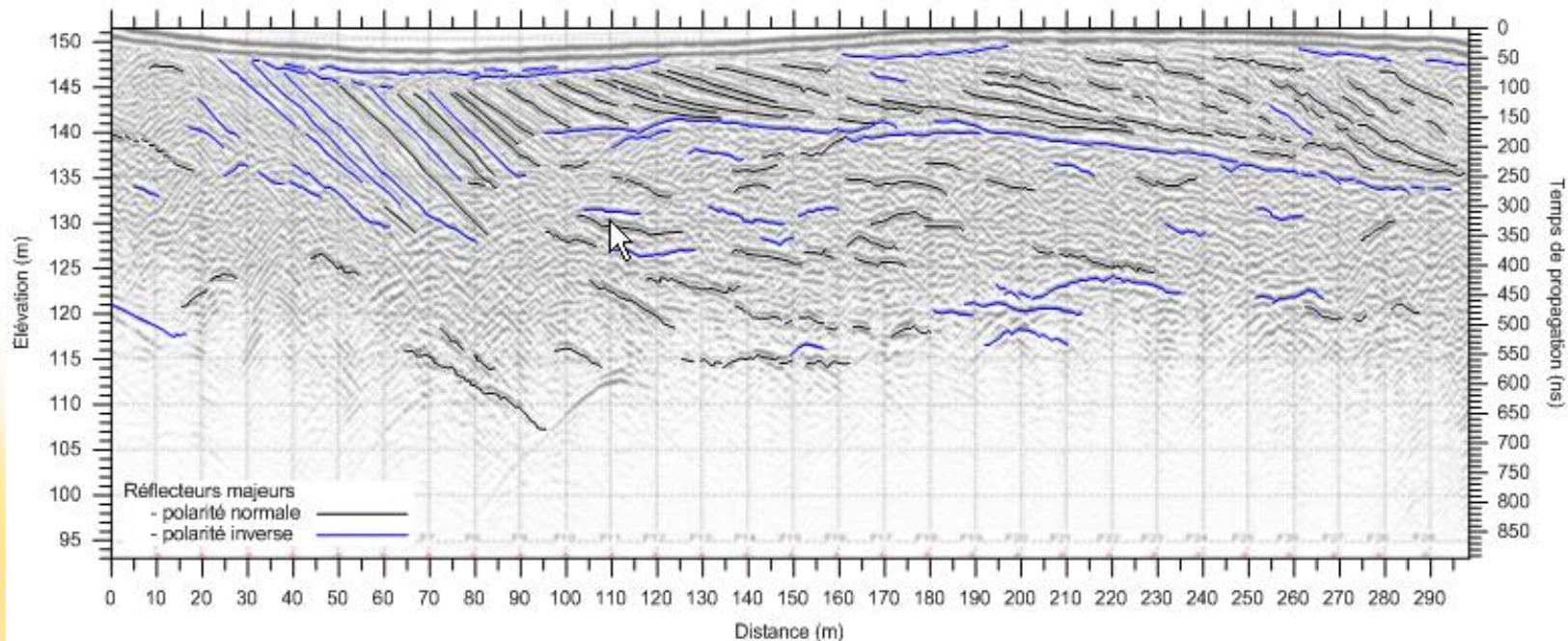
Configuration du dipôle-dipôle



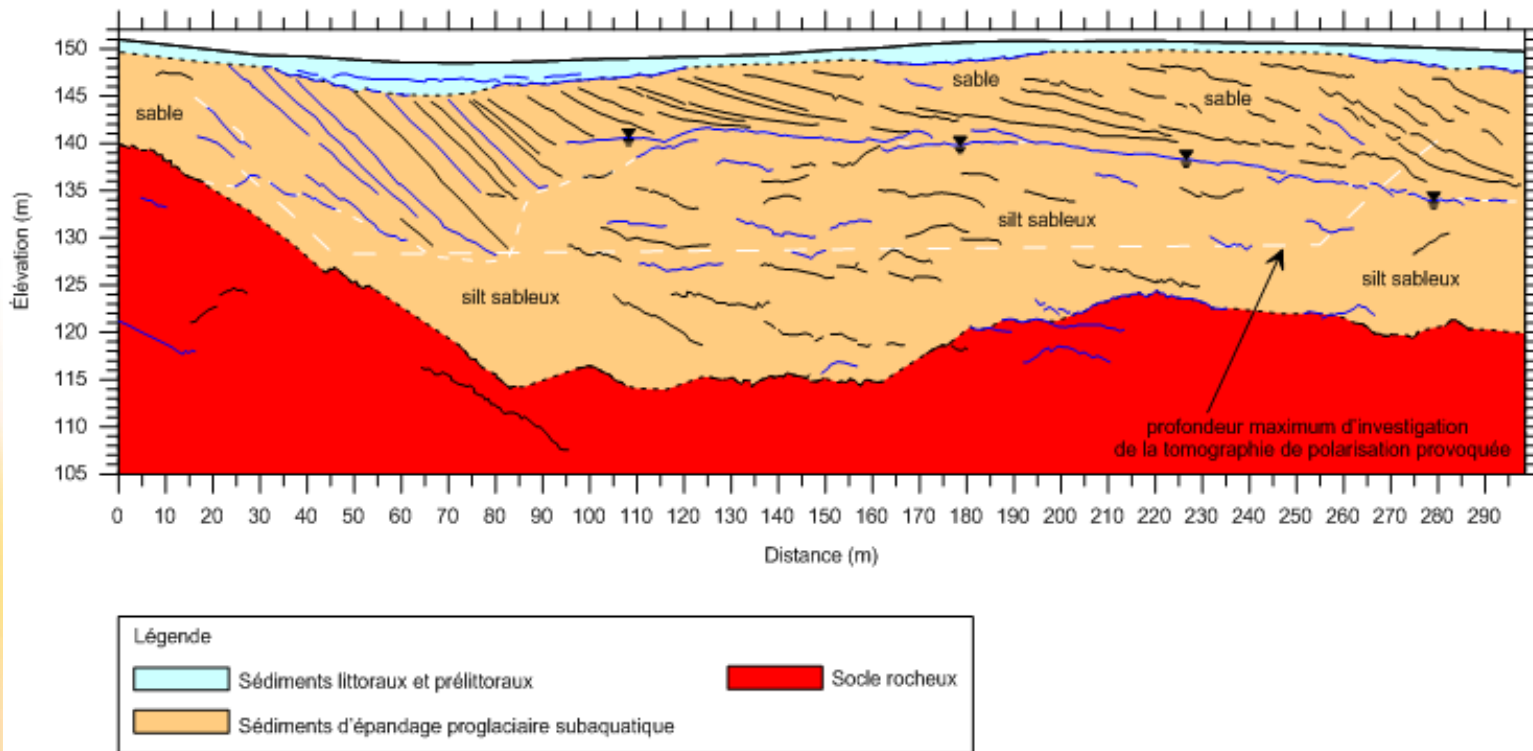
Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation cryohydrogéophysique: tomographie de polarisation provoquée)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation cryohydrogéophysique: profilage de géoradar)



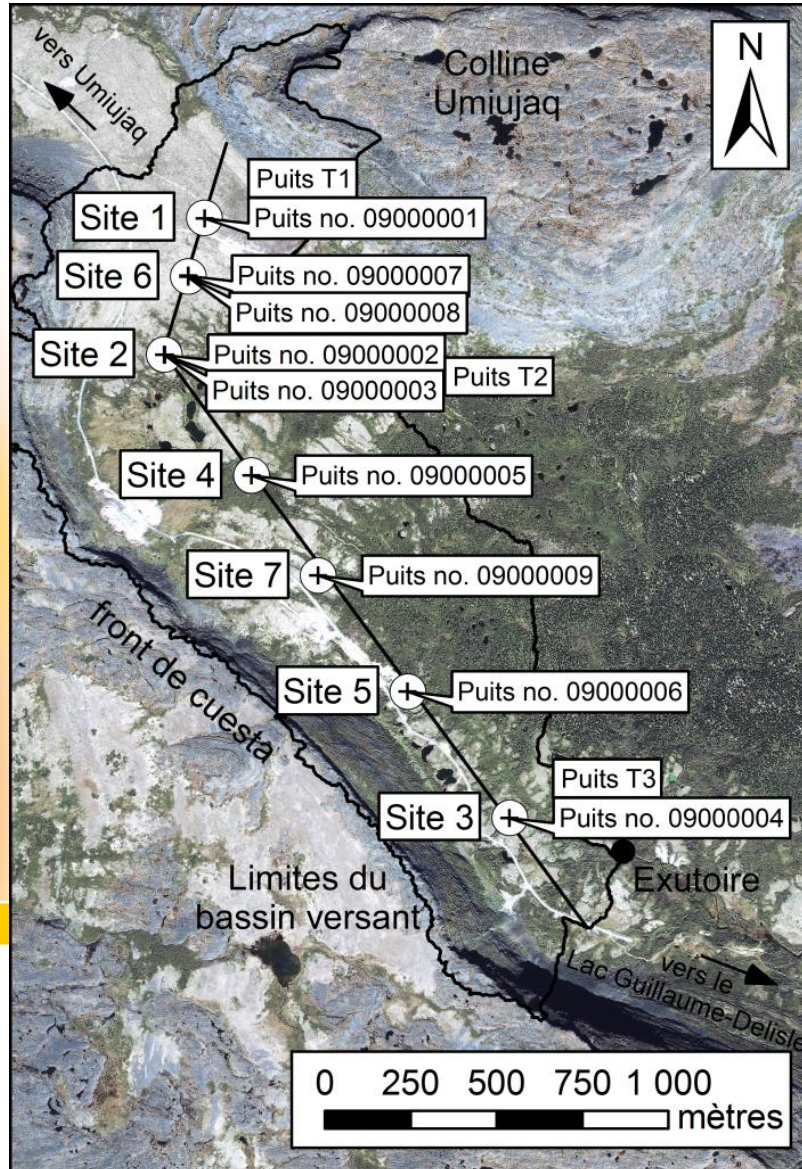
Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation cryohydrogéophysique: coupe hydrostratigraphique interprétative)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation hydrogéologique: campagne de forages à l'été 2012)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation hydrogéologique: campagne de forages à l'été 2012)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation hydrogéologique: campagne de forages à l'été 2012)



Sédiments littoraux et pré-littoraux superficiels (sédiments intertidaux)



Sédiments fins d'eau profonde



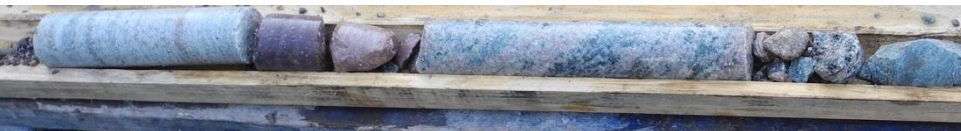
Sédiments d'épandage proglaciaire subaquatique



Till de fond

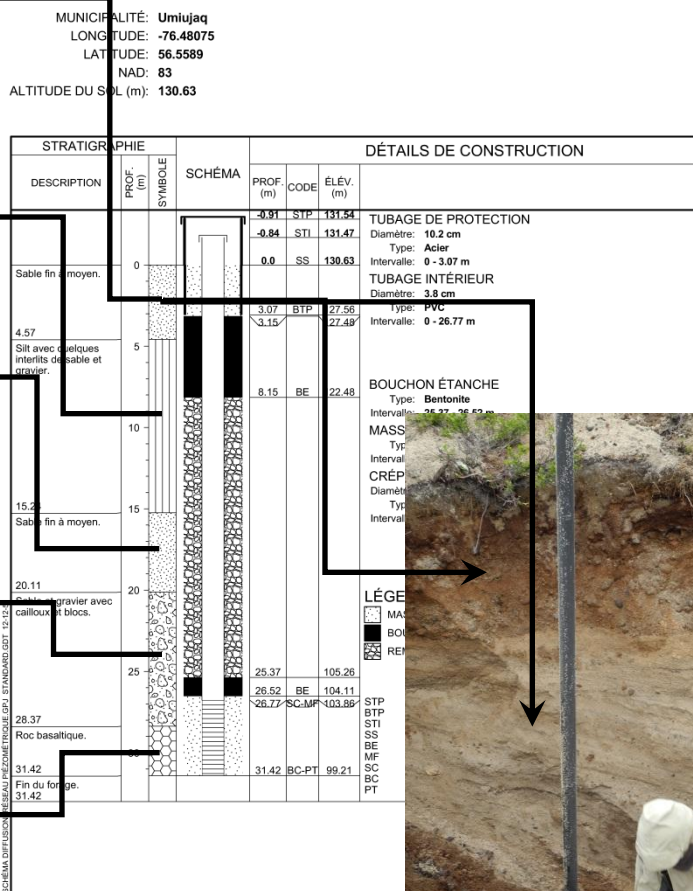


Socle rocheux (basalte)

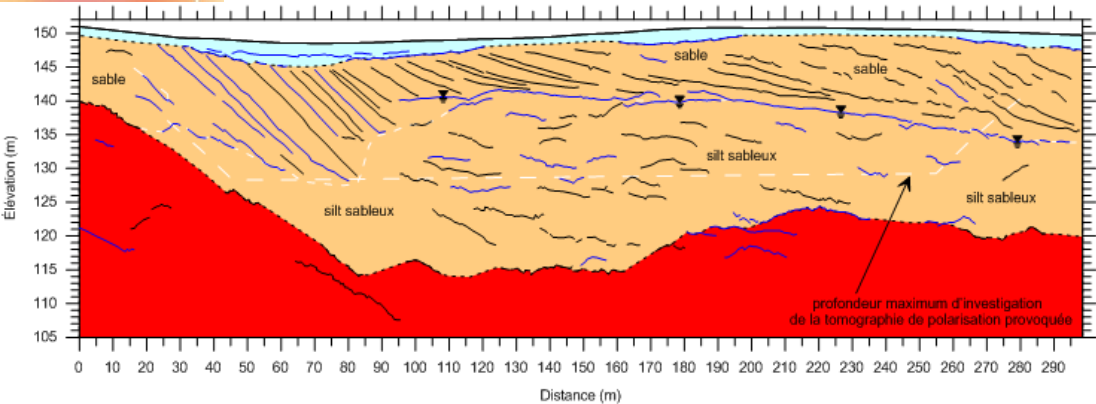
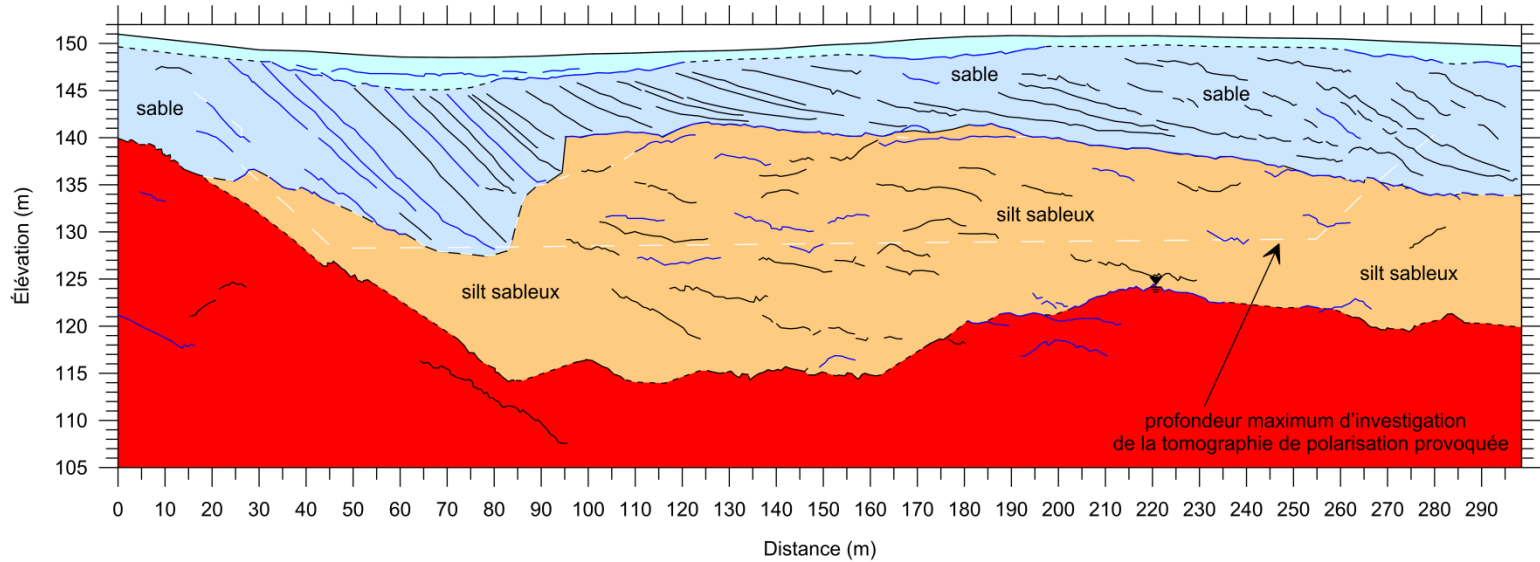


Socle rocheux (quartzite)

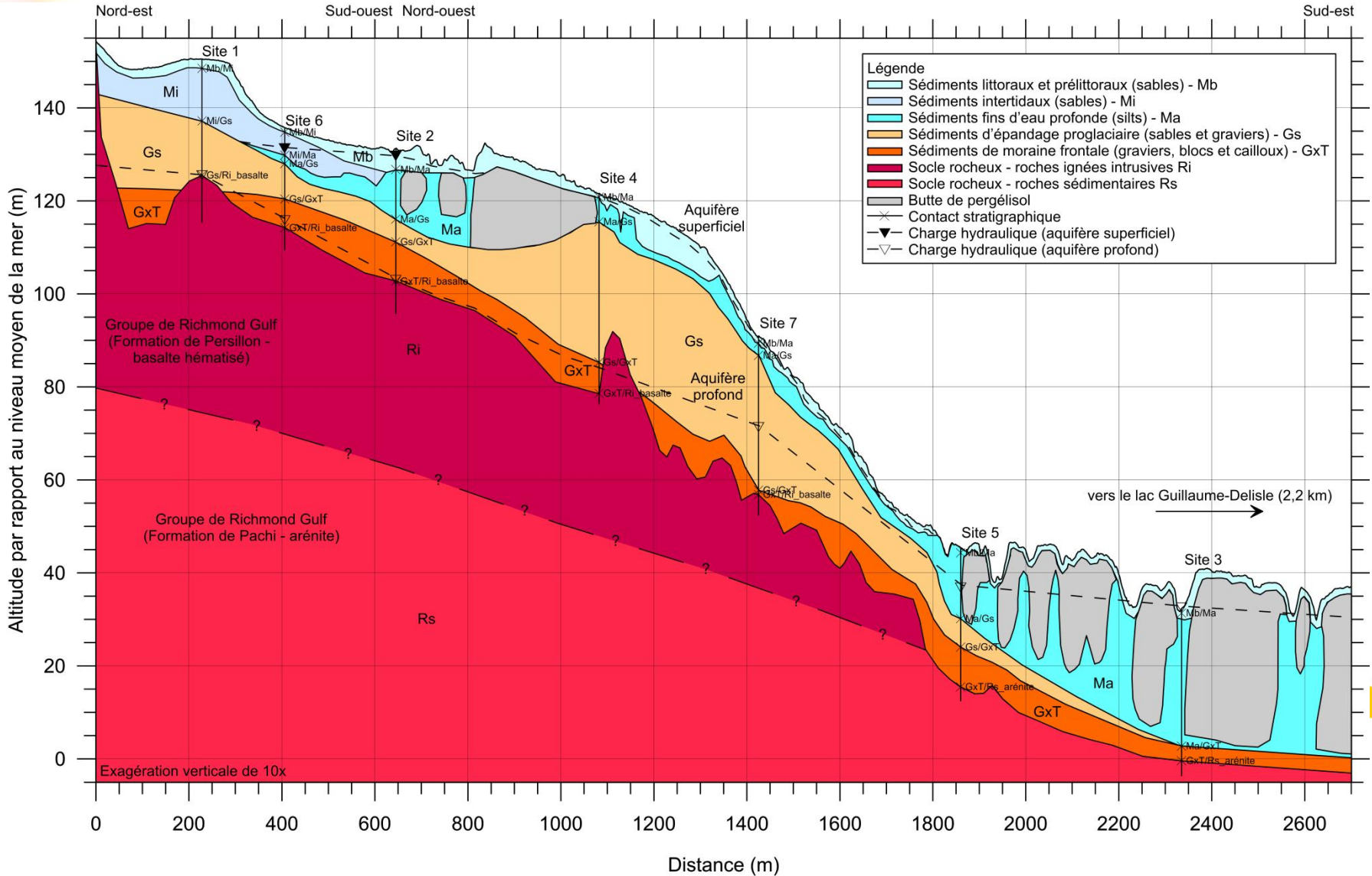
SCHÉMA DU PIÉZOMÈTRE No. 09000003 (Site 2)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation cryohydrogéophysique: coupe hydrostratigraphique interprétative)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation hydrogéologique: coupe cryohydrostratigraphique interprétative)



Deuxième exemple d'un bassin versant à Umiujaq (investigation hydrogéologique: projet de recherche stratégique financé par le CRSNG et en partenariat avec le MDDELCC)

- ✓ Modèle géologique 3D du bassin versant par investigation cryohydrogéophysique:
 - David-Roy Banville (projet de recherche M.Sc. no. 1, R. Fortier)
- ✓ Bilan hydrique du bassin versant :
 - Renaud Murray (projet de recherche M.Sc. no. 2, J.-M. Lemieux)
- ✓ Dynamique thermo-hydrogéologique à l'échelle des buttes de pergélisol:
 - Jonathan Sottas (projet de recherche Ph.D. no. 1, J.-M. Lemieux)
- ✓ Utilisation de traceurs naturels pour déterminer la dynamique des eaux souterraines et leur temps de résidence dans le bassin versant :
 - Marion Cochand (projet de recherche Ph.D. no. 2, J. Molson)
- ✓ Anticipation des impacts du réchauffement climatique sur les eaux souterraines et le pergélisol dans le bassin versant:
 - Masoumeh Parhizkar (projet de recherche Ph.D. no. 3, R. Therrien)

Conclusions

- ✓ Recherche en eau souterraine:
 - basée sur les connaissances de la région d'étude (cartes des formations géologiques et des dépôts quaternaires)
 - recueil des informations de forage disponibles
 - production de coupes hydrostratigraphiques
 - identification de cibles potentiels de forage et d'implantation de puits
 - campagne de forages et installation de puits (succès!!??)

- ✓ Recherche en eau souterraine en régions nordiques:
 - un défi encore plus complexe:
 - il faut considérer l'autre état de l'eau (présence du pergélisol)
 - connaissances sur les environnements périglaciaires
 - quasi-absence d'information (cartes incomplètes, peu de forages, ...)
 - expertise et pratique en hydrogéologie des régions nordiques à développer
 - apport de la géophysique non-négligeable (réalisation d'une campagne d'investigation cryohydrogéophysique avant les forages, identification de zones anormales et de cibles de forage)

Conclusions

- ✓ Impacts des changements climatiques sur les régions nordiques:
 - le réchauffement climatique anticipé au cours des prochaines décennies sera plus important aux hautes latitudes nordiques
 - les impacts de ce réchauffement climatique sur les écosystèmes, les infrastructures nordiques et les communautés inuites sont considérés négatifs pour la plupart
 - l'alimentation en eau potable des communautés inuites est problématique
 - l'exploitation de l'eau souterraine devient une source envisageable d'eau potable:
 - la dégradation et le dégel du pergélisol favoriseront la recharge des aquifères en profondeur par l'infiltration facilitée de l'eau de surface
 - il s'agit d'un des rares impacts positifs du réchauffement climatique

Remerciements

- ✓ Communautés inuites d'Umiujaq et de Salluit:
 - Corporation foncière Anniturvik (Ernest Tomic)
 - Village nordique d'Umiujaq (Noah Inukpuk)
 - Corporation foncière Qaqqalik (Jean-Jacques Morriset)
 - Village nordique de Salluit
- ✓ Jonathan Leblanc, Mélanie Mayers et Louis Beaupré, étudiants en génie géologique (Université Laval)
- ✓ Majid El Baroudi, Renaud Murray, David-Roy Banville et Jonathan Sottas, étudiants à la maîtrise et au doctorat en sciences de la Terre (U. Laval)
- ✓ Guy Chapdelaine, Cédrik Raymond et Sébastien Prescott de Gestion Chapdelaine inc.
- ✓ Sébastien Moore, Louis Ricard, Raynald Lacouline et Diane Myrand du MDDELCC
- ✓ MDDELCC et CRSNG
- ✓ Centre d'études nordiques (Claude Tremblay et Denis Sarrazin)
- ✓ Richard Lévesque de Poly-Géo inc.

Une partie de l'équipe de recherche de l'été 2014

