

Production de cartes des caractéristiques du pergélisol afin de guider le développement de l'environnement bâti pour quatre communautés du Nunavik

Projet # 520004-XXI

Rapport final

Emmanuel L'Hérault, Michel Allard, Daniel Fortier, Andrée-Sylvie Carbonneau,
Jérémie Doyon-Robitaille, Marie-Pierre Lachance, Marc-André Ducharme, Katryne Larrivée,
Katerine Grandmont et Chantal Lemieux

Centre d'études nordiques, Université Laval

28 février 2013

A decorative graphic at the bottom of the page consists of several overlapping, stylized wave-like shapes. The colors used are a vibrant blue and a light green, with white spaces between the layers, creating a layered, 3D effect. The waves flow from the bottom left towards the top right.

AVANT-PROPOS

Les auteurs tiennent à remercier Ressources naturelles Canada pour la confiance et le financement accordés en vue de la réalisation de cette étude. Nous soulignons également la collaboration de l'Administration Régionale Kativik et du Ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire. Nous sommes redevables aussi aux communautés visitées pour leur hospitalité et leur engagement envers ce projet.

Auteurs :

- Emmanuel L'Hérault, professionnel de recherche, Centre d'études nordiques, Université Laval
- Michel Allard, professeur-chercheur, Département de géographie, Université Laval
- Daniel Fortier, professeur-chercheur, Département de géographie, Université de Montréal
- Andrée-Sylvie Carbonneau, professionnel de recherche, Centre d'études nordiques, Université Laval
- Jérémie Doyon-Robitaille, professionnel de recherche, Centre d'études nordiques, Université Laval
- Marie-Pierre Lachance, étudiante 1^{er} cycle, Département de géographie, Université Laval
- Marc-André Ducharme, étudiant 1^{er} cycle, Département de géographie, Université Laval
- Katryne Larrivée, étudiante 2^e cycle, Département de géographie, Université de Montréal
- Katerine Grandmont, étudiante 2^e cycle, Département de géographie, Université de Montréal
- Chantal Lemieux, professionnel de recherche, Département de géographie, Université de Montréal

Citation recommandée :

L'Hérault E., M. Allard, D. Fortier, A-S. Carbonneau, J. Doyon-Robitaille, M-P. Lachance, M-A. Ducharme, K. Larrivée, K. Grandmont et C. Lemieux (2013). Production de cartes prédictives des caractéristiques du pergélisol afin de guider le développement de l'environnement bâti pour quatre communautés du Nunavik. Rapport final. Québec, Centre d'études nordiques, Université Laval. 90 p.

Les auteurs tiennent à remercier également les personnes suivantes pour leur participation à la présente étude :

- Michel Paquette, étudiant 1^{er} cycle, Département de géographie, Université de Montréal
- Michel Sliger, étudiant 1^{er} cycle, Département de géographie, Université de Montréal
- Tania Gibéryen, étudiante 3^e cycle, Département de géographie, Université Laval
- Myriam Hotte, étudiante 1^{er} cycle, Département de géographie, Université de Montréal
- Stéphanie Coulombe, étudiante 1^{er} cycle, Département de géographie, Université de Montréal

Adresses courriel de correspondance:

Emmanuel.lherault@cen.ulaval.ca, michel.allard@cen.ulaval.ca, daniel.fortier@umontreal.ca

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres.

Réalisé en partenariat avec Ressources naturelles Canada et Ouranos



TABLE DES MATIÈRES

Avant-Propos.....	ii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	vii
1 Introduction et mise en contexte.....	1
2 Méthodologie.....	5
2.1 Localisation des villages à l'étude.....	5
2.2 Cartographie étendue et révisée des dépôts de surface.....	6
2.3 Observations sur le terrain.....	8
2.4 Caractérisation des propriétés géotechniques du pergélisol.....	10
2.4.1 Essais géotechniques.....	11
2.4.2 Analyses par scanner tomodensitométrie.....	15
2.5 Compilation des informations géoscientifiques et analyses multicritères.....	17
2.5.1 Production des cartes de conditions du pergélisol et des contraintes sévères à l'aménagement.....	18
2.5.2 Production des cartes de pentes.....	20
2.5.3 Analyse multicritères et production des cartes indicelle du risque.....	22
3 Résultats.....	26
3.1 Puvirnituq.....	26
3.1.1 Répartition spatiale des unités géologiques de surface, propriétés géotechniques et conditions de pergélisol.....	26
3.1.2 Carte de potentiel d'aménagement.....	37
3.2 Akulivik.....	39
3.2.1 Répartition spatiale des unités géologiques de surface, propriétés géotechniques et conditions de pergélisol.....	39
3.2.2 Carte de potentiel d'aménagement.....	48
3.3 Kangirsuk.....	49
3.3.1 Répartition spatiale, propriétés géotechniques et conditions de pergélisol des unités géologiques de surface.....	49
3.3.2 Carte de potentiel d'aménagement.....	57
3.4 Tasiujaq.....	58
3.4.1 Répartition spatiale, propriétés géotechniques et conditions de pergélisol des unités géologiques de surface.....	58
3.4.2 Carte de potentiel d'aménagement.....	64
4 Discussion.....	65
4.1 Évolution des conditions de pergélisol en fonction des différents scénarios climatiques.....	67
4.2 Vision de planification.....	69
5 Conclusion.....	70
6 Références.....	71
7 Glossaire.....	75
8 Annexes.....	76
Carte des unités géologiques de surface et carte du potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes, Puvirnituq, Nunavik.....	77
Carte des unités géologiques de surface et carte du potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes, Akulivik, Nunavik.....	79
Carte des unités géologiques de surface et carte du potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes, Kangirsuk, Nunavik.....	81
Carte des unités géologiques de surface et carte du potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes, Tasiujaq, Nunavik.....	83

LISTE DES FIGURES

Figure 1: A) Évolution des températures de l'air moyennes annuelles, nord-est du Canada, 1948-2011. (Données provenant d'Environnement Canada). Changements de la température moyenne annuelle de l'air (B) et des précipitations totales annuelles (C) pour l'horizon 2050 projetés à partir de six sorties MRCC (Tirée de Brown <i>et al.</i> , 2012).....	4
Figure 2 : Localisation des villages visés par la présente étude (points rouges).....	5
Figure 3 : A) Cartes des unités géologiques de surface produites dans une étude antérieure (Tirée de Allard <i>et al.</i> , 2007). B) Carte des dépôts de surface étendue et révisée de la communauté d'Akulivik produite dans le cadre de la présente étude.	7
Figure 4: Localisation et documentation des éléments de surface tels que les affleurements rocheux (A), les sillons de fente de gel (B) et les ostioles (C). Sondages de surface avec tarière (D), pelle (E) et rétrocaveuse (F). G) Forage superficiels avec une foreuse portative et H) description sommaire de l'échantillon sur le terrain. Échantillon de pergélisol gelé non remanié prélevé à Akulivik (I) et Kangirsuk (J).	9
Figure 5 : Ordre des analyses en laboratoire selon l'état de l'échantillon.....	10
Figure 6 : Abaque de plasticité de Casagrande (Tirée de Holtz et Kovacs, 1991)	12
Figure 7 : A) Échantillon posé sur la base de la cellule. B) Piston reposant sur la pierre poreuse et l'échantillon. C) Montage de l'équipement dans une chambre à température contrôlée (+2 °C). D) Échantillon après consolidation au dégel.	14
Figure 8: Cellule de tassement au dégel au début du test (A) et à la fin du test (B).....	14
Figure 9 : A) Carotte gelée extraite sur le terrain. B) Scanneur tomodynamétrique. C) Visualisation de la cryostructure avec le logiciel Osiris TM à partir d'une image en format DICOM. Reconstruction en trois dimensions des éléments discrétisés. On observe de gauche à droite les éléments suivants : l'air, la glace et le sédiment (tirée de L'Hérault, 2009). E) Sous-échantillonnage des images tomographiques à l'aide d'un gabarit et reconstruction en trois dimensions du sous-échantillon.	16
Figure 10 : Diagramme synthèse des différentes couches d'information géographique utilisées dans l'analyse matricielle en vue de produire des cartes de potentiel de construction selon les conditions de pergélisol et les pentes.	17
Figure 11: Informations géoscientifiques utilisées pour la construction des cartes de conditions du pergélisol et carte des conditions du pergélisol pour la communauté de Puvirnituq.	19
Figure 12: Carte des contraintes sévères à l'aménagement pour la communauté de Puvirnituq. Les plans d'eau et les zones inondables sont particulièrement importantes spatialement.	20
Figure 13: Pour la région d'Akulivik : A) Orthomosaïque générée à partir des photographies aériennes prises en 2010. B) MNE de 2010 de faible résolution (4 m x 4 m) disponible pour la zone en périphérie du milieu bâti. C) Superposition du MNE haute résolution (1 m x 1 m) produit à partir des données LIDAR de 2010 sur le MNE faible résolution (zone bleue). D) comblement des zones non couvertes par les deux MNE de 2010 (zone bleue et rose) avec le MNE haute résolution (1 m x 1 m) de 2002 produit par procédé photogrammétrique. E) MNE mixte qui couvre la totalité de la superficie de la nouvelle carte des dépôts de surface et des conditions du pergélisol (Cadre rouge). Carte de relief ombragé (F) et carte des pentes (G) produites à partir du MNE mixte.....	21
Figure 14: Structure et pondération de l'information géospatiale à l'intérieure de l'équation matricielle utilisée pour calculer l'indice de risque.....	24
Figure 15: A) Bombement topographique que forment les dépôts de sédiments littoraux et pré-littoraux à l'intérieure des vallées mal drainées. Ces dépôts sont essentiellement sableux et stratifiés dont l'épaisseur peut atteindre plus de deux mètres (B et C).	27
Figure 16: Dépression mal drainée comblée de sédiments marins fins d'eau profonde (A) et recouverts d'une mince couche de sédiments littoraux et pré-littoraux sableux en surface (Mn/Mb) (B). C) Sédiments marins fin	

d'eau profonde façonnés en surface par l'action alluvial (At/Mb). D) Les sédiments alluviaux consiste en une fine couche de silt sableux oxydé.....	29
Figure 17: A) et B) Échantillons de pergélisol prélevés aux forages PUV_FOR1A (Tirée de Allard et <i>al.</i> , 2007). C), D) et E) Échantillons de pergélisol prélevés aux forages P10_F5 entre 0,96 et 2,10 m de profondeur. F) Profils cryostratigraphiques observés aux forages P10_F1, P10_F3 et P10_F5. G) Tableaux synthèse des cryostructures observées dans les dépôts de Puvirnituk.	30
Figure 18: A) Courbes granulométriques et B) Teneurs gravimétriques en eau après fusion pour les échantillons prélevés aux forages P10_F1, P10_F3 et P10_F5 dans l'unité de sédiments marins fins d'eau profonde (Mn/Mb). C) Essai de tassement et consolidation au dégel réalisé sur un échantillon prélevé dans le plafond du pergélisol au forage P10_F5 entre 1,41 et 1,56 m de profondeur.....	31
Figure 19: A) Vue aérienne des moraines de De Geer de la région de Puvirnituk. B) Aperçu d'une moraine et son armure de blocs présent en surface. C) Fine couche de sables littoraux et pré-littoraux (Mb) qui recouvre le till. Diamicton à dominance sableuse (D) ou silteuse (E) qui compose le till de la région. F) Affleurement de till remanié (Tx) au sein d'une dépression comblée de dépôts marins fins d'eau profonde (Mn/Mb).	33
Figure 20: A) Échantillons de till prélevé entre 11,50 et 11,80 m de profondeur sous les sédiments marins fins d'eau profonde lors d'un forage réalisé au fond d'une dépression dans le secteur de l'aéroport (Tirée de L'Hérault et <i>al.</i> , 2012). B) Échantillons de till remanié (Tx) prélevé au forage PUV_F4 entre : 0,88 et 0,96 m (B) et 1,54 et 1,67 m (C) de profondeur (Tirée de L'Hérault et <i>al.</i> , 2012).	34
Figure 21: A) Affleurement rocheux formant d'imposantes plates-formes dont la topographie est très peu accidentée. B) Couche superficielle de till remanié qui recouvre un affleurement rocheux (Tx/R). C) Couche superficielle de sable et gravier littoraux et pré-littoraux adossée sur un affleurement rocheux. D) Versant rocheux qui plonge sous les dépôts meubles avec une pente de 17°.	35
Figure 22: Mécanisme de formation et d'évolution du soulèvement gélival en surface des affleurements rocheux (Tirée de Michaud et Dionne, 1987) avec des exemples observés dans la région à l'étude de Puvirnituk. Initialement, le substrat rocheux présente deux systèmes de fissures, l'un vertical, l'autre horizontal, dans lesquelles l'eau s'infiltré (A). Par la suite, la concentration de l'eau entre le front d'engel et le pergélisol (B) favorise la formation d'une lentille de glace ce qui initialise le soulèvement de fragments rocheux (C). En se poursuivant, le soulèvement donnera naissance successivement à un monticule en dôme (D), à un monticule éventré (E) puis, en phase terminale, à un monticule caractérisé par d'une dépression centrale et un bourrelet périphérique constitué de petits fragments gélifractés (F).	36
Figure 23: A) Route affectée par des tassements importants dans une dépression mal drainée comblée de sédiments marins fins riche en glace et où l'accumulation d'eau de part et d'autre favorise la thermo-érosion du pergélisol. B) Maison construite dans un secteur où le pergélisol est riche en glace. L'épaisseur du radier n'est pas suffisante pour permettre la remontée du pergélisol à l'intérieur de celui-ci rendant précaire la stabilité de l'infrastructure.....	38
Figure 24:A) Dépôts littoraux et pré-littoraux (Mn) grossiers sous forment d'imposantes plages de galets soulevées. B) Dépôts littoraux et pré-littoraux sableux et fossilifères sillonnés par des fentes de gel. C) et D) Excavation d'un coin de glace en bordure de la piste d'atterrissage d'Akulivik à l'été 1991. E) Sédiments littoraux et pré-littoraux (Mn) prélevé au forage AKU_F2 entre 2,4 et 3 m de profondeur et F) contact stratigraphique observé à 1,95 m de profondeur (forage AKU_F4) entre les sédiments littoraux et pré-littoraux et les sédiments marins d'eau profonde (Tirée de L'Hérault et <i>al.</i> , 2012).	42
Figure 25: Échantillons de pergélisol prélevés dans les sédiments littoraux et pré-littoraux (A, B, C) et dans les sédiments marins d'eau profonde (D, E, F, G, H, I). J) Tableau synthèse des cryostructures du pergélisol observées dans les dépôts meubles d'Akulivik. K) Essais de tassement et consolidation au dégel réalisés sur des échantillons prélevés dans le plafond du pergélisol aux forages A10_F1, A10_F4 et A10_F5.	43
Figure 26: A) Profils cryostratigraphiques et B) teneurs en eau après fusion du pergélisol en fonction de la profondeur, communauté d'Akulivik.	44
Figure 27: A) Ostioles à bourrelets dans le till qui traversent la mince couche de sédiments littoraux et pré-littoraux. B) Diamicton grisâtre (till) avec lentilles de glace millimétriques. Échantillons de till gelé prélevés à l'aéroport	

par L'Hérault *et al.*, 2012 entre 4,16 m et 4,60 m et soumis à un essai de consolidation au dégel. D) Dépôt fluvioglaciaire au nord de la communauté présentement en exploitation dont la partie superficielle contient plusieurs blocs décimétriques sub-arrondis imbriqués dans une matrice sablo-graveleuse (E) et sous laquelle on retrouve une séquence de lits obliques sableux.46

- Figure 28: A) Affleurement rocheux d'importance dans la zone bâtie de la communauté d'Akulivik. Substrat rocheux visible sur la rive nord de la rivière Illukotat légèrement en aval du réservoir d'eau potable à l'est de la communauté.47
- Figure 29: A) Ligne de délavage du till dans le paysage qui détermine la limite maximale de la transgression marine postglaciaire. B) Niveau de terrasse marine sur laquelle le till a été recouvert de dépôt intertidaux (Mit) et littoraux (Mn).49
- Figure 30: A) buttes cryogènes dont le diamètre avoisine les 6 m. B) Sédiments fins grisâtres sablo-silteux d'origine intertidale. Dépôts de sable littoraux et pré-littoraux stratifiés et oxydés (C) qui recouvrent par endroits les sédiments intertidaux (D).50
- Figure 31: A, B, C, D, E, F) Échantillons de pergélisol prélevés dans les sédiments marins de Kangirsuk. G) tableau synthèse des cryostructures du pergélisol observées dans les sédiments marins de Kangirsuk.52
- Figure 32: A) Profil cryostratigraphique et teneurs en eau après fusion du pergélisol en fonction de la profondeur. B) Essais de tassement et consolidation au dégel réalisés sur des échantillons prélevés dans le pergélisol aux forages K11_F1.53
- Figure 33 : A) Ostiole à bourrelet dans le till. B) et C) Sédiments littoraux grossiers qui recouvrent le till. D), E) et F) Échantillons de till pergélisolé avec lentilles de glace plurimillimétriques prélevés à l'aéroport au forage KANGIR_F3 (Tirée de L'Hérault *et al.*, 2012).55
- Figure 34: Schiste métamorphique à grains fins de la région de Kangirsuk. Sa structure lamellaire le rend très sensible à la gélidisjonction et gélifraction.56
- Figure 35: A) Dépôts intertidaux anciens (Mit) derrière l'estran actuel où alternent petites buttes sablo-graveleuse séparées entre elles par des alluvions littorales silto-sableuses. B), C), D) Sable fin silteux grisâtre (Sédiments intertidaux : Mit) recouvert d'une couche de sable et gravier brunâtre (Alluvion) observé dans les excavations réalisées dans la communauté en 2010.61
- Figure 36: A) Profils cryostratigraphiques des forages T11_F3 et T11_F7. Échantillons de sédiments intertidaux pergélisolés prélevés par forages : T11_F3_167_176 (B), T11_F3_181_195 (C), T11_F3_199_212 (D), TAS_F1_310_323 (E) et TAS_F2_252_261 (F). G) Teneurs en eau après fusion du pergélisol au forage T11_F3 en fonction de la profondeur. H) Résultats des essais de consolidation réalisés sur des sédiments intertidaux échantillonnés dans le village au cours de la présente étude et ceux obtenus à l'aéroport par L'Hérault *et al.*, (2012) sur des sédiments similaires.62
- Figure 37 : A) Dépôt de sable et gravier grossier fossilifère (Mn) et glace interstitielle. B) Sédiments glacio-marins fins d'eau profonde grisâtres et massifs (MGa) avec réseau de lentilles de glace millimétriques réticulées entrecoupées par des lentilles de glace centimétriques horizontales et subverticales (Tirée de L'Hérault *et al.*, 2012).63
- Figure 38: Dépôts deltaïques glacio-marins sur la rive est (A) et la rive ouest (B) de la rivière Bérard. Le dépôt sur la rive ouest est présentement en exploitation à titre de sablière/gravière.63
- Figure 39: Les six sorties du MRCC des températures de l'air entre 1961 et 2070 pour la région de Tasiujaq.68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Superficie couverte par les anciennes cartes des unités géologiques de surface produites par Allard et al., 2007 versus celle couverte par les nouvelles cartes réalisées dans la présente étude.	6
Tableau 2: Nombre de forages, sondages, affleurements rocheux et observations, par village.	10
Tableau 3 : Définitions des composantes du sol, de leurs limites granulométriques et des symboles employés dans le système USCS (Tiré de Holtz et Kovacs, 1991).	12
Tableau 4: Indice de sensibilité au tassement et valeurs de pentes critiques selon les conditions de pergélisol.	22
Tableau 5: Classification du potentiel à la construction selon la valeur de l'indice du risque.	24
Tableau 6: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol au Québec nordique accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.	25
Tableau 7 : Caractéristiques générales des forages réalisés à Puvirnituk.	26
Tableau 8: Altitude et profondeurs en mètres des forages à Akulivik.	39
Tableau 9: Altitude et profondeurs en mètres des forages à Kangirsuk.	50
Tableau 10: Résultats des essais de consolidation réalisés par L'Hérault et al., (2012) sur le till à l'aéroport de Kangirsuk.	56
Tableau 11 : Caractéristiques générales des forages réalisés à Tasiujaq.	58
Tableau 12: Sommaire des résultats des essais de consolidation réalisés à l'aéroport de Tasiujaq (Tirée de L'Hérault et al., 2012).	63
Tableau 13 : Changements de température de l'air projetés pour l'horizon 2050 pour les communautés de Puvirnituk, Akulivik, Kangirsuk et Tasiujaq.	68
Tableau 14: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région de Puvirnituk accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.	78
Tableau 15 : Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région d'Akulivik accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.	80
Tableau 16: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région de Kangirsuk accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.	82
Tableau 17: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région de Tasiujaq accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.	84

1 INTRODUCTION ET MISE EN CONTEXTE

Le territoire du Nunavik est reconnu comme étant particulièrement sensible aux changements climatiques en raison de l'englacement saisonnier de la mer, des lacs et des rivières et de la présence du pergélisol continu et discontinu sur lequel s'étendent des écotones naturels marquant des frontières biogéographiques dynamiques. Les données climatiques de cette région enregistrées avant 1993, au lieu de présenter un réchauffement des températures de l'air tel qu'observé depuis la moitié du 20^e siècle au Canada arctique (Smith *et al.*, 2005), montraient plutôt une tendance au refroidissement (Allard *et al.*, 1995; Wang et Allard, 1995). La température de l'air mesurée entre 1947 et 1994 aux stations météorologiques régionales (Kuujuaq, Iqaluit, Inukjuak) était à la baisse (Figure 1A). Ces observations divergentes par rapport à la plupart des autres régions arctiques ont entraîné un retard dans la prise de conscience des aménagistes et gestionnaires du territoire face aux conséquences d'un réchauffement éventuel du climat au Nunavik. Toutefois, depuis les deux dernières décennies, les températures annuelles moyennes de l'air dans le Nord du Québec s'alignent sur la tendance au réchauffement longterm anticipée par les scénarios établis par l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). En effet, les données météorologiques récemment compilées au Québec septentrional témoignent, depuis l'année charnière de 1994, d'une hausse des températures moyennes de l'air dans la plupart des communautés du Nunavik. Par exemple, les températures moyennes annuelles de l'air à Kuujuaq au cours des deux dernières décennies (1994-2011) sont en moyenne 1,8 °C plus chaudes par rapport à la normale climatique (1964-1993) (Figure 1A).

Avec ces augmentations des températures moyennes de l'air au Québec nordique, le régime thermique et la dynamique du pergélisol se trouvent modifiés. Les mesures récentes des températures du pergélisol recueillies entre 1995 à 2010 par les câbles à thermistances installés confirment sans équivoque cette tendance (Smith *et al.*, 2012) et plusieurs études font déjà état des conséquences directes de ce réchauffement sur les environnements et les communautés nordiques (ACIA, 2007). À long terme, l'augmentation des températures de l'air provoquera une diminution de l'épaisseur du pergélisol qui s'effectuera par le sommet ainsi que par la base (French, 1996). L'épaisseur de la couche active, quant à elle, augmentera de façon relativement synchrone avec le réchauffement des températures de l'air. Pour la zone de pergélisol continu dans le secteur nord-est du Canada, une augmentation des températures annuelles moyennes de surface de 3 °C à 6 °C entraînerait une augmentation non uniforme de l'épaisseur du mollisol de 50 % pour la période 2041-2070 (Sushama *et al.*, 2006). De manière générale, avec le réchauffement global, une augmentation moyenne d'environ 20 à 30 % de l'épaisseur du mollisol est anticipée d'ici 2050 allant jusqu'à plus de 50 % pour les régions plus au nord (Anisimov *et al.*, 2002). Avec une propagation du front de dégel à des profondeurs plus importantes, des tassements différentiels liés à la fonte d'horizons riches en glace au sein du pergélisol ainsi que des ruptures du mollisol aux endroits favorables sont susceptibles de se produire. L'aménagement du territoire doit tenir compte de la perte de capacité portante et des risques d'instabilité des sols qu'entraîneront un réchauffement et ultimement un dégel éventuel du pergélisol. Le degré de sensibilité du pergélisol en regard au réchauffement climatique anticipée est principalement déterminé par le volume de glace présent dans le pergélisol, qui lui-même est surtout fonction de la quantité de particules fines qui composent les dépôts meubles et de la quantité d'eau disponible au moment de la formation et tout au long de l'évolution du pergélisol.

Les impacts du réchauffement climatique surviennent alors que les populations nordiques connaissent une croissance démographique rapide et que les changements sociaux, culturels et économiques de la modernisation et de la mondialisation modifient les modes de vie traditionnels à travers la région. Dans un contexte de réchauffement climatique, les communautés inuites du Nunavik doivent composer avec le dégel du pergélisol dans la gestion de leur domaine bâti, de même que pour planifier les futurs développements résidentiels, commerciaux, institutionnels, et les infrastructures de transport,

d'approvisionnement en eau et de disposition des ordures et des eaux usées (Allard *et al.* 2007a, 2007b; ACIA 2004; Calmels *et al.* 2008; Smith *et al.* 2010). En parallèle à ce besoin d'adaptation, la population du Nunavik connaît une forte croissance démographique avec une augmentation de 25% entre 1996 et 2006, et de 12% entre 2006 et 2011. Sa population d'un peu plus de 12 000 personnes réparties dans 14 villages côtiers, fait actuellement face à une crise du logement (Statistique Canada, 2012). Lors du recensement de 2006, près de 50% des Inuits du Québec ont déclaré habiter dans des logements surpeuplés (Statistique Canada, 2008). En effet, l'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK) évalue qu'avec une population actuelle de 11 000 résidents au Nunavik vivant dans 2100 unités de logement, le manque à combler est de l'ordre de 915 unités: Par ailleurs, dans un rapport déposé en 2007 par la Commission des droits de la personne et de la jeunesse, le surpeuplement des logements a été identifié comme étant un des principaux facteurs responsables de la maltraitance envers les enfants et d'une diminution de la qualité de vie en général. Face à l'urgence et au sérieux de la situation, ainsi qu'aux revendications des représentants des communautés nordiques, il devient important d'identifier les zones de développement possibles pour la construction de nouvelles infrastructures de façon sûre, mais aussi durable dans les villages du Nunavik, puisque les prévisions des modèles climatiques indiquent le maintien et l'accélération de la tendance au réchauffement pour les futures décennies (Sushama *et al.*, 2007; IPCC, 2007; Brown *et al.*, 2012) (Figure 1B et C).

Les communautés du Nunavik doivent ainsi composer avec la présence du pergélisol en transition lorsque vient le temps de construire de nouveaux quartiers résidentiels, des commerces, des bâtiments institutionnels, des infrastructures de transport et des infrastructures d'approvisionnement en eau et de disposition des ordures et des eaux usées. Compte tenu d'une expansion démographique très forte et du développement industriel potentiel de la région (lié surtout aux entreprises d'extraction minières), les besoins en rénovation de bâtiments et en construction sont importants, notamment pour le logement. Ces besoins surviennent alors que les modes de vie traditionnels changent et se fusionnent dans la modernité globale. Compte tenu des dynamiques communautaires locales, de la géomorphologie très variable dans l'espace et du fort gradient climatique régional qui caractérisent le Nunavik, la problématique de l'expansion communautaire sur les terrains pergélisolés est très variable d'une communauté à l'autre, certaines ne nécessitant que des adaptations mineures, d'autres ayant à affronter des défis techniques difficiles qui demandent un renforcement important des capacités des acteurs locaux.

Le présent rapport relate le développement, la mise à terme et les retombées d'une activité qui s'inscrit dans le programme de l'Initiative de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR) de Ressources naturelles Canada et s'insère dans la problématique du développement des communautés inuites sur pergélisol dans le contexte du réchauffement climatique et de la modernisation rapide. Ce projet se développe aussi en concomitance avec les projets de développement nordique du Gouvernement du Québec qui prévoit l'utilisation durable du territoire dans le respect de la culture et des aspirations des communautés inuites. Puisque le Nunavik est régi par un gouvernement régional en voie d'autonomie et dont le pouvoir de coordination en adaptation est partagé entre les 14 villages, ces circonstances confèrent un fort potentiel pour stimuler l'émergence d'un noyau de leadership. Par ailleurs, ce projet démarrera alors que les ministères provinciaux comme MSSS, le MAMROT et le MTQ doivent entreprendre au Nunavik de nombreux travaux de mise à niveau en matière de bâtiments publics et d'infrastructures de transport. Cela nécessite irrévocablement une analyse minutieuse de la condition des terrains prévus pour la construction.

En utilisant l'étude de Salluit comme source d'expérience (Allard *et al.*, 2009; 2010; Allard et L'Hérault, 2010), certainement le cas le plus complexe dans son intégralité et par la multiplicité des moyens d'intervention qui sont présentement mis en œuvre, l'objectif principal est ici de préciser la répartition des différents substrats pergélisolés et évaluer la vulnérabilité et les risques liés aux déformations possibles des

terrains en fonction du réchauffement climatique en vue de produire des cartes de potentiel de construction pour les communautés de Puvirnituq, d'Akulivik, de Kangirsuk et de Tasiujaq. Ces villages ont été priorisés suivant les besoins de connaissances plus approfondies sur le pergélisol de leur territoire suite à des observations encore trop partielles ainsi qu'au risque particulièrement élevé de dégradation du pergélisol autant dans les zones actuellement bâties que dans les zones d'expansion prévues. Les cartes de potentiel de construction couvrent les zones bâties, les zones prévues pour l'expansion et bien au-delà afin d'offrir une vision élargie du territoire aux preneurs de décision. En plus des propriétés du pergélisol variables dans l'espace, ces cartes retiendront comme facteurs importants les formes de terrain en surface, les pentes et les conditions de drainage. L'intégration de ces paramètres fournit un document cartographique intégré dont l'ARK et les comités de planification (composés des corporations foncières et des administrations municipales) se serviront pour élaborer les plans de développement urbain des communautés. Nous appuyerons ainsi les autorités du Nunavik qui sont déjà engagées dans la préparation de plans d'aménagement et qui se préparent à prendre, à brève échéance, des décisions importantes relatives à des investissements publics énormes dont il faudra garantir la sécurité pour plusieurs décennies à venir.

De façon spécifique, les objectifs poursuivis sont de:

- 1 Caractériser le pergélisol dans les quatre communautés retenues en améliorant les cartes préliminaires du rapport d'Allard et al. (2006) à l'aide d'excavations et de sondages, notamment les secteurs qui avaient alors été identifiés comme nécessitant des investigations supplémentaires et en étendant la caractérisation à des terrains périphériques plus vastes en vue de l'expansion prochaine des villages.
- 2 Combiner l'information des cartes de caractérisation des sols, l'évaluation des probabilités d'instabilité et des cartes de vulnérabilité des bâtiments pour produire des cartes prédictives du risque en fonction des prévisions de l'approfondissement de la couche active calculée à partir de différents scénarios climatiques.
- 3 Évaluer les problèmes d'instabilité dans le milieu bâti actuel et évaluer le risque associé à la dégradation du terrain en raison du réchauffement des profils thermiques du pergélisol, de l'approfondissement de la couche active et des instabilités qui surviendront sur les versants à cause du réchauffement climatique.

Cette activité de l'Initiative de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR) de Ressources naturelles Canada, a comme mandat de fournir aux décideurs de quatre communautés du Nunavik, des documents cartographiques intégrant les différents paramètres physiques à considérer et dont ils se serviront pour élaborer les plans de développement des communautés. Pour chaque village, une base de données géoréférencées des caractéristiques du pergélisol a été créée, incluant les données de forages effectués précédemment (Allard *et al.* 2009; L'Hérault *et al.* 2009; 2012), les données de nouveaux sondages, la nature et la répartition spatiale des dépôts et des formes de surface, la cryostratigraphie déduite des données de forage, la topographie et les conditions de drainage. Les différentes cartes reflétant ces informations, et énumérés précédemment, ont permis d'évaluer les problèmes d'instabilité dans le milieu bâti actuel et futur, ainsi que les risques associés à la dégradation du terrain, l'approfondissement de la couche active et les instabilités sur les versants en raison du réchauffement du pergélisol. Cette activité a récolté et organisé l'information de terrain nécessaire pour établir de meilleurs plans de développement des communautés inuites.

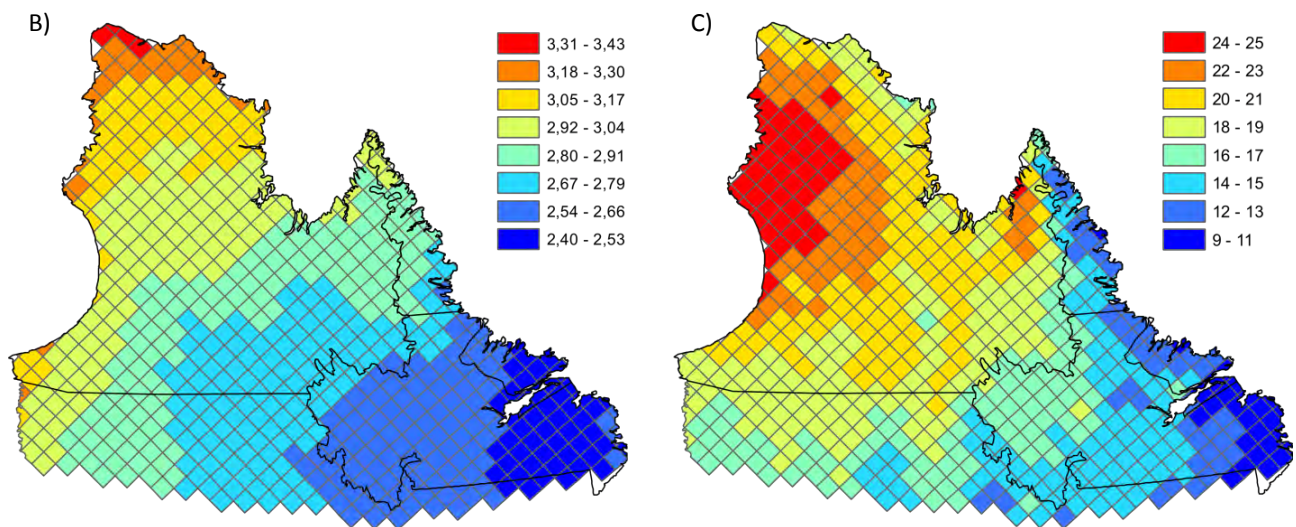
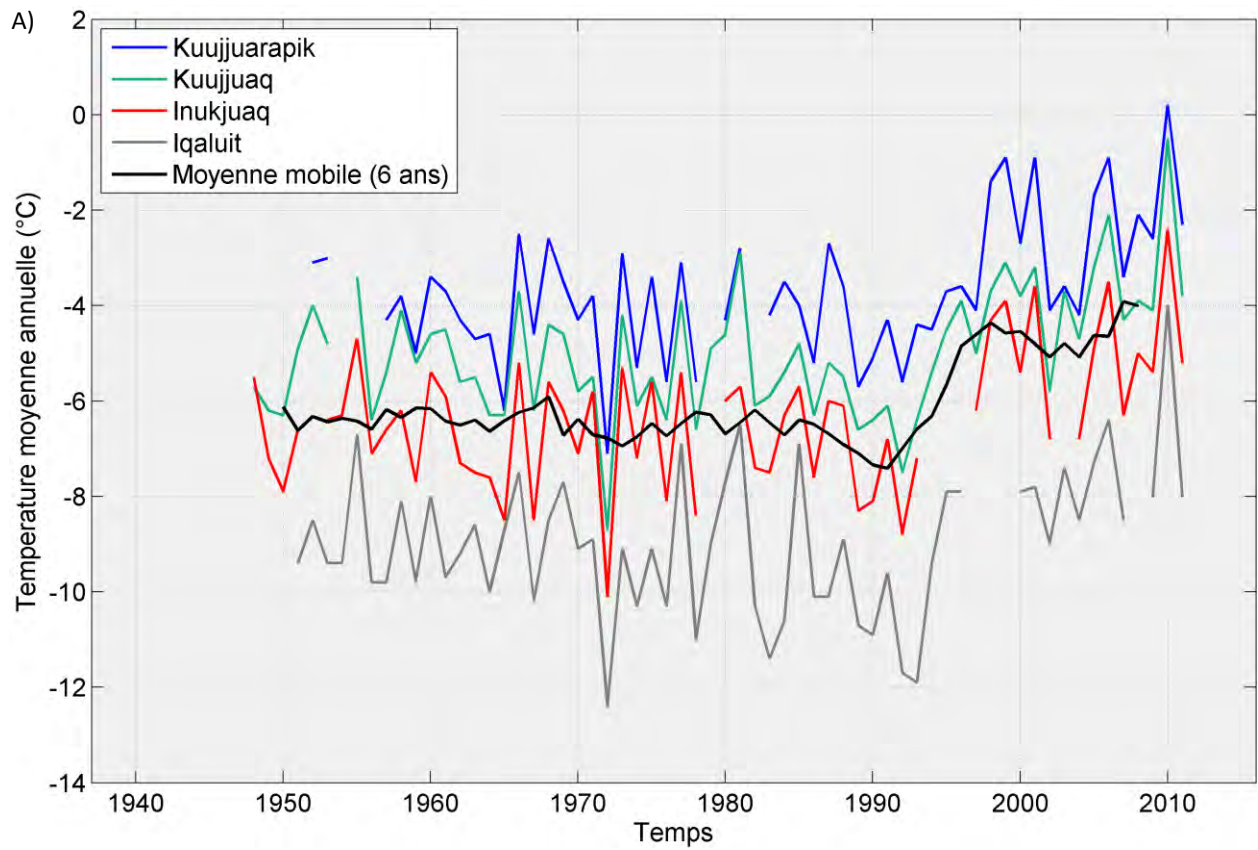


Figure 1: A) Évolution des températures de l'air moyennes annuelles, nord-est du Canada, 1948-2011. (Données provenant d'Environnement Canada). Changements de la température moyenne annuelle de l'air (B) et des précipitations totales annuelles (C) pour l'horizon 2050 projetés à partir de six sorties MRCC (Tirée de Brown *et al.*, 2012).

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 LOCALISATION DES VILLAGES À L'ÉTUDE

Au Nunavik, on dénombre 14 communautés inuites réparties le long des côtes de la baie d'Hudson, du détroit d'Hudson et de la baie d'Ungava (Figure 2). Sur ce nombre, 10 communautés se retrouvent en zone de pergélisol continu, 2 en zone de pergélisol discontinu et abondant et 2 en zone de pergélisol discontinu et dispersé. Sur ces 14 communautés du Nunavik, celles de Puvirnituk, Akulivik, Kangirsuk et Tasiujaq ont été ciblées en vue de produire des cartes prédictives des caractéristiques du pergélisol pour l'orientation du développement de l'environnement bâti. Ces villages ont été priorisés en raison du manque actuel de connaissances approfondies sur les conditions du pergélisol présent sur le territoire ainsi que du risque potentiellement élevé de dégradation en réponse aux changements climatiques projetés autant dans les zones bâties que dans les zones d'expansion prévues.

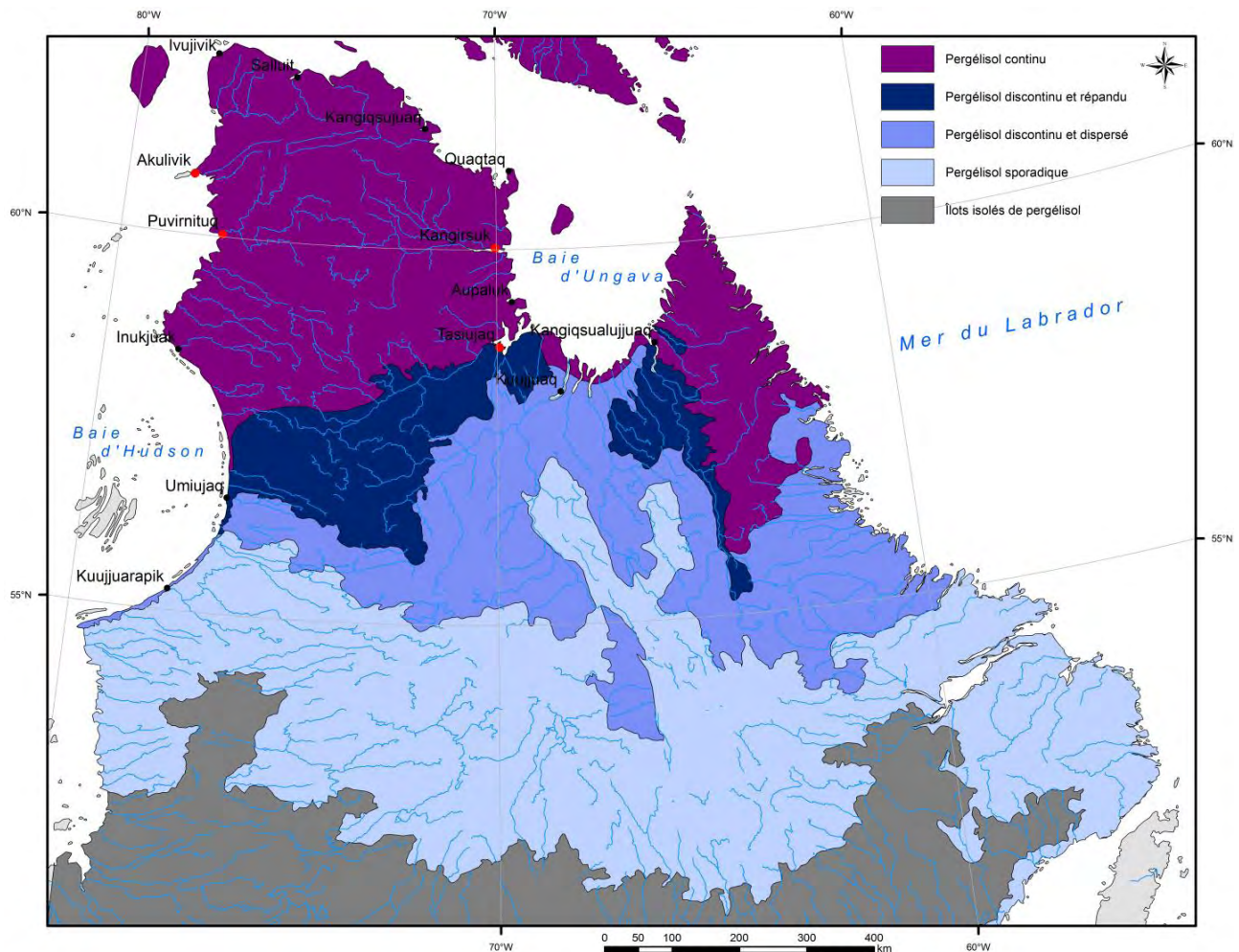


Figure 2 : Localisation des villages visés par la présente étude (points rouges).
Fond de carte : Distribution du pergélisol au Québec nordique (Allard et al., 2012).

2.2 CARTOGRAPHIE ETENDUE ET REVISEE DES DÉPÔTS DE SURFACE

Dans le présent rapport, un effort important a été porté afin de réaliser une cartographie étendue et améliorée des dépôts de surface. Cette nouvelle cartographie reprend les cartes produites antérieurement par le CEN (Allard *et al.*, 2007) (Figure 3B) et y intègre les informations géotechniques et stratigraphiques disponibles dans la littérature ainsi que celles acquises lors des campagnes de terrain réalisées au cours des étés de 2010 et 2011. Les photographies aériennes et levés LIDAR acquis pour les 4 villages à l'automne 2010 par le MTQ, le MAMROT et le MRNF ont été utilisés à titre de base cartographique pour la numérisation des nouvelles cartes de dépôts de surface et des conditions de pergélisol. La photo-interprétation a été réalisée à l'aide du logiciel SUMMIT EVOLUTION de DAT/EM Systems International qui permet la numérisation des unités de terrain à l'écran dans une interface tridimensionnelle et une intégration directe dans le logiciel de cartographie ArcGIS. Afin d'accroître la précision de cette cartographie et d'étendre la caractérisation et la délimitation des dépôts de surface sous les infrastructures en place, les anciennes photographies aériennes datant d'avant l'expansion des villages ont été numérisées, puis géoréférencées. De cette manière, il a été possible d'étendre la photo-interprétation à la section couverte par l'infrastructure actuelle et ainsi de délimiter l'étendue des dépôts de surface en continuité avec le milieu naturel. L'intégration de l'information géotechnique antérieure et récente a permis d'apporter certaines précisions sur les épaisseurs des couches stratigraphiques, la profondeur du roc et les caractéristiques géotechniques des dépôts meubles. Un exemple d'amélioration de la cartographie des dépôts de surface est présenté à la figure 3D.

Tableau 1: Superficie couverte par les anciennes cartes des unités géologiques de surface produites par Allard *et al.*, 2007 versus celle couverte par les nouvelles cartes réalisées dans la présente étude.

Communautés	Zone couverte en Km ²	
	Cartographie initiale (Allard <i>et al.</i> , 2007)	Nouvelle cartographie révisée
Puvirnituq	13,9	22,3
Akulivik	17,4	21
Kangirsuk	8,1	29,9
Tasiujaq	37,7	30,9

Pour la réalisation des cartes des dépôts géologiques de surface, la légende utilisée est celle de la Commission géologique du Canada. Cette légende permet une discrétisation des différentes unités de terrain selon les caractéristiques sédimentaires et l'expression morphologique (plage, levée alluviale, delta, esker, drumlins, moraine, etc.) qui permettent d'en déterminer l'origine. Dans cette légende, la description de chacune des unités de terrain cartographiée contient également des informations sur la granulométrie, la composition lithologique, les structures, la couleur, l'épaisseur et les conditions de pergélisol propres à chacun des dépôts et ce, selon le village et le contexte géologique, morphologique et climatique dans lesquels le paysage s'est façonné. La cartographie préliminaire des dépôts de surface, en ciblant les secteurs peu documentés au point de vue de la géologie de surface et des conditions de pergélisol, a permis d'orienter les campagnes de terrain en vue de valider et compléter l'information à l'aide d'observations de terrain (forages, sondages, excavations, coupes stratigraphiques).

Il est important de mentionner que la délimitation des zones de répartition des unités géologiques de surface et l'estimation de leur épaisseur que présentent les cartes des unités géologiques de surface comportent certaines incertitudes en raison de la grande variabilité des conditions de terrain comme les inégalités de la topographie du roc sous-jacent aux dépôts meubles, les mélanges produits dans la couche superficielle du terrain par les processus de gel et de dégel (cryoturbations) et le fait qu'il est difficile de sonder à la tarière ou à la pelle au-delà de quelques décimètres dans le pergélisol. En conséquence, les cartes produites dans ce rapport sont des images d'ensemble qui doivent être utilisées comme un outil général susceptible d'orienter la planification. Dans chaque projet de construction, il demeure recommandé de procéder à un examen du sol avant la construction, ce qui peut aller d'une simple

2.3 OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN

À chacun des villages visités, les membres de la communauté ont été rencontrés préalablement aux travaux de terrain afin d'une part de leur expliquer le projet et d'autre part cibler les zones d'intérêts à considérer pour de futurs développements. Les gens rencontrés incluaient généralement le maire, le président de la corporation foncière ainsi que des conseillers appartenant aux différentes entités administratives. Lors de ces rencontres, une vue aérienne grand format du village et de ses environs a permis aux représentants de la communauté d'identifier les zones d'intérêts. Cette sélection de sites a permis d'orienter les travaux de terrain afin d'assurer une couverture complète par des observations de terrain et la collecte d'échantillons.

Des forages stratégiquement localisés dans les différentes unités de terrain ont été réalisés à l'aide d'une foreuse portative (Calmels et Allard, 2005). Les carottiers utilisés ont permis la récupération d'échantillons gelés non perturbés d'un diamètre maximal de 100 mm et ce, jusqu'à une profondeur pouvant atteindre plus de 5 mètres (Figure 4A). Les forages ont été réalisés suivant un protocole précis qui consiste en premier lieu à procéder à une excavation à la pelle jusqu'à l'atteinte du front de dégel pour ensuite y déposer un tubage de 300 mm pour retenir les parois de l'excavation lors du forage. Pour minimiser les pertes et les risques de dégradation de l'échantillon, des courses moyennes de 30 centimètres ont été réalisées.

Une description sommaire de chaque échantillon, incluant la profondeur, le type de sédiment et les cryostructures, a été réalisée sur le terrain (voir glossaire pour termes techniques). Les échantillons gelés ont ensuite été expédiés au laboratoire de sédimentologie de l'Université Laval pour y effectuer des analyses géotechniques. Les observations de forages ainsi que les données issues des analyses en laboratoires ont été compilées à l'intérieur de rapports de forages. Pour compiler les informations de forages et reproduire la stratigraphie, le logiciel Logplot™ de la compagnie Rockware® a été utilisé. L'information compilée au cours de l'étude a été mise à jour continuellement au fur et à mesure que les essais en laboratoire étaient complétés.

Outre les forages superficiels, plusieurs sondages superficiels réalisés soit à la pelle, à la tarière ou la rétrocaveuse ont été réalisés. Limités à la couche active, ces sondages superficiels ne permettent pas de fournir de l'information sur les conditions de pergélisol toutefois, ils apportent des précisions sur le type de dépôt de surface, le type de végétation, les conditions de drainage, la profondeur de dégel, et la présence de formes de terrain en surface (ostioles, soulèvements géливаux, fentes de gel, buttes, barricades de blocs glaciels, etc.) qui peuvent être révélateurs des conditions sous-jacentes dans le pergélisol.

Pour l'ensemble des communautés visitées, 23 forages superficiels, 650 sondages de surface, 43 coupes stratigraphiques et 7 excavations ont été réalisés. Les coordonnées géographiques de chacune des observations de terrain ont été relevées à l'aide de GPS portatifs dont la précision est d'environ 3 m. En plus de valider la cartographie des dépôts de surface par photo-interprétation, les observations de terrain ont permis, par corrélation, d'attribuer aux différentes unités de terrain cartographiées des conditions de pergélisol observées et documentées lors des forages. Toutes les informations récoltées sur le terrain ainsi que celles provenant d'études antérieures (Allard *et al.*, 2006, Allard *et al.* 2007; L'Hérault *et al.* 2012) ont été regroupées à l'intérieur d'une table d'attributs à référence spatiale où chaque élément possède des coordonnées géographiques qui permettent de le localiser précisément. L'exploitation de cette table d'attributs dans un système d'information géographique (ArcGIS® version 10) offre l'avantage de pouvoir exécuter des requêtes afin de consulter rapidement l'information, visualiser et positionner les observations de terrain et les représenter sous forme de cartes thématiques.

OBSERVATIONS DE SURFACE



SONDAGES, COUPES ET EXCAVATIONS



FORAGES SUPERFICIELS AVEC RECUPERATION

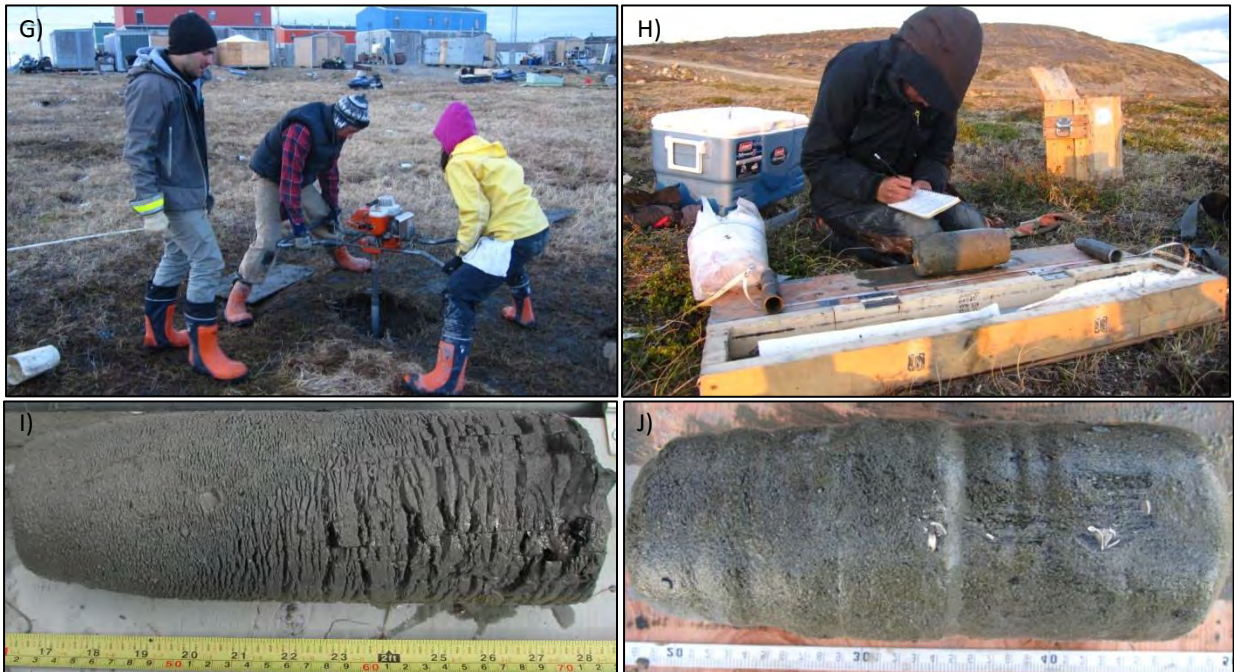


Figure 4: Localisation et documentation des éléments de surface tels que les affleurements rocheux (A), les sillons de fente de gel (B) et les ostioles (C). Sondages de surface avec tarière (D), pelle (E) et rétrocaveuse (F). G) Forage superficiels avec une foreuse portable et H) description sommaire de l'échantillon sur le terrain. Échantillon de pergélisol gelé non remanié prélevé à Akulivik (I) et Kangirsuk (J).

Tableau 2: Nombre de forages, sondages, affleurements rocheux et observations, par village.

	Forages	Sondages de surface	Excavations à la rétrocaveuse	Coupes stratigraphiques	Affleurements rocheux	Total
Puvirnituaq	5	54	-	10	104	172
Akulivik	12	124	-	16	195	347
Kangirsuk	1	131	-	15	98	245
Tasiujaq	6	341	7	2	34	390
TOTAL	23	650	7	43	431	1154

2.4 CARACTÉRISATION DES PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES DU PERGÉLISOL

Lors des campagnes sur le terrain, deux types d'échantillons ont été prélevés : les échantillons provenant de la couche active (non gelé) récupérés lors des sondages superficiels, coupes ou excavations et les échantillons gelés provenant du pergélisol extraits lors des forages. Selon le type d'échantillon, celui-ci a été soumis à différentes analyses en laboratoire suivant un ordre bien particulier de manière à extraire le maximum d'informations par échantillon. L'ordre de ces analyses en laboratoire est présenté à la figure 5.

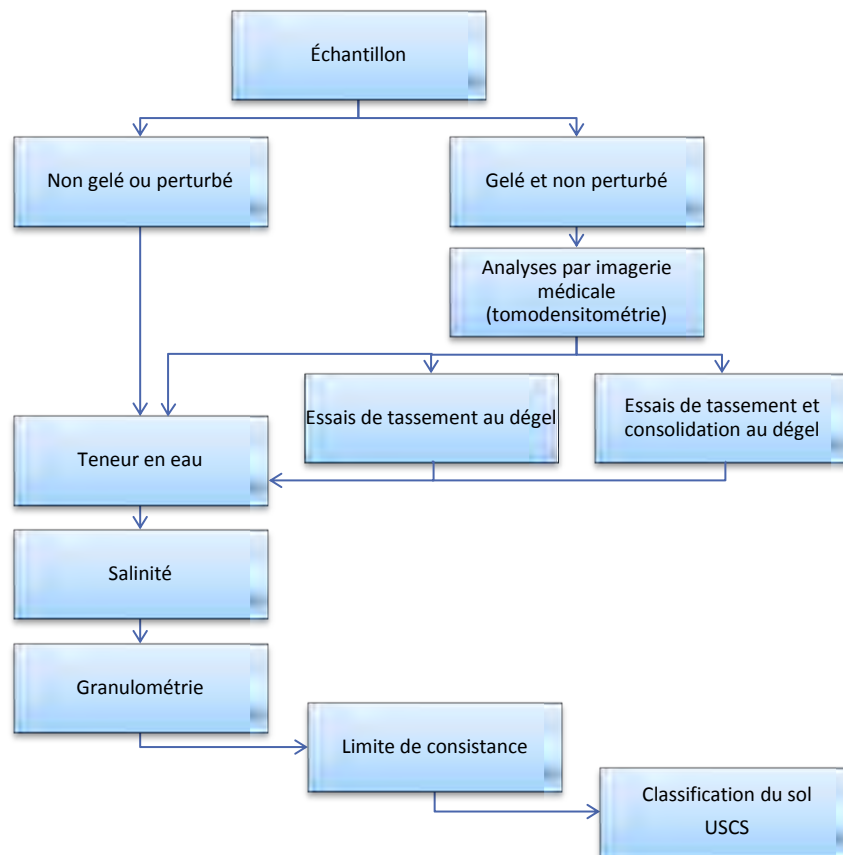


Figure 5 : Ordre des analyses en laboratoire selon l'état de l'échantillon.

2.4.1 ESSAIS GÉOTECHNIQUES

2.4.1.1 TENEUR EN EAU, GRANULOMÉTRIE, LIMITES D'ATTERBERG ET CLASSIFICATION DES SOLS

La teneur en eau gravimétrique (w) en pourcentage a été mesurée systématiquement sur tous les échantillons selon la norme CAN/BNQ 2501-170-M-86, c'est-à-dire en divisant la masse de l'eau (M_w) sur la masse du sol sec (M_s) comme le montre l'équation suivante :

$$w = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Une fois la teneur en eau déterminée, l'échantillon est par la suite tamisé à l'aide d'un tamis 400 microns de manière à obtenir deux fractions de sol dont le diamètre des particules est respectivement inférieur et supérieur à 400 microns. La distribution granulométrique de la fraction supérieure à 400 microns a été déterminée par la méthode des tamis (norme BNQ 1530-060/1978) tandis que celle de la fraction inférieure à 400 microns a été déterminée à l'aide d'un réfractomètre laser modèle Horiba. Pour ce faire, la fraction inférieure à 400 microns est sous-échantillonnée de manière à obtenir environ 10 grammes à l'aide du séparateur en acier inoxydable (Jones chutes splitter). Sur ce sous-échantillon, les carbonates et la matière organique sont éliminés respectivement par traitement à l'acide chlorhydrique et par perte au feu. Ce traitement préalable aux analyses granulométriques permet également de déterminer par pesée la quantité de carbonates et de matière organique dans le sédiment. Les résultats obtenus par les deux méthodes ont été compilés puis intégrés dans un graphique. La mise en relation du diamètre, rapporté en abscisse, avec le pourcentage cumulatif, porté en ordonnée, permet d'obtenir une courbe granulométrique qui illustre la distribution des particules du sol en fonction de leur diamètre.

La limite de liquidité (w_L) et la limite de plasticité (w_p) ont été déterminées en respect avec la norme CAN/BNQ 2501-092-M86 sur la fraction du sol dont le diamètre des particules est inférieur à 400 microns. Déterminée à l'aide du cône suédois, la limite de liquidité correspond à la teneur en eau qui marque la limite arbitraire entre l'état liquide et l'état plastique d'un sol (Holtz et Kovacs, 1991). La limite de plasticité, quant à elle, correspond à la teneur en eau qui marque la limite entre l'état plastique et l'état semi-solide d'un sol. À l'aide de ces deux paramètres, il a été possible de déterminer l'indice de plasticité (I_p) et l'indice de liquidité (I_L). L'indice de plasticité est la différence entre les limites de plasticité et de liquidité d'un échantillon de sol, tandis que l'indice de liquidité est la différence entre la teneur en eau naturelle (w) d'un sol et sa limite de plasticité, rapportée à son indice de plasticité. En fonction des limites d'Atterberg et des résultats granulométriques obtenus en laboratoire, les échantillons de sol ont été classifiés selon le système de classification unifiée des sols (USCS), qui est couramment utilisé dans la pratique du génie civil.

Le principe de base de ce système consiste à classer les sols à grains grossiers (50 % des grains en poids est supérieur à 0,075 mm) selon leur granulométrie et les sols à grains fins (50 % des grains en poids est inférieur à 0,075 mm) d'après leur comportement plastique. Les grandes divisions du système sont illustrées au tableau 3. Les sols à grains fins (M et C) ont été subdivisés suivant leur limite de liquidité et leur indice de plasticité. L'abaque de plasticité de Casagrande a été utilisé afin de déterminer les matériaux dont le comportement se rapproche de celui des argiles des autres matériaux dont le comportement se rapproche de celui des silts (Figure 6). La ligne A de l'abaque représente la limite arbitraire entre les valeurs de w_L et I_p propres aux matériaux argileux (valeurs situées au-dessus de la ligne A) de celles associées aux matériaux silteux (valeurs situées en-dessous de la ligne A). Une fois le type de matériel déterminé, silt ou argile, sa limite de liquidité a permis de lui attribuer le suffixe L pour limite de liquidité faible ou le suffixe H pour limite de liquidité élevée. La ligne de démarcation entre la limite de liquidité faible et celle élevée est fixée arbitrairement à 50.

Tableau 3 : Définitions des composantes du sol, de leurs limites granulométriques et des symboles employés dans le système USCS (Tiré de Holtz et Kovacs, 1991).

Fraction de sol ou composante	Symbole	Limites granulométriques
Blocs erratiques	Aucun	- plus de 300 mm
Cailloux	Aucun	- de 75 mm à 300 mm
(1) Sols à grains grossiers		
Gravier	G	de 75 mm à 4,75 mm
• Grossier		de 75 mm à 19 mm
• Fin		de 19 mm à 4,75 mm
Sable	S	de 4,75 mm à 0,075 mm
• Grossier		de 4,75 mm à 2 mm
• Moyen		de 2 mm à 0,425 mm
• fin		de 0,425 mm à 0,075 mm
(2) Sols à grains fins		moins de 0,075 mm
Silts	M	sans dimension spécifique – utiliser les limites d’Atterberg
Argiles	C	sans dimension spécifique – utiliser les limites d’Atterberg
(3) Sols organiques	O	sans dimension spécifique
(4) Tourbe	Pt	sans dimension spécifique
Symboles d’étalement		Symboles des limites de liquidité
Bien étalé, W		Élevée, H
Peu étalé, P		Faible, L

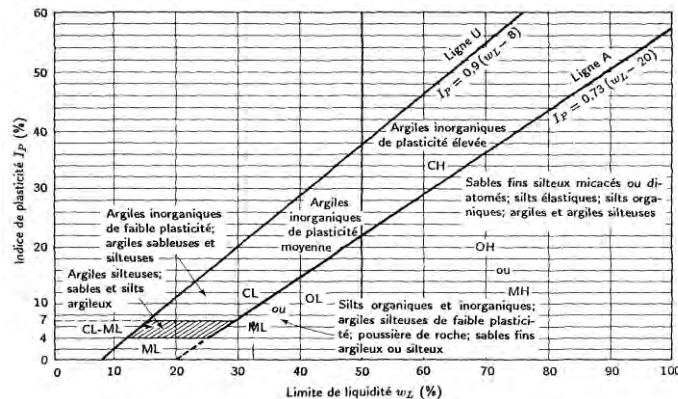


Figure 6 : Abaque de plasticité de Casagrande (Tirée de Holtz et Kovacs, 1991)

2.4.1.2 ESSAIS DE TASSEMENT ET CONSOLIDATION AU DÉGEL

L’essai de tassement et consolidation au dégel consiste à faire dégeler un échantillon de sol et à mesurer le tassement total associé. Une charge supplémentaire peut également être appliquée verticalement (contrainte) sur l’échantillon afin de simuler l’influence d’un remblai ou d’un bâtiment sur la consolidation. Le tassement total est la somme de deux phénomènes distincts soit : 1) le tassement associé au changement de phase de l’eau qui entraîne une diminution volumétrique importante (environ 9 %) et 2) la consolidation du sol sous une contrainte appliquée suite à l’évacuation de l’eau et le réarrangement des particules. D’ordre général, le tassement prédomine lorsque la glace se présente sous la forme ségréguée (lentilles) tandis que la consolidation primera en présence de glace interstitielle.

Certains essais de consolidation ont déjà été effectués au Nunavik par des chercheurs de l’Université Laval (Leroueil *et al.*, 1991). L’objectif de ces essais est de déterminer une valeur de tassement total (s) pour différents types de matériau et contraintes. Les résultats de ces essais permettent de mieux comprendre le processus de tassement au dégel des sols pergélisolés qui affecte présentement l’intégrité de certaines infrastructures au Nunavik. Afin d’évaluer le tassement total (s), la somme du tassement au dégel (s_d) et de la consolidation du sol subséquente (s_c) est calculée par l’équation suivante :

$$s = s_t + s_c \quad (2)$$

Lorsque l'épaisseur de la couche de sol gelée originale (H_f) est soumise à la contrainte effective (σ'), les composantes du tassement total s'expriment par les équations suivantes :

$$s_t = A_0 H_f \quad (3)$$

$$s_c = m_v \sigma' H_f \quad (4)$$

Le paramètre de tassement au dégel (A_0) s'exprime en pourcentage et consiste en un rapport entre l'indice des vides à l'état gelé (e_f) et dégelé (e_t) qui se résume par l'équation suivante:

$$A_0 = \frac{e_f - e_t}{1 + e_f} \quad (5)$$

En ce qui concerne le coefficient de changement de volume (m_v), celui-ci se définit comme une unité de changement de volume par unité de contrainte effective ajoutée. Lorsque la contrainte effective augmente de σ' à σ'_0 et que l'indice des vides décroît de e_t à e , ce coefficient s'exprime sous la forme suivante :

$$m_v = \frac{1}{1 + e_t} \cdot \left(\frac{e_t - e}{\sigma' - \sigma'_0} \right) \quad (6)$$

Dans l'optique de déterminer le tassement total suite au dégel du pergélisol sous des charges imposées par des constructions ou des infrastructures de transport, des valeurs de A_0 et de m_v doivent être déterminées à partir d'essais de consolidation réalisés sur des échantillons de sol représentatifs. Une fois ces valeurs déterminées, le tassement total advenant une fonte partielle ou totale de couches de sol initialement gelées se détermine par l'équation suivante :

$$s = \sum_{i=1}^n A_{0,i} H_i + \sum_{i=1}^n m_{v,i} H_i \sigma'_i \quad (7)$$

Afin de simplifier l'évaluation des tassements totaux à venir en relation avec le dégel graduel du pergélisol, aucune distinction entre les valeurs des tassements et celles de consolidation n'a été effectuée. Les carottes de sol gelé récupérées lors des campagnes de forage de 2010 et 2011 devaient préalablement respecter les mêmes règles élémentaires énoncées précédemment pour satisfaire les critères d'essai. Les essais de consolidation au dégel réalisés ont été effectués dans une cellule œdométrique standard légèrement modifiée (voir annexe,). Lors des expérimentations, une contrainte verticale initiale de 25 kPa, correspondant environ au poids de la couche active dégelée, a été appliquée sur les échantillons gelés. À l'aide de deux bains thermiques qui contrôlent les températures supérieures et inférieures, le segment de sol est dégelé par le haut en imposant une température de $2 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$. Ultiment, la température des deux bains thermiques est augmentée pour assurer un dégel complet de l'échantillon. Une fois le dégel complété, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a plus de déformations verticales, la contrainte est augmentée à 100 kPa pour une période minimale de 24h afin de simuler le poids d'un remblai et d'un bâtiment de dimensions moyennes. L'augmentation de la contrainte entraîne une consolidation supplémentaire à contraintes plus élevées. En procédant en condition quasi-œdométrique, il est possible d'évaluer l'indice des vides final (e_t) du sol lorsque le dégel et la consolidation des grains sont complétés. Mis en relation avec l'indice des vides initial à l'état gelé (e_f), calculé à l'aide de la masse volumique gelée et de la teneur en eau, il est possible d'obtenir une valeur de tassement total sous différentes contraintes pour un même échantillon. La figure 7 suivante montre les principales étapes de montage de la cellule pour la réalisation d'essais de consolidation au dégel.



Figure 7 : A) Échantillon posé sur la base de la cellule. B) Piston reposant sur la pierre poreuse et l'échantillon. C) Montage de l'équipement dans une chambre à température contrôlée (+2 °C). D) Échantillon après consolidation au dégel.

D'autres essais de tassement au dégel suivant une procédure simplifiée ont également été réalisés sur certains échantillons de pergélisol. Sans contrainte appliquée, ces essais fournissent des valeurs de tassement au dégel moins précises, mais encore très pertinentes. Les échantillons sélectionnés doivent être de texture uniforme, et avoir un diamètre semblable sur toute leur longueur. Le volume moyen de l'échantillon gelé est calculé en mesurant trois fois sa hauteur et son diamètre. L'échantillon est ensuite dégelé à la température ambiante dans une cellule non drainée. La hauteur du sol dans la cellule est alors mesurée en dix points, et le diamètre visible au travers de la cellule en 4 points minimum. Les moyennes obtenues nous permettent de calculer le volume de l'échantillon dégelé, pour ensuite faire la différence entre les deux volumes (gelé-dégelé) et ainsi obtenir le pourcentage de tassement du sol sous aucune contrainte.

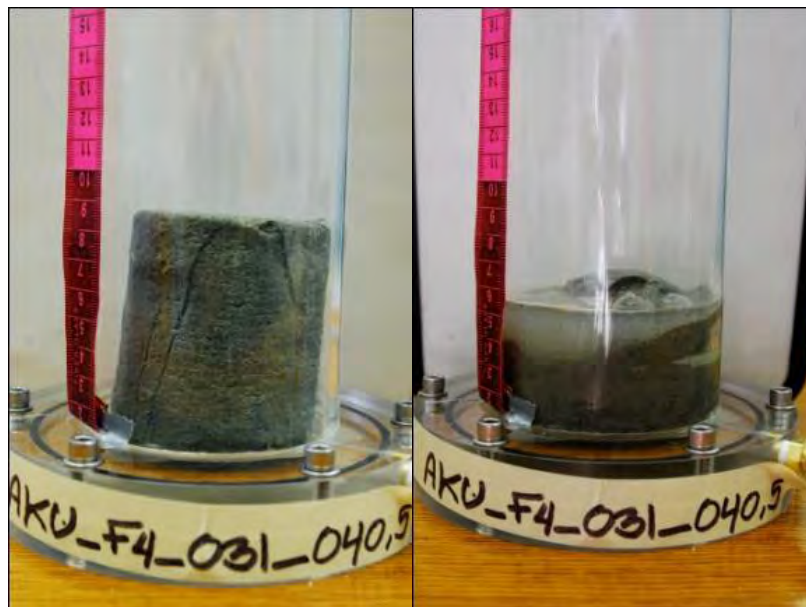


Figure 8: Cellule de tassement au dégel au début du test (A) et à la fin du test (B).

2.4.2 ANALYSES PAR SCANNEUR TOMODENSITOMÉTRIQUE

2.4.2.1 VISUALISATION ET CARACTÉRISATION DES CRYOSTRUCTURES ET DES CRYOFACIÈS

Les carottes gelées récoltées lors des forages ont été systématiquement numérisées à l'aide d'un scanner tomodensitométrique de type médical (Figure 9B), propriété de l'Institut National de la Recherche Scientifique Eau-Terre-Environnement (INRS-E TE) à Québec. Au total, 66 échantillons de sol gelé provenant des 23 forages réalisés dans les quatre villages ont été numérisés par le scanner tomodensitométrique pour une longueur totale de 21,5 m.

Cette méthode non destructive de caractérisation (Calmels et Allard, 2004; Calmels, 2005; L'Hérault, 2009) permet d'obtenir une image numérique à haute résolution de la cryostructure du pergélisol selon un plan médian longitudinal (coupe sagittale ou coronale). Les images obtenues ont été sauvegardées en format DICOM. Sur ces images, les matériaux de faible densité sont présentés par des teintes foncées et ceux de fortes densités par des teintes claires (Figure 9C). L'acquisition d'une image transversale de 512 pixels par 512 pixels à tous les 0,6 mm le long de la carotte permet d'obtenir une résolution de voxel de 0,2 mm x 0,2 mm x 0,6 mm. Avec cette résolution, les reconstitutions tomographiques internes des carottes permettent la description des différents cryofaciès selon: 1) la forme, l'épaisseur, la longueur, et l'inclinaison des cryostructures; 2) la forme et l'orientation des bulles d'air, indicatrices des sens de flux thermiques; 3) le type de sédiment; et 4) la présence de matière organique. Ces observations permettent aussi de noter la profondeur des discontinuités (s'il y a lieu) correspondant aux limites entre les différentes couches cryostratigraphiques; d'obtenir de bonnes images de l'échantillon facilitant la sélection des analyses subséquentes; et de compléter les informations notées sur le terrain, qui sont souvent minimales afin de limiter toute dégradation thermique des échantillons. La description des cryofaciès a été réalisée en conformité avec la norme ASTM-D4083 (2007) et la méthode de classification développée par Murton et French (1994).

2.4.2.2 CALCULS VOLUMÉTRIQUES PAR IMAGERIE NUMÉRIQUE

Outre de dresser un portrait détaillé de la stratigraphie et de la cryostratigraphie, les reconstitutions tomographiques internes ont également permis d'effectuer une discrétisation très précise des différentes valeurs de densité. Grâce à cette discrétisation, les éléments tels la glace, l'air et le sol ont été différenciés et délimités selon leurs plages de densités respectives. Une fois la discrétisation complétée, il a été possible d'estimer le volume occupé par les différentes composantes, c'est-à-dire le sédiment, la glace et l'air, pour l'ensemble de la carotte et pour différentes profondeurs. Les teneurs volumétriques en glace, élément déterminant dans l'évaluation de la sensibilité au dégel du pergélisol, ont été obtenues par traitement des images tomographiques à l'aide des logiciels ORS, OsiriX et Fiji. Pour s'assurer d'exclure toutes parties de l'échantillon possiblement altérées durant le forage ou le transport, chaque image transversale a été sous-échantillonnée en respectant un gabarit cylindrique de 4 cm de diamètre avant de procéder à toute discrétisation ou reconstruction tridimensionnelle (figure). Les pixels représentant la glace sur l'ensemble des images tomographiques tronquées en plan d'un même échantillon ont été isolés pour calculer le volume (V_i) par rapport au volume total (V_T), permettant ainsi d'obtenir la teneur volumétrique en glace (i) à l'aide de l'équation suivante :

$$i = \frac{V_i}{V_T} \cdot 100 \quad (8)$$

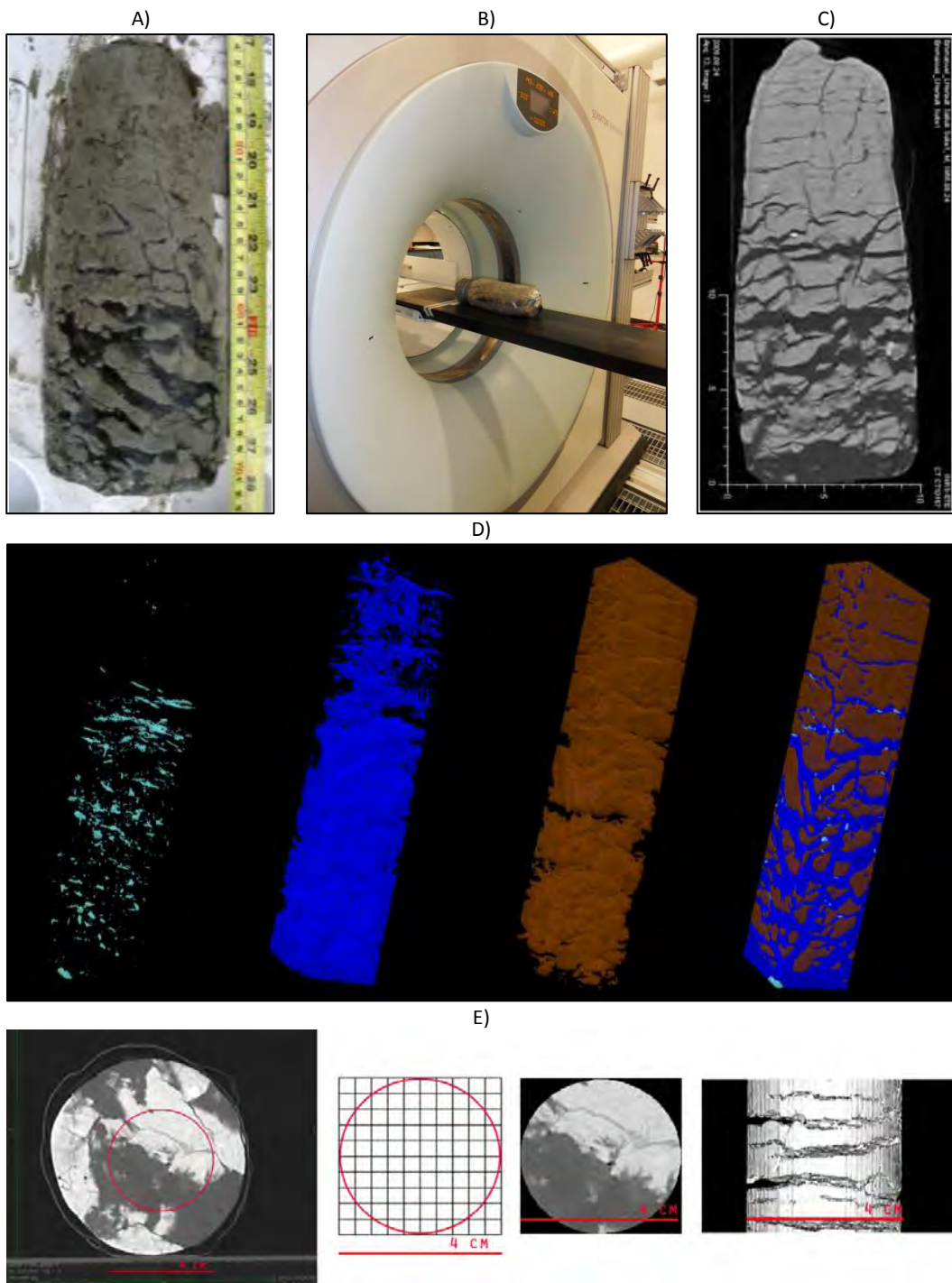


Figure 9 : A) Carotte gelée extraite sur le terrain. B) Scanneur tomodensitométrique. C) Visualisation de la cryostructure avec le logiciel OsirisTM à partir d'une image en format DICOM. Reconstruction en trois dimensions des éléments discrétisés. On observe de gauche à droite les éléments suivants : l'air, la glace et le sédiment (tirée de L'Hérault, 2009). E) Sous-échantillonnage des images tomographiques à l'aide d'un gabarit et reconstruction en trois dimensions du sous-échantillon.

2.5 COMPILATION DES INFORMATIONS GEOSCIENTIFIQUES ET ANALYSES MULTICRITÈRES

Les cartes prédictives du risque et de potentiel de construction selon les conditions de pergélisol produites pour les villages de Puvirnituq, d'Akulivik, de Kangirsuk et de Tasiujaq sont le résultat d'une analyse multicritères rendue possible par l'utilisation de plusieurs couches d'information à caractère spatial. L'utilisation d'un système d'information géographique permet la superposition des différentes couches d'information jugées importantes dans le cadre d'une analyse de sensibilité du pergélisol au dégel en vue de classer le terrain selon certains critères préétablis. Un diagramme synthèse qui résume l'origine des différentes couches d'information géospatiale utilisées dans l'analyse matricielle est présenté à la figure 10.

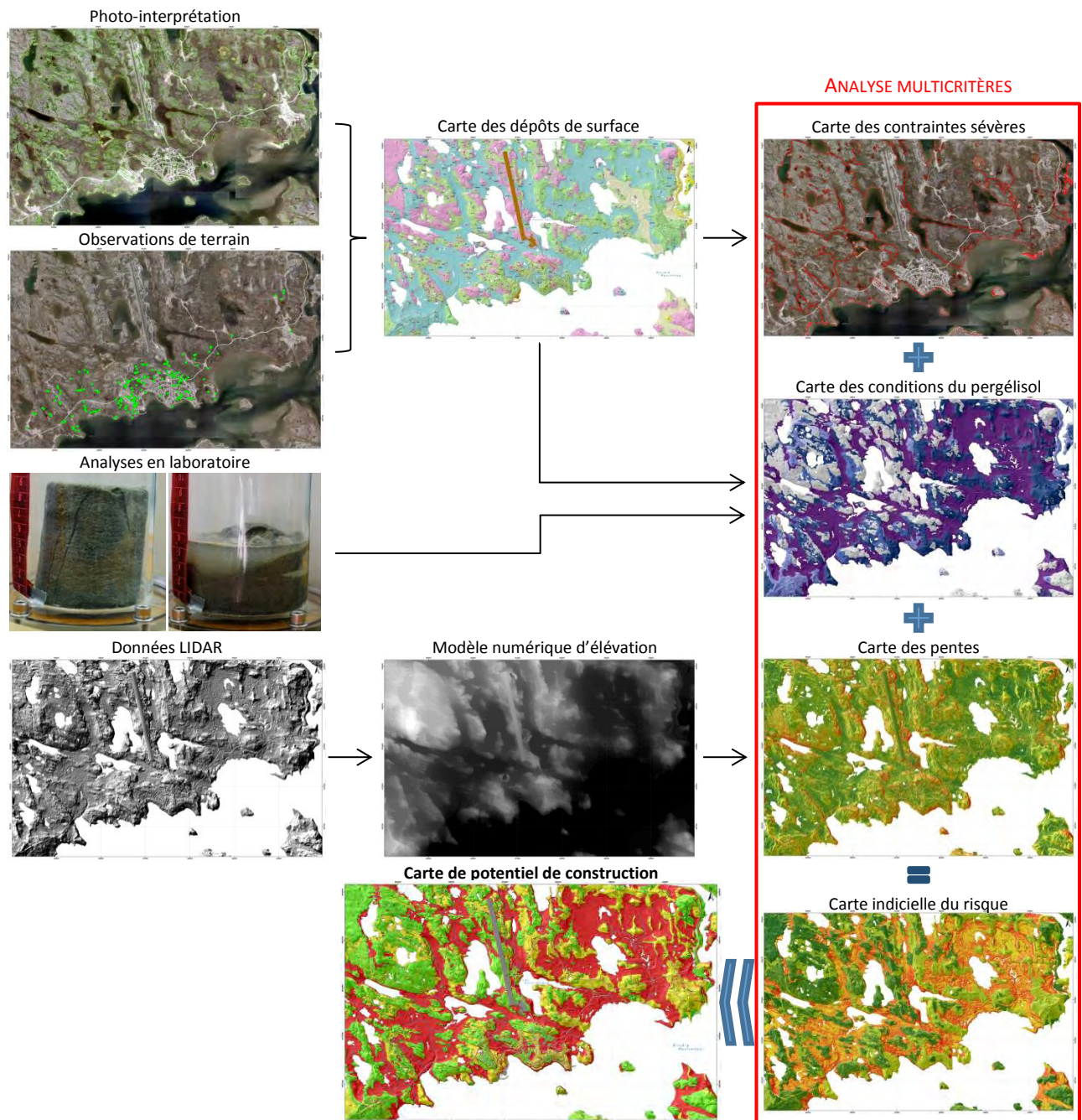


Figure 10 : Diagramme synthèse des différentes couches d'information géospatiale utilisées dans l'analyse matricielle en vue de produire des cartes de potentiel de construction selon les conditions de pergélisol et les pentes.

2.5.1 PRODUCTION DES CARTES DE CONDITIONS DU PERGÉLISOL ET DES CONTRAINTES SÉVÈRES À L'AMÉNAGEMENT

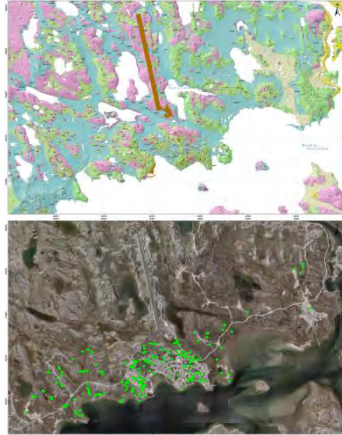
Des limitations logistiques, méthodologiques et financières ne permettent pas la réalisation de forages en nombre suffisant pour assurer une couverture uniforme et diversifiée du territoire afin d'en cartographier les conditions du pergélisol. Toutefois, étant intimement liées aux caractéristiques sédimentaires et aux conditions de drainage, les conditions de pergélisol peuvent être déduites à partir des unités géologiques de surface cartographiées précédemment, puis validées et précisées par un échantillonnage sélectif. En effet, les unités géologiques de surface ne sont pas que de simples solides, mais des assemblages complexes de particules solides de compositions, de formes et de grosseurs variées. Les environnements sédimentaires dans lesquels elles se développent laissent des signatures géomorphologiques et granulométriques étroitement liées au mode de transport des particules (glace, eau, vent,) ainsi qu'au niveau d'énergie au sein du bassin sédimentaire (élevée, modéré et faible). La cartographie des unités géologiques de surface permet de discrétiser les différentes unités de terrain selon leurs caractéristiques sédimentaires propres (granulométrie, composition lithologique, structures, couleur, épaisseur, etc.) et expressions morphologiques (plage, levée alluviale, delta, esker, drumlins, moraine, etc.), héritage géologique qui a un effet non négligeable sur le comportement géotechnique du dépôt, les caractéristiques structurales et propriétés du pergélisol. Ainsi, les unités géologiques de surface cartographiées dans les différentes communautés à l'étude ont été regroupées à l'intérieur de 2 principales classes de conditions de pergélisol à savoir : les dépôts stables au dégel (Roc et dépôts contenant très peu ou pas de glace) et les dépôts instables au dégel (Dépôts quaternaires contenant beaucoup de glace). Pour chacune des classes de conditions du pergélisol, des valeurs de pentes critiques ont été déterminées selon les risques estimés en fonction de la nature du dépôt de surface et des processus de terrain observés (Tableau 4). Au-delà de ces valeurs de pentes critiques, les terrains sont jugés défavorables à la construction. Par exemple, pour le roc ou un dépôt grossier mince sur roc (conditions 1a et 1b), une valeur de pente de 15° a été fixée arbitrairement de manière à limiter le volume de déblai/remblai nécessaire pour accueillir une fondation sur radier ou d'éviter une hauteur excessive des pieux. Pour les tills (conditions 2a et 2b), une pente de 8° et plus apparaît propice aux fluages (coulées de gélifluxion), donc susceptible de provoquer des déformations aux infrastructures. Sur des argiles riches en glace (conditions 2c), une pente supérieure à 2° est jugée à risque de décrochement de couche active dans le contexte d'une combinaison de surcharge, d'humidité excessive (horizon riche en glace, dégel rapide et précipitation abondante). Les valeurs de pentes critiques pour les conditions 2a, 2b et 2c, ont été déterminées empiriquement suite à la présence des mouvements de masse (glissements, décrochements, lobes de gélifluxion, sols striés, etc.) recensés par photo-interprétation et observés sur le terrain en lien avec les conditions du pergélisol en place et les valeurs de pentes pour les quatre villages à l'étude, mais également pour d'autres communautés du Nunavik ayant fait l'objet d'études sur le pergélisol dans le passé.

À ces deux principales classes de conditions du pergélisol s'ajoute une troisième classe qui regroupe les contraintes sévères à l'aménagement. Ces contraintes sévères, identifiées par photo-interprétation, analyse de données LIDAR et observations sur le terrain, regroupent les risques géologiques et les formes périglaciaires, à savoir, les secteurs à risque de glissements de terrain (cicatrices d'anciens glissements), les pentes susceptibles au fluage du pergélisol (lobes de gélifluxion), les zones mal drainées sujettes aux suintements provoquant la formation de glaçages et de buttes saisonnières à noyau de glace, les secteurs à risque de thermo-érosion (littoraux actuels), notamment les réseaux de polygones à coins de glace bien développés. Ces terrains problématiques occupent des surfaces restreintes et dispersées dans le paysage et disposent d'une pondération de risque élevé qui s'additionne aux indices de risque calculés selon les conditions de pergélisol et la pente afin qu'ils soient assurément considérés comme non favorables à la construction.

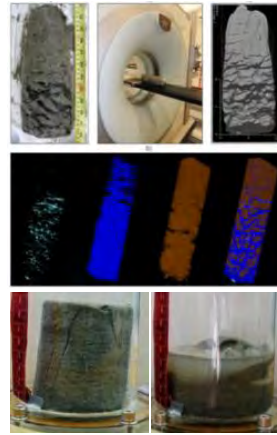
Rapports antérieurs



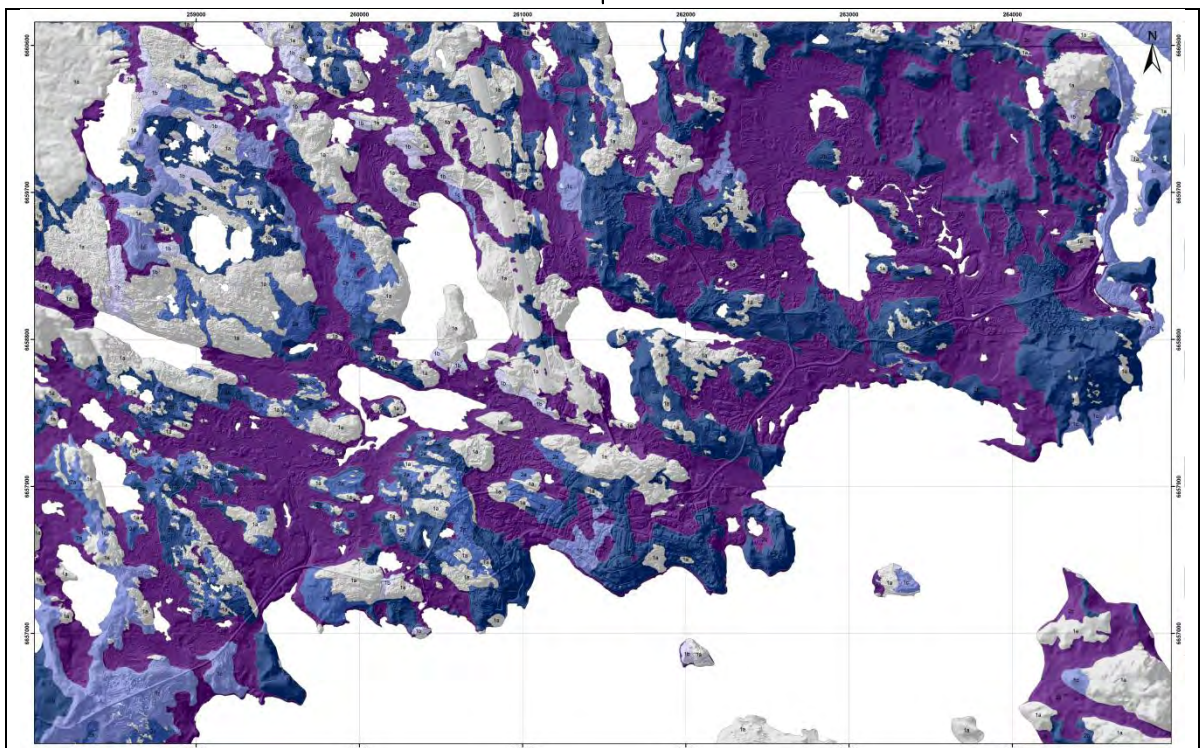
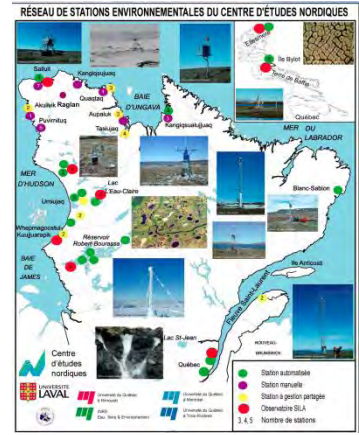
Cartographie des dépôts de surface et observations de terrain



Analyses en laboratoire



Régimes thermiques



Dépôts stables au dégel : Roc et dépôts meubles contenant très peu ou pas de glace

1a	Socle rocheux Couche active: 4,5 et 6 m / Contenu volumique en glace: très faible à nulle
1b	Dépôt de sable et gravier en couverture mince (< 2m) sur socle rocheux. Couche active: 1,5 et 2,5 m / Contenu volumique en glace : < 10 %
1c	Dépôts de sable et gravier stratifiés épais (> 2m). Couche active: 1,5 et 2,5 m / Contenu volumique en glace: < 10 % / Présence probable de coins de glace.

Dépôts instables au dégel : Dépôts meubles contenant beaucoup de glace

2a	Dépôt glaciaire (till) en couverture mince (< 2m) sur socle rocheux. Couche active: 1,25 et 2 m / Contenu volumique en glace: < 30 % / Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités.
2b	Dépôt glaciaire (till) en couverture épaisse (> 2m) sur socle rocheux. Couche active: 1,25 et 2 m / Contenu volumique en glace: < 30 % / Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels.
2c	Dépôts à granulométrie fine d'origine marine. Couche active : 0,5 et 1,2 m / Contenu volumique en glace: 30 % à 100 % / Matériau sujet à des tassements différentiels importants et glissements de terrain.

Figure 11: Informations géoscientifiques utilisées pour la construction des cartes de conditions du pergélisol et carte des conditions du pergélisol pour la communauté de Puvirnituk.



Figure 12: Carte des contraintes sévères à l'aménagement pour la communauté de Puvirnituaq. Les plans d'eau et les zones inondables sont particulièrement importantes spatialement.

2.5.2 PRODUCTION DES CARTES DE PENTES

À l'automne 2010, le MTQ, le MAMROT et le MRNF ont fait l'acquisition de photographies aériennes et de levés LIDAR aéroportés pour la production d'orthophotographies (Figure 13A) et de modèles numériques d'altitude dans les 14 villages du Nord-du-Québec. Toutefois, la couverture des données LIDAR se limite essentiellement au milieu bâti des communautés. Par conséquent, la création d'un MNE étendu qui couvre la superficie des nouvelles cartes de dépôts de surface (qui s'étend bien au-delà du milieu bâti des communautés) a nécessité la manipulation de plusieurs sources de données d'élévation d'une précision et d'une résolution différentes. Pour les zones non bâties en périphérie des communautés, des MNE d'une résolution initiale de 4 m et rééchantillonnée au mètre ont été utilisés (Figure 13B). Par la suite, pour les zones bâties des communautés, des MNE ont été générés à partir des levés LIDAR dont la précision altimétrique et géographique est inférieure à 10 cm et la résolution supérieure à 1 point/m². Les données LIDAR ont fait l'objet d'une série de traitements pour éliminer les erreurs et les points de mesure redondants afin de produire des modèles d'élévation numérique (MNE) de grande qualité sous forme de grille d'une résolution de 1 m par 1 m (Figure 13C). À l'occasion, la superposition de ces deux MNE ne permet toujours pas de couvrir en totalité la zone couverte par la cartographie étendue des dépôts de surface et des conditions du pergélisol. Par conséquent, il est parfois nécessaire d'utiliser un troisième jeu de données d'élévations obtenues en 2002 par procédé photogrammétrique et disponible pour toutes les communautés du Nunavik (Figure 13D). À l'échelle de 1/2 000, la précision planimétrique est de l'ordre de ±40 centimètres avec une précision hypsométrique de ±50 centimètres pour les points cotés. La résolution de la grille de ce MNE est de 1 m par 1 m et elle couvre l'intégralité du milieu bâti des communautés. La superposition de ces différents jeux de données d'élévation a permis d'obtenir une couverture continue sous forme de grille d'une résolution de 1 m par 1 m pour la totalité de la zone que couvrent les nouvelles

cartes étendues des dépôts de surface et des conditions du pergélisol (Figure 13E). C'est à partir de ces nouveaux MNE que les cartes ombragées du relief (Figure 13F) et les cartes de pentes ont été produites (Figure 13G).

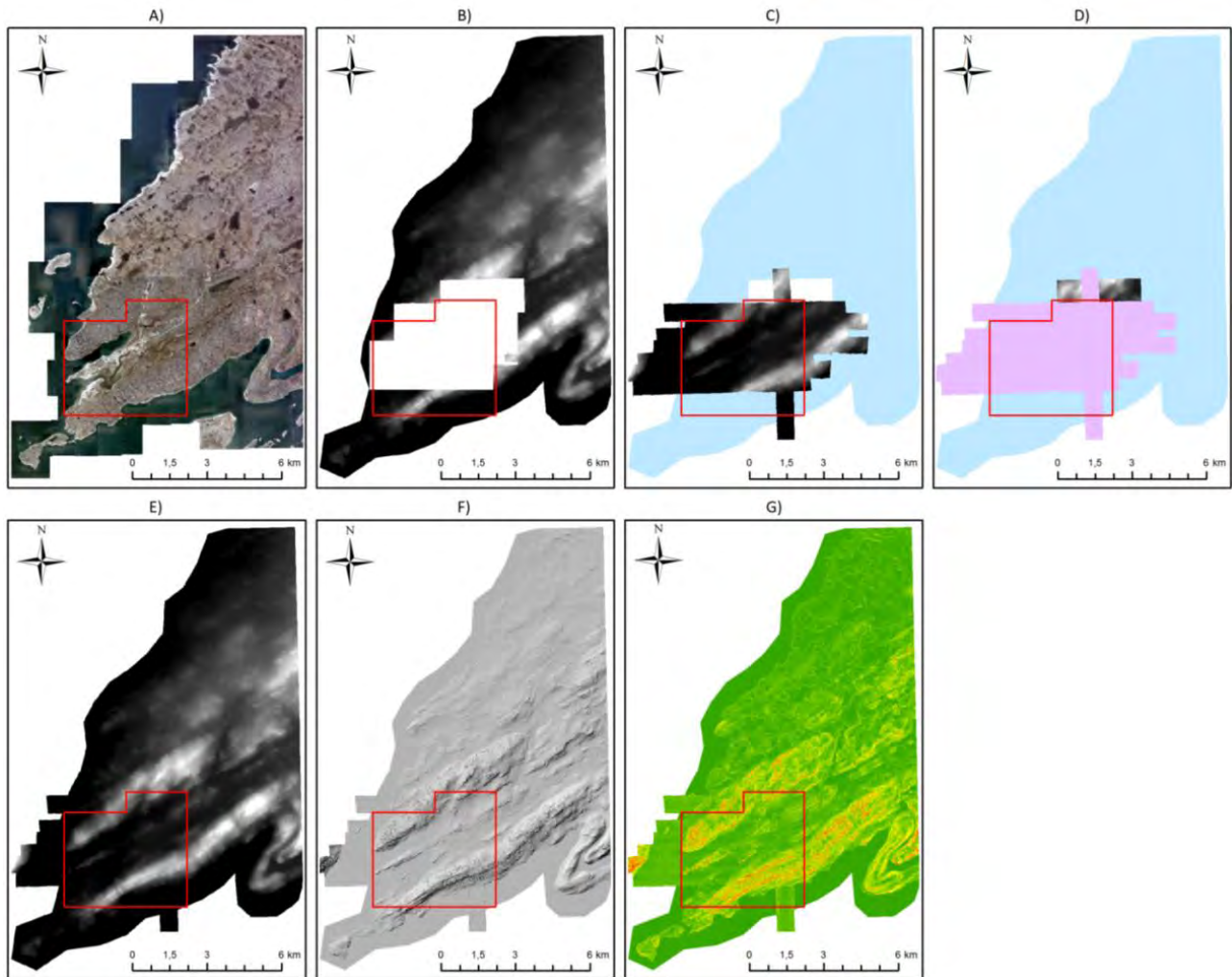


Figure 13: Pour la région d'Akulivik : A) Orthomosaique générée à partir des photographies aériennes prises en 2010. B) MNE de 2010 de faible résolution (4 m x 4 m) disponible pour la zone en périphérie du milieu bâti. C) Superposition du MNE haute résolution (1 m x 1 m) produit à partir des données LIDAR de 2010 sur le MNE faible résolution (zone bleue). D) comblement des zones non couvertes par les deux MNE de 2010 (zone bleue et rose) avec le MNE haute résolution (1 m x 1 m) de 2002 produit par procédé photogrammétrique. E) MNE mixte qui couvre la totalité de la superficie de la nouvelle carte des dépôts de surface et des conditions du pergélisol (Cadre rouge). Carte de relief ombragé (F) et carte des pentes (G) produites à partir du MNE mixte.

2.5.3 ANALYSE MULTICRITÈRES ET PRODUCTION DES CARTES INDICIELLE DU RISQUE

Les données géospatiales quantitatives, comme les pentes, sont facilement intégrables à l'intérieur d'une équation matricielle. Toutefois, les données géospatiales qualitatives nominales comme les conditions de pergélisol et les contraintes sévères recensées sur le terrain doivent être pondérées de manière à pouvoir être quantifiées et intégrées. La pondération des différentes conditions de pergélisol a été effectuée d'une part en tenant compte de leur sensibilité au tassement qui est directement proportionnelle à la quantité de glace présente dans le dépôt et l'épaisseur de celui-ci. Ainsi, pour les différentes conditions du pergélisol recensées, l'indice de sensibilité au tassement (IST) est de 0 pour le socle rocheux, les sédiments grossiers pauvres en glace ou les dépôts glaciaires d'une épaisseur inférieure à 2 m, de 60 pour les sédiments glaciaires épais et de 120 pour les dépôts à granulométrie fine riches en glace (Tableau 4).

Tableau 4: Indice de sensibilité au tassement et valeurs de pentes critiques selon les conditions de pergélisol.

Dépôts stables au dégel : Roc et dépôts meubles contenant très peu ou pas de glace		IST	Pente critique
1a	Socle rocheux Couche active: 4,5 et 6 m / Contenu volumique en glace: très faible à nulle	0	15° et plus Coefficient: 8
1b	Dépôt de sable et gravier en couverture mince (< 2m) sur socle rocheux. Couche active: 1,5 et 2,5 m / Contenu volumique en glace : < 10 %	0	15° et plus Coefficient: 8
1c	Dépôts de sable et gravier stratifiés épais (> 2m). Couche active: 1,5 et 2,5 m / Contenu volumique en glace: < 10 % / Présence probable de coins de glace.	0	10° et plus Coefficient: 12
Dépôts instables au dégel : Dépôts meubles contenant beaucoup de glace		IST	Pente critique
2a	Dépôt glaciaire (till) en couverture mince (< 2m) sur socle rocheux. Couche active: 1,25 et 2 m / Contenu volumique en glace: < 30 % / Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités.	0	8° et plus Coefficient: 15
2b	Dépôt glaciaire (till) en couverture épaisse (> 2m) sur socle rocheux. Couche active: 1,25 et 2 m / Contenu volumique en glace: < 30 % / Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels.	60	8° et plus Coefficient: 7,5
2c	Dépôts à granulométrie fine d'origine marine. Couche active : 0,5 et 1,2 m / Contenu volumique en glace: 30 % à 100 % / Matériau sujet à des tassements différentiels importants et glissements de terrain.	120	2° et plus Coefficient: 60

Tel que mentionné à la section 2.5.1, les risques associés à la pente vont varier en fonction des différentes conditions de pergélisol rencontrées. Par conséquent, afin d'être en mesure de considérer l'influence de la pente dans l'évaluation du risque, un coefficient de pente (α) propre à chacune des conditions de pergélisol a été développé et se définit par l'équation suivante :

$$\alpha = \frac{R_{\text{seuil maximal}}}{S_c}$$

Où $R_{\text{seuil maximal}}$ correspond au seuil maximal de l'indice de risque au-delà duquel le terrain est jugé défavorable à la construction et S_c est la valeur de la pente critique en degrés déterminée pour une condition de pergélisol donnée. Par exemple, pour la condition de pergélisol 1a, le coefficient de pente sera égal à :

$$\alpha_{1a} = \frac{R_{\text{seuil maximal}}}{S_{c1a}} = \frac{120}{15} = 8$$

Ainsi, pour chaque cellule de la carte des conditions de pergélisol, un coefficient de pente a été attribué afin de créer une carte de coefficients de pente $[\alpha_{ij}]$. Le produit d'Hadamard (multiplication matricielle cellule par cellule) entre cette dernière et la carte des pentes permet d'obtenir une carte de contrainte des pentes $[ICP_{ij}]$ définie par l'équation suivante :

$$[ICP_{ij}] = [\alpha_{ij}] [S_{ij}]$$

Ainsi, pour une cellule géographique donnée, lorsque la valeur de l'indice de contrainte des pentes (ICP) est supérieure à 120, c'est-à-dire lorsque la pente est supérieure à la valeur de pente critique établie pour la condition de pergélisol rencontrée, celle-ci est classée défavorable à la construction.

Ultimement, un indice de risque est calculé pour chacune des cellules en additionnant l'indice de sensibilité au tassement (IST), l'indice de contrainte des pentes (ICP) et les contraintes sévères à l'aménagement (Figure 14). Théoriquement, l'indice de risque peut avoir une valeur qui varie entre 0 et 5640. Plus cet indice est élevé, plus l'interaction entre les contraintes, les conditions de pergélisol et les pentes font en sorte que le terrain est sensible, donc défavorable à la construction. Un indice du risque arbitraire de 120 a été déterminé au-delà duquel, les terrains sont jugés défavorables à la construction. Cette reclassification a pour objectif de classer le terrain à l'intérieur de trois catégories soit : 1- les terrains aménageables pour la construction, 2- les terrains aménageables pour la construction, mais sujets à des tassements limités et restreints à certains types de fondations et, 3- les terrains défavorables à la construction (Tableau 5).

Une synthèse des corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol au Québec nordique est présentée au tableau 6. Compte tenu des techniques de fondation existantes en milieu de pergélisol (radiers, pieux, thermosiphons, dégel provoqué, etc.), des suggestions relatives aux techniques de construction potentiellement applicables sur les terrains classés « aménageables » selon les conditions de pergélisol y sont proposées. Il est important de mentionner qu'en raison de la grande variabilité spatiale tant horizontale que verticale des teneurs en glace à l'intérieur d'une même unité géologique de surface, les cartes du potentiel de construction selon les conditions de pergélisol et les pentes qui sont présentées dans ce rapport sont avant tout un outil d'aide à la planification et ne remplacent pas les études géotechniques d'avant-projet. Les fondations proposées selon les conditions de pergélisol ont été sélectionnées parmi celles documentées dans la littérature et couramment utilisées au Nunavik et au Nunavut. Les types de fondations proposées sont à titre suggestif et il s'avère nécessaire de mener des études géotechniques et d'ingénieries approfondies avant construction afin de déterminer, en fonction des conditions de pergélisol locales rencontrées, le choix optimal du type de fondation et le dimensionnement approprié en vue d'en adapter la conception au besoin et ainsi d'atténuer leur vulnérabilité en cas de dégel du pergélisol.

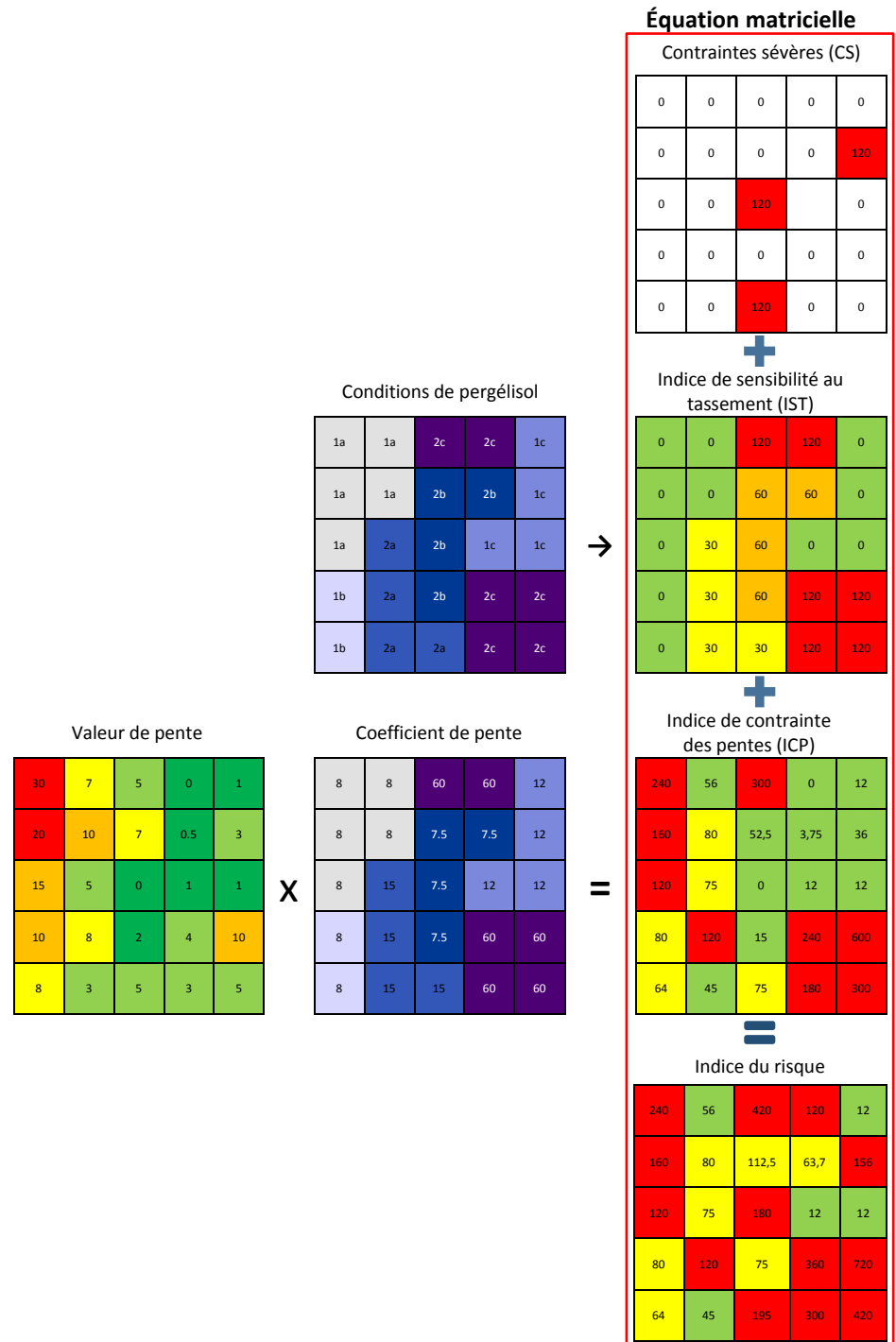













Figure 14: Structure et pondération de l'information géospatiale à l'intérieure de l'équation matricielle utilisée pour calculer l'indice de risque.

Tableau 5: Classification du potentiel à la construction selon la valeur de l'indice du risque.

Classes de potentiel de construction	Indice de risque	Code de couleur
Terrains aménageables pour la construction.	entre 0 et 60 exclusivement	
Terrains aménageables pour la construction, mais sujets à des tassements limités et restreints à certains types de fondation. Peuvent nécessiter des travaux de nivellement importants.	entre 60 et 120 exclusivement	
Terrains défavorables à la construction.	120 et plus	

Tableau 6: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol au Québec nordique accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.

DEPOTS STABLES AU DEGEL : ROC ET DEPOTS CONTENANT TRES PEU OU PAS DE GLACE				
DÉPÔTS DE SURFACE	CONDITIONS DE PERGÉLISOL	TYPES DE FONDATIONS ADAPTÉS AUX CONDITIONS DE PERGÉLISOL	PENTE CRITIQUE	POTENTIEL DE CONSTRUCTION SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES
R Socle rocheux massif d'âge précambrien dont la surface est parsemée de blocs et parfois recouverte d'une mince couche de sable et gravier avec cailloux.	1a La couche active atteint une épaisseur comprise entre 4,5 et 6 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.	Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.	15° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
Mn/R Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés.	1b La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10 %.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).	15° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
At Gf Gfp GMf Mn Mnf Ev Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m.	1c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.	Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requérir des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons).	10° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).
DEPOTS INSTABLES AU DEGEL : DEPOTS QUATERNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE				
Tv+R Tx/R Tm/R Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés.	2a La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte en raison de sa faible épaisseur.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).	8° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
T Tm Tx Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m avec possibilités d'affleurements rocheux ponctuels.	2b La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.	Fondations sur pieux possibles, mais requérant des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	8° et plus	 Terrains aménageables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
L O O/Mb Av/Mb Mn/Mb Mit Mb GMd Dépôts à granulométrie fine d'origine marine (sable fin, silt et argile). Parfois recouvert d'une couche mince de sols organiques, de sédiments alluviaux, de sédiments littoraux ou de sédiments lacustres. Dépôt mal drainé.	2c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Surface fréquemment recouverte d'ostioles. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.	Fondations sur radiers et chevalets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	2° et plus	 Terrains défavorables à la construction.
CONTRAINTES SEVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES				
C Ap Mi Mr Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Inondations et mouvements de versant (ex. : éboulis). Cicatrices d'ancien glissement, sillons de polygones à coin de glace, buttes saisonnières à noyau de glace, etc.	3 Processus périglaciaires et de versants dynamiques, littoraux et plaines alluviales actuelles	Terrain problématique à éviter	N.A	 Terrains défavorables à la construction.

3 RÉSULTATS

3.1 PUVIRNITUQ

3.1.1 RÉPARTITION SPATIALE DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE, PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES ET CONDITIONS DE PERGÉLISOL

La communauté de Puvirnituaq, une des plus peuplées du Nunavik, compte près de 1692 habitants (Statistique Canada 2012). Elle est située sur la rive nord de la rivière Puvirnituaq, à moins de 10 kilomètres de la baie d'Hudson. Les formations géologiques de la région, principalement constituées de gneiss granitiques, de migmatites et d'anorthosites, se présentent sous forme de bas plateaux subhorizontaux marqués par de nombreuses stries glaciaires et diaclases. Ces plateaux constituent l'assise rocheuse sur lesquels reposent les formations géologiques superficielles mises en place lors de l'épisode glaciaire puis remaniées lors de la phase de transgression marine postglaciaire et ensuite par l'action alluviale et périglaciaire récente. D'après la cartographie des unités géologiques de surface et les observations stratigraphiques, on distingue trois types d'unités géologiques de surface qui se résument ainsi : des affleurements rocheux (R) recouvert d'une mince couche de dépôts meubles (Mn/R, Tx/R et Tm/R), des dépôts glaciaires remaniés par les vagues et les courants lors de la phase marine (Tm et Tx) et des dépôts marins épais (Mn/Mb, At/Mn et O/Mb). La répartition spatiale de ces trois unités géologiques de surface suit un patron bien spécifique qui est intimement lié à la topographie régionale caractérisée par un relief ondulé où alternent sommets et dépressions de faible amplitude (dénivellation inférieure à 30 m). Les parties surélevées correspondent essentiellement à des affleurements rocheux dont la surface lisse est marquée par des polis glaciaires et recouvert par endroits par une couverture mince de dépôts quaternaires, tandis que les dépressions sont, quant à elles, comblées de dépôts meubles d'origine marine et ou glaciaire fortement remaniés. Le roc qui délimite ces dépressions peut plonger rapidement ce qui forme des cuvettes profondes à l'intérieur desquelles l'épaisseur des dépôts meubles peut atteindre plus de 16 m d'après L'Hérault et *al.*, 2012.

La cartographie des unités géologiques de surface réalisée (voir carte en annexe) a été validée sur le terrain par un nombre important d'observations de terrain telles que des observations de surface, sondages superficiels et forages avec récupération. Au total, 4 forages avec récupération ont été réalisés au cours de la campagne de terrain 2010. L'auscultation géotechnique visait essentiellement à caractériser les dépôts marins présents dans les dépressions mal drainées. Les positions exactes des puits de forages sont présentées sur la carte des dépôts meubles et leurs caractéristiques sont résumées au tableau 7. Les résultats des analyses et essais en laboratoire réalisés sur les échantillons non remaniés prélevés lors de ces forages ont permis de caractériser les propriétés géotechniques du pergélisol pour certains types d'unités géologiques de surface. À ces nouvelles observations de terrain s'ajoutent celles recensées dans des études antérieures.

Tableau 7 : Caractéristiques générales des forages réalisés à Puvirnituaq.

Nom du forage	Coordonnées		Altitude (m)	Profondeur atteinte (m)
	x	y		
P10_F1	-77,286687	60,035578	3,87	4,15
P10_F3	-77,276303	60,034894	9,75	2,80
P10_F4	-77,290365	60,035385	12,70	2,35
P10_F5	-77,288898	60,036468	6,74	4,45

3.1.1.1 SÉDIMENTS LITTORAUX ET PRÉLITTORAUX (Mn)

Dans les fonds de vallée, les sédiments littoraux et pré littoraux reposent sur les sédiments marins d'eau profonde. Ces dépôts superficiels peuvent atteindre à l'occasion plus de 2 m d'épaisseur et se présentent morphologiquement comme des monticules sableux bien drainés. Certains de ces monticules sont affectés par la fissuration au gel favorisant le développement de coins de glace dont la présence se témoigne en surface par la présence de sillons plus ou moins profonds organisés en réseau polygonal. Une vérification approfondie est nécessaire pour valider la présence de coins de glace. Outre dans le fond des vallées mal drainées, les sédiments littoraux et pré littoraux se retrouvent également directement sur les affleurements rocheux en couverture épaisse (Mn) ou mince (Mn/R) ou sur les moraines de till (Tm) en couverture mince sur lesquelles l'exposition aux vagues et aux courants au cours de l'émersion des terres a favorisé la formation de plages soulevées. Au point de vue géotechnique, les sédiments littoraux et pré littoraux constitue un substrat stable au dégel en raison de leur composition essentiellement sableuse et corollairement leur faible propension à contenir un volume de glace excédant la porosité du sol. Toutefois, c'est plutôt au niveau stratigraphique que la limitation de constructibilité sur ce dépôt s'applique. En effet, ce type de dépôt, même s'il est bien drainé et peut paraître stable en surface dans le fond des vallées recouvre des sédiments marins fins mal drainés et riches en glace. La base de la couche active dans ce type de sédiments est comprise entre 1,5 et 1,7 m (PUV_FOR1A). Advenant un réchauffement climatique ou tout simplement l'implantation d'une construction mal adaptée, l'augmentation des températures de l'air et la modification des conditions de surface favoriseront une pénétration du front de dégel plus en profondeur. Le dégel atteindra alors la couche de sédiments riche en glace sous-jacentes (Mb). La fonte de cette couche riche en glace entraînera la subsidence du terrain en réponse de la perte de volume occupé jadis par la glace présente dans le dépôt.

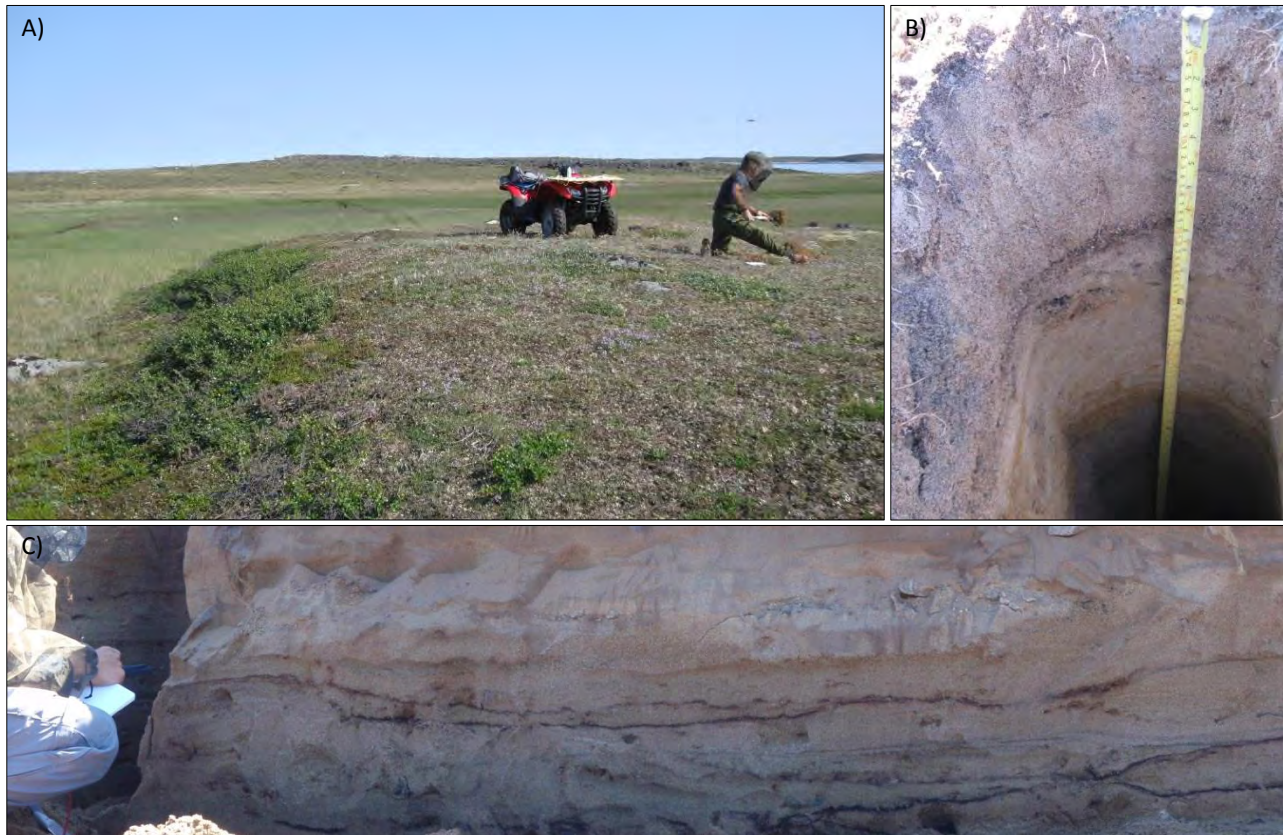


Figure 15: A) Bombement topographique que forment les dépôts de sédiments littoraux et pré littoraux à l'intérieur des vallées mal drainées. Ces dépôts sont essentiellement sableux et stratifiés dont l'épaisseur peut atteindre plus de deux mètres (B et C).

3.1.1.2 SÉDIMENTS MARINS FINS D'EAU PROFONDE (O/MB, MN/MB ET AT/MB)

Les sédiments marins fins d'eau profonde se retrouvent essentiellement dans les dépressions topographiques mal drainées surcreusées par l'érosion glaciaire. Ils sont fréquemment recouverts soit par des dépôts organiques (O, O/Mb) (Figure 16A), lacustres (L), littoraux et pré-littoraux (Mn/Mb) (Figure 16B) ou alluviaux (At/Mb) (Figure 16C et D) dont l'épaisseur est généralement inférieure à 1 mètre. Au point de vue stratigraphique, ces sédiments marins reposent sur un diamicton grisâtre assez dense identifié comme étant un till. Ces dépôts sont circonscrits entre les collines rocheuses et les crêtes morainiques. La végétation y est de type herbacé et tourbeux propre au milieu humide et la présence de « hummocks » y est fréquente.

En 2005, un forage superficiel avec récupération (PUV_FOR1A) d'une profondeur de 3,75 m fut réalisé par Allard et *al.* (2007) dans l'une de ces dépressions à environ une centaine de mètres à l'est de la piste d'atterrissage. Lors de ce forage, le front de dégel avait été rencontré à 0,43 m de profondeur au-delà duquel, le dépôt de sables silteux littoraux brunâtre (Mn), d'une épaisseur de 0,88 m, contenait de fines lentilles de glace occupant un volume estimé à environ 30 % (Figure 17A). Sous cette couverture mince, un matériel grisâtre avec une importante fraction de silt et d'argile avait été rencontré puis échantillonné (Figure 17B). Ce même dépôt grisâtre à granulométrie fine avait également été ausculté entre les chaînages 6+330 et 6+350 lors d'une étude géotechnique réalisée avant la construction de la piste (Laboratoire Ville-Marie, 1989). Rencontré à 1 m de profondeur, ce dépôt silto-argileux peu plastique (USCS : ML), constitué à 75 % de silt, avait des teneurs en eau inférieures à 15 % dans la couche active et était très sensible et facilement liquéfiable. À l'été 2008, L'Hérault et *al.* (2012) ont réalisé trois forages profonds avec récupération dans l'une de ces vallées mal drainées lors d'une étude géotechnique visant à caractériser les propriétés du pergélisol dans le secteur de l'aéroport. D'après L'Hérault et *al.* (2012), ce dépôt de sédiments marins d'eau profonde peut atteindre une épaisseur de plus de 7 mètres et consiste en un mélange de silts inorganiques, sables très fins et argile de faible plasticité (USCS : ML-CL) dont la proportion de particules fines (< 0,075 mm) peut atteindre plus de 90 %. Ce dépôt repose directement sur un till dont le premier mètre a été remanié lors de l'invasion marine post glaciaire.

En 2010, dans le cadre de ce projet, trois forages superficiels avec récupération ont été réalisés au sein des sédiments marins fins (Annexe : carte des dépôts de surface). La stratigraphie des forages se résume essentiellement en une couverture de tourbe en surface d'une épaisseur variant entre 10 et 30 cm, d'une couche de sable moyen à fin brunâtre avec présence de fragments de coquillages (Mn) généralement inférieure à un mètre d'épaisseur sous lesquels reposent les sédiments marins d'eau profonde (Mb). Lors des forages, la profondeur de dégel dans ce type de dépôt a été atteinte entre 60 et 90 cm. Le pergélisol dans ce type de dépôt présente une quantité importante de glace de ségrégation comme le démontrent les échantillons non perturbés prélevés lors des forages P10_F1, P10_F3 et P10_F5 (Figure 17C, D et E). Les profils cryostratigraphiques de ces trois forages présentés à la figure 17F montrent la présence d'une couche riche en glace comprise entre 1 et 1,75 m de profondeur particulièrement visible pour les forages P10_F3 et P10_F5. Le sommet de cette couche riche en glace correspond au plafond actuel du pergélisol et se distingue par une cryostructure lenticulaire très bien développée (P10_F3) ou suspendue (P10_F5) (Figure 17G) où le volume de la glace peut atteindre plus de 80 % par volume avec des teneurs en eau après fusion de la glace comprises entre 115 et 290 % (Figure 18B). Sous cette couche, les sédiments marins fins d'eau profonde présentent une cryostructure lenticulaire bien développée dont le volume occupé par la glace varie entre 30 et 40 % par volume correspondant à des teneurs en eau gravimétriques après fusion de l'ordre de 30 à 40 %. Pour l'ensemble des échantillons (n=39) prélevés dans les trois forages réalisés dans cette unité, la teneur en eau gravimétrique après fusion est en moyenne d'environ 52 % avec une valeur médiane de 27 % et un écart type de 64 % (Figure 18B). Cette variabilité importante des valeurs s'explique par la richesse en glace du plafond actuel du pergélisol. En excluant cette couche spécifique, la

teneur en eau moyenne du pergélisol après fusion dans les dépôts marins fins est généralement inférieure à 30 %.

Un essai de consolidation au dégel a été réalisé à sur un échantillon prélevé dans la couche très riche en glace au forage P10_F5 entre 1,41 et 1,56 m de profondeur (Figure 17F). L'échantillon présente une cryostructure suspendue, c'est-à-dire un volume de glace excédentaire à l'intérieur duquel les agrégats de sédiments sont suspendus et isolés l'un de l'autre (Figure 17G). La teneur en eau initiale de l'échantillon mesurée après fusion de la glace était de 117,7 %. Après la fonte et la consolidation de l'échantillon sous des contraintes de 50 puis 100 kPa, la déformation verticale a atteint respectivement des valeurs de 57,3 et 61,3 % (Figure 18C). Par conséquent, advenant une augmentation de la couche active à l'intérieur des sédiments marins riche en glace, les tassements anticipés pourraient atteindre des valeurs significatives. Par exemple, chaque décimètre de sol dégelé provoquerait un tassement de près de 6 cm. Toutefois, il est important de mentionner que l'échantillon analysé provient du plafond du pergélisol qui est caractérisé par son contenu en glace habituellement très élevé. La fonte éventuelle des sédiments plus en profondeur dont le volume en glace est moindre entraînerait également des tassements, quoique plus limités.

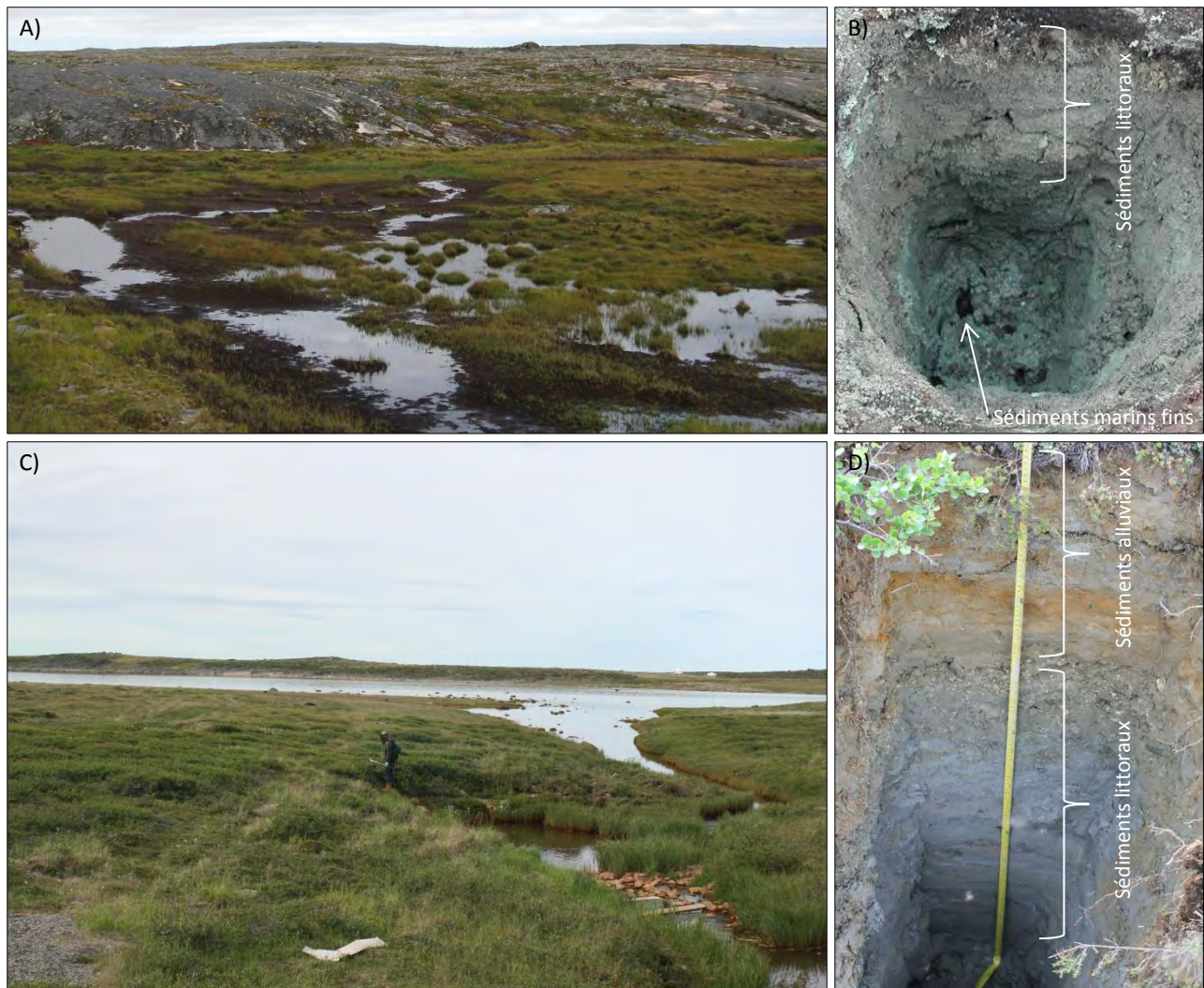


Figure 16: Dépression mal drainée comblée de sédiments marins fins d'eau profonde (A) et recouverts d'une mince couche de sédiments littoraux et pré-littoraux sableux en surface (Mn/Mb) (B). C) Sédiments marins fins d'eau profonde façonnés en surface par l'action alluviale (At/Mb). D) Les sédiments alluviaux consiste en une fine couche de silt sableux oxydé.

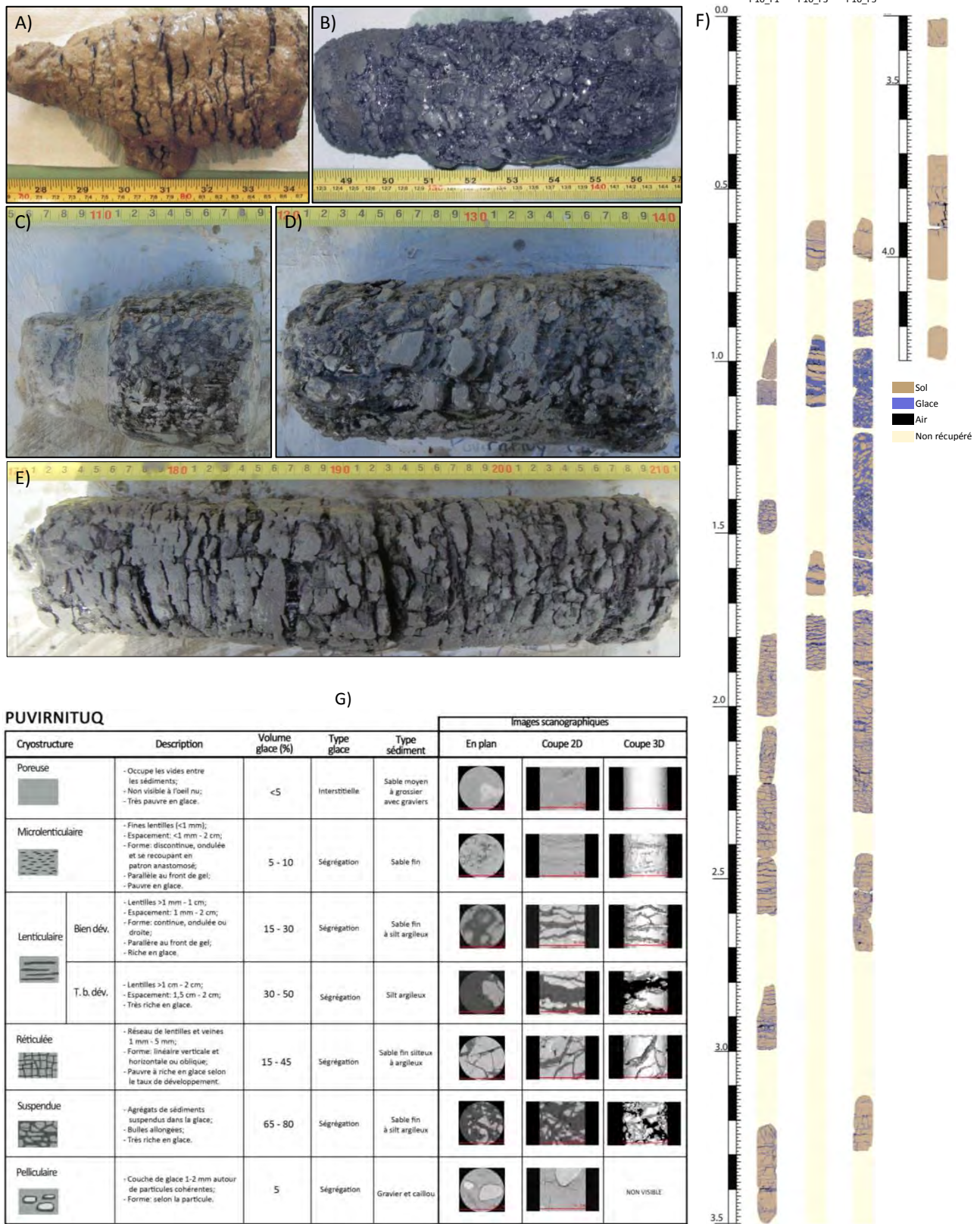
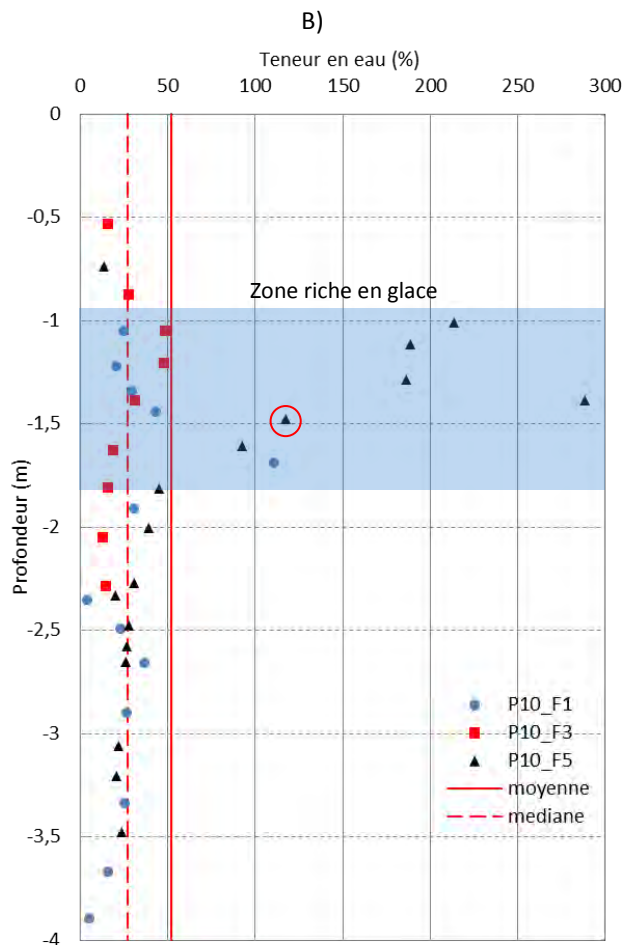
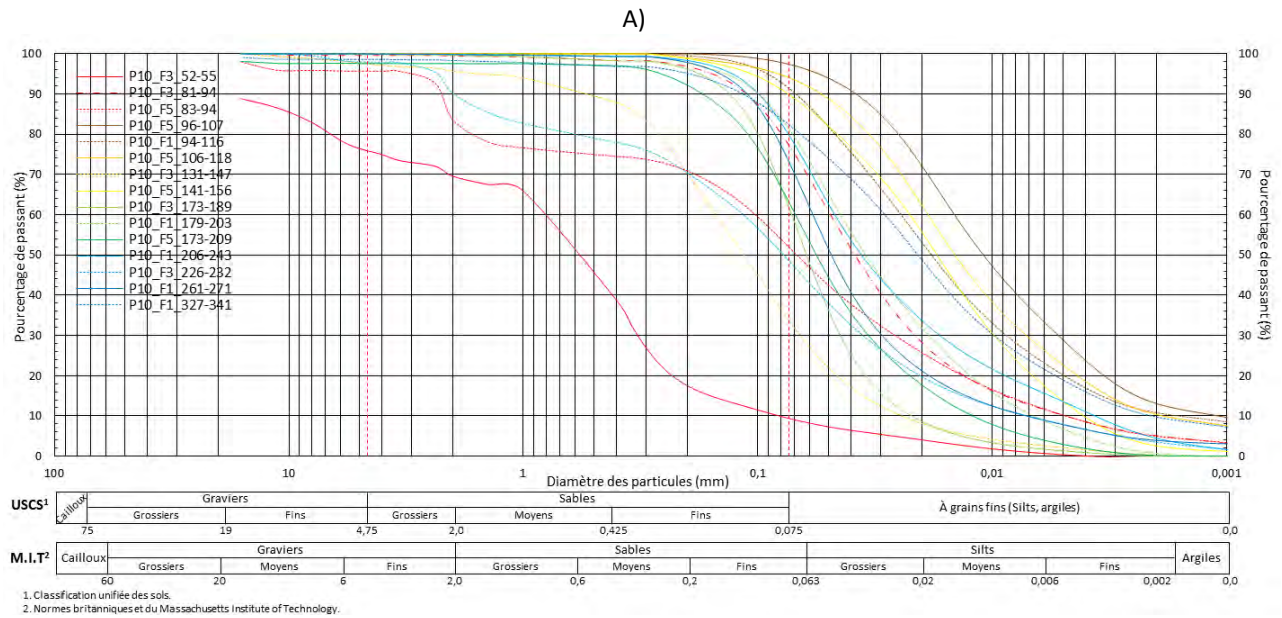


Figure 17: A) et B) Échantillons de pergélisol prélevés aux forages PUV_FOR1A (Tirée de Allard et al., 2007). C), D) et E) Échantillons de pergélisol prélevés aux forages P10_F5 entre 0,96 et 2,10 m de profondeur. F) Profils cryostratigraphiques observés aux forages P10_F1, P10_F3 et P10_F5. G) Tableaux synthèse des cryostructures observées dans les dépôts de Puvirnituk.



C)

Nom de l'échantillon	P10_F5_141_156	
Teneur en eau (%)	117,7	
Indice des vides initiale (e0)	3,644	
Contrainte (kPa)	50	100
Indice des vides finale (ef)	0,984	0,797
Taux de consolidation (%)	57,3	61,3



Figure 18: A) Courbes granulométriques et B) Teneurs gravimétriques en eau après fusion pour les échantillons prélevés aux forages P10_F1, P10_F3 et P10_F5 dans l'unité de sédiments marins fins d'eau profonde (Mn/Mb). C) Essai de tassement et consolidation au dégel réalisé sur un échantillon prélevé dans le plafond du pergélisol au forage P10_F5 entre 1,41 et 1,56 m de profondeur.

3.1.1.3 SÉDIMENTS GLACIAIRES (Tm ET Tx)

Dans la région de Puvirnituq, les sédiments glaciaires s'organisent en une série de crêtes discontinues hautes de 3 à 6 m dont l'orientation générale est nord-sud, soit perpendiculaire au sens régional du retrait de l'inlandsis Laurentidien (Figure 19A). Il s'agit de moraine de De Geer édifiées dans un environnement glaciomarin au contact entre la mer et le front glaciaire. Ces crêtes de till formant des moraines ont été cartographiées sous l'unité Tm (Carte en annexe). En surface, ces moraines, dont la fraction fine a été lessivée par l'action des vagues et des courants marins, disposent d'une armure de blocs sub-arrondis (Figure 19B). Il est également fréquent d'y observer des vestiges du remaniement marin qui se présente souvent sous la forme d'une fine couche en surface de sable bien trié et laminé (Figure 19C). Toutefois, sous cette couche superficielle de blocs, les moraines consistent en un diamicton à dominance sableuse (Figure 19D) ou silteuse (Figure 19E) avec cailloux décimétriques et blocs métriques. Outre sous forme de moraines clairement visibles à la surface du terrain, les dépôts de till se présentent également sous une forme plus subtile, c'est-à-dire par des langues de till adossées aux versants des affleurements rocheux et qui parfois affleurent au sein des dépressions mal drainées comblées de dépôt marins d'eau profonde (Figure 19F). Sa surface est généralement marquée par des ostioles et gros blocs et il est fréquent d'y retrouver des fragments de coquillages, évidence d'un remaniement par l'eau lors de la submersion des terres par la mer de Tyrell.

D'après les forages profonds réalisés au fond d'une dépression dans le secteur de l'aéroport par L'Hérault et al., (2012), le till a été rencontré à une profondeur supérieure à 7 m sous les dépôts marin fins d'eau profonde (Mn/Mb). Il atteint une épaisseur de plus de 5 m et repose directement sur la roche en place. Leurs analyses géotechniques démontrent que le till consiste en un mélange de sable et de silt non plastique avec un peu de gravier (USCS : SM) dont la proportion de particules fines peut atteindre près de 50 % (USCS : SM-ML), mais est généralement comprises entre 15 et 35 % (Figure 20A). Malheureusement, leurs forages n'ont pas permis de prélever des échantillons de till non perturbés.

En 2010, un seul forage superficiel a été réalisé dans ce type de dépôt (P10_F4) avec une récupération limitée qui se résume à deux échantillons (Figure 20B et C). En date du forage, le front de dégel a été mesuré à 0,58 m. Un échantillon prélevé entre 0,88 et 0,96 m de profondeur présentait une cryostructure lenticulaire faiblement développée. La teneur gravimétrique en eau après fusion dans cette unité est très variable avec des valeurs comprises entre 14 et 164%. La teneur en eau la plus élevée a été mesurée sur un échantillon prélevé entre 1,54 et 1,67 m de profondeur, soit dans la partie supérieure du pergélisol typiquement riche en glace.

En raison du faible nombre de forages et d'échantillons récupérés dans cette unité, l'évaluation des conditions du pergélisol dans ce type de dépôts (type de cryostructure et volume en glace) demeure très limitée. Nonobstant, les dépôts glaciaires disposent d'un potentiel de construction non négligeable, mais la prudence est requise avant d'entreprendre l'implantation d'infrastructures sur ce type de dépôt. En effet, l'hétérogénéité de ce dépôt tant au point de vue de sa granulométrie, de son comportement géotechnique, de son contenu en glace et en eau, rend difficilement prévisible sa stabilité à long terme. De manière générale, ce dépôt est stable au dégel pour les zones à dominance sableuse et instable au dégel pour les zones riches en silt. Une vérification ponctuelle est donc nécessaire pour valider la composition du till et la présence potentielle de glace avant toute construction. Néanmoins, lorsque l'épaisseur du till sur la roche en place est inférieure à environ 5 mètres, un choix de fondation profonde prenant appui directement sur le socle rocheux s'avère une alternative au radier qui vaut la peine d'être envisagée. Il est recommandé d'éviter tout déblai dans les dépôts de till à dominance silteuse afin d'éviter le dégel accéléré et le fluage du versant déstabilisé.



Figure 19: A) Vue aérienne des moraines de De Geer de la région de Puvirnituk. B) Aperçu d'une moraine et son armure de blocs présent en surface. C) Fine couche de sables littoraux et pré-littoraux (Mb) qui recouvre le till. Diamicton à dominance sableuse (D) ou silteuse (E) qui compose le till de la région. F) Affleurement de till remanié (Tx) au sein d'une dépression comblée de dépôts marins fins d'eau profonde (Mn/Mb).



Figure 20: A) Échantillons de till prélevé entre 11,50 et 11,80 m de profondeur sous les sédiments marins fins d'eau profonde lors d'un forage réalisé au fond d'une dépression dans le secteur de l'aéroport (Tirée de L'Hérault et al., 2012). B) Échantillons de till remanié (Tx) prélevé au forage PUV_F4 entre : 0,88 et 0,96 m (B) et 1,54 et 1,67 m (C) de profondeur (Tirée de L'Hérault et al., 2012).

3.1.1.4 AFFLEUREMENTS ROCHEUX SANS OU AVEC COUVERTURE MINCE DE DÉPÔTS MEUBLES (R, Mn/R, Tx/R ET Tm/R)

En général, les affleurements rocheux sont légèrement fuselés et atteignent une altitude variant entre 5 et 30 m. Leur sommet est relativement plat et constitue des espaces favorables au développement domiciliaire (Figure 21A). Les cannelures et stries glaciaires visibles sur les surfaces rocheuses dénudées ont une orientation parallèle à l'alignement des collines, soit est-ouest, ce qui correspond au sens de l'écoulement régional de l'inlandsis Laurentidien. Les affleurements rocheux sont plus abondants à l'ouest du village (Voir carte). Par endroits, les affleurements rocheux sont recouverts d'une mince couche de dépôts meubles d'une épaisseur inférieure à 1 m. Ces couches superficielles de dépôts sont soit d'origine glaciaire lorsqu'il s'agit d'un diamicton sablo-silteux avec blocs (Tm/R ou Tx/R) (Figure 21B) ou d'origine littorale et pré-littorale en présence de sables et graviers triés (Mn/R) (Figure 21C). En bordure des affleurements rocheux, les versants rocheux peuvent plonger abruptement pour disparaître sous d'importantes couches de dépôts meubles (Figure 21D). La pente de ces versants atteint fréquemment des valeurs supérieures à 15 degrés, valeurs charnières pour l'aménagement de remblai sur le roc en raison de la quantité importante de matériau de remplissage nécessaire au nivellement.

Soumis aux processus de gélidisjonction et de gélifraction, certains affleurements rocheux présentent un degré avancé d'altération qui débute par la formation d'un réseau de fissures verticales et horizontales à l'intérieure desquelles l'eau s'infiltré, y demeure et gèle (Figure 22). Dans certaines conditions, on assiste à un soulèvement gélique de monolithes (blocs rocheux) lors du processus d'engel qui a pour effet d'altérer la surface rocheuse et de la transformer graduellement en champ de blocs, processus très bien illustré par Michaud et Dionne (1987) (Figure 22). Sur le territoire à l'étude, ce processus est assez actif comme le témoignent les nombreux exemples des différents stades de soulèvement gélique qui ont été observés et qui sont présentés à la figure 22. Même si pratiquement tous les types de fondations sont possibles sur les affleurements rocheux (radiers, dalles, pieux, fondations en béton, etc.) et qu'ils peuvent être forés, dynamités, exploités en carrière, et nivelés, une analyse de la qualité du substrat rocheux afin de déceler la présence de fissures et le degré d'altération est conseillée afin d'évaluer sa capacité portante et la résistance à l'usure et au choc des granulats produits.



Figure 21: A) Affleurement rocheux formant d'imposantes plates-formes dont la topographie est très peu accidentée. B) Couche superficielle de till remanié qui recouvre un affleurement rocheux (Tx/R). C) Couche superficielle de sable et gravier littoraux et pré-littoraux adossée sur un affleurement rocheux. D) Versant rocheux qui plonge sous les dépôts meubles avec une pente de 17°.

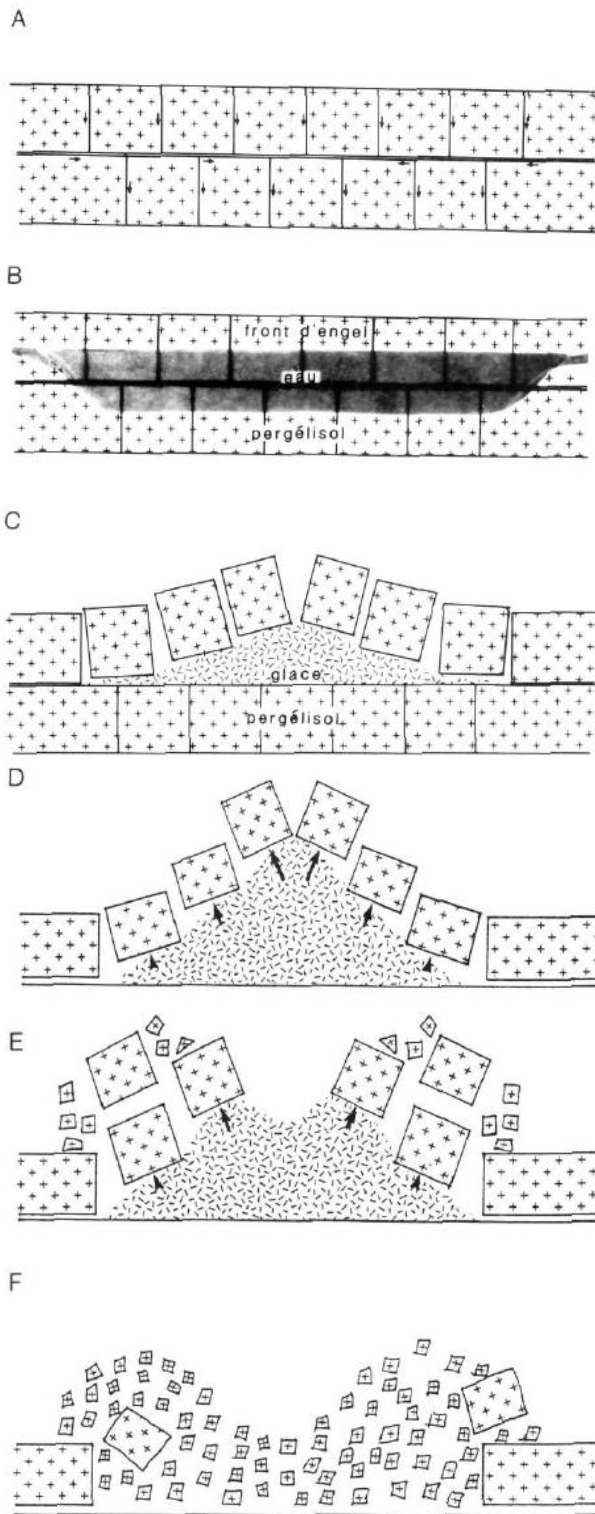


Figure 22: Mécanisme de formation et d'évolution du soulèvement géival en surface des affleurements rocheux (Tirée de Michaud et Dionne, 1987) avec des exemples observés dans la région à l'étude de Puvirnituk. Initialement, le substrat rocheux présente deux systèmes de fissures, l'un vertical, l'autre horizontal, dans lesquelles l'eau s'infiltré (A). Par la suite, la concentration de l'eau entre le front d'engel et le pergélisol (B) favorise la formation d'une lentille de glace ce qui initialise le soulèvement de fragments rocheux (C). En se poursuivant, le soulèvement donnera naissance successivement à un monticule en dôme (D), à un monticule éventré (E) puis, en phase terminale, à un monticule caractérisé par d'une dépression centrale et un bourrelet périphérique constitué de petits fragments gélifractés (F).

3.1.2 CARTE DE POTENTIEL D'AMÉNAGEMENT

Dans la région de Puvirnituk, la probabilité de devoir construire sur un sol riche en glace est très élevée dans les zones déprimées mal drainées (voir carte en annexe). En effet, les nombreux sondages géotechniques réalisés dans ces secteurs ont révélé la présence de sédiments marins fins d'eau profonde riches en glace. Ces terrains problématiques, appartenant à la classe de conditions du pergélisol 2c, recouvrent une bonne section du territoire, dont une partie non négligeable de la zone bâtie actuelle. Ceux-ci sont sensibles à la thermo-érosion induite par le ruissellement et l'accumulation d'eau (Figure 23A). Ces terrains sont certes fragiles, néanmoins, une grande partie du village construite sur ce type de terrain a jusqu'à maintenant réussi plutôt bien son adaptation malgré l'approfondissement de la couche active depuis une vingtaine d'années, cela grâce à des fondations flottantes sur des radiers, des blocs de bois et des chevalets ajustables. En effet, sur ce type de terrain, les fondations sur radiers et chevalets ajustables, si elles sont bien dimensionnées, offrent un bon support pour les infrastructures et une flexibilité d'ajustement en cas de tassement du terrain. Malheureusement, certaines constructions récentes implantées dans ce type de terrain disposent de remblais peu épais et sont ainsi susceptibles de se dégrader rapidement et devront faire l'objet d'un entretien régulier (Figure 23B). Pour les bâtiments qui nécessitent une dalle de fondation sur radier, des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol sont nécessaires (ex. : thermosiphons). En effet, ce type de fondation offre très peu ou pas de possibilité d'ajustement aux tassements éventuels d'où la nécessité d'utiliser une méthode de protection efficace contre la dégradation du pergélisol. Il est préférable d'éviter la construction de ce type de bâtiment dans les secteurs de conditions de pergélisol de type 2a, 2b et 2c et de les implanter plutôt sur un substrat rocheux ou sableux assez épais stable au dégel (classes 1a, 1b ou 1c). Ainsi, certains coûts liés à l'installation et l'entretien des méthodes de protection contre la dégradation du pergélisol peuvent être évités. Lors du dimensionnement de l'ouvrage, il est nécessaire qu'une attention particulière soit portée afin de minimiser l'impact de celle-ci sur l'accumulation de neige et le drainage naturel.

En raison du faible nombre de forages et d'échantillons récupérés au sein du till, l'évaluation des conditions du pergélisol dans ce type de dépôts demeure très limitée (classe 2b). Nonobstant, les dépôts glaciaires disposent d'un potentiel de construction non négligeable, mais la prudence est requise avant d'y entreprendre l'implantation d'infrastructures. En effet, l'hétérogénéité de ce dépôt tant au point de vue de sa granulométrie et de son contenu en glace rend difficilement prévisible son comportement au dégel, donc l'évaluation de sa stabilité à long terme. Dans ces secteurs potentiellement aménageables, les fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc sont applicables (ex : pieux) ainsi que les fondations flottantes (chevalets) sur radier. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés). Sur les terrains où la couverture de till est plus importante (classe 2b), les fondations sur pieux sont possibles, mais requièrent des forages plus profonds afin de prendre appui directement sur le socle rocheux. Il est recommandé d'éviter tout déblai dans les dépôts de till à dominance silteuse afin d'éviter le dégel accéléré et le fluage successif du matériau. Il est nécessaire de reconnaître les zones affectées par la gélifluxion et de tenter de les éviter.

Malgré l'importance des secteurs problématiques à la construction, la carte du potentiel de construction produite présentée en annexe montre plusieurs zones stables au dégel. Ces zones correspondent essentiellement aux affleurements rocheux, dont la surface est parsemée de blocs et parfois recouverte d'une mince couche de dépôts meubles. Ces affleurements rocheux occupent de grandes superficies avec des pentes inférieures à 15 degrés, donc potentiellement aménageables pour la construction. Les fondations nordiques de tous types peuvent y être utilisées en s'assurant que la couche de dépôts meubles en surface y est inférieure à 2 m. Certaines sections sur le roc peuvent nécessiter un effort de nivellement considérable, mais avec une bonne planification et un choix de fondation optimale (ex : pieux sur roc) ces terrains sont d'excellente qualité. Par exemple, lorsque la pente est forte, il est préférable d'opter pour une

fondation sur pieux sur roc aux dépens des chevalets ajustables sur radiers afin d'optimiser l'utilisation de l'espace et réduire le besoin en matériel granulaire de remblayage. L'expansion est déjà bien entamée à l'ouest du village. Celle-ci s'étend sur un affleurement rocheux dont la superficie considérable permet d'accueillir encore plusieurs maisons. Les consultations avec la communauté nous ont indiqué que l'orientation du développement domiciliaire continuera en priorité à l'ouest et également à l'est. La présence d'un vaste affleurement rocheux à l'est de la piste d'atterrissage permettra également d'accueillir de nombreuses infrastructures qui demeureront à proximité des services essentiels.



Figure 23: A) Route affectée par des tassements importants dans une dépression mal drainée comblée de sédiments marins fins riche en glace et où l'accumulation d'eau de part et d'autre favorise la thermo-érosion du pergélisol. B) Maison construite dans un secteur où le pergélisol est riche en glace. L'épaisseur du radier n'est pas suffisante pour permettre la remontée du pergélisol à l'intérieur de celui-ci rendant précaire la stabilité de l'infrastructure.

3.2 AKULIVIK

3.2.1 RÉPARTITION SPATIALE DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE, PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES ET CONDITIONS DE PERGÉLISOL

Le village d'Akulivik, installé sur une étroite péninsule rocheuse bordée au sud par la rivière Illukotat et au nord par une petite baie qui s'ouvre sur la baie d'Hudson, abrite 615 habitants (Statistique Canada 2012). La diversité de la géologie de surface de la région d'Akulivik découle d'une succession d'environnements sédimentaires propres aux différents événements de l'histoire géologique et géomorphologique quaternaire qui se sont succédé au cours des derniers millénaires. La morphologie structurale des affleurements rocheux est allongée et orientée est-ouest. Les affleurements sont polis par le passage des glaciers et portent nombreuses cannelures et stries glaciaires qui indiquent un écoulement glaciaire régional orienté sud-nord. Cette morphologie du substrat rocheux, perpendiculaire à l'écoulement glaciaire, a favorisé l'édification de complexes sédimentaires glaciaires de type « Crag and Tail », c'est-à-dire des affleurements rocheux généralement marqués par une pente abrupte en amont de l'écoulement (côté sud) et abritant en aval (côté nord) un dépôt glaciaire. Cette dynamique sédimentaire explique la présence de nappes de till (Tx, Tx/R) qui recouvrent généralement le côté nord des collines. Lors de la phase de transgression marine, ces dépôts glaciaires ont été remaniés en surface pour ensuite être recouverts par des dépôts fins d'origine marine (Mb). Lors de la phase de régression marine, les dépôts glaciaires et marins ont été recouverts par une mince couche de dépôts littoraux sablo-graveleux qui se présentent couramment en une succession de plages soulevées ou formes littorales diverses. Ces dépôts sablo-graveleux littoraux (Mn) peuvent atteindre à l'occasion plusieurs mètres d'épaisseur. Dans les secteurs de hautes altitudes exposés jadis aux forts courants et vagues, ces dépôts littoraux et pré-littoraux sont plus grossiers et forment d'imposantes plages de galets soulevées adossées directement sur le substrat rocheux (Mn/R) (Figure 24A). Au fond de la vallée, l'abaissement du niveau de base en lien avec l'émersion des terres et le retrait de la mer a favorisé l'incision des dépôts glaciaires et marins sous l'action fluviale, donnant naissance à des terrasses fluviales sculptées à même le till et les sédiments marins (At/Mb). Les processus périglaciaires très actifs dans la région ont façonné les dépôts en surface en favorisant le développement de fentes de gel, de coins de glace, d'ostioles et de buttes cryogènes.

Une cartographie détaillée des unités géologiques de surface a été réalisée à l'échelle de la communauté et est présentée en annexe. Cette cartographie a été validée au cours des étés 2010 et 2011 par un nombre importants d'observations de terrain telles que des observations de surface, des sondages superficiels et des forages avec récupération. Au total, 12 forages avec récupération ont été réalisés et visaient essentiellement à caractériser les dépôts marins présents dans les dépressions mal drainées. À ces nouvelles observations de terrain s'ajoutent celles réalisées dans des études antérieures (Allard et al., 2006; L'Hérault et al., 2012). Les positions exactes et caractéristiques des puits de forages sont résumées au tableau 8.

Tableau 8: Altitude et profondeurs en mètres des forages à Akulivik.

Nom du forage	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Profondeur atteinte (m)
A10_F1	-78,180099	60,812901	2,34	1,96
A10_F2	-78,167886	60,812447	8,72	2,20
A10_F3	-78,177387	60,812862	4,05	1,68
A10_F4	-78,154927	60,820747	5,74	3,31
A10_F5	-78,179391	60,808414	2,78	2,30
A10_F6	-78,180251	60,807557	3,03	2,17
A10_F7	-78,171281	60,816256	5,78	2,00
A10_F8	-78,188355	60,807841	1,21	2,36
A11_F1	-78,2080781	60,79473688	4,90	3,92
A11_F2	-78,2027631	60,79514181	2,63	2,51
A11_F3	-78,2068484	60,79246086	10,63	1,24
A11_F4	-78,1751236	60,81323541	5,74	2,80

3.2.1.1 SÉDIMENTS MARINS (Mn, Mnf, Mn/Mb, Mb)

Les sédiments littoraux et pré-littoraux (Mn) consistent essentiellement en des sables et graviers qui se présentent couramment en une succession de plages soulevées ou de formes littorales diverses. Ces dépôts sablo-graveleux littoraux peuvent atteindre à l'occasion plusieurs mètres d'épaisseur. Dans les secteurs exposés jadis aux forts courants et vagues, ces dépôts littoraux et pré-littoraux sont plus grossiers et forment d'imposantes plages de galets soulevées adossées directement sur le substrat rocheux (Mn/R) (Figure 24A). Dans les secteurs de faible altitude et à proximité du niveau marin actuel, les sédiments littoraux et pré-littoraux ont une composition granulométrique moins grossière soit essentiellement sableuse et la proportion de fragments de coquilles peut atteindre des volumes considérables (Mnf) dans le premier mètre du dépôt. En surface, la végétation est pratiquement absente ou peu présente et est composée d'espèces principalement mésiques soit des mousses et des lichens. Il est fréquent de rencontrer en surface des fentes de gel sous lesquelles se retrouvent des coins de glace (Figure 24B). D'après Allard et *al.*, (1994), l'épaisseur de la couche active dans les sédiments littoraux et pré-littoraux sableux (Mb) était d'environ 1,10 à 1,25 m, profondeur correspondant à la position du sommet des coins de glace présents sous les sillons visibles à la surface du dépôt. Une excavation réalisée au sommet de l'un de ces sillons à l'été 1991 avait permis de confirmer la présence du coin de glace et d'en mesurer la largeur, soit environ 20 cm (Figure 24C et D). Malheureusement, le manque d'observations ne permet pas de donner des valeurs plus précises quant aux dimensions et à la distribution des coins de glace propres à la région d'Akulivik. Les essais géotechniques réalisés par L'Hérault et *al.*, (2012) définissent cette unité comme un sable uniforme, bien trié, avec trace de silt dont la proportion est généralement inférieure à 20 % (USCS : SP-SM). Les teneurs en eau mesurées dans cette unité n'excèdent pas les 22 %. On note la présence abondante de fragments de coquilles dont la proportion peut atteindre plus de 70 % par endroits, telle qu'observée dans les deux premiers mètres de la surface au forage AKU_F4. Ces concentrations de fragments de coquillages se présentent à des profondeurs spécifiques sous forme de lits très denses (Figure 24E). Un forage réalisé en 2011 au sud-ouest du village sur la rive sud de la rivière Illukotat (A11_F1) dans ces sédiments littoraux coquillés (Mnf) montre que ce dépôt est presque exclusivement composé de coquilles dans le premier mètre dont la proportion diminue en profondeur (Figure 25A, B et C). Dans ce type de dépôt, la cryostructure est habituellement poreuse et non visible (Figure 25J) avec des teneurs gravimétriques en eau après fusion autour de 30 % en moyenne (Figure 26B). Un essai de consolidation réalisé sur un échantillon prélevé entre 1,89 et 2,05 m de profondeur indique un potentiel de consolidation négatif pour une teneur en eau de 35 %, ce qui suggère un risque très faible de tassement dans ce type de dépôt (Figure 25K).

La majeure partie de la section ouest du Village repose sur ces sédiments littoraux et pré-littoraux (Mn) qui reposent directement sur le roc et atteignent, d'après quelques forages réalisés en vue de l'agrandissement de l'École (Journeaux, Bédard et Assoc. Inc., 1995), une épaisseur inférieure à 1 m en moyenne. Quant à la moitié est du village, elle s'appuie sur ces sédiments littoraux sableux dont l'épaisseur n'est pas connue, mais certainement variable et qui repose sur des sédiments marins fins d'eau profonde (Mn/Mb ou Mb). Fait confirmé par des observations le long de la route conduisant à l'aéroport, près de l'aréna, où les sables de surface sont minces et recouvrent des silts riches en glace (Allard et *al.*, 2007). En effet, un forage réalisé dans le secteur de nouvelles constructions à l'est du village (A11_F4) révèle la présence d'un dépôt fin riche en glace avec une cryostructure lenticulaire millimétrique. L'aéroport est également construite en bonne partie sur une plaine de sédiments littoraux et pré-littoraux sillonnée de fentes de gel et de coins de glace dont l'épaisseur a été évaluée à moins de 2 m au-dessus des silts sableux sous-jacent riche en glace (L'Hérault et *al.*, 2012) (Figure 24F).

D'après la cartographie des unités géologiques de surface corrélée avec les observations stratigraphiques des forages, une bonne partie des secteurs de faible altitude consiste en un complexe de sédiments littoraux et pré-littoraux sur sédiments marins d'eau profonde (Mn/Mb). Sous cette couche de sédiments

littoraux sableux, on retrouve des sédiments marins fins (Mb) dont la proportion de particules fines est supérieure à 50 % et augmente graduellement en profondeur pour atteindre à l'occasion plus de 70 %. D'après les essais de consistance réalisés dans ces sédiments, ceux-ci se classifient comme un mélange de silt et de sable très fin peu plastique (USCS : ML-CL). En 2010, un forage superficiel a été réalisé dans les sédiments marins d'eau profonde. Comme le témoigne les nombreux échantillons prélevés dans cette unité, les sédiments marins d'eau profonde pergélisolés de la région d'Akulivik sont susceptibles de contenir beaucoup de glace de ségrégation sous forme de lentilles pouvant atteindre quelques centimètres d'épaisseur ou sous forme de glace réticulée dont la fonte peut entraîner des tassements considérables (Figure 25D, E, F, G, H et I). En effet, les essais de consolidations réalisés sur deux échantillons prélevés au sein de cette unité (Figure 25K) suggèrent des tassements au dégel pouvant atteindre près de 43 % dans la section superficielle du pergélisol habituellement très riche en glace et dont le potentiel tend à diminuer plus en profondeur corolairement à la quantité de glace. Fait confirmé par les profils cryostratigraphiques et les teneurs en eau après fusion en fonction de la profondeur présentés respectivement à la figure 26A et B.

Les forages effectués dans le complexe de sédiments littoraux et pré-littoraux sur sédiments marins fins d'eau profonde (Mn/Mb), fournissent des indications plus précises quant à la stabilité des sols au dégel. De manière générale, les sédiments littoraux et pré-littoraux (Mn) pauvres en glace offre une stabilité au dégel. Toutefois, ces sédiments, lorsqu'ils recouvrent superficiellement les sédiments marins fins d'eau profonde potentiellement riche en glace sous-jacent (Mb), ne permettent pas d'assurer une stabilité à long terme en raison du dégel qui atteint ou atteindra très prochainement ce dernier.

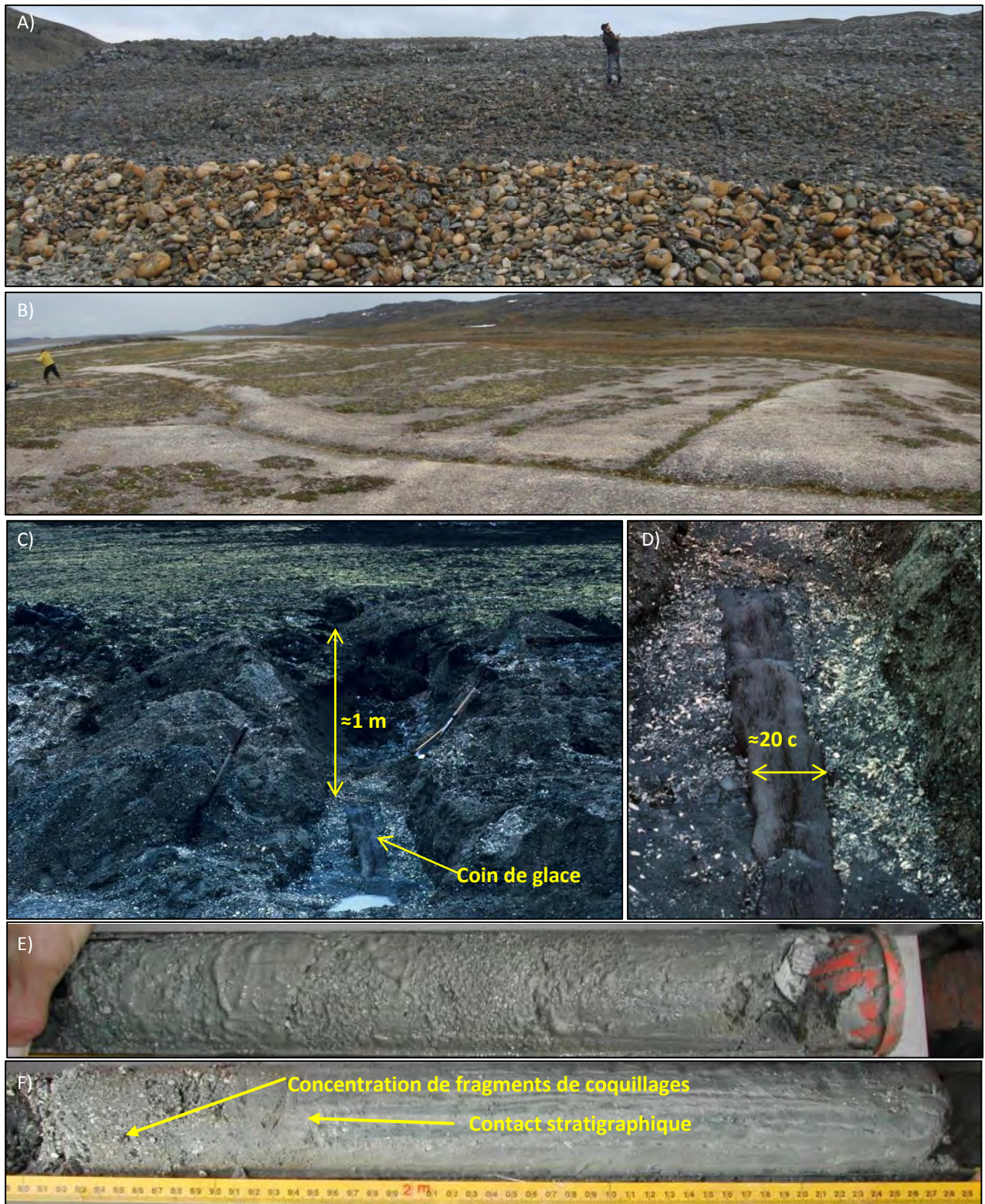
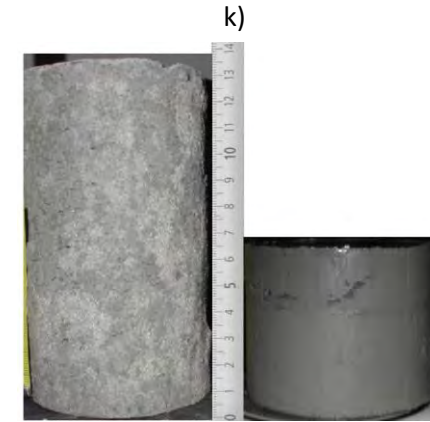
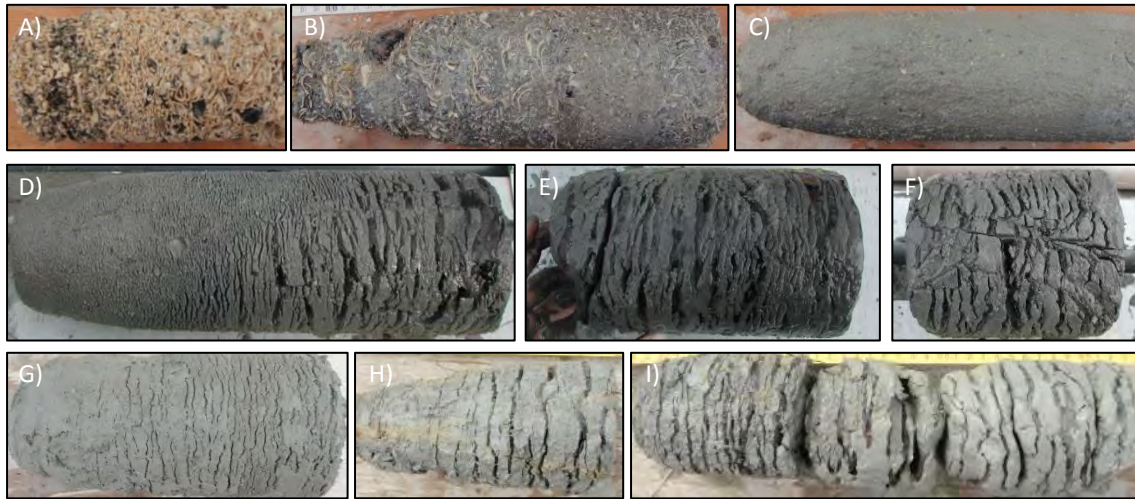


Figure 24: A) Dépôts littoraux et pré littoraux (Mn) grossiers sous forme d'imposantes plages de galets soulevées. B) Dépôts littoraux et pré littoraux sableux et fossilifères sillonnés par des fentes de gel. C) et D) Excavation d'un coin de glace en bordure de la piste d'atterrissage d'Akulivik à l'été 1991. E) Sédiments littoraux et pré littoraux (Mn) prélevé au forage AKU_F2 entre 2,4 et 3 m de profondeur et F) contact stratigraphique observé à 1,95 m de profondeur (forage AKU_F4) entre les sédiments littoraux et pré littoraux et les sédiments marins d'eau profonde (Tirée de L'Hérault et *al.*, 2012).



J) AKULIVIK

Cryostructure	Description	Volume glace (%)	Type glace	Type sédiment	Images scanographiques			
					En plan	Coupe 2D	Coupe 3D	
Poreuse	<ul style="list-style-type: none"> Occupe les vides entre les sédiments; Non visible à l'œil nu; Très pauvre en glace. 	<10	Interstitielle	Sable moyen silteux ou sable coquillé				
Microlenticulaire	<ul style="list-style-type: none"> Fines lentilles <1 mm; Espacement: <1 mm - 3 mm; Forme: discontinue, ondulée et souvent oblique; Parallèle au front de gel; Pauvre à modérée en glace. 	10 - 30	Ségrégation	Sable fin silteux avec coquilles				
Lenticulaire	Faible dev.	<ul style="list-style-type: none"> Lentilles >1 mm - <0,5 cm; Espacement: irrégulier; Forme: linéaire ondulée ou agglomérée autour des coquilles; Pauvre en glace. 	10 - 20	Ségrégation	Sable grossier coquillé ou sable fin			
	Bien dev.	<ul style="list-style-type: none"> Lentilles 0,5 cm - <1 cm; Espacement: 0,5 cm - 1 cm; Forme: linéaire ondulée ou agglomérée autour des coquilles; Moderément riche en glace. 	20 - 40	Ségrégation	Sable fin coquillé ou sable fin silteux			
	T. b. dev.	<ul style="list-style-type: none"> Lentilles 1 cm - 2 cm; Espacement: 0,5 cm - 2 cm; Forme: linéaire ondulée et parfois oblique; Riche en glace. 	40 - 60	Ségrégation	Silt tabriqueux			
Microreticulée	<ul style="list-style-type: none"> Réseau de lentilles et veines <1 mm; Forme: linéaire horizontale et verticale ou oblique; Aggrégats centimétriques; Pauvre en glace. 	5 - 15	Ségrégation	Silt ou sable fin				
Réticulée	<ul style="list-style-type: none"> Réseau de lentilles et veines 1 mm - 5 mm; Forme: linéaire horizontale et verticale ou oblique; Aggrégats millimétriques; Pauvre à modéré en glace. 	15 - 45	Ségrégation	Silt sableux avec argile				
Pelliculaire	<ul style="list-style-type: none"> Couche de glace 1-2 mm autour de particules cohérentes; Forme: selon la particule; Pauvre en glace. 	<10	Ségrégation	Silt sableux avec coquilles			non visible	

A10_F4_51_66		
Indice des vides (e_0)	1,488	
Contrainte (kPa)	25	100
Indice des vides (e_f)	0,464	0,417
Taux de consolidation	41,2%	43,1%
Teneur en eau	49,0%	
A10_F5_149_163		
Indice des vides (e_0)	0,933	
Contrainte (kPa)	25	100
Indice des vides (e_f)	0,631	0,562
Taux de consolidation	15,6%	19,2%
Teneur en eau	31,5%	
A11_F1_189_205		
Indice des vides (e_0)	0,873	
Contrainte (kPa)	25	100
Indice des vides (e_f)	1,005	0,979
Taux de consolidation	-7,1%	-5,7%
Teneur en eau	34,9%	

Figure 25: Échantillons de pergélisol prélevés dans les sédiments littoraux et pré-littoraux (A, B, C) et dans les sédiments marins d'eau profonde (D, E, F, G, H, I). J) Tableau synthèse des cryostructures du pergélisol observées dans les dépôts meubles d'Akulivik. K) Essais de tassement et consolidation au dégel réalisés sur des échantillons prélevés dans le plafond du pergélisol aux forages A10_F1, A10_F4 et A10_F5.

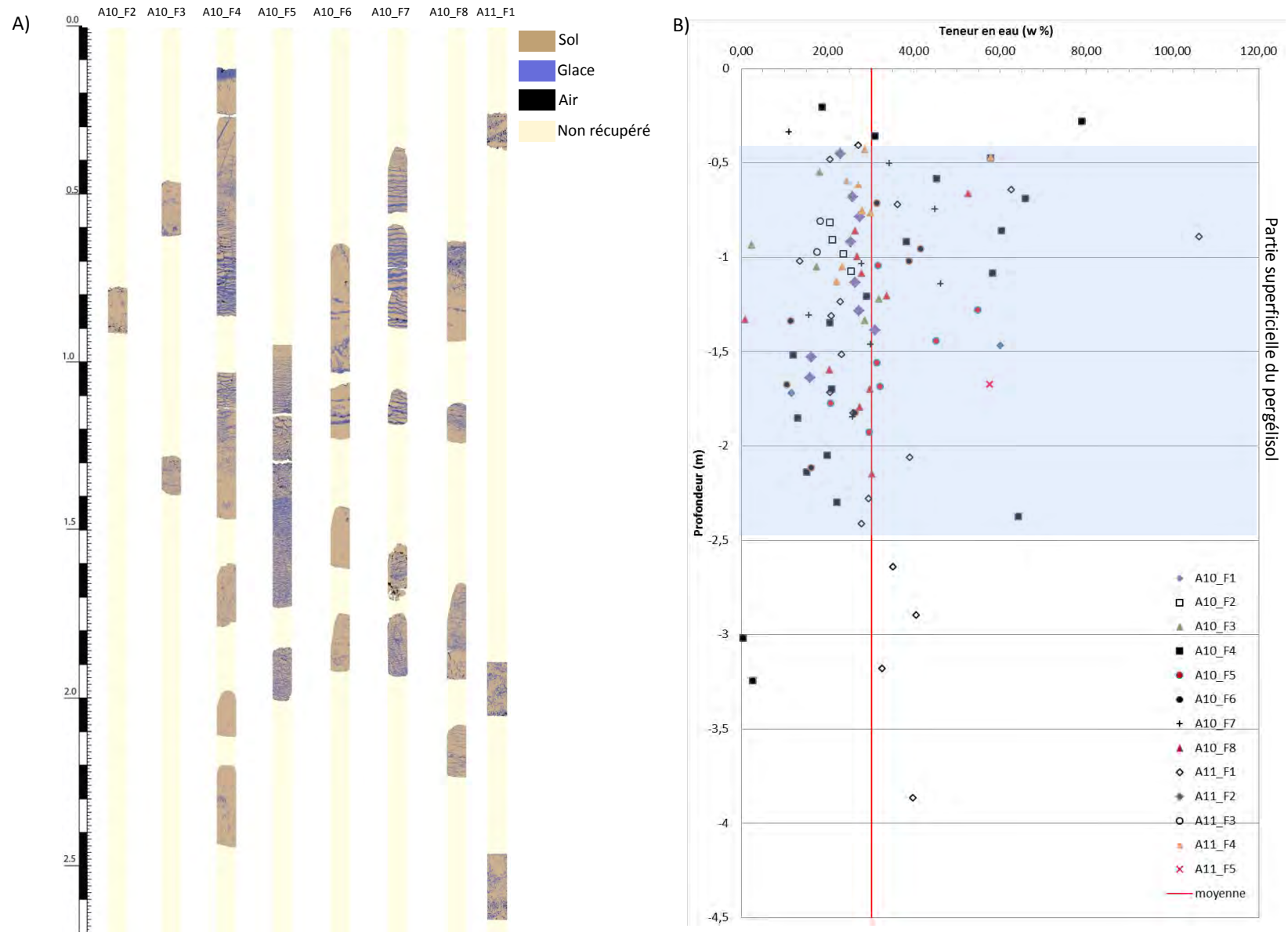


Figure 26: A) Profils cryostratigraphiques et B) teneurs en eau après fusion du pergélisol en fonction de la profondeur, communauté d'Akulivik.

3.2.1.2 SÉDIMENTS GLACIAIRES (Tx, Gf)

Dans la région d'Akulivik, le till s'organise généralement en complexes sédimentaires de type « Crag and Tail », c'est-à-dire en nappe (Tx, Tx/R) généralement adossée sur le versant nord des collines. Lors de la phase de transgression marine, sa surface a été remaniée puis recouverte par des dépôts d'origine marine (Mn, Mb). Dans les secteurs déprimés, le till émerge à l'occasion des dépôts marins et forme d'imposantes buttes dont la surface est généralement minée par de nombreux ostioles (Figure 27A).

Allard et *al.*, (1994) avaient initialement décrit le till de la région comme un dépôt susceptible de fluer au dégel en raison de sa fraction silteuse importante et n'ayant pas de volumes de glace excédentaire malgré la présence isolée de fines lentilles de glace (Figure 27B). Au cours des campagnes de terrain de 2010 et 2011, le diamicton identifié comme un till n'a pu être foré en raison de l'équipement de forage utilisé non adapté à ce type de dépôt. Toutefois, L'Hérault et *al.* (2012) avait procédé à l'échantillonnage du till dans le secteur de l'aéroport. D'après leurs observations, le till est présent sous l'ensemble de la piste d'atterrissage d'Akulivik, recouvert dans la partie ouest d'environ 4 m de dépôts marins (Mn/Mb) et affleurant dans la partie est où celui-ci forme une butte ponctuée de nombreux ostioles et recouverte par endroits d'une mince couche de dépôts marins. Lors de leurs forages, le till a été rencontré à des profondeurs comprises entre 0 (AKU_F3) et 4,5 m (AKU_F4) et le roc n'a jamais été atteint, ce qui suggère que la couche de till peut atteindre plus de 15 m d'épaisseur par endroits.

D'après les essais géotechniques réalisés par L'Hérault et *al.* (2012), le till de la région consiste en un mélange de sable et de silt dont la proportion de particules fines (<0,075 mm) est généralement comprise entre 40 et 50 % (USCS : SM-ML) (Figure 27C). Il s'avère non plastique avec une limite de liquidité assez faible ($W_L < 15$), des teneurs en eau après fusion généralement inférieures à 15 % formant de la glace interstitielle et quelques fines lentilles millimétriques éparses. L'Hérault et *al.*, (2012) y ont également mesuré des valeurs de tassement total au dégel inférieures à 8 % sous contrainte. Les dépôts glaciaires disposent ainsi d'un potentiel de construction non négligeable, toutefois, une vérification ponctuelle est nécessaire pour valider la composition du till et la présence potentielle de glace avant d'entreprendre l'implantation d'infrastructures sur ce type de dépôt.

Outre les dépôts de till, deux complexes fluvioglaciaires ont été cartographiés et se retrouvent perchés respectivement sur les collines rocheuses qui délimitent la vallée de la rivière Illukotat au nord et au sud. Le dépôt fluvioglaciaire au nord est présentement en exploitation comme source de granulats. Les excavations à l'intérieur de ce dépôt confirment l'importance du dépôt dont l'épaisseur s'estime à plus de 10 m (Figure 27D). La partie superficielle de ce dépôt se caractérise par une prédominance de blocs décimétriques sub-arrondis à l'intérieur d'une matrice sablo-graveleuse (Figure 27E). Plus en profondeur, le dépôt est constitué de lits de sable bien trié dont le pendage faiblement incliné suggère une orientation nord-est-sud-ouest (Figure 27F). En raison de la texture très grossière de ce dépôt, la glace se présente surtout sous forme interstitielle n'excédant pas la porosité du sol ce qui assure ainsi une stabilité au dégel.

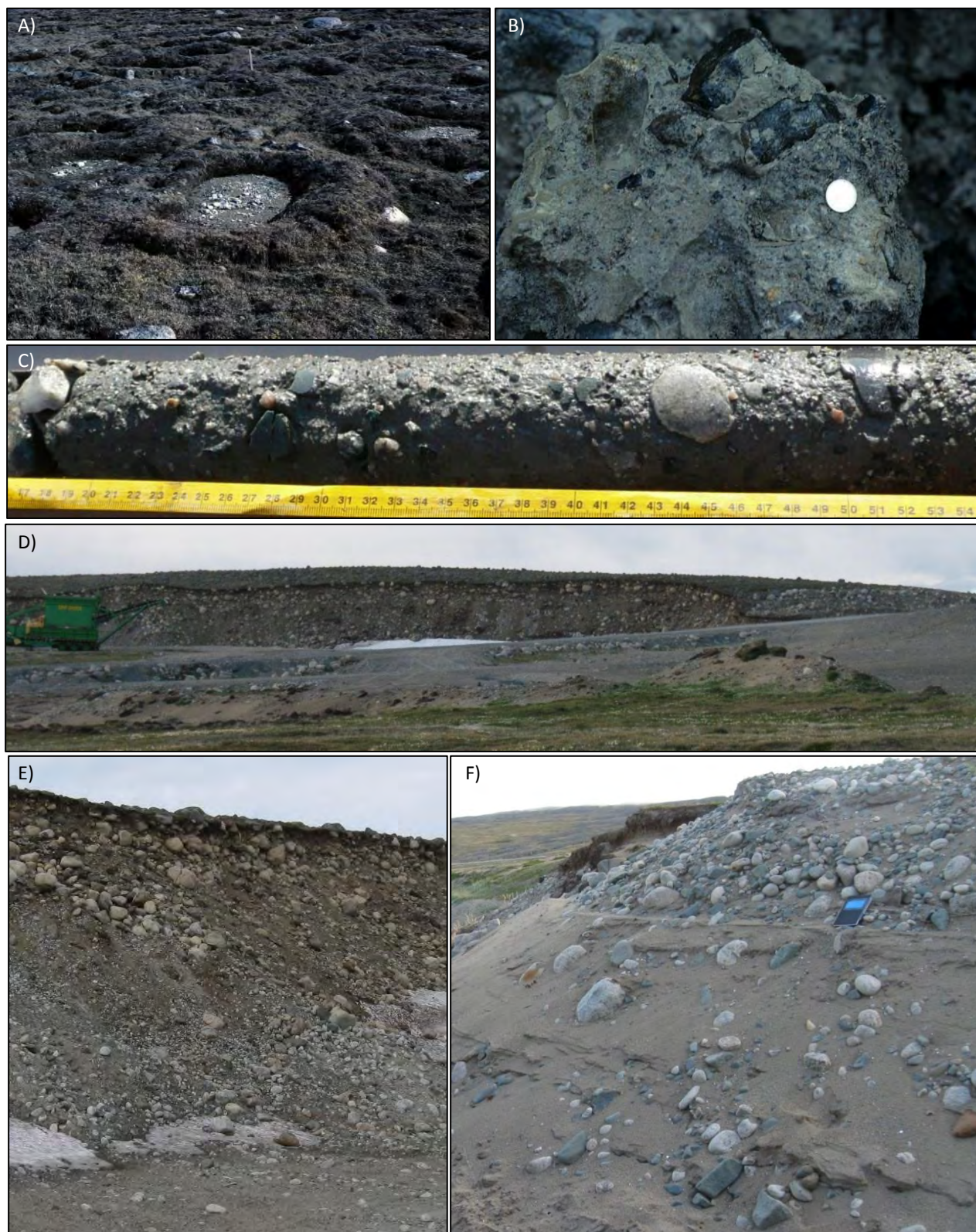


Figure 27: A) Ostioles à bourrelets dans le till qui traversent la mince couche de sédiments littoraux et pré-littoraux. B) Diamicton grisâtre (till) avec lentilles de glace millimétriques. Échantillons de till gelé prélevés à l'aéroport par L'Hérault et *al.*, 2012 entre 4,16 m et 4,60 m et soumis à un essai de consolidation au dégel. D) Dépôt fluvioglacière au nord de la communauté présentement en exploitation dont la partie superficielle contient plusieurs blocs décimétriques sub-arrondis imbriqués dans une matrice sablo-graveleuse (E) et sous laquelle on retrouve une séquence de lits obliques sableux.

3.2.1.3 AFFLEUREMENTS ROCHEUX SANS OU AVEC COUVERTURE MINCE DE DÉPÔTS MEUBLES (R, Mn/R ET Tx/R)

Le substrat rocheux dans la région appartient à la province géologique de Churchill et est constitué de laves basiques à structures en coussinet. La physiographie du substrat rocheux forme trois chaînes de collines qui délimitent deux vallées à l'intérieur desquelles s'écoulent deux cours d'eau majeurs orientés parallèlement à la structure géologique. Ces trois chaînes de collines s'avancent dans la baie d'Hudson et forment, au nord, la pointe Migeon, au centre, la pointe d'Akulivik et au sud une pointe dans le prolongement des monts d'Youville. La pente des versants atteint à l'occasion des valeurs supérieures à 15 degrés, valeurs charnières pour l'aménagement de remblai sur le roc, mais y est généralement moindre. Le substrat rocheux qui forme les trois chaînes de colline est recouvert à certains endroits par une mince couche de dépôts meubles d'origine glaciaire lorsqu'il s'agit d'un diamicton sablo-silteux avec blocs (Tx/R) ou d'origine littorale et pré-littorale en présence de sables et graviers triés formant une série de cordons arqués (Mn/R). La chaîne de collines médiane, sur laquelle repose la partie ouest du milieu bâti de la communauté, est de faible amplitude avec une altitude inférieure à 23 m contrairement à celle des chaînes de collines au nord et au sud qui atteignent près de 120 m. À l'intérieur même de la zone bâtie du village, quelques affleurements rocheux d'importance dont le diamètre est supérieur à une trentaine de mètres sont visibles (Figure 28A). Plus à l'est, légèrement en aval du réservoir d'eau potable, le substrat rocheux qui forme les collines de la pointe d'Akulivik est clairement visible dans le lit de la rivière Illukotat et également sur les rives de part et d'autre sur une distance de plus de 500 m (Figure 28B) pour ensuite disparaître sous d'importantes couches de dépôts meubles et refaire surface plus à l'est en amont de la piste d'atterrissage. Généralement peu accidentés, les affleurements rocheux qui parsèment le fond des vallées constituent des emplacements favorables au développement domiciliaire sans contrainte majeure.



Figure 28: A) Affleurement rocheux d'importance dans la zone bâtie de la communauté d'Akulivik. Substrat rocheux visible sur la rive nord de la rivière Illukotat légèrement en aval du réservoir d'eau potable à l'est de la communauté.

3.2.2 CARTE DE POTENTIEL D'AMÉNAGEMENT

La carte du potentiel de construction produite pour la région d'Akulivik présentée en annexe dévoile plusieurs secteurs stables au dégel et propices à l'implantation d'infrastructures. Ces zones correspondent aux affleurements rocheux, dont la surface est parsemée de blocs et parfois recouverte d'une mince couche de dépôts meubles, mais également les secteurs de dépôts littoraux et pré-littoraux sableux épais et bien drainés. Par exemple, la partie ouest de la pointe d'Akulivik offre sans contredit, par sa composition essentiellement rocheuse, un substrat stable pour accueillir des infrastructures avec fondations nordiques de tous types. Au nord-est du village, un nouveau développement domiciliaire prend de l'expansion dans un secteur jugé défavorable à la construction. En effet, les sondages réalisés dans cette étude montrent la présence d'un dépôt marin fin riche en glace sensible au dégel. Son épaisseur demeure inconnue, mais est évaluée à plusieurs mètres à l'exception d'une fine bande de terrain le long de la rive nord de la rivière Illukotat où la présence d'affleurement rocheux suggère une épaisseur limitée qui pourrait être aménagée en utilisant des fondations profondes prenant appui sur le roc (ex. : pieux) ou des techniques élaborées de préparation de terrain (excavation ou préfonte du pergélisol dans les sédiments meubles).

Du côté sud de la rivière Illukotat, à la même hauteur que le développement domiciliaire récent, la présence d'un affleurement rocheux important offre un secteur potentiel intéressant pour la construction. Ce secteur est toutefois limité au sud et au nord par des zones non favorables qui limitent l'expansion. Plus au sud, au pied de la chaîne de collines des monts d'Youville, on retrouve également un secteur de développement intéressant en raison de la présence d'affleurements rocheux de grandes superficies avec des pentes inférieures à 15 degrés (classe 1a) recouverts à l'occasion par une fine couche de sédiments littoraux (classe : 1b) ou de till (classe : 2a). Ce secteur se prolonge vers le sud-ouest et rejoint un autre secteur propice à la construction caractérisé par une couverture épaisse de sable littoral bien drainé (classe : 1c) et une topographie plane ponctuée de quelques boutons rocheux. Si jamais ce secteur était développé, une attention particulière devrait cependant être portée aux zones mal drainées qui suggèrent la présence de sédiments fins potentiellement riches en glace et aux coins de glace qui sillonnent la surface du terrain.

3.3 KANGIRSUK

3.3.1 RÉPARTITION SPATIALE, PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES ET CONDITIONS DE PERGÉLISOL DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE

Situé sur la rive nord de la rivière Arnaud, à 13 kilomètres de la Baie d'Ungava, le village de Kangirsuk a une population de 549 habitants (Statistiques Canada 2012). Le relief se caractérise par une succession de collines rocheuses orientées nord-ouest sud-est dont les versants sud-ouest sont très abrupts contrairement aux versants nord-est où la pente y est généralement plus douce. L'alignement des collines ne suit pas le sens local d'écoulement de l'inlandsis Laurentidien et est plutôt dérivé de la structure géologique locale. Entre ces collines, d'imposantes dépressions surcreusées par l'écoulement glaciaire furent comblés de till en couverture continue (T) formant à l'occasion des moraines (Tm). Lors de la transgression marine postglaciaire, le niveau marin a atteint une altitude maximale estimée à 120 m, limite clairement visible dans le paysage par la présence d'une ligne de délavage du till franche où celui-ci, délavé de ses particules fines, se résume maintenant à quelques blocs métriques adossés sur la roche en place (Figure 29A). Sous cette limite, on distingue des terrasses marines mal drainées sculptées à même le till (Tx) dont la pente s'incline légèrement en direction de la rivière Payne (Figure 29B). Sur ces terrasses, la mer y a déposé des dépôts intertidaux qui recouvre sporadiquement le till (Mit/T). Ces derniers sont à l'occasion recouverts par des dépôts littoraux sableux (Mn/Mit) prenant la forme de flèches littorales ou de plages soulevées.



Figure 29: A) Ligne de délavage du till dans le paysage qui détermine la limite maximale de la transgression marine postglaciaire. B) Niveau de terrasse marine sur laquelle le till a été recouvert de dépôt intertidaux (Mit) et littoraux (Mn).

Une carte détaillée des unités géologiques de surface a été réalisée à l'échelle de la communauté et est présentée en annexe. Cette cartographie a été validée au cours des étés 2010 et 2011 par un nombre importants d'observations de terrain telles que des observations de surface, sondages superficiels et forages avec récupération. Malheureusement, un seul forage a pu être réalisé dû à des délais de transport de la foreuse par la compagnie aérienne (Tableau 9). À ces nouvelles observations de terrain s'ajoutent celles provenant d'études antérieures réalisées par Allard et *al.* (2006) et L'Hérault et *al.* (2012).

Tableau 9: Altitude et profondeurs en mètres des forages à Kangirsuk.

Nom du forage	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Profondeur atteinte (m)
K11_F1	-70,042362	60,027047	80,25	2,80

3.3.1.1 SÉDIMENTS MARINS (MN, MIT)

Les secteurs relativement plats que constituent les imposantes terrasses marines se situent sous la limite marine établie autour de 120 m. Ces secteurs sont mal drainés, voir souvent inondés, avec une végétation hydrophile massivement constituée de tourbe et d'herbes basses. La présence en surface de buttes cryogènes dont le diamètre avoisine les 6 m confirme l'existence de sédiments fins gélifs (Figure 30A). Fait confirmé par quelques sondages réalisés dans le secteur dévoilant la présence de sédiments fins grisâtres sablo-silteux d'origine intertidale (Mit) présent sous la couverture tourbeuse (Figure 30B). À l'occasion, des dépôts de sables et graviers grossiers stratifiés et oxydés, correspondant à un faciès de dépôts littoraux et pré-littoraux, recouvrent les sédiments marins intertidaux sur une épaisseur habituellement inférieure à 2 m (Mn/Mit) (Figure 30C et D). D'une distribution granulométrique assez uniforme, ce dépôt consiste en un mélange de gravier (48 %) et de sable (45 %) avec moins de 10 % de particules fines (silt et argile) ; les teneurs en eau dans l'ensemble sont inférieures à 10 % (L'Hérault et *al.*, 2012).

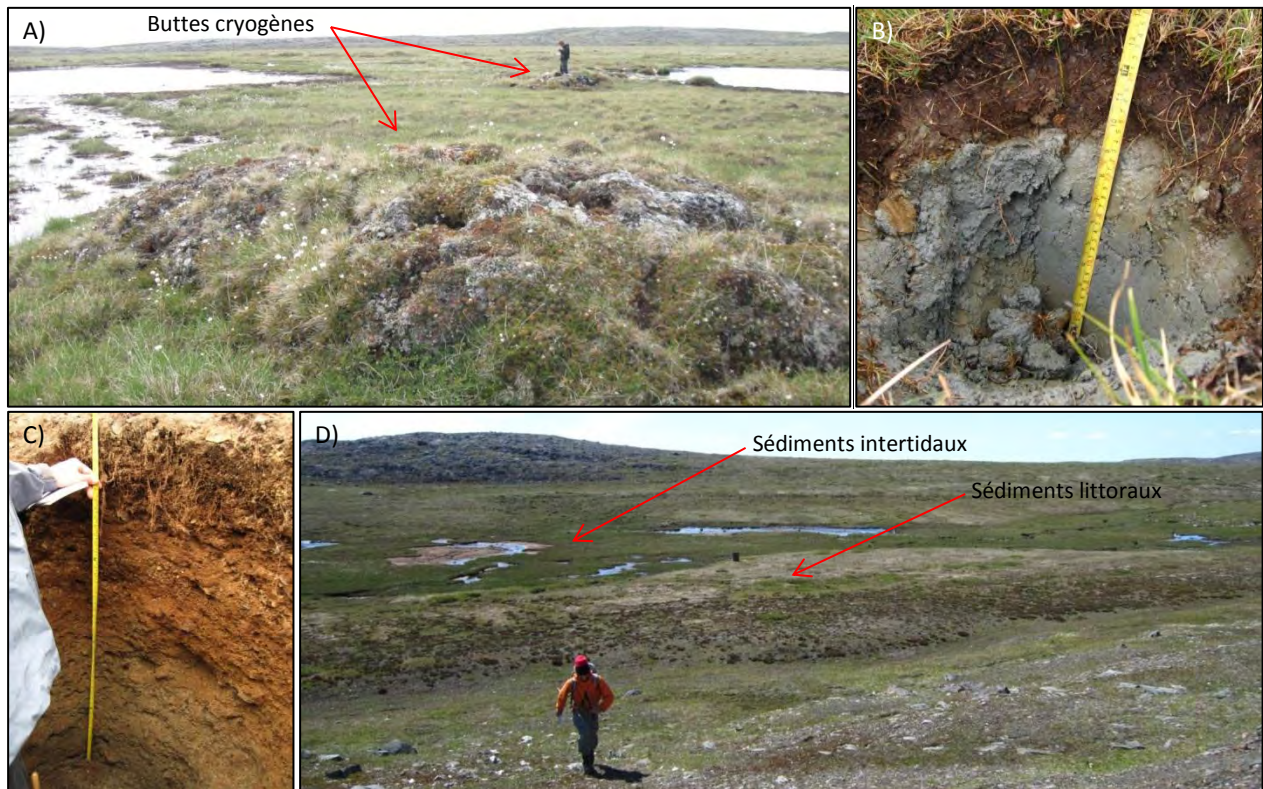


Figure 30: A) buttes cryogènes dont le diamètre avoisine les 6 m. B) Sédiments fins grisâtres sablo-silteux d'origine intertidale. Dépôts de sable littoraux et pré-littoraux stratifiés et oxydés (C) qui recouvrent par endroits les sédiments intertidaux (D).

Un forage a été réalisé en 2011 sur l'une de ces grandes terrasses de sédiments marins (Mit/T) au nord-ouest du village (K11_F1). La stratigraphie de ce forage se résume en un diamicton sablo-graveleux en surface d'une épaisseur d'environ 60 cm sous lequel repose un sable silteux avec fragments de coquillages dont la composition granulométrique se résume en moyenne à 60 % de sable et 40 % de silt (Figure 31A, B, C, D, E). Les essais géotechniques réalisés définissent cette unité comme un sable silteux (USCS : SM) dont les particules silteuses sont non plastiques ou de faible plasticité; la limite de liquidité est comprise entre 16 et 18 %. Dans la section du sol gelé, la glace présente dans le sol se résume à de la glace interstitielle à l'intérieur de la couche active (Figure 31A et G). Plus on se rapproche du plafond du pergélisol, plus la proportion de glace augmente. En profondeur, celle-ci présente une cryostructure lenticulaire très bien développée voire suspendue, c'est-à-dire des agrégats de sol à l'intérieur d'une matrice de glace (Figure 31G). Plus en profondeur, la proportion de particules fines augmente de manière à migrer d'un sable silteux à un silt sableux (USCS : ML-CL). La glace à cette profondeur se présente sous forme réticulée (Figure 31F et G).

Le profil cryostratigraphique et des teneurs en eau après fusion en fonction de la profondeur pour ce forage permettent de visualiser rapidement la structure et la quantité de glace présente dans ces sédiments marins pergélisolés (Figure 32A). Les teneurs en eau après fusion mesurées dans la section encore gelée de la couche active tournent autour de 15 %. Sous la couche active, la section pergélisolée du dépôt, soit à partir de 1,2 m de profondeur, présente une importante quantité de glace concentrée entre 1,2 et 2,05 m où la teneur en eau après fusion atteint en moyenne 87 % et peut atteindre des valeurs aussi élevées que 120 % (Figure 32A). Plus en profondeur, la glace s'expose sous forme de lentilles de glace millimétriques réticulées et la teneur gravimétrique en eau après fusion est inférieure à 30%.

Deux essais de consolidation ont été réalisés dans la section très riche en glace du pergélisol. Les valeurs de consolidation obtenues varient entre 60 et 63 % pour des teneurs en eau après fusion comprises entre 90 et 106 % et sous des contraintes appliquées inférieures à 100 kPa (Figure 32B). Un autre essai de consolidation au dégel a été réalisé plus en profondeur, c'est-à-dire dans la section du pergélisol silto-sableuse avec lentilles de glace millimétriques réticulées dont la teneur en eau après fusion est d'environ 25 %. La valeur de consolidation obtenue lors de cet essai est nettement inférieure à celles obtenues dans la section du pergélisol très riche en glace sus-jacente, soit inférieure à 11 % sous une contrainte appliquée de 100 kPa (Figure 32B).

À la lueur des observations de terrain et des essais géotechniques, les sédiments marins fins intertidaux (Mit) riche en glace qui composent les terrasses marines sont susceptibles de provoquer des tassements importants au dégel et sont très sensibles à la thermo-érosion. L'épaisseur de ces dépôts n'a pu être déterminée lors du forage, mais elle atteint vraisemblablement plus de 3 m. En dessous doit se trouver du till. Par conséquent, les secteurs couverts par ce type de sédiments sont à éviter pour la construction. Les secteurs qui apparaissent mieux drainés en raison d'une couverture restreinte de dépôts sableux littoraux (Mn/Mit) doivent également être écartés de tout aménagement éventuel, car quoique stable au dégel, l'épaisseur de ces sables et graviers n'est généralement pas assez importante pour éviter le dégel des sédiments marins fins riches en glace sous-jacents. De plus, la présence de fentes de gel en surface suggère l'existence de coins glace sous la surface.



G)

KANGIRSUK
























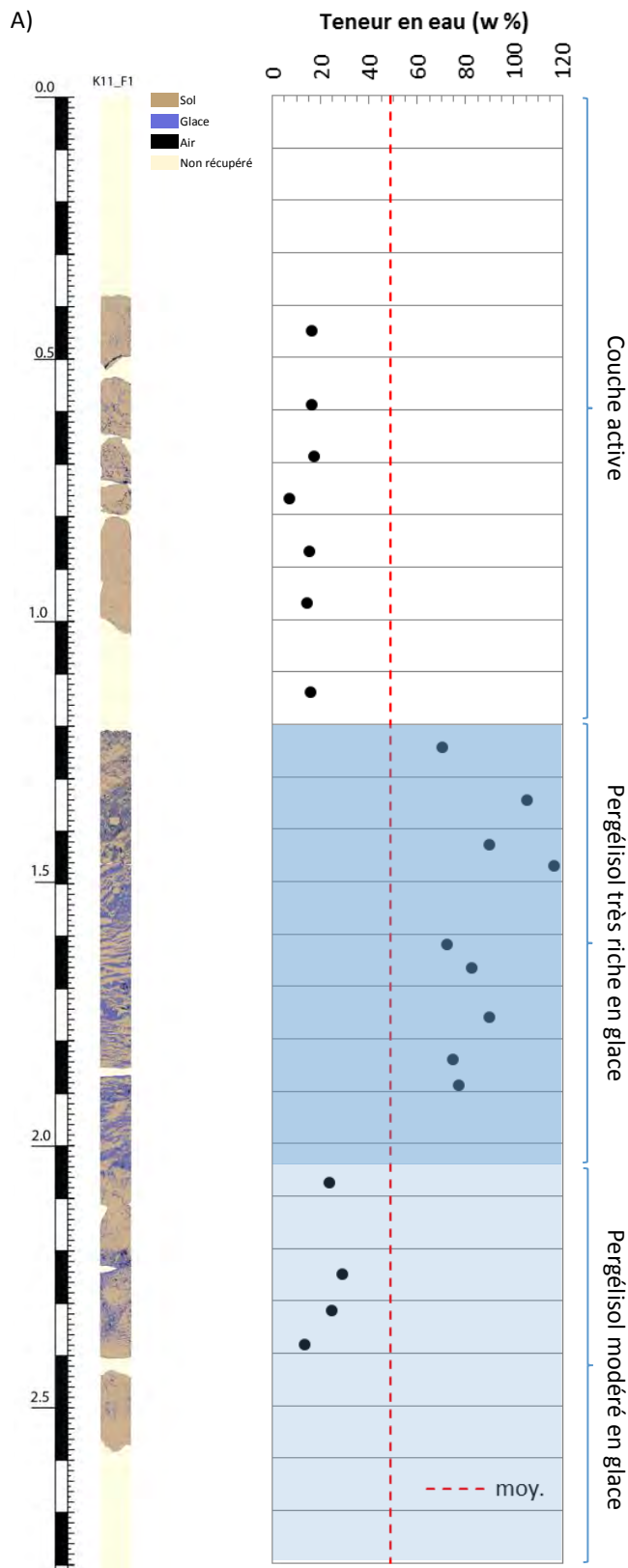
KANGIRSUK					Images scanographiques		
Cryostructure	Description	Volume glace (%)	Type glace	Type sédiment	En plan	Coupe 2D	Coupe 3D
 Poreuse	<ul style="list-style-type: none"> - Occupe les vides entre les sédiments; - Non visible à l'œil nu; - Très pauvre en glace. 	<5	Interstitielle	Sable moyen à grossier avec graviers			
 Microlenticulaire	<ul style="list-style-type: none"> - Fines lentilles <1 mm; - Espacement: <1 mm - 1 cm; - Forme: discontinue, ondulée, souvent oblique et formant un patron anastomosé; - Pauvre en glace. 	5 - 10	Ségrégation	Sable moyen à grossier avec graviers			
 Lenticulaire	Faible dev. <ul style="list-style-type: none"> - Lentilles >1 mm - 3 mm; - Espacement: 1 mm - 5 mm; - Forme: discontinue, ondulée ou droite; - Parallèle au front de gel; - Pauvre en glace. 	10 - 20	Ségrégation	Sable moyen avec silt			
	T. b. dév. <ul style="list-style-type: none"> - Lentilles 0,5 cm - 1 cm; - Espacement: 1 mm - 1 cm; - Aggrégats millimétriques de sédiments dans la glace; - Très riche en glace. 	65 - 90	Ségrégation	Sable avec graviers			
 Réticulée	<ul style="list-style-type: none"> - Réseau de lentilles et veines 1 mm - 3 mm; - Aggrégats 3 mm - 1,5 cm; - Pauvre à modérée en glace. 	20 - 45	Ségrégation	Sable avec graviers			
 Pelliculaire	<ul style="list-style-type: none"> - Couche de glace 1 mm - > 1 cm autour de particules cohérentes; - Avec cryostructure lenticulaire très bien développée; - Forme: selon la particule; - Riche en glace. 	65 - 90	Ségrégation	Sable avec graviers			

Figure 31: A, B, C, D, E, F) Échantillons de pergélisol prélevés dans les sédiments marins de Kangirsuk. G) tableau synthèse des cryostructures du pergélisol observées dans les sédiments marins de Kangirsuk.



B)

K11_F1_128_141		
Indice des vides (e_0)	2,948	
Contrainte (kPa)	25	100
Indice des vides (e_f)	n.d	0,485
Taux de consolidation	n.d	62,4%
Teneur en eau	105,6%	
K11_F1_169_183		
Indice des vides (e_0)	2,559	
Contrainte (kPa)	25	100
Indice des vides (e_f)	0,426	0,397
Taux de consolidation	59,9%	60,7%
Teneur en eau	90,0%	
K11_F1_227_237		
Indice des vides (e_0)	0,675	
Contrainte (kPa)	25	100
Indice des vides (e_f)	n.d	0,493
Taux de consolidation	n.d	10,9%
Teneur en eau	24,5%	



Échantillon : K11_F1_169_183

Figure 32: A) Profil cryostratigraphique et teneurs en eau après fusion du pergélisol en fonction de la profondeur. B) Essais de tassement et consolidation au dégel réalisés sur des échantillons prélevés dans le pergélisol aux forages K11_F1.

3.3.1.2 SÉDIMENTS GLACIAIRES (T, Tm, Tx)

Comblant les dépressions topographiques entre les affleurements rocheux, le till occupe une superficie importante de la région de Kangirsuk. Au-dessus de la limite marine locale estimée à environ 120 m d'altitude, le till se présente en couverture continue (T) formant à l'occasion des moraines (Tm). Sous cette limite marine, le till affleure à certains endroits et affiche une surface fortement remaniée (Tx). Qu'il soit non remanié ou remanié, le till de la région consiste en un matériel hétérométrique non trié grisâtre composé d'un mélange de sable et de silt avec un peu de gravier et cailloux décimétriques anguleux à la surface duquel de nombreux ostioles à bourrelet se sont développés (Figure 33A). D'après les résultats des forages réalisés par l'Hérault et *al.*, (2012), l'épaisseur du till atteint près de 9 m d'épaisseur dans le secteur de l'aéroport (forage : KANGIR_F1) ; il est recouvert habituellement d'une couche d'environ 1 m de sable et gravier grossier oxydé (Mn) (Figure 33B et C). Les échantillons qu'ils ont prélevés dans le till pergélisolé présentaient des proportions de gravier, sable et particules fines (silt et argile) de 23, 46 et 31 % respectivement et contenaient de fines lentilles de glace plurimillimétriques relativement espacées (Figure 33D, E et F). En termes de volume, cette glace occupait une proportion assez faible du sédiment avec une teneur en eau moyenne après fusion inférieure à 15 %. Une limite de liquidité moyenne de 15 % et un indice de plasticité trop faible pour pouvoir le mesurer confèrent au till une consistance de faible plasticité. Pour cette raison, dès que la teneur en eau se rapproche ou surpasse la limite de liquidité, le till se comporte comme un fluide visqueux et tend à fluer. Sur le long terme, la partie supérieure du dépôt exposée à l'air, donc soumise aux cycles de gel et dégel, subira graduellement l'effet de la gravité et fluera lentement le long des versants.

Lors de la construction de la piste, une excavation dans le till pergélisolé avait également permis de mesurer des teneurs en eau après fusion d'environ 30 % et d'y estimer visuellement un contenu en glace de près de 50 % (Tremblay et Doré, 1988). L'Hérault et *al.*, (2012) avaient réalisé neuf (9) essais de consolidation sur le till de Kangirsuk provenant de différents forages et de profondeurs variées. Le potentiel de consolidation du till est dans l'ensemble inférieur à 15 % (Tableau 10). Les auteurs mentionnent également que le till, une fois dégelé, drainé et consolidé, est assez stable avec un potentiel de consolidation inférieure à 1 % même sous des contraintes de 200 kPa. Lorsque l'on compare les teneurs en eau avec les valeurs de tassement et de consolidation (Tableau 10), ces dernières augmentent significativement dès que la teneur en eau dépasse 9 %, valeur qui semble correspondre à celle de la porosité à saturation du till. Ces coefficients de consolidation du till mesurés ne permettent toutefois pas d'expliquer l'ampleur des tassements qui se sont produits dans la section en déblai depuis la construction de la piste d'atterrissage. En effet, d'après les mesures de Tremblay et Doré (1988), dès la première année, le réajustement du régime thermique a fait progresser le front de dégel de 40 à 60 cm dans le pergélisol sous le remblai et entraîner des tassements irréguliers d'environ 15 cm en moyenne. La couche de till pergélisolé soumise au dégel aurait ainsi tassé d'environ 25 à 40 %, soit bien au-delà des résultats des essais de consolidation au dégel obtenus par l'Hérault et *al.*, (2012). D'après les auteurs, cette différence entre les coefficients de consolidation mesurés en laboratoire et ceux estimés indirectement par les mesures de nivellement découle probablement de la variabilité du contenu en glace du till et possiblement de l'ajout d'une composante du tassement attribuable au fluage interne qui n'a pas été mesurée.

Chose certaine, le till de la région demeure un matériau sensible au dégel qui nécessite la prudence lors d'implantation d'infrastructures. Il est recommandé d'éviter tout déblai dans les dépôts de till afin d'éviter le dégel accéléré et le fluage subséquent du matériau. Des forages supplémentaires sont requis pour permettre une meilleure évaluation des conditions du pergélisol dans ce type de dépôts (type de cryostructures et volume en glace).

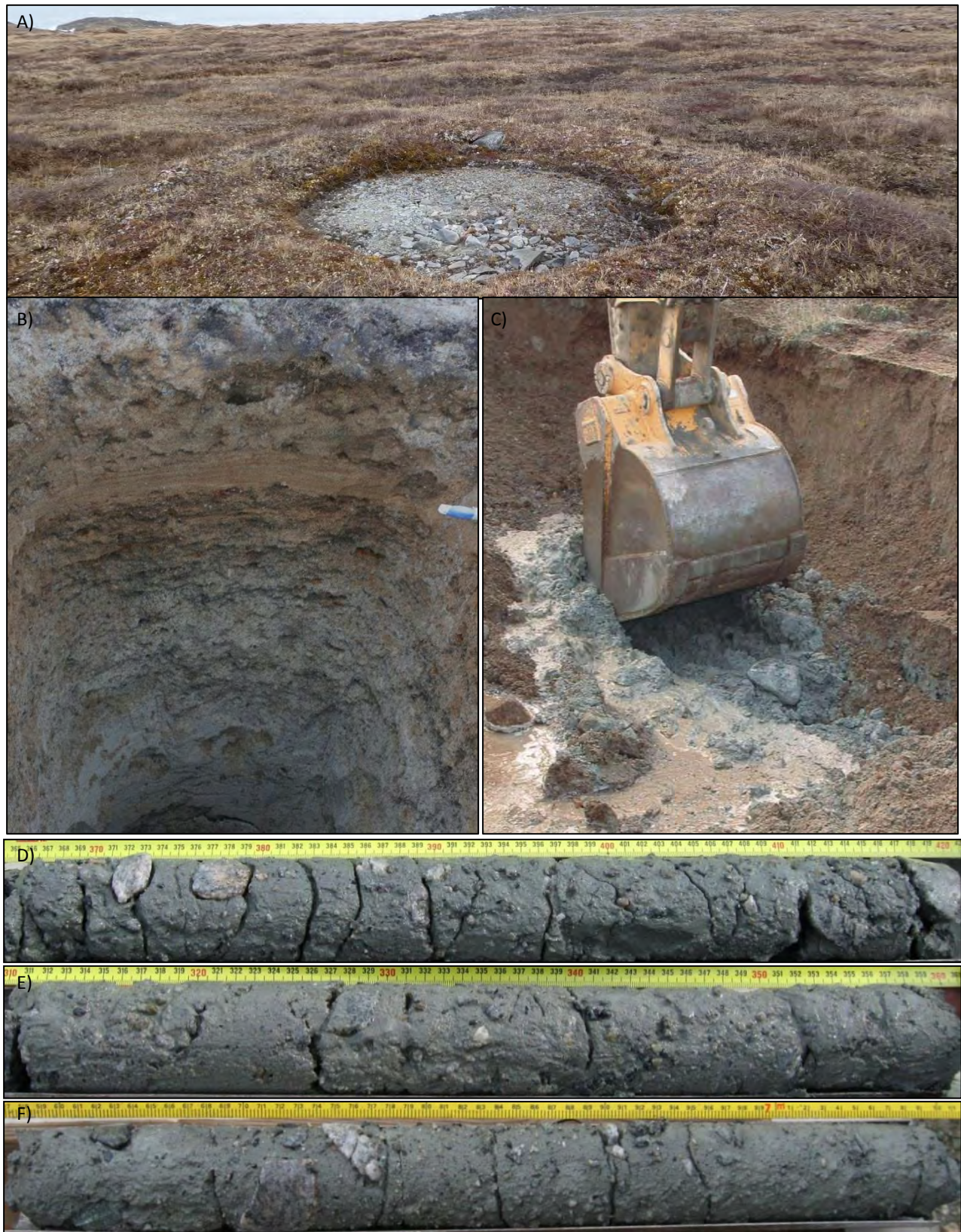


Figure 33 : A) Ostiole à bourrelet dans le till. B) et C) Sédiments littoraux grossiers qui recouvrent le till. D), E) et F) Échantillons de till pergélisolé avec lentilles de glace plurimillimétriques prélevés à l'aéroport au forage KANGIR_F3 (Tirée de L'Hérault et *al.*, 2012).

Tableau 10: Résultats des essais de consolidation réalisés par L'Hérault et al., (2012) sur le till à l'aéroport de Kangirsuk.

Nom de l'échantillon	Profondeur		Teneur en eau	Indice des vides (e0)	Contrainte (kPa)	Indice des vides (ef)	Taux de consolidation
	Sommet	Base					
KANGIR_F2_188-199	-1,88	-1,99	9,45%	0,277	150	0,270	0,55%
					200	0,265	0,96%
KANGIR_F2_265-280	-2,65	-2,80	9,58%	0,267	200	0,260	0,56%
KANGIR_F2_280-292	-2,80	-2,92	9,93%	0,320	100	0,277	3,28%
					150	0,262	4,39%
					200	0,256	4,81%
KANGIR_F3_238-248	-2,38	-2,48	10,96%	0,435	100	0,266	11,75%
					200	0,242	13,41%
KANGIR_F3_250-265	-2,50	-2,65	10,32%	0,362	200	0,279	6,08%
KANGIR_F3_440-454	-4,40	-4,54	10,93%	0,354	100	0,322	2,34%
					200	0,198	11,50%
KANGIR_F3_457-472	-4,57	-4,72	12,51%	0,428	100	0,227	14,11%
					200	0,209	15,37%
KANGIR_F3_675-690	-6,75	-6,90	10,45%	0,377	200	0,353	1,75%
KANGIR_F3_690-705	-6,90	-7,05	9,35%	0,288	200	0,278	0,74%

3.3.1.3 AFFLEUREMENTS ROCHEUX SANS OU AVEC COUVERTURE MINCE DE DÉPÔTS MEUBLES (R, Mn/R, Tv+R)

Les affleurements rocheux sont très abondants sur le territoire de la communauté. Ceux-ci sont composés essentiellement d'un schiste métamorphique à grains fins facilement altérable par les agents atmosphériques. Sa structure schisteuse rend les affleurements rocheux difficilement utilisables pour la production de granulats de qualité. En effet, les cycles de gel et dégel agissent sur le substrat rocheux ayant comme conséquence directe la désintégration de la roche en fines particules (Figure 34). Par endroits, les affleurements rocheux sont recouverts d'une mince couche de dépôts meubles d'une épaisseur inférieure à 1 m. Ces couches superficielles de dépôts sont soit d'origine glaciaire lorsqu'il s'agit d'un diamicton sablo-silteux avec blocs (Tv+R) ou d'origine littorale en présence de sables et graviers triés (Mn/R). En bordure des affleurements rocheux, particulièrement sur les versants nord-ouest, les pentes sont très abruptes avec des valeurs bien au-delà de 15 degrés. La sensibilité du substrat rocheux aux processus de gélidjonction et gélifraction couplée aux fortes valeurs de pentes rendent les versants très susceptibles aux mouvements gravitaires tel que les éboulis. Même si les caractéristiques mécaniques du substrat rocheux facilitent son excavation et que pratiquement tous les types de fondations y sont possibles, une analyse de la qualité du substrat rocheux afin de déceler la présence de fissures et le degré d'altération est conseillée afin d'évaluer sa capacité portante.



Figure 34: Schiste métamorphique à grains fins de la région de Kangirsuk. Sa structure lamellaire le rend très sensible à la gélidjonction et gélifraction.

3.3.2 CARTE DE POTENTIEL D'AMÉNAGEMENT

Les habitations actuelles sont majoritairement construites en marge de la rivière sur des affleurements rocheux souvent altérés et recouverts d'une mince couche de dépôts grossiers littoraux, mais stables au dégel. Toutefois, l'espace y est désormais très limité pour l'implantation de nouvelles infrastructures ce qui force l'expansion de la communauté vers l'intérieur des terres le long des versants rocheux. Un important affleurement rocheux au nord-ouest de la communauté fait actuellement l'objet d'un développement domiciliaire. La capacité d'accueil de ce secteur est encore considérable et devrait permettre de répondre à la demande en espace pour les années à venir (voir carte en annexe). Cette zone est délimitée au nord et à l'est par la présence d'importantes terrasses marines. En raison de la déficience du drainage ainsi que de la sensibilité au dégel des sédiments qui composent ces terrasses (Classe 2c), il est impératif d'éviter leur développement.

Les dépôts de till épais (Classe 2b) de la région demeurent des zones sensibles au dégel qui nécessitent la prudence lors d'implantation d'infrastructures. Il est recommandé d'éviter tout déblai dans les dépôts de till afin d'éviter le dégel accéléré et le fluage successif du matériau. Nonobstant, les dépôts glaciaires disposent d'un potentiel de construction non négligeable. Dans ces secteurs potentiellement aménageables, les fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc sont préférables (ex : pieux) ainsi que les fondations flottantes (chevalets) sur radier. Sur les terrains où la couverture de till est mince (Classe 2a), des techniques élaborées de préparation du terrain telles que l'excavation ou la préfonte du couvert de sédiments gelés avant construction permettraient d'assurer la stabilité de l'infrastructure sur le long terme.

De manière générale, la carte du potentiel de construction présentée en annexe montre plusieurs zones stables au dégel. Ces zones correspondent essentiellement aux affleurements rocheux, dont la surface est parsemée de blocs et parfois recouverte d'une mince couche de dépôts meubles. Ces affleurements rocheux occupent de grandes superficies, mais leur aménagement est souvent limité par les fortes pentes. Certaines sections sur le roc peuvent nécessiter un effort de nivellement considérable, mais avec une bonne planification et un choix de fondation optimale (ex : pieux sur roc) ces terrains sont d'excellente qualité.

3.4 TASIUAQ

3.4.1 RÉPARTITION SPATIALE, PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES ET CONDITIONS DE PERGÉLISOL DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE

Située sur une ancienne terrasse intertidale qui surplombe les rives de la baie Profonde à l'embouchure de la rivière Bérard, la communauté de Tasiujaq compte 303 habitants (Statistiques Canada 2012). Les collines rocheuses (R) légèrement fuselées, d'une altitude qui varie entre 30 et 160 m, présentent généralement une pente abrupte du côté sud-ouest et plus douce ou recouverte de dépôts glaciaires du côté nord-est (Crag and tails). La forme générale des collines est dérivée d'une érosion différentielle qui suit l'écoulement glaciaire régional mis en évidence par l'orientation sud-ouest/nord-est de cannelures et de stries observées sur les affleurements rocheux. Selon Vinet (2008), l'orientation des stries, des crag-and-tails, des drumlinoïdes et des sillons glaciaires cartographiés dans la région indiquent des directions d'écoulement de 030°, 044° et 055°. La présence de deltas glacio-marins mis en place en aval d'eskers suggère une déglaciation en contact avec la mer sous forme d'une marge stagnante (Vinet, 2008). Le relèvement glacio-isostatique suivant la déglaciation a mené à la régression des eaux marines d'environ 180 m par rapport au niveau marin actuel donnant naissance aux formes littorales répertoriées dans la vallée, notamment les nombreuses terrasses marines qui témoignent de pauses dans l'émersion des terres. Parallèlement, de part et d'autre de la rivière Bérard, l'encaissement du chenal fluvial a mené à la formation de talus d'érosion et de terrasses fluviales sculptées à même les dépôts meubles antérieurs préservés à l'occasion entre les chenaux abandonnés. Le long du cours fluvial inférieur, les dépôts littoraux et pré-littoraux s'étendent de façon discontinue sur les replats qui n'ont pas été affectés par les processus alluviaux et reposent généralement sur d'anciennes plateformes intertidales. Dans les secteurs plus éloignés de la vallée centrale, vers lesquels les méandres de la rivière Bérard n'ont jamais migré, le till remanié est très abondant (Gray et Pilon, 1976; Lauriol, 1982; Vinet, 2008).

Spatialement hétérogène et diversifiée, la géologie de surface de la région présente une complexité qui résulte d'une succession d'environnements sédimentaires au sein d'une vallée soumise à des conditions macrotidales en régression forcée. Plusieurs observations de terrain, sondages superficiels, forages profonds et levés géophysiques lors de récentes études ont permis de réaliser la grande hétérogénéité spatiale des conditions de terrain (Savard, 2006; Allard *et al.* ; 2007a; 2007b; Vinet, 2008; L'Hérault, 2012). Cette hétérogénéité est typique de la sédimentation en zone intertidale nordique où les courants de marée apportent les sédiments fins alors que les glaces flottantes charrient les blocs et les cailloux et que les vagues mélangent et redistribuent le tout. Ainsi, des lentilles de silt riches en glace de quelques mètres carrés de superficie et quelques mètres d'épaisseur alternent avec des sols pierreux et sableux (Allard *et al.*, 2007). Cette complexité constitue un défi de taille dans l'élaboration d'une cartographie précise des dépôts de surface, assise essentielle dans la détermination des conditions du pergélisol et l'évaluation du risque d'instabilité au dégel. La carte initialement dressée par Vinet (2008) a été reprise, puis modifiée en tenant compte des nouvelles observations de terrain et connaissances stratigraphiques et géotechniques récemment acquises lors des forages profonds réalisés à l'aéroport (L'Hérault *et al.*, 2012) et les campagnes de terrain de 2010 et 2011 complétées pour la présente étude (voir carte en annexe).

Tableau 11 : Caractéristiques générales des forages réalisés à Tasiujaq.

Nom du forage	Coordonnées		Altitude (m)	Profondeur atteinte (m)
	x	y		
T11_F1	-69,930248	58,701363	8,56	1,11
T11_F2	-69,931402	58,699436	9,84	1,29
T11_F3	-69,930937	58,694318	13,53	5,04
T11_F4	-69,928886	58,698286	8,97	0,59
T11_F5	-69,928886	58,698286	8,97	0,56
T11_F6	-69,937072	58,695745	19,54	0,64
T11_F7	-69,930865	58,694335	13,35	2,51

3.4.1.1 SÉDIMENTS INTERTIDUAUX, LITTORAUX ET GLACIOMARINS (MiT, Mn, MGA, MGD)

Dans la région, l'amplitude des marées est une des plus importantes au monde alors qu'elles dépassent régulièrement les 15 mètres. Celle-ci a joué un rôle considérable par le passé dans la mise en place des unités géologiques de surface sur les terres aujourd'hui émergées et sur la basse terrasse sur laquelle se situe maintenant la communauté (Vinet, 2008). Présentement, un estran de plusieurs centaines de mètres de largeur occupe les côtes de la baie Profonde (Mi). Il consiste en une vasière intertidale composé de silts, de sables, de graviers et d'une importante quantité de blocs glaciels géants pouvant atteindre plus de 6 m de diamètre (Lauriol et Gray, 1980).

Derrière l'estran actuel, des dépôts intertidaux anciens (Mit) forment plusieurs petites buttes sablo-graveleuse séparées entre elles par des alluvions littorales silto-sableuses déposées à marée haute (Figure 35A). Sommairement, les dépôts plus grossiers qui se présentent essentiellement sous forme de buttes favorisent une certaine stabilité, mais le sable-silteux observé dans les terrains déprimés autour de ces buttes, et qui pourrait potentiellement s'étendre sous celles-ci, est un matériau gélif susceptible de contenir un certain volume en glace et ainsi entraîner un tassement en cas de fonte. L'excavation d'une butte sableuse similaire dans le secteur de l'aéroport, sur un ancien niveau de terrasse intertidale dans lequel la rivière Bérard s'est encaissée simultanément au rebond isostatique, faite par Allard *et al.*, (1994) avait révélé la présence en surface de 1,75 m de sable très grossier sur un dépôt intertidaux plus fin constitué de sable et silt cimenté par une glace interstitielle avec une teneur en eau entre 11 et 21 %.

Aux abords de la rivière Bérard, tout porte à croire que les dépôts intertidaux sont recouverts par endroit par une couverture de sédiments fluviatiles d'une épaisseur inégale de 1 à 2 m (At/Mit). En surface, ces secteurs se caractérisent par une alternance de chenaux évasés mal drainés peu profonds et de barres alluviales basses et plates généralement bien drainées et composées de sédiments sablo-graveleux stratifiés pauvres en glace. Au cours de la construction du nouvel aréna, des excavations réalisées dans ce type de dépôt ont révélé la présence d'un silt argileux grisâtre gelé (Mit) recouvert d'environ 2,5 m de sable et gravier brunâtre (At) (Journeaux, Bédard et Associées, 1990). Cette stratigraphie fut confirmée par de récentes excavations réalisées en 2010 à l'aide d'une pelle mécanique ici et là dans la communauté (Figure 35B, C et D).

La composition granulométrique des sédiments intertidaux se résume à un mélange de sable et de silt (USCS : SM) avec un peu de gravier dont la proportion de particules fines (silt et argile) peut atteindre plus de 60 %. La limite de liquidité moyenne de ce dépôt est de 17 % et l'indice de plasticité inférieure à 4. Dans le pergélisol, la structure de la glace se présente essentiellement sous forme poreuse non visible avec quelques lentilles de glace millimétriques (Figure 36A) qui totalisent une teneur en eau généralement inférieure à 25 % (Figure 36G). À l'occasion, la distribution des lentilles de glace se densifie et elles deviennent faiblement espacées (< 1 cm) (Figure 36F). C'est dans ces sections, généralement entre 2 et 4 m de profondeur, que la teneur en eau augmente légèrement sans toutefois dépasser 30 %. D'après Allard *et al.* (2007), l'eau interstitielle y est saumâtre avec des concentrations en sel dissous entre 4,6 et 18,2 g Na Cl/L. En raison de cette salinité, l'abaissement du point de fusion est évalué à -0,5°C. La firme Journeaux, Bédard et associées Inc. (1990), lors d'un forage dans cette unité, a observé sensiblement les mêmes caractéristiques soit la présence de minces lentilles de glace de 2 à 3 mm d'épaisseur, une teneur en eau une fois dégelée autour de 20 %, une proportion de sable, silt et argile de 25, 60 et 15 % respectivement et une teneur en sel de 3,369 ppm.

L'essentiel des infrastructures du village actuel repose entièrement sur ce type de dépôt à l'exception de quelques-unes qui sont directement posées sur des dépôts littoraux sableux minces sur roc (Mn/R) ou des affleurements rocheux (R). Un examen des chevalets sous les maisons réalisé par Allard *et al.* (2007) laisse présager que bon nombre des infrastructures construites sur ce type de dépôt ont connu des tassements par le passé. C'est également dans ce type de dépôt que l'ancien garage municipal, construit sur dalle de

béton, présente maintenant une dépression en son centre de 40 cm suite au tassement du sol ce qui à toute fin pratique inutile. Des essais de consolidation réalisés sur des échantillons révèlent un coefficient de consolidation qui varie entre 10,4 et 12,4 % sous une contrainte de 25 kPa et entre 15,6 et 16,6% sous une contrainte de 100 kPa (Figure 36H). Ces valeurs sont comparables à celles obtenues par L'Hérault *et al.*, 2012 sur ce même type de dépôt. En effet, les coefficients de consolidation mesurés étaient en moyenne compris entre 10 et 15 % sous des contraintes de 100 kPa et atteignant jusqu'à 20 et 23 % sous des contraintes de 200 kPa (Figure 36H). C'est dans les sections à forte densité de lentilles de glace et, en l'occurrence, là où les teneurs en eau sont les plus élevées que les plus hauts taux de consolidation ont été mesurés. L'ampleur des tassements dans ce type de dépôt semble attribuable essentiellement au changement de volume de la glace à l'eau présent à l'intérieur des pores et dans une moindre mesure à la fonte de glace en excès et la consolidation du sédiment sous contrainte. L'épaisseur de cette unité est très variable, mais elle peut atteindre plus de 5 m comme le suggère le forage T11_F3 réalisé en 2011 dans le village ainsi que ceux réalisés à l'emplacement du poste de distribution d'eau potable (Journeaux, Bédard et associées Inc., 1990) et à l'aéroport (L'Hérault *et al.*, 2012).

Les quelques forages profonds réalisés dans le secteur de l'aéroport suggèrent que, plus en profondeur, la proportion de sable et gravier augmente graduellement au détriment des particules fines. Il s'agit selon L'Hérault *et al.*, (2012) d'une transition graduelle entre les sédiments intertidaux silteux (Mit) avec les sédiments pré littoraux sablo-graveleux (Mn) sous-jacent (Figure 37A). D'après les auteurs, ces sédiments sont pauvres en glace; la proportion de gravier, sable et particules fines est de 57, 41 et 2 % respectivement ; les teneurs en eau pondérale sont inférieures à 16 % et le tassement potentiel au dégel inférieur à moins de 6 % (Tableau 12). Dans le village, l'absence de forage profond ne permet pas de confirmer la présence d'une telle couche de sable et gravier grossier sous les sédiments intertidaux. Toutefois, les travaux antérieurs réalisés dans la région (Vinet, 2008; Allard *et al.*, 2007a; 2007b) ont révélé la présence de sédiments glacio-marins silto-argileux en profondeur. Ces sédiments fins ont été observés dans des coupes stratigraphiques au niveau du lit de la rivière Bérard à la hauteur du village (Vinet 2008) et de l'aéroport (Allard *et al.*, 2007) et ont également été rencontrés puis échantillonnés à environ 12 m de profondeur lors des forages profonds réalisés à l'aéroport en 2009 (L'Hérault *et al.*, 2012). Ces sédiments fins d'eau profonde, grisâtres et de faible plasticité, consistent en un mélange de sable et de particules fines (silts et argiles) dont les proportions moyennes sont de 34 % et 65 % (USCS : CL ou SC-CL); riche en glace, on y observe un réseau de lentilles de glace millimétriques réticulées entrecoupé par des lentilles de glace horizontales et subverticales centimétriques (Figure 37B); la teneur en eau moyenne y est de 33 %. Les essais de consolidation réalisés par L'Hérault *et al.*, (2012) sur ce matériau suggèrent un potentiel de tassement au dégel inférieur à 13 % dans les sections caractérisées par un réseau de lentilles de glace millimétriques réticulées peu développé et d'environ 23 % où le réseau est plus développé. Dans ces sédiments, le potentiel de tassement au dégel dépend donc fortement de la densité du réseau (faible ou élevé) ainsi que la morphologie des lentilles de glace (millimétrique ou centimétrique). L'absence de forages profonds dans le village ne permet pas de confirmer la présence de ces sédiments glacio-marins silto-argileux sous les dépôts intertidaux, mais tout porte à croire qu'ils se prolongent sous une bonne partie du village. Actuellement, le chenal fluvial s'encaisse à travers cette unité en plusieurs endroits et le niveau marin actuel est plus bas que leur surface.

Plusieurs complexes deltaïques glacio-marins (GMD) ont été cartographiés en amont du village actuel de part et d'autre de la rivière Bérard. Ceux-ci sont composés de de sables, de graviers et de galets émoussés stratifiés et non-fossilifères (Vinet, 2008). Certains dépôts, présent dans l'axe de la rivière, ont été érodés par la migration des méandres dévoilant ainsi leur stratification oblique typique (Figure 38A). Deux de ces dépôts sur la rive ouest de la rivière sont présentement en exploitation à titre de source de granulats (Figure 38B).

Dans la région de Tasiujaq, le till s'organise généralement en complexes sédimentaires de type « Crag and Tail », c'est-à-dire en nappe (Tx, Tx/R) généralement adossée sur le versant nord-est des collines. Le till remanié est très abondant dans les secteurs plus éloignés de la vallée centrale. Lors de la phase de transgression marine par la mer d'Iberville, sa surface a été remaniée. Depuis l'émersion, la cryoturbation dans la couche active y a formé des ostioles qui parsèment la surface du terrain. En raison de l'absence de forage et en l'occurrence d'échantillons récupérés dans cette unité, les conditions du pergélisol dans le till (type de cryostructure et volume en glace) demeure inconnue. Une vérification ponctuelle est donc nécessaire pour valider la composition du till et la présence potentielle de glace.



Figure 35: A) Dépôts intertidaux anciens (Mit) derrière l'estran actuel où alternent petites buttes sablo-graveleuse séparées entre elles par des alluvions littorales silto-sableuses. B), C), D) Sable fin silteux grisâtre (Sédiments intertidaux : Mit) recouvert d'une couche de sable et gravier brunâtre (Alluvion) observé dans les excavations réalisées dans la communauté en 2010.

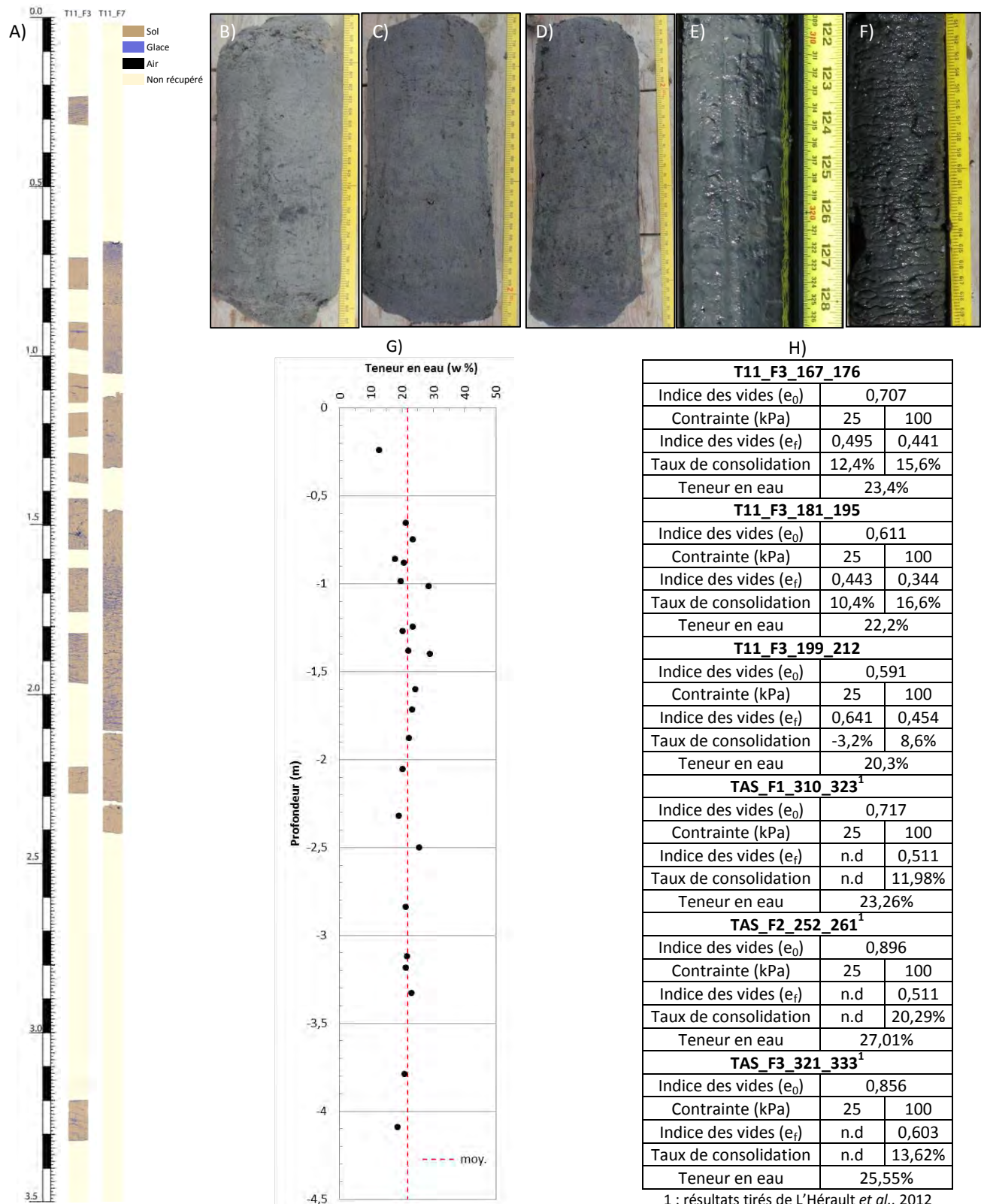


Figure 36: A) Profils cryostratigraphiques des forages T11_F3 et T11_F7. Échantillons de sédiments intertidaux pergélisolés prélevés par forages : T11_F3_167_176 (B), T11_F3_181_195 (C), T11_F3_199_212 (D), TAS_F1_310_323 (E) et TAS_F2_252_261 (F). G) Teneurs en eau après fusion du pergélisol au forage T11_F3 en fonction de la profondeur. H) Résultats des essais de consolidation réalisés sur des sédiments intertidaux échantillonnés dans le village au cours de la présente étude et ceux obtenus à l'aéroport par L'Hérault *et al.*, (2012) sur des sédiments similaires.



Figure 37 : A) Dépôt de sable et gravier grossier fossilifère (Mn) et glace interstitielle. B) Sédiments glacio-marins fins d'eau profonde grisâtres et massifs (MGa) avec réseau de lentilles de glace millimétriques réticulées entrecoupées par des lentilles de glace centimétriques horizontales et subverticales (Tirée de L'Hérault *et al.*, 2012).

Tableau 12: Sommaire des résultats des essais de consolidation réalisés à l'aéroport de Tasiujaq (Tirée de L'Hérault *et al.*, 2012).

Nom de l'échantillon	Unité stratigraphique	Profondeur		Teneur en eau	Indice des vides (e0)	Contrainte (kPa)	Indice des vides (ef)	Taux de consolidation
		Sommet	Base					
TAS_F1_643_658	Unité 2: Mt	-6,43	-6,58	15,99%	0,528	100	0,434	6,16%
						200	0,400	8,42%
TAS_F2_522_533	Unité 3: Mn	-5,22	-5,33	16,53%	0,640	100	0,555	5,19%
						200	0,541	6,03%
TAS_F2_1675_1690	Unité 4: MGa	-16,75	-16,90	34,24%	1,091	100	0,616	22,72%
TAS_F2_1697_1706	Unité 4: MGa	-16,97	-17,06	29,14%	0,861	100	0,656	11,03%
						200	0,622	12,85%



Figure 38: Dépôts deltaïques glacio-marins sur la rive est (A) et la rive ouest (B) de la rivière Bérard. Le dépôt sur la rive ouest est présentement en exploitation à titre de sablière/gravière.

3.4.2 CARTE DE POTENTIEL D'AMÉNAGEMENT

Une grande partie du village repose sur une ancienne terrasse intertidale composée essentiellement de sable-silteux recouvert en surface d'une couche de sable et gravier pouvant atteindre près de 2 m d'épaisseur par endroits. Sur cette terrasse, les dépôts intertidaux anciens (Mit) forment plusieurs petites buttes sablo-graveleuses séparées entre elles par des alluvions littorales silto-sableuses déposées à marée haute. Cette géologie de surface présente une complexité qui constitue un défi de taille dans la détermination des conditions du pergélisol et leur évaluation du risque d'instabilité au dégel. Sommairement, les dépôts plus grossiers qui se présentent essentiellement sous forme de buttes favorisent une certaine stabilité, mais le sable-silteux observé dans les terrains déprimés autour de ces buttes, et qui pourrait potentiellement s'étendre sous celles-ci, est un matériau gélif susceptible de contenir un certain volume en glace et ainsi entraîner un tassement en cas de fonte. Jusqu'à maintenant, les infrastructures ont plutôt bien réussi à résister à l'approfondissement de la couche active observé dans la région depuis une vingtaine d'années. Cela grâce à des fondations flottantes sur des radiers, des blocs de bois et des chevalets ajustables. Toutefois, certaines fondations moins flexibles, telles que les dalles de béton sur radier construites dans le secteur, présentent des déformations importantes qui témoignent de la susceptibilité aux tassements de ces dépôts intertidaux. Pour cette raison, l'ensemble du village actuel repose sur des terrains aménageables pour la construction, mais sujets à des tassements limités et restreints à certains type de fondations (buttes intertidales sablo-graveleuses) ou tout simplement jugées défavorables (alluvions littorales silto-sableuses).

Malgré l'importance des secteurs problématiques à la construction, la carte du potentiel de construction produite et présentée en annexe montre plusieurs zones stables au dégel. En effet, il existe une réelle possibilité d'expansion sur du terrain solide à l'ouest qui se résume à un versant où le roc affleure à plusieurs endroits et est recouvert d'une mince couche de sable et graviers. Ce versant est adjacent à un important affleurement rocheux d'une grande superficie qui se prolonge vers le sud-ouest et dont les pentes sont généralement inférieures à 15 degrés, donc potentiellement aménageables pour la construction. Les fondations nordiques de tous types peuvent y être utilisées en s'assurant que la couche de dépôts meuble en surface y est inférieure à 2 m. Certaines sections sur le roc peuvent nécessiter un effort de nivellement considérable, mais avec une bonne planification et un choix de fondation optimale (ex : pieux sur roc) ces terrains sont d'excellente qualité.

En remontant la vallée vers l'aéroport, la route monte par paliers sur des terrasses, constituées pour certaines de dépôts fluvio-glaciaires (Gmd), pour d'autres des sables et graviers déposés durant l'Holocène par la rivière Bérard (At). Beaucoup de ces terrains sont non gélifs et stables, donc jugés favorables à la construction. Affectés par endroit par des processus géomorphologiques actifs, tel que la tendance à la migration d'un méandre de la rivière Bérard qui menace sérieusement d'érosion la prise d'eau de la municipalité, les berges de la rivière Bérard demeurent instables et sujettes à l'érosion fluviale, notamment s'il survenait une crue exceptionnelle. Celles-ci sont donc à éviter et une distance minimale des berges doit être respectée. Enfin, des conditions locales comme le ruissellement de surface ont permis la mise en place d'alluvions (Ap) le long des ruisseaux drainant les vallées secondaires, comme c'est le cas à l'ouest du village de Tasiujaq et sur les talus situés à l'ouest de la piste d'atterrissage. Il importe d'éviter d'implanter des infrastructures dans ces zones.

4 DISCUSSION

Dans certaines communautés, la probabilité de devoir construire sur un sol riche en glace est très élevée. En effet, les nombreux travaux géotechniques réalisés dans les différents villages du Nunavik ont révélé que les sédiments marins fins, les colluvions et certains tills sont susceptibles de contenir d'importantes quantités de glace. À l'intérieur d'une même unité géologique de surface, ces teneurs en glace ont une grande variabilité spatiale tant horizontale que verticale le long du profil de sol. Par conséquent, les cartes des dépôts de surface et des conditions de pergélisol présentées dans ce rapport sont une généralisation des caractéristiques spécifiques observées dans les différents matériaux meubles qui recouvrent la région. L'ajout de forages peu profonds (< 5 m) et profonds (\approx 10 m) supplémentaires est nécessaire pour permettre une caractérisation des conditions de pergélisol plus précise dans les communautés où les dépôts de surface sont diversifiés, leur répartition complexe et où la profondeur de dégel importante. C'est spécialement le cas à Tasiujaq. De telles observations requièrent du matériel spécialisé et également des campagnes sur le terrain plus longues; par conséquent, elles entraînent un coût supplémentaire non négligeable. Néanmoins, les nouvelles connaissances sur la répartition spatiale des propriétés du pergélisol et son comportement géotechniques au dégel ont permis de conduire une analyse du risque sur le territoire élargi des communautés étudiées et ainsi de déterminer, avec un niveau de confiance respectable, les zones les plus sécuritaires et davantage favorable pour accueillir de nouvelles infrastructures. Il est important de comprendre que les cartes produites sont avant tout des outils d'aide à la planification et qu'elles ne remplacent pas les études géotechniques ponctuelles. Il demeure ainsi nécessaire de procéder à des analyses approfondies des sols dans les secteurs qui accueilleront de nouvelles constructions en vue d'en adapter la conception au besoin et ainsi d'atténuer leur vulnérabilité au dégel du pergélisol.

La distribution spatiale des unités géologiques de surface au Nunavik se résume souvent par la présence au fond des vallées et dans les zones littorales émergées de faible altitude d'une importante couche de sédiments marins fins (sable fins, silt et argile). Ces sédiments marins reposent fréquemment sur le till et parfois sur un dépôt de sable et gravier fluvioglaciaire ou directement sur le roc. Aux endroits où ces sédiments marins n'affleurent pas en surface, particulièrement au pied des versants, à proximité du littoral actuel et le long des rivières, ceux-ci sont recouverts généralement d'une mince couche de matériau meuble (inférieure à 4 m) déposé par des processus géomorphologiques plus récents tels que les mouvements de versant (colluvions) et la sédimentation en milieu fluviatile (alluvions) ou intertidal (plages et dépôt d'estran). À l'occasion, ces dépôts de silt et argile sont recouverts d'une importante couche de sable et gravier d'origine deltaïque. Les terrains de plus hautes altitudes et les versants non submergés lors de l'invasion marine postglaciaire sont essentiellement constitués d'affleurements rocheux recouverts d'une mince couche de dépôts glaciaires (généralement un till) à travers de laquelle émergent quelques affleurements rocheux ponctuels. Dans les dépressions topographiques sur le bouclier canadien, l'épaisseur du till augmente et peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseurs. Ces cuvettes sont habituellement mal drainées et fréquemment sillonnées de polygones à coins de glace. Le long des versants recouverts de till épaisse développent souvent des lobes de gélifluxion.

Les cartes du potentiel de construction selon les conditions de pergélisol et des pentes présentées dans cette étude montrent plusieurs zones potentielles pour le développement des communautés. Il ressort des cartes des conditions du pergélisol que le roc (classe 1a), dont la surface est fréquemment parsemée de blocs et parfois recouverte d'une couche de sables et graviers littoraux (classe 1b), ainsi que les zones d'accumulation de dépôts de sable et gravier épais (classe 1c) ont été identifiées comme contenant très peu ou pas de glace, donc jugés stables au dégel. Ces unités géologiques de surface occupent de grandes superficies capables d'accueillir un nombre important d'infrastructures. Les fondations nordiques de tous types peuvent y être utilisées, mais des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.

En effet, certaines sections sur le roc avec des pentes de plus de 7,5 degrés peuvent nécessiter un effort de nivellement considérable, mais avec une bonne planification et un choix de fondation optimale (ex : pieux sur roc) ces terrains sont d'excellente qualité tout en étant à proximité des services déjà en place. Par exemple, lorsque la pente est forte, il est préférable d'opter pour une fondation sur pieux sur roc aux dépens des chevalets ajustables sur radiers afin d'optimiser l'utilisation de l'espace et réduire le besoin en matériel granulaire de remblayage. Même là où le till a été cartographié comme épais, la construction sur pieux prenant appui sur roc est possible, telle qu'elle est abondamment pratiquée au Nunavut. Il est important de noter que la profondeur du roc sous les dépôts meubles peut varier brusquement sur une distance de seulement quelques mètres, ce qui peut représenter un défi lors de l'utilisation de la technologie des pieux comme assise pour les infrastructures. Parfois escarpés, isolés, éloignés et exposés aux vents, certains de ces secteurs, quoi qu'offrant une grande stabilité structurale, peuvent être problématiques sous d'autres aspects comme l'accumulation de neige, la distribution des services (eau potable et égouts) et la sécurité des populations (isolement lors de blizzards).

Les autres types de dépôt meubles (classe 2a, 2b, 2c) contiennent tous une proportion considérable de particules fines (sable fin, silt et argile) qui permet le développement de glace excédant la porosité du sol. Par exemple, il est fréquent d'observer dans les tills, les dépôts marins ou les colluvions, une concentration importante de lentilles de glace dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs centimètres. Ces concentrations en glace très élevées se retrouvent fréquemment sous l'épaisseur maximale atteinte par la couche active, plus précisément dans la partie supérieure du pergélisol. Ces sols riches en glace sont d'ailleurs fréquemment affectés par la gélifluxion, un drainage de surface déficient et des décrochements de couche active. Ils sont donc à considérer avec prudence en raison de leur instabilité probable au dégel qui peut s'aggraver suite à l'intervention humaine. Aux endroits où une mince couche composée d'un mélange de sable, silt et cailloux (généralement du till) à travers de laquelle émergent quelques affleurements rocheux ponctuels (classe 2a) ainsi que le long des versants recouverts de till épais (classe 2b), la valeur de pente critique maximale pour l'aménagement des terrains pour la construction a été fixée à 8 degrés. Au-delà de cette valeur critique, il est fréquent de retrouver des lobes de gélifluxion qui témoignent de la présence d'un mouvement de versant lent à l'intérieur de la couche active. Le risque sur la stabilité des fondations associé à ce type de mouvement est très peu documenté, mais demeure potentiellement problématique. Par conséquent, lors de développement domiciliaire sur les versants recouverts de till, il est nécessaire de reconnaître les zones affectées par la gélifluxion et de tenter de les éviter. Il est probable que certains versants avec des pentes inférieures à 8 degrés soient affectés par la gélifluxion. Par conséquent, même s'ils ont été classés aménageables pour la construction, ceux-ci doivent aussi être examinés plus en détails avant de prendre la décision de construire. Dans les secteurs potentiellement aménageables, les fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc sont applicables (ex : pieux) ainsi que les fondations flottantes (chevalets) sur radier. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés). Sur les terrains où la couverture de till est plus importante (classe 2b), les fondations sur pieux sont possibles, mais requièrent des forages plus profonds pour l'installation. Une influence possible de la gélifluxion sur la stabilité des pieux est à considérer lors du dimensionnement.

Fait à noter, l'épaisseur maximale de la couche active est extrêmement variable à l'intérieur d'une même unité géologique de surface et dépend, outre des propriétés géothermiques du matériau, des conditions de surface et de drainage. Par exemple, dans les dépôts à granulométrie grossière composés de sable et gravier, l'épaisseur de la couche active varie de 0,5 à 2,5 m alors qu'elle peut atteindre jusqu'à 6 m dans le roc. Par conséquent, aux endroits où une couche de moins de 2 m de till recouvre le socle rocheux, il est possible qu'une zone riche en glace se situe à l'interface entre la profondeur maximale de dégel et la surface du substrat rocheux. Toutefois, l'épaisseur de cette zone riche en glace et par le fait même le potentiel de tassement du dépôt est souvent limité en raison de la faible couche de dépôt meuble gelé en

permanence. Une fois le pergélisol dégelé dans un till mince sur roc, le terrain deviendrait stable définitivement.

Les sols riches en glace (ex. argiles marines et colluvions) (classe 2c), d'ailleurs caractérisés par un mauvais drainage et sensibles aux décrochements de couche active, sont à éviter à cause de leur instabilité inhérente qui peut s'aggraver suite à l'intervention humaine. Entre autres, la thermo-érosion par le ruissellement et le creusement de rigoles y est possible. Pour ces raisons, ces secteurs de contraintes sévères à la construction ont été classés défavorables à la construction malgré des valeurs de pente parfois faibles; mais ils demeurent possiblement aménageables lorsque la pente y est inférieure à 2 degrés. Ces terrains sont certes fragiles, néanmoins, plusieurs infrastructures légères comme les maisons construites sur ce type de terrain ont jusqu'à maintenant réussi plutôt bien leur adaptation malgré l'approfondissement de la couche active observé depuis une vingtaine d'années, cela grâce à des fondations flottantes ajustables sur radiers. En effet, sur ce type de terrain, les fondations sur radiers et chevalets ajustables, si elles sont bien dimensionnées, offrent un bon support pour les infrastructures et une flexibilité d'ajustement en cas de tassement du terrain. Là où le roc est trop profond et où on peut douter de la stabilité éventuelle de pieux dans le pergélisol, ce type de fondation semble toujours approprié. Pour les bâtiments qui nécessitent une dalle de fondation sur radier, des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol sont nécessaires (ex. : thermosiphons). En effet, ce type de fondation offre très peu ou pas de possibilité d'ajustement aux tassements éventuels d'où la nécessité d'utiliser une méthode de protection efficace contre la dégradation du pergélisol. Il est préférable d'éviter la construction de ce type de bâtiment dans les secteurs de conditions de pergélisol de type 2a, 2b, 2c et de les implanter plutôt sur un substrat rocheux ou sableux assez épais stable au dégel (classes 1a, 1b ou 1c). Ainsi, certains coûts liés à l'installation et l'entretien des méthodes de protection contre la dégradation du pergélisol peuvent être évités. Lors du dimensionnement de l'ouvrage, il est nécessaire qu'une attention particulière soit portée afin de minimiser l'impact de celle-ci sur l'accumulation de neige et le drainage naturel.

4.1 ÉVOLUTION DES CONDITIONS DE PERGÉLISOL EN FONCTION DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS CLIMATIQUES.

Les projections du climat futur sont issues de modèles qui intègrent de nombreux processus physiques. Les sorties de modèles sont des représentations plausibles de climats futurs qui sont conséquents avec les hypothèses d'émission de gaz à effet de serre et les connaissances actuelles de leurs effets sur le climat (ACIA). Ces projections climatiques sont, depuis quelques années, utilisées comme intrants dans des modèles de simulations géothermiques avec pour objectif de simuler l'évolution du régime thermique du pergélisol et plus spécifiquement de l'évolution de la couche active (Sazonova et Romanovsky, 2003; Zhang *et al.*, 2008; Alfaro *et al.*, 2009; L'Hérault *et al.*, 2012). Pour le Nunavik, six sorties de températures de l'air provenant du Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC) sont disponibles pour mener à terme des exercices de modélisation numérique du pergélisol jusqu'à l'horizon 2050 (Figure 39). Ces différentes sorties utilisent toutes le scénario de gaz à effet de serre A2 (Nakicenovic *et al.*, 2000) qui est considéré pessimiste. Parmi les sorties MRCC disponibles, quatre sont pilotées aux limites latérales du modèle par le modèle de circulation générale (MCG) CGCM3 (*Canadien global climat model*) et deux sont pilotées par le MCG ECHAM5 développé par l'institut Max Planck. Pour les quatre communautés ciblées par l'étude, l'ensemble des séries MRCC projette une augmentation moyenne des températures de l'air d'environ 3°C d'ici l'horizon 2050 (Tableau 13). Le changement de température présenté ici est établi pour la période de référence 1971 à 2000 et pour la période future 2041 à 2070. Il est donc certain que les profils de température dans le pergélisol vont se réchauffer de façon générale suivant le même ordre de grandeur et que la couche active va s'épaissir de façon significative. Les choix d'aménagement du territoire et les choix de types de fondation pour les bâtiments doivent être pensés en conséquence.

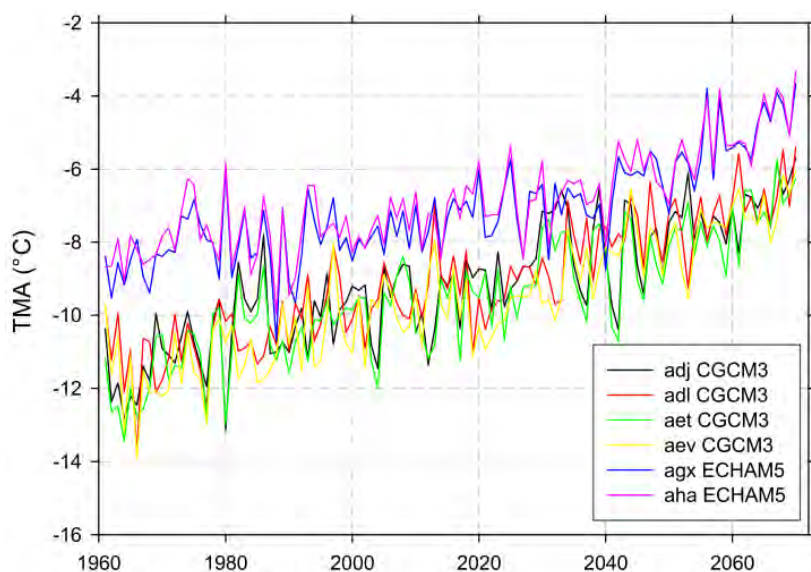


Figure 39: Les six sorties du MRCC des températures de l'air entre 1961 et 2070 pour la région de Tasiujaq.

Tableau 13 : Changements de température de l'air projetés pour l'horizon 2050 pour les communautés de Puvirnituk, Akulivik, Kangirsuk et Tasiujaq.

Communautés	MRCC (sortie AEV)	MRCC (sortie AHA)	Moyenne des sorties
Puvirnituk	+2,7 °C	+3,5 °C	+3,1 °C
Akulivik	+2,8 °C	+3,6 °C	+3,2 °C
Kangirsuk	+2,5 °C	+3,4 °C	+2,9 °C
Tasiujaq	+2,4 °C	+2,9 °C	+2,7 °C
Moyennes	+2,6 °C	+3,4 °C	+3,0 °C

Le comportement futur du pergélisol repose sur des hypothèses de changement climatique qui jusqu'à présent n'ont pas reproduit avec une précision suffisante les importantes variations récentes du climat. Par conséquent, l'utilisation de données climatiques projetées comme intrants dans les modèles géothermiques du pergélisol entraîne des incertitudes non négligeables. Par exemple, les comparaisons des températures annuelles moyennes de l'air des sorties MRC à celles enregistrées à différentes stations météorologiques a permis de faire ressortir la présence d'un biais froid de l'ordre de 4 à 5 °C dans les simulations climatiques du MRCC pour le Nord du Québec (Barrette, 2010; L'Héroult et *al.*, 2012). Comme il est très difficile d'évaluer le nombre de processus climatiques ayant cours dans l'arctique en raison de la faible couverture de stations météorologiques et de leur fiabilité, il est difficile d'évaluer les raisons précises pouvant expliquer ce biais. La faible résolution des modèles, le manque de connaissance sur la climatologie des régions nordiques ainsi qu'une prise en charge déficiente de certains processus physiques intrinsèques au modèle pourraient être à l'origine de ce biais.

De plus, malgré leur capacité à simuler adéquatement la réponse thermique d'un sol à un stimulus d'ordre climatique, les modèles géothermiques demeurent une schématisation de la réalité où la stratigraphie et les propriétés thermiques des sols qui les définissent demeurent très simplifiées. Cette simplification de la réalité, où l'attribution des propriétés thermiques des sols est basée sur des mesures en laboratoire et des calculs théoriques et où l'intégration de la variabilité spatiale et temporelle des variables climatiques et environnementales locales (précipitations, écoulement d'eau, couverture nivale) est très limitée, ajoute également de nombreuses incertitudes. Pour ces raisons, aucun exercice de modélisation numérique n'a

été entrepris dans cette étude en vue d'évaluer les mutations à venir dans le pergélisol (augmentation des températures dans le sol, épaissement de la couche active, etc.).

L'approche la plus sécuritaire pour le développement et le maintien des infrastructures de transports sur pergélisol est sans contredit la prévention en implantant les nouvelles infrastructures sur des secteurs où les conditions de pergélisol sont peu ou pas sensibles au dégel. Ainsi, un mauvais design de fondation, l'impact d'une infrastructure sur les facteurs environnementaux locaux (enneigement et drainage) ou une évolution surprenante du réchauffement climatique en dehors du spectre établi par les scénarios climatiques n'altéreront pas la validité des cartes de risque basée essentiellement sur une analyse approfondie des conditions du pergélisol par une cartographie détaillée des dépôts de surface, l'auscultation géotechnique et les essais en laboratoire.

4.2 VISION DE PLANIFICATION

La construction des bâtiments, l'aménagement urbain, la construction de rues et le contrôle du drainage nécessiteront des travaux de génie municipal bien ordonnés et protecteurs du pergélisol. Actuellement, la situation qui semble prévaloir est une proposition et réalisation à la pièce des différents projets de construction par les promoteurs (ex. Fédération des COOP, Makivik, Commission scolaire, MSSS, Hydro-Québec, propriétaires privés, et autres). Par exemple, les projets de nouvelles maisons sont connus à peine un an d'avance et il n'existe pas les plans pour construire des développements résidentiels ordonnés sont encore faits par secteurs seulement, sans vision globale à l'échelle des communautés. Cela transparaît d'ailleurs dans la trame urbaine actuelle où des espaces sont mal utilisés. Les moyens humains et financiers devront être octroyés pour assurer une planification à long terme, par exemple pour développer les différents secteurs sur une période de 15-20 ans en suivant un plan établi.

Des ressources humaines bien formées devront être disponibles dans les communautés pour prendre en charge la croissance tout en tenant compte de façon intégrée des multiples facettes du développement, à savoir : les fondations adaptées pour les bâtiments, le réseau de drainage urbain, la planification architecturale pour le contrôle de l'enneigement, le déneigement hivernal, la surveillance et l'entretien des thermosiphons, l'entretien annuel des infrastructures (ex. la mise à niveau annuelle des maisons sur chevalets) et l'observance de mesures de prévention de l'érosion thermique. Les municipalités ont besoin d'un programme rigoureux de planification et de suivi technique et des ressources humaines formées pour l'implémenter et l'appliquer. Le développement des communautés nécessitera également une optimisation de l'exploitation des ressources granulaires. Or, certaines gravières actuelles sont largement entamées. Il faudra s'attendre à devoir concasser du roc pour produire des matériaux nécessaires aux remblais et au recouvrement des rues (ce qui permettra par l'occasion de niveler des reliefs abrupts pour faire place à des bâtiments). La présence permanente d'une foreuse de carrière avec un opérateur qualifié deviendra une nécessité afin de procéder au dynamitage du roc et à l'installation de pieux de fondation.

5 CONCLUSION

En bref, il est recommandé d'adapter les méthodes de construction selon les conditions du pergélisol. Par exemple, sur les plateaux rocheux (classe 1a et 1b) et les tills (classe 2a et 2b), la construction sur pieux atteignant le roc assurerait la solidité des bâtiments tout en permettant une économie certaine de gravier. Encore peu appliquée au Nunavik, cette méthode de fondation est de pratique courante au Nunavut voisin, sur des terrains identiques. Elle est aussi pratiquée ailleurs dans l'Arctique, par exemple au Groenland, où les terrains bas argileux sont systématiquement évités au profit de la construction sur les pentes rocheuses. La construction sur pieux permet également des adaptations à la topographie tout en laissant passer la neige sous les maisons, réduisant ainsi la formation de congères. Elle requière aussi moins de gravier, lequel est une ressource minérale très dispendieuse à produire et à transporter. Un usage limité du gravier offrirait par ailleurs une meilleure qualité de l'air à la population en limitant la quantité de poussière disponible et améliorerait grandement l'aspect visuel du paysage en préservant des zones de végétation en périphérie et sous les bâtiments.

Il faut notamment considérer les spécificités du régime thermique du pergélisol dans la planification des travaux de construction et leur financement par étapes. Ainsi, installer une rue et des radiers deux ans d'avance permet la remontée du plafond du pergélisol et la stabilisation du terrain avant la construction des bâtiments de même que l'aménagement du réseau de drainage de surface pour un secteur urbain. Compte tenu des délais de livraison des matériaux de construction, les pieux pour fondations de bâtiments doivent être enfoncés un an d'avance de façon à être pris dans le pergélisol et prêts pour la construction lorsque les matériaux arrivent par bateau l'année suivante. L'installation d'un gros bâtiment sur dalle nécessite normalement de laisser passer un hiver une fois la dalle et les thermosiphons installés avant de monter le bâtiment (à défaut de quoi il faut réfrigérer le sous-sol la première année). L'excavation d'une couche de dépôt meuble riche en glace (ex. enlever 1-2 m de till gelé sur du roc) demande des travaux soit avec de la machinerie hydraulique puissante en été ou du dynamitage en hiver, et ainsi de suite.

Il est à souhaiter que les cartes produites dans le présent rapport guideront les prises de décision dans une telle optique orientée vers une expansion harmonieuse des communautés sur le pergélisol, dans le contexte du réchauffement climatique.

6 RÉFÉRENCES

- ACIA 2004. Impacts of a warming arctic. Cambridge University Press, New York. 139 pp.
- Alfaro, M. et Giro, G. (2009). Case study of degrading permafrost beneath a road embankment. *Journal of Cold Regions*. Vol. 23 (3), 93-111.
- Allard M., Calmels F., Fortier D., Laurent C., L'Hérault E. et Vinet F. (2007a). Cartographie des conditions de pergélisol dans les communautés du Nunavik en vue de l'adaptation au réchauffement climatique. Réalisé pour le compte d'Ouranos, Ressources Naturelles Canada. Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec. 42 pp.
- Allard M., Doré G., L'Hérault E., Verreault J. et Sarrazin D. (2009). Investigations géotechniques, caractérisation du pergélisol et stratégie d'adaptation pour les aéroports du MTQ au Nunavik. Rapport d'étape 2: État d'avancement du projet et résultats préliminaires. Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec. Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec. 53 pp.
- Allard M., Fortier R., Sarrazin D., Calmels F., Fortier D., Chaumont D., Savard J.P. et Tarusov A. (2007b). L'impact du réchauffement climatique sur les aéroports du Nunavik: caractéristiques du pergélisol et caractérisation des processus de dégradation des pistes. Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec et Ouranos. Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec. 192 pp.
- Allard, M., T. Gibéryen, E. L'Hérault et D. Sarrazin. (2009). L'impact des changements climatiques sur la problématique de la fonte du pergélisol au village de Salluit, Nunavik. Volet numéro 2 : Espaces potentiellement disponibles pour la construction. Réalisé pour le compte du ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire du Québec. Québec, Centre d'études nordiques, Université Laval. 54 pp.
- Allard, M., Lemay, M., Barrette, C., L'Hérault, E., Sarrazin, D. et al. (2012). Permafrost and climate change in Nunavik and Nunatsiavut: Importance for municipal and transportation infrastructures. In: Allard, M. and M. Lemay (Eds), *Nunavik and Nunatsiavut: From science to policy. An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of climate change and modernization*. ArcticNet Inc., Quebec City, Canada, p. 171-197.
- Allard, M. et E. L'Hérault. (2010). L'impact des changements climatiques sur la problématique de la fonte du pergélisol au village de Salluit, Nunavik. Rapport d'étape : Cartographie du potentiel de construction de la vallée de Salluit selon les conditions de pergélisol et les pentes. Réalisé pour le compte du ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire du Québec. Québec, Centre d'études nordiques, Université Laval. 29 pp.
- Allard, M. et E. L'Hérault (2009). L'impact des changements climatiques sur la problématique de la fonte du pergélisol au village de Salluit, Nunavik. Volet numéro 3 : Cartographie étendue des dépôts de surface et évaluation des profondeurs du substrat rocheux. Réalisé pour le compte du ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire du Québec. Québec, Centre d'études nordiques, Université Laval. 46 pp.
- Allard M., E. L'Hérault, T. Gibéryen et C. Barrette (2010). L'impact des changements climatiques sur la problématique de la fonte du pergélisol au village de Salluit, Nunavik. Rapport final : Salluit : s'adapter et croître. Réalisé pour le compte du ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire du Québec. Québec, Centre d'études nordiques, Université Laval. 64 pp.
- Allard, M. and M. K. Seguin (1987). The Holocene evolution of permafrost near the tree line, on the eastern coast of Hudson-Bay (Northern Quebec). *Canadian Journal of Earth Sciences* 24(11): 2206-2222.
- Allard M. et K.-Séguin M. (1987). Le pergélisol au Québec nordique : bilan et perspectives. *Géographie Physique et Quaternaire*, vol. 41 (1) : 141-152.
- Allard M., Wang B. L. et Pilon J. A. (1995). Recent cooling along the southern shore of Hudson Strait, Quebec, Canada, Documented from permafrost temperature-measurements. *Arctic and Alpine Research*, 27:157-166.
- American Society for Testing and Materials, (2000). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity. Index of soils, ASTM D4318-00. 16 pp.

- American Society for Testing and Materials, (2004). Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading, ASTM D2435-04.
- American Society for Testing and Materials, (2007). Standard practice for description of frozen soils (visual-manual procedure), ASTM D4083.
- American Society for Testing and Materials, (2007). Standard test method for determination of water (moisture) content of soil by direct heating, ASTM D4959.
- American Society for Testing and Materials, (2007). Standard test methods for particle-size analysis of soils, ASTM D422-63.
- ArcticNet, (2010). Impacts of environmental change in the Canadian coastal Arctic: A compendium of research conducted during ArcticNet Phase I (2004-2005). ArcticNet Inc., Québec, Canada. 330 pp.
- Barrette, C. (2010). Simulation numérique et projections des variations de l'épaisseur de la couche active du pergélisol à Salluit jusqu'en 2025. 2010. Département de Géographie. Québec, Université Laval. Maîtrise en Sciences Géographiques: 124 p.
- Brown R., Lemay M., Allard M., Barrand N.E., Barrette C., Bégin Y., Bell T., Bernier M., Bleau S., Chadbourn J., Chaumont D., Dibike Y., Frigon A., Leblanc P., Paquin D. et M. J. Sharp. (2012) Climate variability and change in the Canadian Eastern Subarctic IRIS region (Nunavik and Nunatsiavut). Dans Allard M. et Lemay M. (éditeurs) Nunavik and Nunatsiavut, from Science to Policy (chapitre 2). Integrated Regional Impact Study of the Canadian Eastern Subarctic Region. ArcticNet Inc., Québec, Canada.
- Calmels, F. (2005). Genèse et structure du pergélisol : étude de formes périglaciaires de soulèvement au gel au Nunavik (Québec nordique), Canada. Québec, Université Laval. Doctorat en Sciences Géographiques: 149 pp.
- Calmels F., Allard M. et Delisle G. (2008). Development and decay of a lithalsa in Northern Québec: a geomorphological history. *Geomorphology*, 97 (3-4): 287-299.
- Calmels F. and M. Allard (2004). Ice segregation and gas distribution in permafrost using tomodesitometric analysis *Permafrost and Periglacial Processes* **15**(4): 367-378.
- Calmels F., Clavano W.R et Froese D.G. (2010). Progress on X-ray computed tomography (CT) scanning in permafrost studies. 63rd Canadian Geotechnical Conference & 6th Canadian Permafrost Conference proceeding. p 1353-1358.
- Calmels F., Gagnon O. and Allard, M. (2005). A portable earth-drill system for permafrost studies. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16: 311–315.
- Canadian Standards Association (2010). Infrastructure in permafrost: A guideline for climate change adaptation. Mississauga, Canada. 105 pp.
- Clavano W.R., Calmels F. et Froese D.G. Quantitative processing of X-ray CT images for permafrost studies: limitations and prospects. *Permafrost and Periglacial Processes*. (sous presse)
- Commission des droits de la personne et des droits de la jeunesse (CDPDJ), Québec. (2007). Enquête portant sur les services de protection de la jeunesse dans la baie d'Ungava et la baie d'Hudson, Nunavik. Rapport, conclusions d'enquête et recommandations. 82 pp.
- Dion L, Cayouette J. et Deshayes J. (1999). La flore vasculaire de la région des monts d'Youville et de Puvirnituk, Nunavik, Québec Nordique. Mémoire de l'Herbier Louis-Marie, Université Laval, Québec, Québec, 72 pp.
- French, H. (2007). *The Periglacial Environment : Third Edition*, Éditions Wiley, 478 pp.
- Holtz, R. D. and W. D. Kovacs (1991). Introduction à la géotechnique. Montréal, Éditions de l'École polytechnique de Montréal
- Instanes A. (2003). Climate change and possible impact on Arctic infrastructure, Proceedings of the eight International Conference on Permafrost, Zürich, Suisse, p. 461-466.

- IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policy makers. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1009 pp.
- Jenness, J. (1948). Permafrost in Canada. *Arctic* 2: 13-27.
- Journeaux, Bédard & Associés Inc. (1990). Forage et analyse de sol pour projet d'alimentation en eau potable, Tasiujaq, N.Q. Rapport S-90-261. Réalisé pour le compte de Vezina Fortier et Associés. Dorval, Québec, 45 pp.
- Journeaux, Bédard & Associés Inc. (1995). Proposed eastern extension of north wing Akulivik School, Akulivik, Qc. Rapport no. S-95-636. Réalisé pour le compte du Kativik School Board. Dorval, Québec, 24 pp.
- Les Laboratoires Ville-Marie. (1989). Étude géotechnique et recherche de matériaux de carrière, Aéroport de Povungnituk, Ungava, Québec. Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec. 28 pp.
- L'Hérault E., Allard M., Doré G., Sarrazin D. et Verreault J. (2009). Investigations géotechniques, caractérisation du pergélisol et stratégie d'adaptation pour les aéroports du MTQ au Nunavik. Rapport d'étape 1: État d'avancement du projet et résultats préliminaires. Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec. Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec. 71 pp.
- L'Hérault E., Allard M., Barrette C., Doré G. et Sarrazin D. (2012). Investigations géotechniques, caractérisation du pergélisol et stratégie d'adaptation pour les aéroports du MTQ au Nunavik. Rapport final. Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec. Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec. 252 pp.
- L'Hérault, E. (2009). Contexte climatique critique favorable au déclenchement de ruptures de mollisol dans la vallée de Salluit, Nunavik. Département de Géographie. Québec, Université Laval. Maîtrise en Sciences Géographiques: 149 p.
- Leroueil, S., G. Dionne and M. Allard (1991). Tassement et consolidation au dégel d'un silt argileux à Kangiqsualujuaq. *Canadian Geotechnical Journal*, 28: 678-689.
- Michaud, Y and Dionne, J-C, (1987). Altération des substrats rocheux et rôle du soulèvement géolocal dans la formation des champs de blocaille, en Hudsonie. *Géographie physique et Quaternaire*. 1987. 41(1) : 7-18.
- Murton J.B. et French H.M. (1994). Cryostructures in permafrost, Tuktoyaktuk coastlands, western arctic Canada. *Revue canadienne des sciences de la Terre*, 31: 737-747.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. et Dadi, Z. (2000). *Special report on emissions scenarios, Intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, Cambridge, 612 p.
- Sazonova, T. S. and V. E. Romanovsky (2003). "A model for regional-scale estimation of temporal and spatial variability of active layer thickness and mean annual ground temperatures." *Permafrost and Periglacial Processes* 14(2): 125-139.
- Smith S. L., Romanovsky V.E., Lewkowicz A.G., Burn C.R., Allard M., Clow G.D., Yoshikawa K. et Throop J. (2010). Thermal state of permafrost in North America – A contribution to the International Polar Year. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 117-135.
- Smith S. L., Burgess M. M., Riseborough D. and Nixon F. M. (2005). Recent Trends from Canadian Permafrost Thermal Monitoring Network Sites. *Permafrost and Periglacial Process* 16: 19-30.
- Statistique Canada, (2008). *Peuples autochtones du Canada en 2006: Inuits, Métis et Premières nations, Recensement de 2006*. Catalogue de Statistique Canada, produit no. 97-558-XIE. Ottawa.
- Stephani, E., Fortier, D., Shur, Y. (2010). A cryofacies approach to describe permafrost ground ice for engineering applications – Case study of a road test site on the Alaska Highway (Beaver Creek, Yukon, Canada). *Comptes-rendus de la 6^e conférence canadienne sur le pergélisol et de la 65^e conférence géotechnique canadienne*, Calgary, octobre 2010: 476-483.

- Sushama L., Laprise R., Caya D., Verseghy D., Allard M., (2007). An RCM projection of soil thermal and moisture regimes for North American permafrost zones. *Geophysical Research Letters*, 34 (L20711).
- Tremblay C., Doré, G. (1988). Airport network and housing construction programmes in northern Quebec, Canada. 5e International Conference on Permafrost, Trondheim. 1500-1506.
- Vinet F. (2008). Géomorphologie, stratigraphie et évolution du niveau marin holocène d'une vallée soumise à des conditions macrotidales en régression forcée, région de Tasiujaq, Nunavik. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 97 pp.
- Zhang X., Vincent L.A., Hogg W.D. and Niitsoo A. (2000). Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century. *Atmosphere and Ocean*, 38: 395-429.
- Zhang, Y. S., S. K. Carey and W. L. Quinton (2008). "Evaluation of the algorithms and parameterizations for ground thawing and freezing simulation in permafrost regions." *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 113(D17).

7 GLOSSAIRE

Coin de glace : Glace massive, généralement en forme de coin dont la pointe est dirigée vers le bas. Elle résulte du gel de l'eau dans des fentes de contraction thermique. Le gel de l'eau au niveau du pergélisol permet la croissance du coin de glace.

Couche active : Couche de sol en surface soumise au cycle annuel de gel et de dégel. Synonyme: mollisol.

Cryofaciès : Assemblage de cryostructures. Composition et structure du pergélisol constituée de sédiments et de glace.

Cryostratigraphie : Succession verticale d'une séquence de cryofaciès.

Cryostructure : Patron géométriques créés par l'assemblage tri-dimensionnel de glace et sédiments dans le pergélisol.

Cryosuccion : Processus de succion survenant lors de la congélation. L'eau interstitielle migre par capillarité vers le front de gel.

Facteur n : Le rapport entre l'indice de gel ou de dégel à la surface du sol et l'indice de gel ou de dégel de l'air.

Gélif : Sol dans lequel se forme de la glace de ségrégation (lentilles) causant des soulèvements lorsque les conditions d'apport d'eau et de basses températures sont suffisantes et persistantes.

Gélifluxion : Déplacement en masse d'un sol dégelé gorgé d'eau sur un sol gelé. Par exemple, la couche active qui dégèle en été flue sur les versants par gravité sur le pergélisol sous-jacent. Il s'agit d'un mouvement relativement lent qui entraîne des déplacements de l'ordre de quelques centimètres par an et en vient à constituer des formes telles que des lobes ou des nappes de géelifluxion sur les versants.

Glace interstitielle : Glace contenue dans les vides du sol.

Glace de ségrégation : Glace se formant en lentilles le long du front de gel suite à la migration de l'eau interstitielle vers celui-ci.

Glace réticulée : Glace sous forme de veines horizontales et verticales qui structurent un réseau tridimensionnel, rectangulaire ou carré.

Pergélisol : Sol (ou roche) qui demeure à une température inférieure à 0 °C pour une période d'au moins deux années consécutives.

Plafond du pergélisol : Limite supérieure du pergélisol, typiquement riche en glace.

Sol structuré : Terme général pour tout sol présentant en surface un patron morphologique ordonné plus ou moins symétrique. (ex. : polygones à coins de glace, ostioles)

Talik : Couche ou partie de sol non gelée qui survient dans une zone de pergélisol en raison d'une anomalie locale dans les conditions thermiques, hydrologiques, hydrogéologiques ou hydrochimiques.

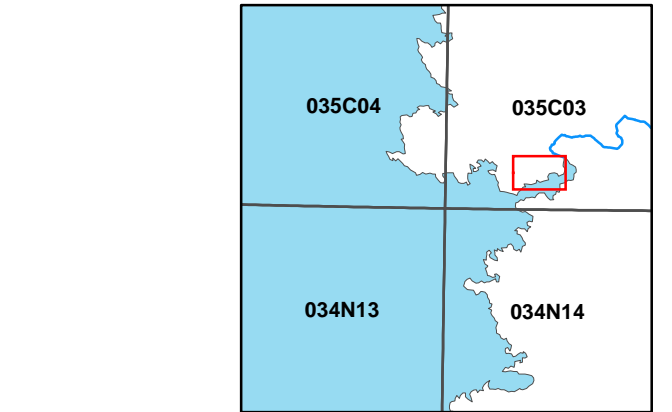
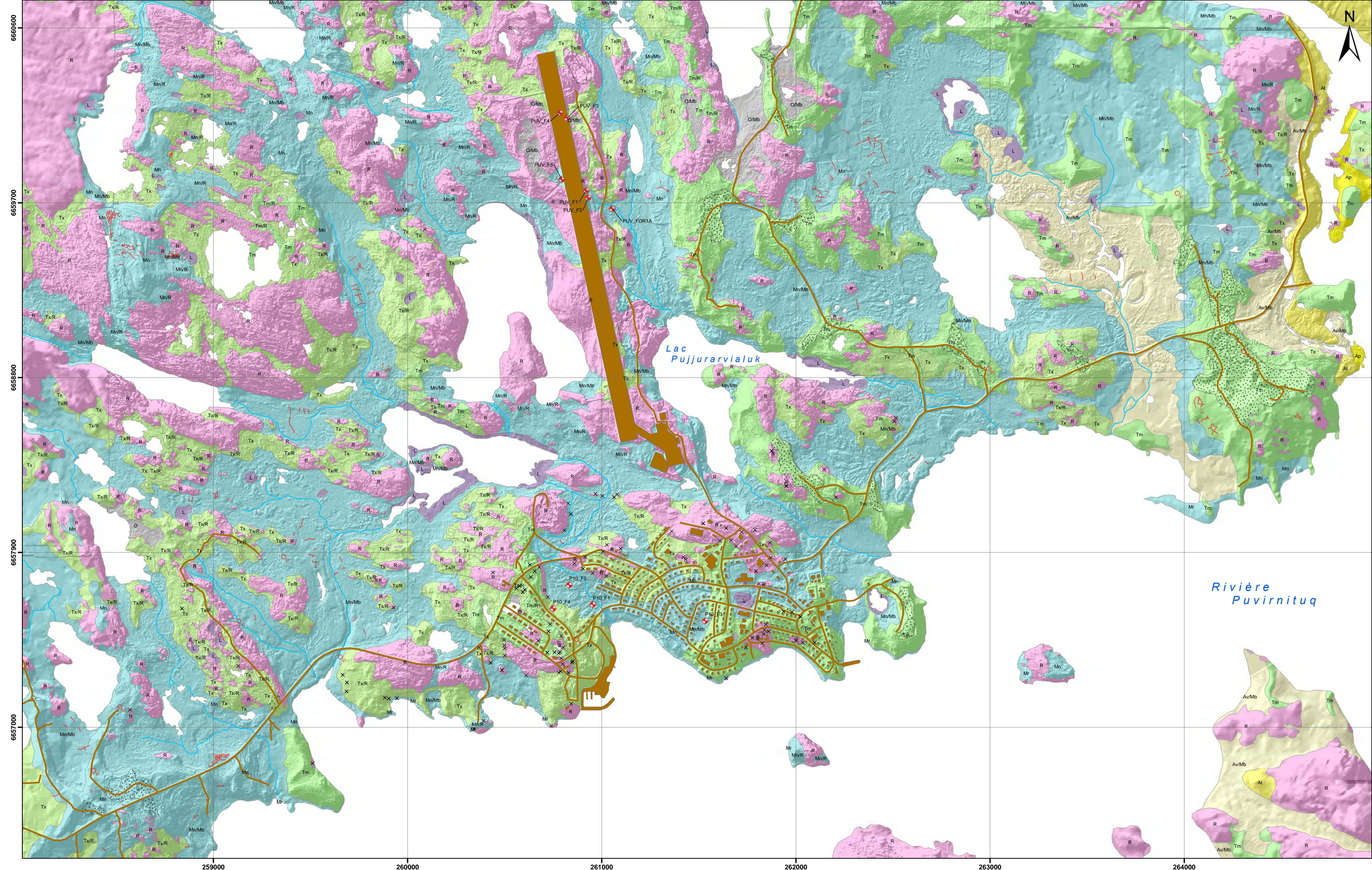
Thermokarst : Processus aboutissant à la fonte du pergélisol et à la formation d'une topographie irrégulière caractérisée par des dépressions et des affaissements de terrain dus à la perte de volume causée par la fonte de la glace. Cette fonte peut être généralisée et avoir une cause climatique (dégel dû à un réchauffement) ou bien anthropique (impact d'une construction, déforestation). Elle peut également être locale et due à la circulation d'eau sur un sol gelé.

8 ANNEXES

CARTE DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE ET CARTE DU POTENTIEL DE CONSTRUCTION ET TYPES DE FONDATIONS SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES, PUVIRNITUQ, NUNAVIK.

Résumé
 Cette carte présente les dépôts de surface de la région de Puvirnituq. Ce village se situe au Nunavik, sur la rive est de la Baie d'Hudson, à l'embouchure de la rivière Puvirnituq (60.05° N ; 77.32° W).

Note
 Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.



Système national de référence cartographique
 IGN Canada, gouvernement du Canada, centre d'information topographique 2008. Villes voisines du système national de référence cartographique du Canada.

Illustration de couverture:
 Puvirnituq, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux
 Centre d'études nordiques, Québec, 2012

Dépôts de surface

- Sédiments organiques**
- O SÉDIMENTS ORGANIQUES; Tourbe ou sol organique mal drainé; riche en glace de ségrégation.
 - O/Mb SÉDIMENTS ORGANIQUES SUR SÉDIMENTS MARINS D'EAU PROFONDE; Tourbe ou sol organique mal drainé reposant sur des sédiments fins d'origine marine (Mb) composés de sable silteux, silt et argile. Présence de graviers et de cailloux épars.

- Sédiments alluviaux**
- At ALLUVIONS DES TERRASSES FLUVIALES; Sable, silt sableux, sable graveleux et graviers contenant occasionnellement de la matière organique; surface généralement marquée par des levées et barres alluviales et parfois remaniée par l'action éolienne. Le contenu en glace diffère selon la granulométrie du dépôt.
 - Av/Mb ALLUVIONS EN COUVERTURE MINCE ET DISCONTINUE SUR SÉDIMENTS MARINS D'EAU PROFONDE; Alluvions d'une épaisseur estimée de moins d'un mètre et reposant sur des sédiments marins d'eau profonde (Mb).

- Sédiments lacustres**
- L SÉDIMENTS LACUSTRES; Sédiments mis en place dans un lac comprenant principalement des sables, graviers et des silts. Le contenu en glace varie selon la granulométrie du dépôt.

- Sédiments marins**
- Mr SÉDIMENTS DE PLAGE ACTUELS; Sable, silt sableux, sable graveleux, graviers, galets émoussés et quelques blocs glaciels; mis en place au niveau des hautes mers actuelles; ces dépôts correspondent aux cordons littoraux actuels.
 - Mn SÉDIMENTS LITTORAUX ET PRÉLITTORAUX; Sable, silt sableux, sable graveleux et graviers; mis en place en eau peu profonde lors de la phase marine; épaisseur comprise entre 1 et 4 mètres; riche en lentilles de glace avec un contenu en glace élevé et présence occasionnelle de hummocks.
 - Mn/Mb SÉDIMENTS LITTORAUX SUR SÉDIMENTS MARINS D'EAU PROFONDE; Sédiments littoraux (Mn) qui repose habituellement sur des sédiments marins d'eau profonde (Mb) composés de sable silteux, silt et argile; mis en place en eau profonde et pouvant atteindre 15 mètres d'épaisseur. Présence occasionnelle de hummocks.
 - Mn/R SÉDIMENTS LITTORAUX SUR ROC; Sédiments littoraux (Mn) de quelques mètres d'épaisseur qui repose sur la roche en place (R).

- Sédiments glaciaires**
- Tm TILL FORMANT DES MORAINES; Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable et de silt avec parfois de graviers; formant des moraines de De Geer; la partie superficielle a été remaniée par les vagues et les courants lors de la phase marine. Le contenu en glace varie selon la granulométrie du dépôt qui est susceptible au fluage.
 - Tx TILL REMANIÉ; Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable et de silt avec un peu de graviers. La partie superficielle du till a été remaniée par les vagues et les courants lors de la phase marine.
 - Tx/R TILL REMANIÉ SUR ROC; Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable et de silt avec un peu de graviers reposant sur la roche en place. La partie superficielle du till a été remaniée par les vagues et les courants lors de la phase marine.

- Substrat rocheux**
- R ROC; Affleurements de roche nue ou avec un couvert épars de dépôt meuble.

- CARRIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)
- SABLIÈRES OU GRAVIÈRES EN EXPLOITATION (ou ayant déjà été exploitées)
- INFRASTRUCTURES
- CONTACTS GÉOLOGIQUES
- FENTES DE GEL
- RÉSEAU DE DRAINAGE - ruisseaux
- AFFLEUREMENTS ROCHEUX PONCTUELS
- COUPES STRATIGRAPHIQUES
- FORAGES AVEC RÉCUPÉRATION

Notes: Les unités composées, par exemple Mn/Mb, sont indiquées lorsque l'épaisseur de l'unité supérieure est faible par rapport à celle de l'unité sous-jacente (généralement inférieure à 2 m) ou lorsque la présence de l'unité sous-jacente est importante du point de vue de la géotechnique et des conditions du pergélisol.
Les codes de couleur et symboles proviennent de la Commission géologique du Canada et du Centre d'études nordiques.

DÉPÔTS DE SURFACE
PUVIRNITUQ
 Québec, Nunavik
 1 : 12 000



DÉPÔTS DE SURFACE
PUVIRNITUQ
 Québec, Nunavik
 1 : 12 000



Image en relief ombragé préparée par E. L'Hérault dérivée des données LIDAR 2010 (MRNF 2010, gouvernement du Québec).
 Illumination: azimuth 315°, altitude 45°, exagération verticale 1x

Projection: MTM zone 9, NAD83

Auteurs: M. Allard, E. L'Hérault, J. Doyon et T. Gybiéren
 Centre d'études nordiques, Université Laval, mai 2012
 Dépôts de surface par: Allard, M., L'Hérault, E. et Doyon, J.
 Numérisation par: Doyon, J. et Carbonneau, A.S.

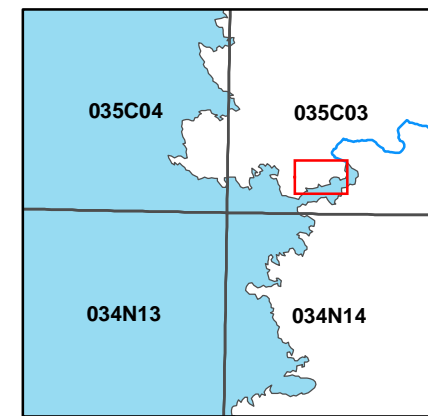
Citation recommandée:
 Allard, M., L'Hérault, E., Doyon, J. et Gybiéren, T., 2012. Dépôts de surface, PUVIRNITUQ, Québec, Nunavik; Centre d'études nordiques, échelle 1:12 000.

Résumé
 Cette carte présente les dépôts de la région de Puvirnituk. Ce village se situe au Nunavik, sur la rive est de la Baie d'Hudson, à l'embouchure de la rivière Puvirnituk (60.05° N ; 77.32° O).

Note
 Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.

Abstract
 This map shows the surficial geology of the Puvirnituk region. This Nunavik village is located on the east shore of the Hudson Bay at the mouth of the Puvirnituk river (60.05° N ; 77.32° W).

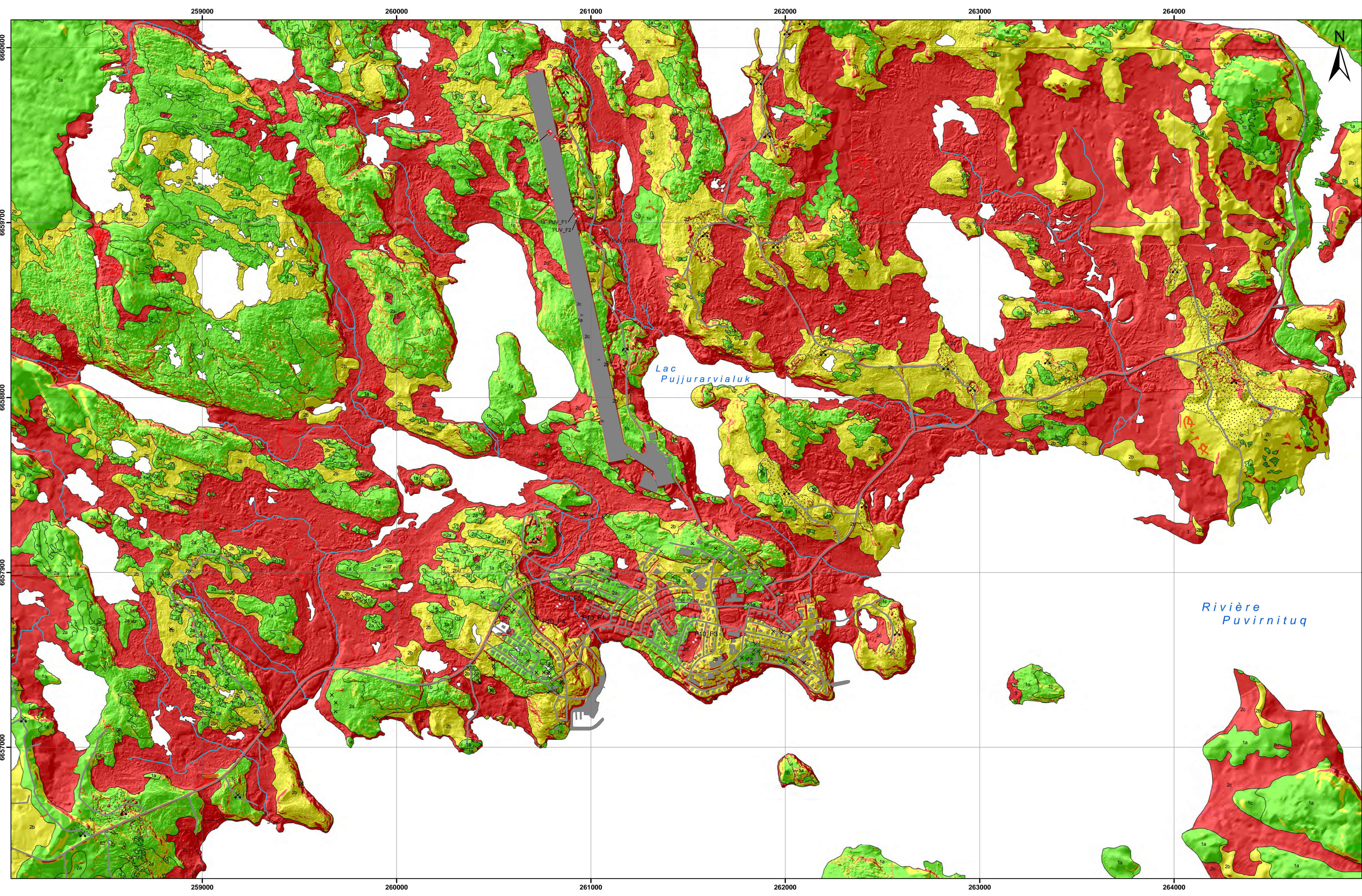
Note
 This map was compiled mainly by air photo interpretation and validated by a limited number of terrain observations, probing and drill holes in the permafrost. Any information leading to an improvement of precision and eventually, an update of the map will be received with thanks.



Système national de référence cartographique
 RNCAN, gouvernement du Canada, Centre d'information topographique
 ©2009. Index vectoriel du système national de référence cartographique du Canada.

Illustration de couverture:
 Puvirnituk, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux
 Centre d'études nordiques, Québec.

Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes
PUVIRNITUQ
 Québec, Nunavik
 1 : 12 000



- DÉPÔTS STABLES AU DÉGEL : ROC ET DÉPÔTS CONTENANT TRÈS PEU OU PAS DE GLACE**
- 1a** - Socle rocheux massif d'âge précambrien dont la surface est parsemée de blocs et parfois recouverte d'une mince couche de sable et gravier avec cailloux. Se présente sous forme de collines rocheuses légèrement fuselées d'une altitude comprise entre 5 et 30 m et alignées généralement dans l'axe est-ouest. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 4,5 et 6 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.
 - Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
- 1b** - Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10%.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
- 1c** - Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.
 - Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient être possibles.
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).
- DÉPÔTS INSTABLES AU DÉGEL : DÉPÔTS QUATERNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE**
- 2a** - Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (III). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
- 2b** - Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (III). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m avec possibilités d'affleurements rocheux ponctuels. Se présente parfois sous forme de crêtes discontinues orientées nord-sud d'une hauteur d'environ 3 à 6 mètres et régulièrement espacées (moraine de De Geer). La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.
 - Fondations sur pieux possibles, mais requérant des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains aménageables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
- 2c** - Couvertures minces : de sols organiques, de sédiments alluviaux, de sédiments littoraux ou de sédiments lacustres sur des sédiments marins fins d'eau profonde (sable fin, silt et argile). Dépôts mal drainés pouvant atteindre plus de 7 m d'épaisseur. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Surface fréquemment recouverte d'ostioles. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.
 - Fondations sur radiers et chevalets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains défavorables à la construction.
- 3** - Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Dépôts sujets à l'érosion, aux inondations et aux mouvements de versant.
 - Terrain problématique à éviter.
 - Terrains problématiques défavorables à la construction.
- CONTRAINTES SEVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES**
- 3** - Terrain problématique à éviter.
 - Terrains problématiques défavorables à la construction.
-

Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes
PUVIRNITUQ
 Québec, Nunavik
 1 : 12 000



Image en relief ombragé préparée par E. L'Hérault dérivée des données LIDAR 2010 (MRNF 2010, gouvernement du Québec). Illumination: azimuth 315°, altitude 45°, exagération verticale 1x






Projection: MTM zone 9, NAD83

Auteurs: E. L'Hérault et M. Allard
 Centre d'études nordiques, Université Laval, octobre 2012

Citation recommandée:
 L'Hérault, E. et Allard, M. 2012. Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes, Puvirnituk, Québec, Nunavik; Centre d'études nordiques, échelle 1:12 000.



Tableau 14: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région de Puvirnituk accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.

DÉPÔTS STABLES AU DÉGEL : ROC ET DÉPÔTS CONTENANT TRÈS PEU OU PAS DE GLACE			
DÉPÔTS DE SURFACE	CONDITIONS DE PERGÉLISOL	TYPES DE FONDATIONS ADAPTÉS AUX CONDITIONS DE PERGÉLISOL	POTENTIEL DE CONSTRUCTION SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES
<p>R</p> <p>Socle rocheux massif d'âge précambrien dont la surface est parsemée de blocs et parfois recouverte d'une mince couche de sable et gravier avec cailloux. Se présente sous forme de collines rocheuses légèrement fuselées d'une altitude comprise entre 5 et 30 m et alignées généralement dans l'axe est-ouest.</p>	<p>1a</p> <p>La couche active atteint une épaisseur comprise entre 4,5 et 6 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.</p>	<p>Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.</p>	<p> Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).</p> <p> Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).</p> <p> Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).</p>
<p>Mn/R</p> <p>Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés.</p>	<p>1b</p> <p>La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10 %.</p>	<p>Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonde du couvert de sédiments gelés).</p>	<p> Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).</p> <p> Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).</p> <p> Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).</p>
<p>At</p> <p>Ap</p> <p>Mn</p> <p>Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m.</p>	<p>1c</p> <p>La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.</p>	<p>Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requérir des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons).</p>	<p> Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°).</p> <p> Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°).</p> <p> Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).</p>
DÉPÔTS INSTABLES AU DÉGEL : DÉPÔTS QUATÉNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE			
DÉPÔTS DE SURFACE	CONDITIONS DE PERGÉLISOL	TYPES DE FONDATIONS ADAPTÉS AUX CONDITIONS DE PERGÉLISOL	POTENTIEL DE CONSTRUCTION SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES
<p>Tx/R</p> <p>Tm/R</p> <p>Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés.</p>	<p>2a</p> <p>La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de géelifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte en raison de sa faible épaisseur.</p>	<p>Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.</p>	<p> Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°).</p> <p> Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).</p> <p> Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).</p>
<p>Tm</p> <p>Tx</p> <p>Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m avec possibilités d'affleurements rocheux ponctuels. Se présente parfois sous forme de crêtes discontinues orientées nord-sud d'une hauteur d'environ 3 à 6 mètres et régulièrement espacées (moraine de De Geer).</p>	<p>2b</p> <p>La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de géelifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.</p>	<p>Fondations sur pieux possibles, mais requérant des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.</p>	<p> Terrains aménageables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°).</p> <p> Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).</p>
<p>L</p> <p>O</p> <p>O/Mb</p> <p>Mn/Mb</p> <p>Av/Mb</p> <p>Couvertures minces : de sols organiques, de sédiments alluviaux, de sédiments littoraux ou de sédiments lacustres sur des sédiments marins fins d'eau profonde (sable fin, silt et argile). Dépôts mal drainés pouvant atteindre plus de 7 m d'épaisseur.</p>	<p>2c</p> <p>La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Surface fréquemment recouverte d'ostioles. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.</p>	<p>Fondations sur radiers et chevalets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.</p>	<p> Terrains défavorables à la construction.</p>
CONTRAINTES SEVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES			
<p>Mr</p> <p>Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Inondations et mouvements de versant (ex. : éboulis).</p> <p>Cicatrices d'ancien glissement, sillons de polygones à coin de glace, buttes saisonnières à noyau de glace, etc.</p>	<p>3</p> <p>Processus périglaciaires et de versants dynamiques, littoraux et plaines alluviales actuelles</p>	<p>Terrain problématique à éviter</p>	<p> Terrains défavorables à la construction.</p>

CARTE DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE ET CARTE DU POTENTIEL DE CONSTRUCTION ET TYPES DE FONDATIONS SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES, AKULIVIK, NUNAVIK.

Résumé
 Cette carte présente les dépôts de surface de la région d'Akulivik. Ce village se situe au Nunavik, sur la rive est de la Baie d'Hudson, à l'embouchure de la rivière Illukotat (61.04° N ; 69.57° O).

Abstract
 This map shows the surficial geology of the Akulivik region. This Nunavik village is located on the east shore of the Hudson Bay at the mouth of the Illukotat river (61.04° N ; 69.57° W).

Note
 Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.

Note
 This map was compiled mainly by air photo interpretation and validated by a limited number of terrain observations, probing and drill holes in the permafrost. Any information leading to an improvement of precision and, eventually, an update of the map will be received with thanks.

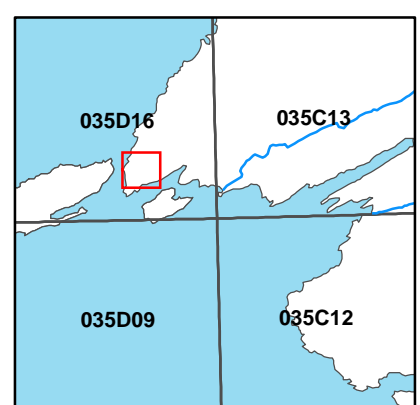
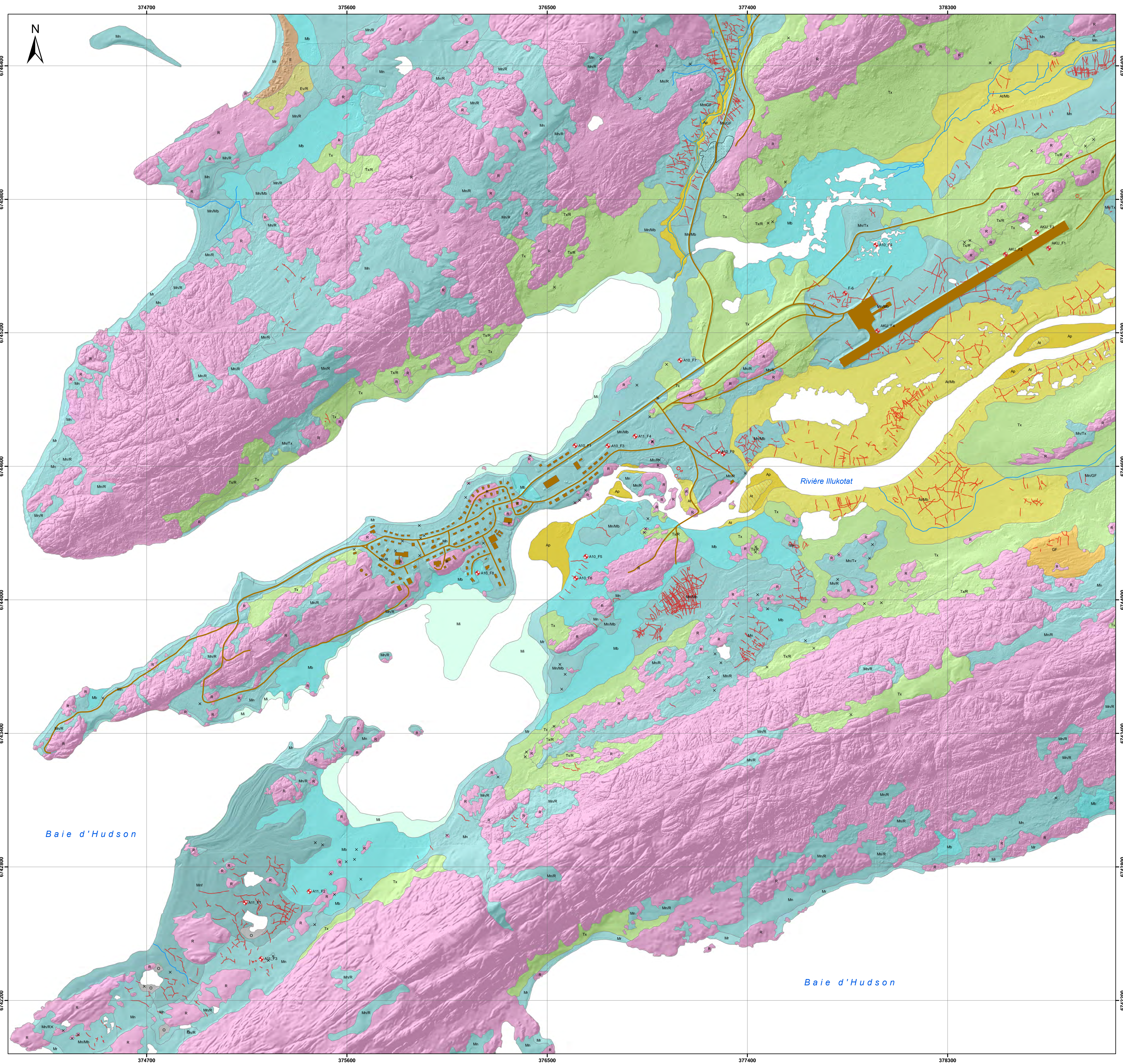


Illustration de couverture:
 Akulivik, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux.
 Centre d'études nordiques, Québec, 2012.

**DÉPÔTS DE SURFACE
 AKULIVIK**
 Québec, Nunavik
 1 : 8 000

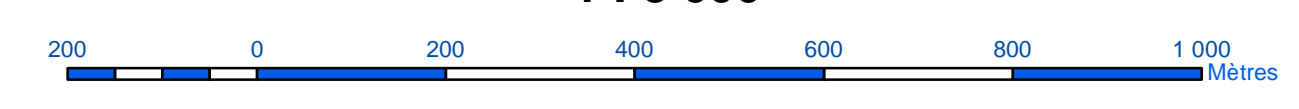


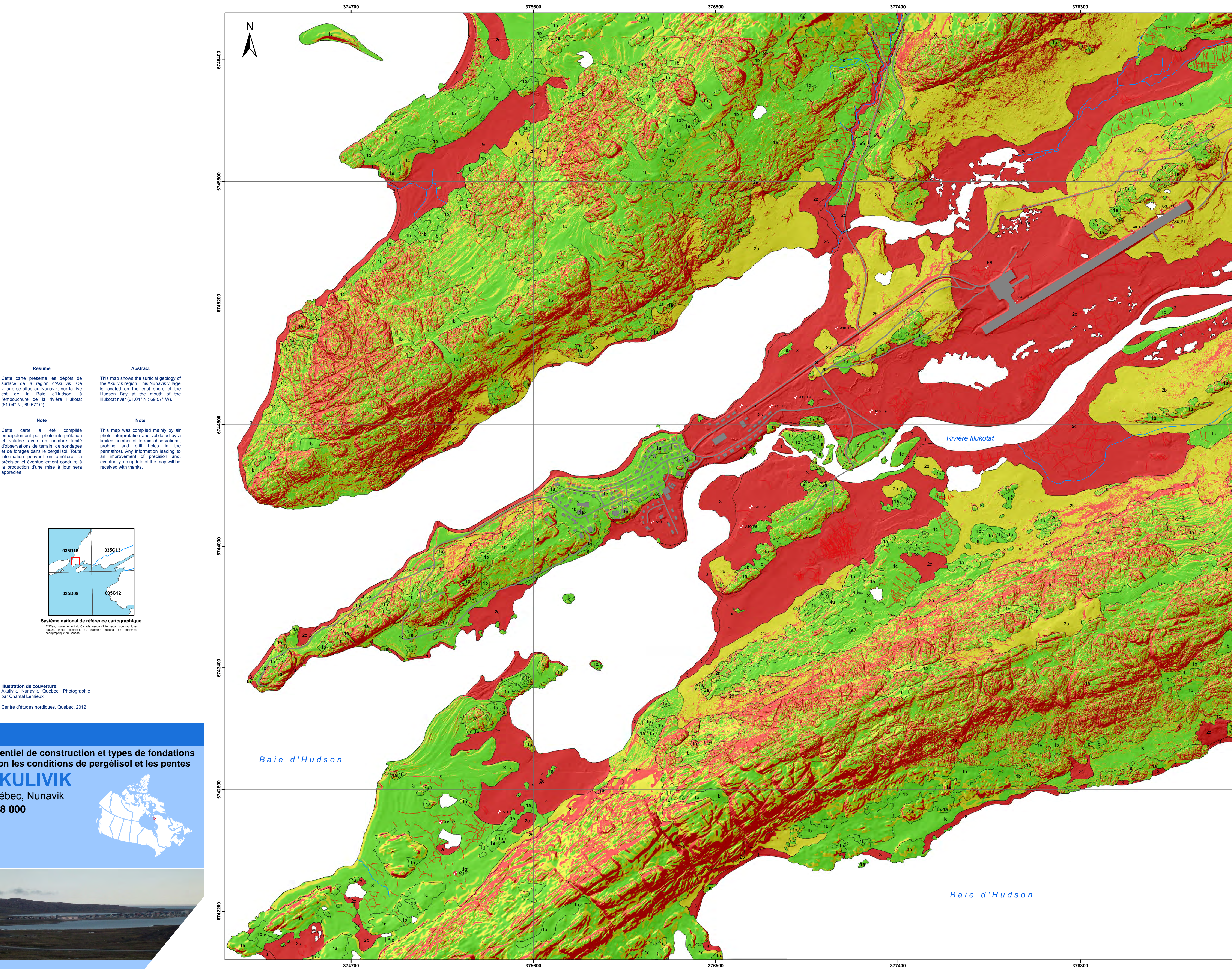
- Dépôts de surface**
- Sédiments organiques**
- O SÉDIMENTS ORGANIQUES: Tourbe ou sol organique mal drainé.
- Sédiments alluviaux**
- Ap ALLUVIONS ACTUELLES: Sables, silt sableux, sable graveleux et graviers contenant parfois de la matière organique; marquées par des levées, barres et plaines alluviales actuelles.
 - At ALLUVIONS DES TERRASSES FLUVIALES: Sables, silt sableux, sable graveleux et graviers contenant occasionnellement de la matière organique; surface généralement marquée par des levées, barres alluviales et fentes de gel.
- Sédiments marins**
- Mi SÉDIMENTS INTERTIDUAUX ACTUELS: Silt et silt sableux avec un peu de sable et graviers; quelques blocs glaciels; mis en place en zone intertidale dans les baies ou bras de mer abrités.
 - Mr SÉDIMENTS DE PLAGE ACTUELS: Sable, silt sableux, sable graveleux, graviers, galets émoussés et quelques blocs glaciels; mis en place au niveau des hautes mers actuelles; ces dépôts correspondent aux cordons littoraux actuels.
 - Mn SÉDIMENTS LITTORAUX ET PRÉLITTORAUX: Sable avec traces de silt, quelques graviers et fragments de coquillages; parfois grossièrement stratifiés; mis en place en eau peu profonde au moment de l'émersion; présence de plages soulevées et fentes de gel.
 - Mnf SÉDIMENTS LITTORAUX COQUILLIERS: Dépôt de plages soulevées constituée en quasi-totalité de coquilles marines.
 - Mb SÉDIMENTS MARINS D'EAU PROFONDE: Sable silteux, silt et argile; mis en place en eau profonde lors de la phase marine.
- Sédiments fluvioglaciaires**
- GF SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES: Sables et graviers stratifiés généralement associés à des deltas et à des formes indifférenciées.
- Sédiments glaciaires**
- Tx TILL REMANIÉ: Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable et de silt avec un peu de graviers anguleux; diamion dont la partie superficielle a été remaniée par les vagues et les courants lors de la phase marine; surface généralement caractérisée par la présence d'ostioles et de lobes de géfluxion.
- Substrat rocheux**
- R ROC: Affleurements de roche nue ou avec un couvert épars de dépôts meubles.
 - BARRES ALLUVIALES: Buttes profilées et allongées, basses et plates d'origine fluviale; dépôt essentiellement sableux et graveleux.
 - SABLIÈRES OU GRAVIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)
 - INFRASTRUCTURES
 - CONTACTS GÉOLOGIQUES
 - FENTES DE GEL: présence de coins de glace probable.
 - RÉSEAU DE DRAINAGE - ruisseaux
 - AFFLEUREMENTS ROCHEUX PONCTUELS
 - Coupes stratigraphiques
 - Forages avec récupération
- Notes:** Les unités composées, par exemple Mn/Mb, sont indiquées lorsque l'épaisseur de l'unité supérieure est faible par rapport à celle de l'unité sous-jacente (généralement inférieure à 2 m) ou lorsque la présence de l'unité sous-jacente est importante du point de vue de la géotechnique et des conditions du pergélisol.
- Les codes de couleur et symboles proviennent de la Commission géologique du Canada et du Centre d'études nordiques.

Image en relief ombragé préparée par L'Héroult, E. dérivée des données LIDAR 2010, (MRNF-2010, gouvernement du Québec).
 Illumination: azimut 315°, altitude 45°, exagération verticale 1x

Projection: MTM zone 10, NAD83

**DÉPÔTS DE SURFACE
 AKULIVIK**
 Québec, Nunavik
 1 : 8 000





Résumé
 Cette carte présente les dépôts de surface de la région d'Akulivik. Ce village se situe au Nunavik, sur la rive est de la Baie d'Hudson, à l'embouchure de la rivière Illukotat (61.04° N, 69.57° O).

Note
 Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.

Abstract
 This map shows the surficial geology of the Akulivik region. This Nunavik village is located on the east shore of the Hudson Bay at the mouth of the Illukotat river (61.04° N, 69.57° W).

Note
 This map was compiled mainly by air photo interpretation and validated by a limited number of terrain observations, probing and drill holes in the permafrost. Any information leading to an improvement of precision and, eventually, an update of the map will be received with thanks.

Illustration de couverture:
 Akulivik, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux.

Centre d'études nordiques, Québec, 2012

Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes
AKULIVIK
 Québec, Nunavik
 1 : 8 000



- DÉPÔTS STABLES AU DÉGEL - ROC ET DÉPÔTS CONTENANT TRÈS PEU OU PAS DE GLACE**
- 1a**
 - Socle rocheux volcanique d'âge protérozoïque parfois recouvert d'une mince couche de sable, gravier ou blocs. Se présente sous forme de collines allongées et orientées est-ouest dont la surface moutonnée est marquée par de nombreuses cannelures et stries glaciaires qui supportent un écoulement glaciaire régional (côté sud) et abritant en aval (côté nord) un dépôt glaciaire (Crag and Tail). La couche active atteint une épaisseur d'environ 4 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.
 - Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 7.5°)
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7.5 et 15°)
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°)
 - 1b**
 - Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés. La couche active atteint une épaisseur comprise généralement entre 1.5 et 2.5 m. Contenu de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10 %.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex. : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfente du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 7.5°)
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7.5 et 15°)
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°)
 - 1c**
 - Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m. Les sables et graviers prétilloirs (Mn) se présentent sous forme d'une succession de cordons arqués et peuvent contenir une importante fraction de fragments de coquillages (MnF). La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1.5 et 2.5 m. Contenu de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.
 - Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosiphons).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°)
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°)
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 10°)
- DÉPÔTS INSTABLES AU DÉGEL - DÉPÔTS QUATERNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE**
- 2a**
 - Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (BII). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2.5 et 3 m. Contenu de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de couloirs de gelifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex. : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfente du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°)
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°)
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°)
 - 2b**
 - Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (BII). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m avec possibilités d'affleurements rocheux ponctuels et peut atteindre plus de 15 m d'épaisseur par endroit. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2.5 et 3 m. Contenu de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de couloirs de gelifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.
 - Fondations sur pieux possibles, mais requièrent des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains aménageables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°)
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°)
 - 2c**
 - Dépôts à granulométrie fine d'origine marine (sable fin, silt et argile) parfois recouvert d'une couche mince de silt organiques, de sédiments alluviaux ou de sédiments littoraux. Dépôt mal drainé. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0.5 et 1.5 m. Contenu beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.
 - Fondations sur radiers et chevalets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex. : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains défavorables à la construction.

- CONTRAINTES SÉVÈRES - PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES**
- 3**
 - Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Dépôts sujets à l'érosion, aux inondations et aux mouvements de versant.
 - Terrain problématique à éviter.
 - Terrains problématiques défavorables à la construction.

- SABLIÈRES OU GRAVIÈRES EN EXPLOITATION (ou ayant déjà été exploitées)
- INFRASTRUCTURES
- CONTACTS GÉOLOGIQUES
- FENTES DE GEL
- RÉSEAU DE DRAINAGE - ruisseaux
- × AFFLEUREMENTS ROCHEUX PONCTUELS

Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes

AKULIVIK
 Québec, Nunavik
 1 : 8 000



















Image en relief ombragé préparée par L'Héroult, E. dérivée des données LIDAR 2010, (MRFN-2010, gouvernement du Québec).
 Illumination: azimuth 315°, altitude 45°, exagération verticale 1x

Projection: MTM zone 10, NAD83

Auteurs: E. L'Héroult et M. Allard
 Centre d'études nordiques, Université Laval, octobre 2012

Citation recommandée:
 L'Héroult, E. et Allard, M. 2012. Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes, Akulivik, Québec, Nunavik; Centre d'études nordiques, échelle 1:8 000.

Tableau 15 : Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région d'Akulivik accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.

DEPOTS STABLES AU DEGEL : ROC ET DEPOTS CONTENANT TRES PEU OU PAS DE GLACE					
DÉPÔTS DE SURFACE	CONDITIONS DE PERGÉLISOL	TYPES DE FONDATIONS ADAPTÉS AUX CONDITIONS DE PERGÉLISOL	COTES DE RISQUE	PENTE CRITIQUE	POTENTIEL DE CONSTRUCTION SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES
R	1a La couche active atteint une épaisseur d'environ 4 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.	Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.	0	15° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
Mn/R	1b La couche active atteint une épaisseur comprise généralement entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10 %.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).	0	15° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
Gf Mn/Gf Mn Mnf Ev	1c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.	Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requérir des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons).	0	10° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).
DEPOTS INSTABLES AU DEGEL : DEPOTS QUATERNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE					
Tx/R	2a La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte en raison de sa faible épaisseur.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).	0	8° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
Mn/Tx Tx	2b La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.	Fondations sur pieux possibles, mais requérant des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	60	8° et plus	 Terrains aménageables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
O At/Mb Mn/Mb Mb	2c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.	Fondations sur radiers et chevalets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	120	2° et plus	 Terrains défavorables à la construction.
CONTRAINTES SEVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES					
Ap Mi Mr	3 Processus périglaciaires et de versants dynamiques, littoraux et plaines alluviales actuelles	Terrain problématique à éviter	120	N.A	 Terrains défavorables à la construction.

**CARTE DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE ET CARTE DU POTENTIEL DE CONSTRUCTION ET TYPES DE
FONDATEMENTS SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES, KANGIRSUK, NUNAVIK.**

Résumé

Cette carte présente les dépôts de surface de la région de Kangirsuk. Ce village se situe au Nunavik, sur la côte ouest de la Baie d'Ungava, sur la rive nord de la rivière Payne à 13 kilomètres de son embouchure (60.04° N ; 70.04° O).

Note

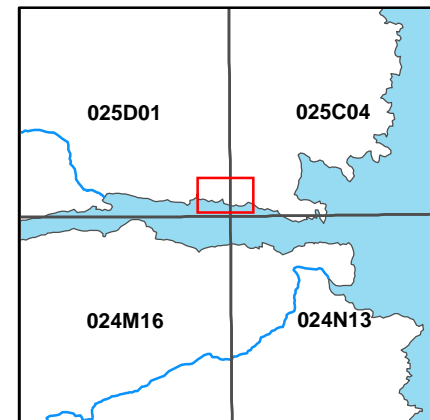
Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.

Abstract

This map shows the surficial geology of the Kangirsuk region. This Nunavik village is located on the western side of the Ungava Bay on the north shore of the Payne river 13 kilometers from its mouth (60.04° N ; 70.04° W).

Note

This map was compiled mainly by air photo interpretation and validated by a limited number of terrain observations, probing and drill holes in the permafrost. Any information leading to an improvement of precision and, eventually, an update of the map will be received with thanks.



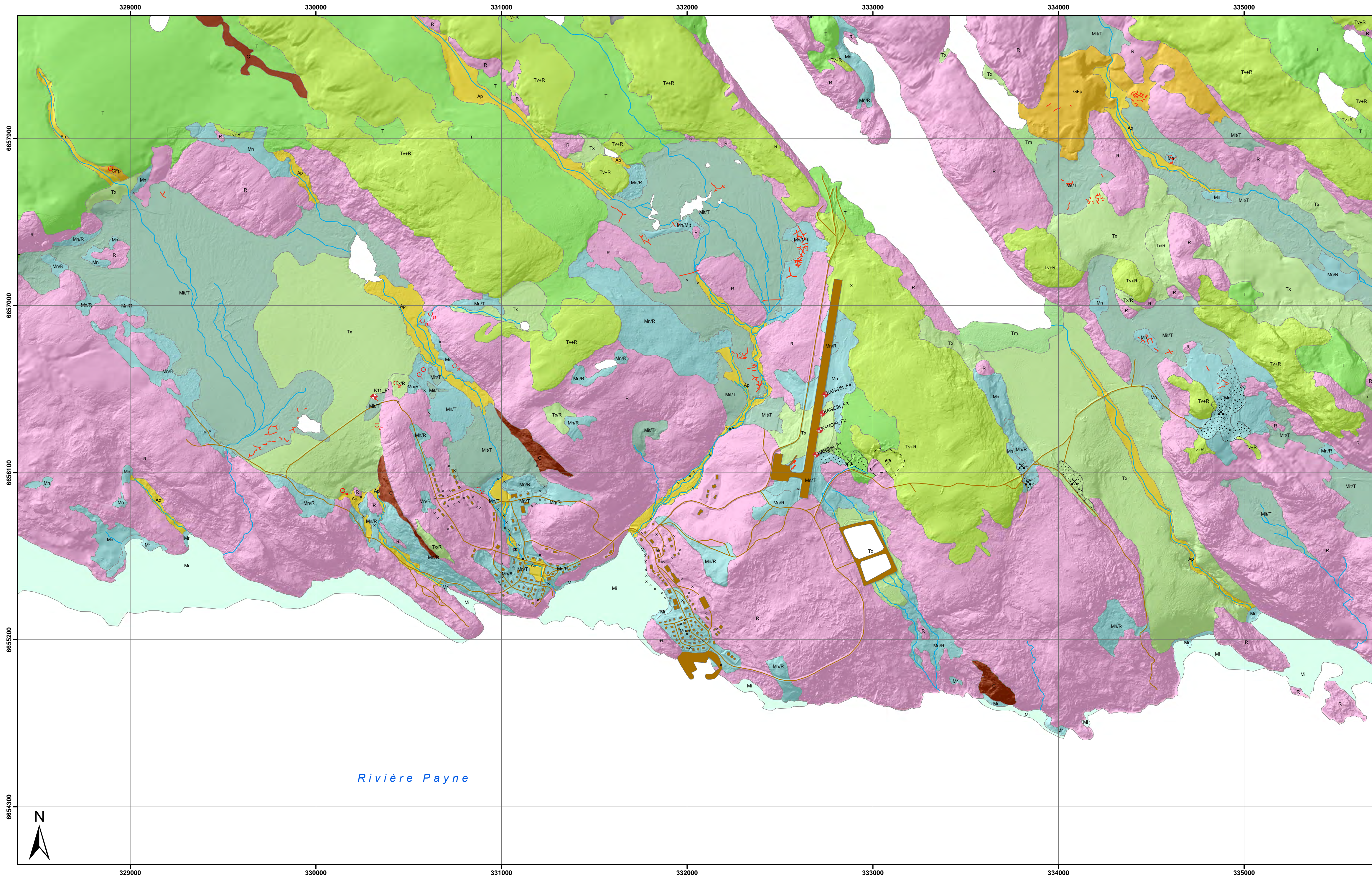
Système national de référence cartographique

IRN/CRC, gouvernement du Canada, centre d'information topographique (2008). Image vectorielle du système national de référence cartographique du Canada.

Illustration de couverture: Kangirsuk, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux

Centre d'études nordiques, Québec, 2012

DÉPÔTS DE SURFACE KANGIRSUK Québec, Nunavik 1 : 12 000



Rivière Payne

Dépôts de surface

Dépôts de versant

C COLLUVIONS INDIFFÉRENCIÉES : Dépôts de versant non différenciés.

Sédiments alluviaux

Ap ALLUVIONS ACTUELLES: Sable, silt sableux, sable graveleux et graviers contenant parfois de la matière organique; marquées par des levées et barres alluviales actuelles.

Sédiments marins

Mi SÉDIMENTS INTERTIDUAUX: Silt et silt sableux avec un peu de sable et graviers; importante quantité de blocs glaciels; mis en place en zone intertidale dans les baies ou bras de mer abrités.

Mr SÉDIMENTS DE PLAGE ACTUEL: Sable, silt sableux, sable graveleux, graviers, galets émoussés et quelques blocs glaciels; mis en place au niveau des hautes mers actuelles; ces dépôts correspondent aux cordons littoraux actuels.

Mi/T SÉDIMENTS DES TERRASSES INTERTIDALES: Silt et silt sableux avec un peu de sable et graviers; importante quantité de blocs glaciels; mis en place en zone intertidale dans les baies ou bras de mer abrités lors de l'émerison; repose sur du till en profondeur.

Mn SÉDIMENTS LITTORAUX ET PRÉLITTORAUX: Sable, silt sableux, sable graveleux et graviers, parfois grossièrement stratifiés; mis en place en eau peu profonde au moment de l'émerison; présence occasionnelle de plages soulevées et lentes de gel.

Sédiments fluvioglaciaires

GFp SÉDIMENTS DE PLAINE D'ÉPANDAGE PROGLACIAIRE SUBAÉRIEN: Sables et graviers stratifiés; sédiments déposés par l'eau de fonte glaciaire au devant du front glaciaire; surface parfois marquée par des fentes de gel.

Sédiments glaciaires

Tx TILL REMANIÉ: Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable et de silt avec un peu de graviers anguleux; diamicton dont la partie superficielle a été remaniée par les vagues et les courants lors de la phase marine; surface généralement caractérisée par la présence d'ostioles et de lobes de gélifluxion.

Tm MORAINE: Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable et de silt avec un peu de graviers anguleux mis en place directement par le glacier.

T TILL: Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable, silt et graviers anguleux mal triés mis en place directement par le glacier.

Tv+R TILL EN COUVERTURE MINCE ET DISCONTINUE ET ROC: Alternance de till mince sur le roc et d'affleurements rocheux au-delà de la limite de délavage par la mer d'Iberville. Les dépôts de till ont généralement une épaisseur inférieure à 1 m.

Substrat rocheux

R ROC: Affleurements de roche nue ou avec un couvert épars de dépôts meubles.

CARRIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)

SABLIÈRES OU GRAVIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)

INFRASTRUCTURES

CONTACTS GÉOLOGIQUES

FENTES DE GEL

RÉSEAU DE DRAINAGE - ruisseaux

AFFLEUREMENTS ROCHEUX PONCTUELS

COUPES STRATIGRAPHIQUES

FORAGES AVEC RÉCUPÉRATION

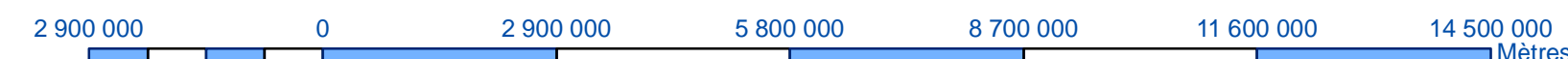
Notes: Les unités composées, par exemple Tx/R, sont indiquées lorsque l'épaisseur de l'unité supérieure est faible par rapport à celle de l'unité sous-jacente (généralement inférieure à 2 m) ou lorsque la présence de l'unité sous-jacente est importante du point de vue de la géotechnique et des conditions du pergélisol.

Les codes de couleur et symboles proviennent de la Commission géologique du Canada et du Centre d'études nordiques.

DÉPÔTS DE SURFACE KANGIRSUK Québec, Nunavik 1 : 12 000

Image en relief ombragé préparée par L'Hérault, E., dérivée des données LIDAR 2010, (MRNF 2010, gouvernement du Québec). Illumination: azimuth 315°, altitude 45°, exagération verticale 1x

Projection: MTM zone 7, NAD83



Auteurs: M. Allard, E. L'Hérault et J. Doyon Centre d'études nordiques, Université Laval, mai 2012

Dépôts de surface par: Allard, M., L'Hérault, E. et Doyon, J.

Nomenclature par: Doyon, J., L'Hérault, E. et Carbonneau, A.S.

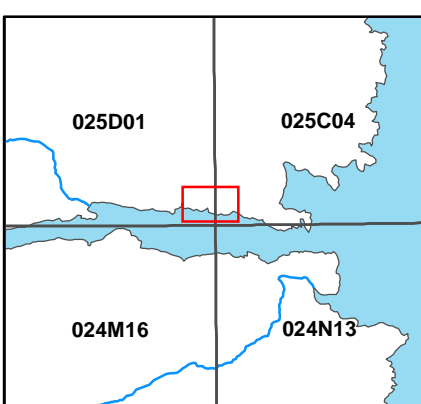
Citation recommandée: Allard, M., L'Hérault, E. et Doyon, J., 2012. Dépôts de surface, KANGIRSUK, Québec, Nunavik; Centre d'études nordiques, échelle 1:12 000.

Résumé
 Cette carte présente les dépôts de surface de la région de Kangirsuk. Ce village se situe au Nunavik, sur la côte ouest de la Baie d'Inuvavik, sur la rive nord de la rivière Payne à 13 kilomètres de son embouchure (60.04° N, 70.04° O).

Abstract
 This map shows the surficial geology of the Kangirsuk region. This Nunavik village is located on the western side of the Inuvavik Bay on the north shore of the Payne river 13 kilometers from its mouth (60.04° N, 70.04° W).

Note
 Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.

Note
 This map was compiled mainly by air photo interpretation and validated by a limited number of terrain observations, probing and drill holes in the permafrost. Any information leading to an improvement of precision and eventually, an update of the map will be received with thanks.

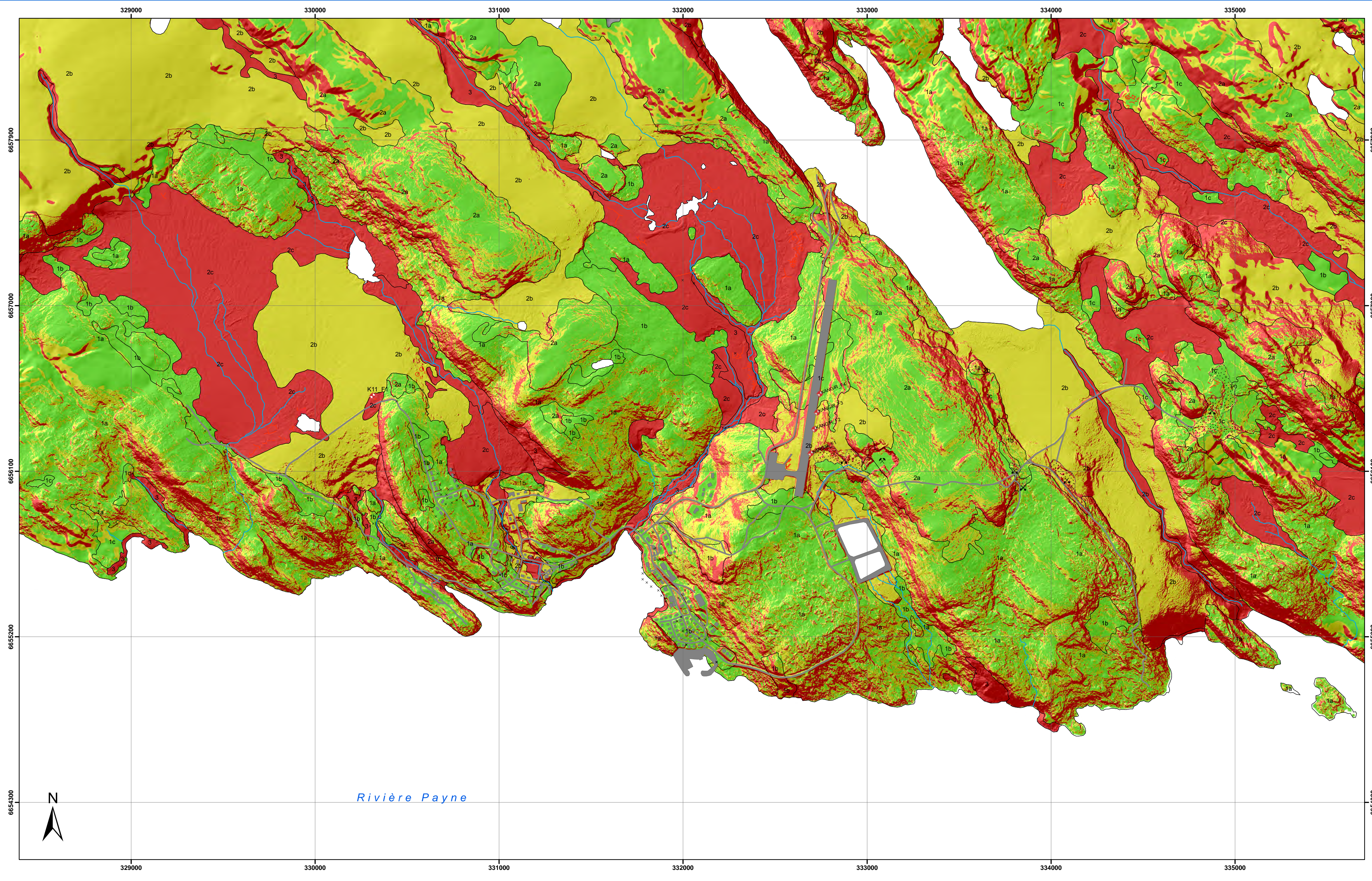


Système national de référence cartographique
 (NAD83, gouvernement du Canada, centre d'information topographique 2009). Index vectoriel du système national de référence cartographique du Canada.

Illustration de couverture:
 Kangirsuk, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux

Centre d'études nordiques, Québec, 2012

Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes
KANGIRSUK
 Québec, Nunavik
 1 : 12 000

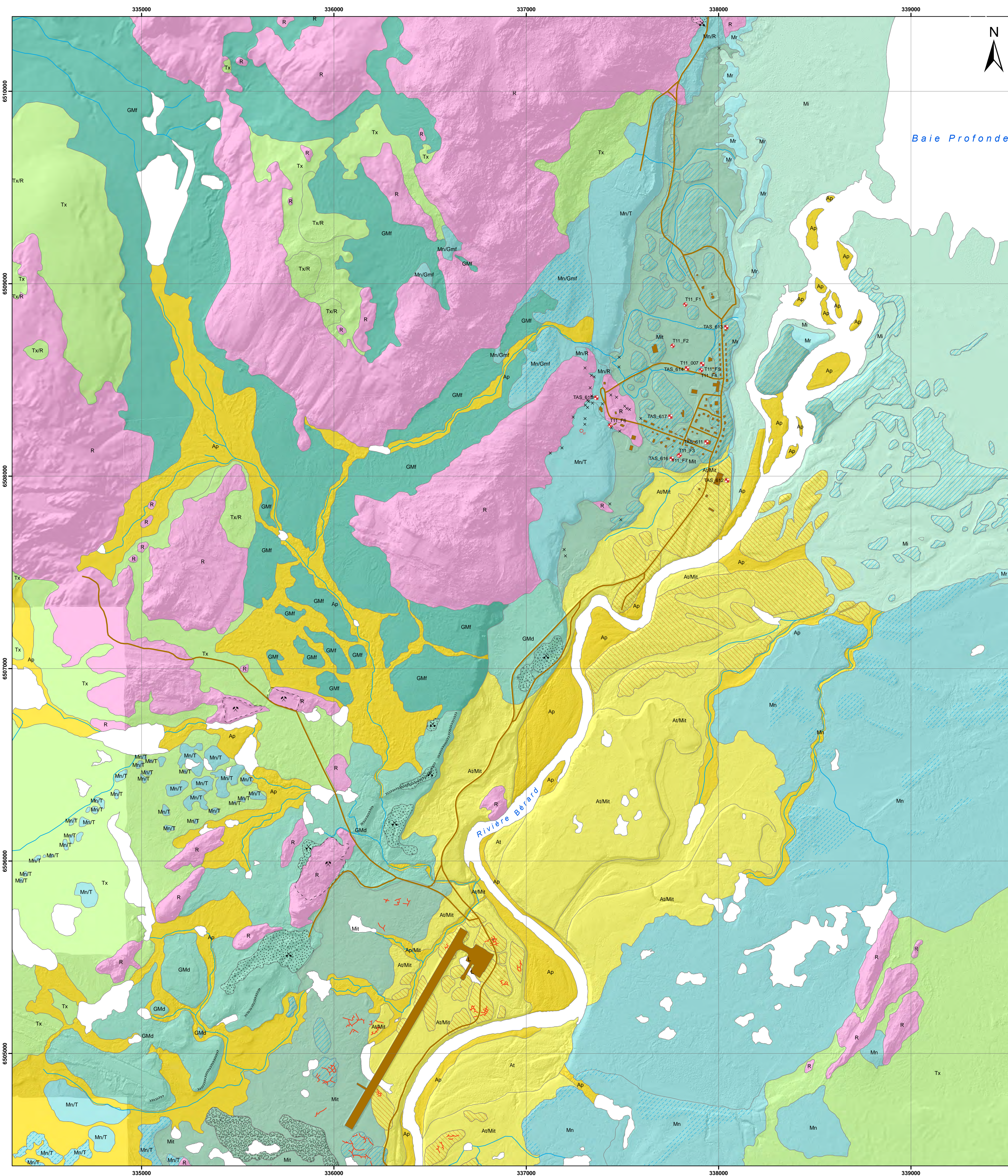


- DÉPÔTS STABLES AU DÉGEL : ROC ET DÉPÔTS CONTENANT TRÈS PEU OU PAS DE GLACE**
- 1a**
- Socle rocheux composé essentiellement d'un schiste métamorphique à grains fins parfois recouvert d'une mince couche de sable, gravier ou blocs. Se présente sous forme de collines allongées orientées nord-ouest sud-est. En bordure des affleurements rocheux, particulièrement sur les versants nord-ouest, les pentes y sont très abruptes avec des valeurs bien au-delà de 15 degrés. La couche active atteint une épaisseur d'environ 4 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.
 - Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.
 - Terrains aménagables pour la construction (pente < 7,5°).
 - Terrains aménagables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
- 1b**
- Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés. La couche active atteint une épaisseur comprise généralement entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10 %.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevâlets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex : excavation ou préfente du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménagables pour la construction (pente < 7,5°).
 - Terrains aménagables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
- 1c**
- Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m. Les sables et graviers préilitoraux (Mn) se présentent sous forme d'une succession de cordons arqués. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.
 - Fondations nordiques sur radier et chevâlets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex : thermosiphons).
 - Terrains aménagables pour la construction (pente < 5°).
 - Terrains aménagables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).
- DÉPÔTS INSTABLES AU DÉGEL : DÉPÔTS QUATÉRNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE**
- 2a**
- Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Alternance de till mince sur le roc et d'affleurements rocheux au-delà de la limite de délavage par la mer d'Inuvavik. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulés de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte en raison de sa faible épaisseur.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevâlets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex : excavation ou préfente du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménagables pour la construction (pente < 4°).
 - Terrains aménagables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
- 2b**
- Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m avec possibles d'affleurements rocheux ponctuels et peut atteindre plus de 15 m d'épaisseur par endroit. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulés de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.
 - Fondations sur pieux possibles, mais requièrent des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevâlets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains aménagables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
- 2c**
- Dépôts à granulométrie fine d'origine marine (sable fin, silt et argile) parfois recouvert d'une couche mince de sols organiques, de sédiments alluviaux ou de sédiments littoraux. Dépôt mal drainé. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.
 - Fondations sur radiers et chevâlets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains défavorables à la construction.
- 3**
- Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Dépôts sujets à l'érosion, aux inondations et aux mouvements de versant.
 - Terrain problématique à éviter.
 - Terrains problématiques défavorables à la construction.
- CONTRAINTES SEVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES**
- Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Dépôts sujets à l'érosion, aux inondations et aux mouvements de versant.
 - Terrain problématique à éviter.
 - Terrains problématiques défavorables à la construction.
- SYMBÔLES :**
- CARRIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)
 - SABLIERES OU GRAVIERES EN EXPLOITATION (actives et inactives)
 - INFRASTRUCTURES
 - CONTACTS GÉOLOGIQUES
 - FENTES DE GEL
 - RÉSEAU DE DRAINAGE - ruisseaux
 - AFFLEUREMENTS ROCHEUX PONCTUELS
 - COUPES STRATIGRAPHIQUES
 - FORAGES AVEC RÉCUPÉRATION

Tableau 16: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région de Kangirsuk accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.

DEPOTS STABLES AU DEGEL : ROC ET DEPOTS CONTENANT TRES PEU OU PAS DE GLACE					
DÉPÔTS DE SURFACE	CONDITIONS DE PERGÉLISOL	TYPES DE FONDATIONS ADAPTÉS AUX CONDITIONS DE PERGÉLISOL	COTES DE RISQUE	PENTE CRITIQUE	POTENTIEL DE CONSTRUCTION SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES
R Socle rocheux composé essentiellement d'un schiste métamorphique à grains fins parfois recouvert d'une mince couche de sable, gravier ou blocs. Se présente sous forme de collines allongées orientées nord-ouest sud-est. En bordure des affleurements rocheux, particulièrement sur les versants nord-ouest, les pentes y sont très abruptes avec des valeurs bien au-delà de 15 degrés.	1a La couche active atteint une épaisseur d'environ 4 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.	Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.	0	15° et plus	Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°). Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°). Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
Mn/R Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés.	1b La couche active atteint une épaisseur comprise généralement entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10 %.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonde du couvert de sédiments gelés).	0	15° et plus	Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°). Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°). Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
Gfp Mn Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m. Les sables et graviers pré-littoraux (Mn) se présentent sous forme d'une succession de cordons arqués.	1c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.	Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requérir des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons).	0	10° et plus	Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°). Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°). Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).
DEPOTS INSTABLES AU DEGEL : DEPOTS QUATÉNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE					
Tv+R Tx/R Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Alternance de till mince sur le roc et d'affleurements rocheux au-delà de la limite de délavage par la mer d'Iberville.	2a La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte en raison de sa faible épaisseur.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonde du couvert de sédiments gelés).	0	8° et plus	Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°). Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°). Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
Mn/T Tx Tm T Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m avec possibilités d'affleurements rocheux ponctuels et peut atteindre plus de 15 m d'épaisseur par endroit.	2b La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.	Fondations sur pieux possibles, mais requérant des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	60	8° et plus	Terrains aménageables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°). Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
Mit/T Dépôts à granulométrie fine d'origine marine (sable fin, silt et argile) parfois recouvert d'une couche mince de sols organiques, de sédiments alluviaux ou de sédiments littoraux. Dépôt mal drainé.	2c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.	Fondations sur radiers et chevalets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	120	2° et plus	Terrains défavorables à la construction.
CONTRAINTES SEVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES					
C Ap Mi Mr Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Inondations et mouvements de versant (ex. : éboulis). Cicatrices d'ancien glissement, sillons de polygones à coin de glace, buttes saisonnières à noyau de glace,	3 Processus périglaciaires et de versants dynamiques, littoraux et plaines alluviales actuelles	Terrain problématique à éviter	120	N.A	Terrains défavorables à la construction.

CARTE DES UNITÉS GÉOLOGIQUES DE SURFACE ET CARTE DU POTENTIEL DE CONSTRUCTION ET TYPES DE FONDATIONS SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES, TASIUJAQ, NUNAVIK.



Dépôts de surface

Sédiments éoliens

Ev SÉDIMENTS ÉOLIENS EN COUVERTURE MINCE ET DISCONTINUE :
Sable stratifié et modérément trié de moins de 2 mètres d'épaisseur; mis en place sur le sommet du talus d'érosion fluviale de la rive est de la rivière Bétyard.

Sédiments alluviaux

Ap ALLUVIONS ACTUELLES: Sable, silt sableux, sable graveleux et graviers contenant parfois de la matière organique; marquées par des levées, barres alluviales et plaines alluviales actuelles.

At

ALLUVIONS DES TERRASSES FLUVIALES: Sable, silt sableux, sable graveleux et graviers contenant occasionnellement de la matière organique; surface généralement marquée par des levées et barres alluviales parfois remaniées par l'action éolienne; présence fréquente de fentes de gel en surface; l'abaissement du niveau de base est visible par l'étagement des terrasses.

Sédiments marins

Mi SÉDIMENTS INTERTIDIAUX ACTUELS: Silt et silt sableux avec un peu de sable et graviers; importante quantité de blocs glaciels (jusqu'à 5 m de diamètre); mis en place en zone intertidale dans les baies ou bras de mer abrités; présence de buttes intertidales.

Mr

SÉDIMENTS DES PLAGES ACTUELLES: Sable, silt sableux, sable graveleux, graviers, galets émoussés et quelques blocs glaciels; mis en place au niveau des hautes mers actuel.

Mit

SÉDIMENTS DES TERRASSES INTERTIDIALES: Silt et silt sableux, généralement mal drainé; mis en place en zone intertidale dans les baies et bras de mer abrités lors de l'émersion; présence de buttes intertidales.

Mn

SÉDIMENTS LITTORAUX ET PRÉLITTORAUX: Sable, silt sableux, sable graveleux et graviers, parfois grossièrement stratifiés; mis en place en eau peu profonde au moment de l'émersion; présence fréquente de plages soulevées et de fentes de gel en surface.

Sédiments glaciomarins

GMd SÉDIMENTS GLACIOMARINS DELTAÏQUES: Sable, graviers et galets émoussés stratifiés et non-ségrégués; mis en place dans un delta glaciomarins situé à l'embouchure d'un esker.

GMF

SÉDIMENTS GLACIOMARINS D'ÉPANDAGE SOUS-MARIN: Dépôt silto-argileux massif et compact contenant des blocs glaciels; mis en place dans un environnement dominé par des processus marins non loin de la marge glaciaire alors que le niveau marin était très élevé.

Sédiments glaciaires

Tx TILL REMANIÉ: Dépôt hétérométrique mal trié composé principalement de sable et de silt avec un peu de graviers anguleux; diamétrie dont la partie superficielle a été remaniée par les vagues et les courants lors de la phase marine.

Substrat rocheux

R ROC: Affleurements de roche nue ou avec un couvert épars de dépôt meuble.

BARRES ALLUVIALES: Buttes profilées et allongées, basses et plates d'origine fluviale caractérisées par des sédiments plus grossiers que les sédiments environnants; dépôt essentiellement sableux et graveleux; mis en place entre d'anciens chenaux alluviaux; présence fréquente de fentes de gel en surface.

BUTTES INTERTIDIALES: Buttes basses et plates d'origine intertidale; dépôt hétérométrique composé de sable, de graviers, de blocs et de couches de silt discontinues d'épaisseurs variables; mis en place par l'action combinée des vagues, des courants, des marées et des glaces flottantes; présence fréquente de fentes de gel en surface.

PLAGES SOULEVÉES: Buttes profilées et allongées d'origine marine; dépôt de plage composé de sable, graviers et blocs; mis en place sur d'anciens niveaux marins lors de l'émersion.

CORDON DE BLOCS: Accumulation de blocs et de sable et gravier mal trié sur des terrasses marines quaternaires; mis en place par l'action des glaces flottantes.

CARRIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)

SABLIÈRES OU GRAVIÈRES EN EXPLOITATION (ou ayant déjà été exploitées)

INFRASTRUCTURES

CONTACTS GÉOLOGIQUES

FENTES DE GEL: présence de coins de glace probable.

RÉSEAU DE DRAINAGE - ruisseaux

ESKER

AFFLEUREMENTS ROCHEUX PONCTUELS

COUPES STRATIGRAPHIQUES

FORAGES AVEC RÉCUPÉRATION

EXCAVATIONS

Notes: Les unités composées, par exemple Au/Mit, sont indiquées lorsque l'épaisseur de l'unité supérieure est faible par rapport à celle de l'unité sous-jacente (généralement inférieure à 2 m) ou lorsque la présence de l'unité sous-jacente est importante du point de vue de la géotechnique et des conditions du pergélisol.

Les codes de couleur et symboles proviennent de la Commission géologique du Canada et du Centre d'études nordiques.

RÉFÉRENCE

F. Vinet, 2008. Géomorphologie, stratigraphie et évolution du niveau marin holocène d'une vallée soumise à des conditions macroclimaticques de régression forcée; région de Tasiujaq, Nunavik, M. Sc. géographiques, Université Laval, Québec, 97 pages.

Auteurs: F. Vinet, M. Allard et E. L'Hérault
Centre d'études nordiques, Université Laval, mai 2012

Dépôts de surface par: Vinet, F., Allard, M. et L'Hérault, E.

Numerisation par: Doyon, J. et Carboneau, A.S.

Résumé

Cette carte présente les dépôts de surface de la région de Tasiujaq. Ce village se situe au Nunavik, au fond de la Baie d'Ungava, à l'embouchure de la rivière Bétyard (58.70° N ; 69.93° O).

Abstract

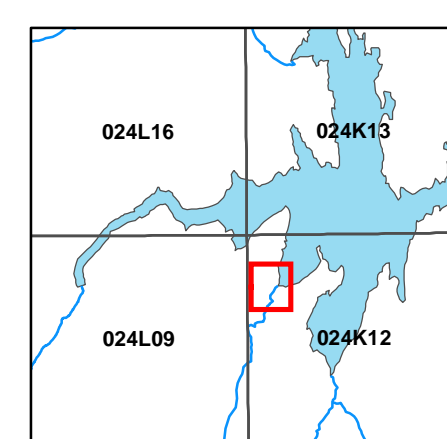
This map shows the surficial geology of the Tasiujaq region. This Nunavik village is located at the bottom of the Ungava Bay at the mouth of the Bétyard river (58.70° N ; 69.93° W).

Note

Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.

Note

This map was compiled mainly by air photo interpretation and validated by a limited number of terrain observations, probing and drill holes in the permafrost. Any information leading to an improvement of precision and, eventually, an update of the map will be received with thanks.



Système national de référence cartographique
Projeté, géométriquement, du Canada, vers l'échelle géométrique (2011), selon le système national de référence cartographique du Canada.

Illustration de couverture:
Tasiujaq, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux

Centre d'études nordiques, Québec, 2012

**DÉPÔTS DE SURFACE
TASIUJAJQ**
Québec, Nunavik
1 : 10 000



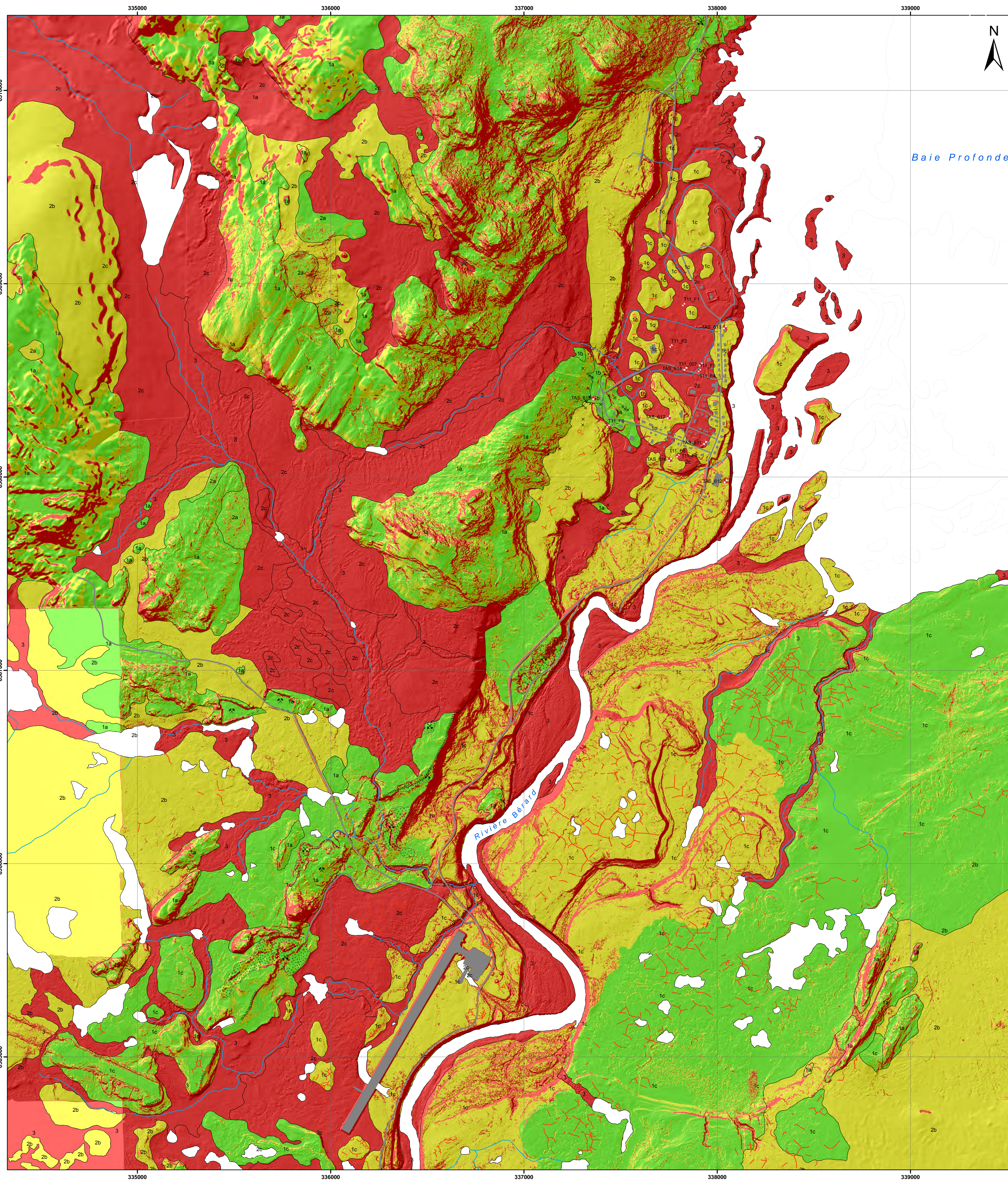
**DÉPÔTS DE SURFACE
TASIUJAJQ**
Québec, Nunavik
1 : 10 000



Image en relief ombragé préparée par L'Hérault, E. dérivée des données LIDAR 2010 (MRNF 2010, gouvernement du Québec).
Illumination: azimuth 315°, altitude 45°, exagération verticale 1x

Projection: MTM zone 7, NAD83



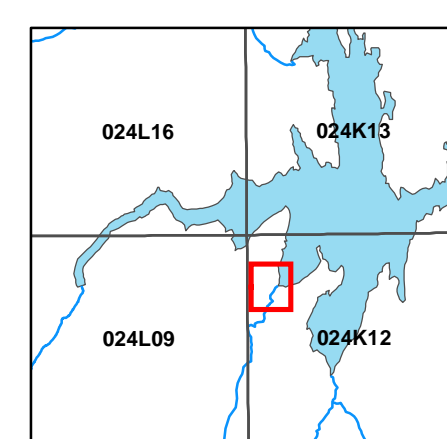


Résumé
 Cette carte présente les dépôts de surface de la région de Tasiujaq. Ce village se situe au Nunavik, au fond de la Baie d'Ungava, à l'embouchure de la rivière Bétyat.
 (58.70° N, 69.93° O).

Abstract
 This map shows the surficial geology of the Tasiujaq region. This Nunavik village is located at the bottom of the Ungava Bay at the mouth of the Bétyat river (58.70° N, 69.93° W).

Note
 Cette carte a été compilée principalement par photo-interprétation et validée avec un nombre limité d'observations de terrain, de sondages et de forages dans le pergélisol. Toute information pouvant améliorer la précision et éventuellement conduire à la production d'une mise à jour sera appréciée.

Note
 This map was compiled mainly by air photo interpretation and validated by a limited number of terrain observations, probing and drill holes in the permafrost. Any information leading to an improvement of precision and, eventually, an update of the map will be received with thanks.



Système national de référence cartographique
 (NAD83, gouvernement du Canada, version d'été 2011)
 (NAD83, Government of Canada, summer 2011 edition)

Illustration de couverture:
 Tasiujaq, Nunavik, Québec. Photographie par Chantal Lemieux.

Centre d'études nordiques, Québec, 2012

Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes
TASIUJAQ
 Québec, Nunavik
 1 : 10 000

- DÉPÔTS STABLES AU DÉGEL : ROC ET DÉPÔTS CONTENANT TRÈS PEU OU PAS DE GLACE**
- Socle rocheux composé essentiellement d'un schiste métamorphique à grains fins parfois recouvert d'une mince couche de sable, gravier ou blocs. Se présente sous forme de collines allongées orientées nord-ouest-sud-est. En bordure des affleurements rocheux, particulièrement sur les versants nord-ouest, les pentes y sont très abruptes avec des valeurs bien au-delà de 15 degrés. La couche active atteint une épaisseur d'environ 4 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.
 - Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.
 - Terrains aménageables pour la construction (pente <math>< 7,5^\circ</math>).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre $7,5^\circ$ et 15°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
- 1a**
- Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés. La couche active atteint une épaisseur comprise généralement entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique est généralement inférieur à 10 %.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevâtes également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente <math>< 7,5^\circ</math>).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre $7,5^\circ$ et 15°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
- 1b**
- Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m. Les sables et graviers préfiltrés (M) se présentent sous forme d'une succession de cordons arqués. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.
 - Fondations nordiques sur radier et chevâtes ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex : thermosiphons).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente <math>< 5^\circ</math>).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5° et 10°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).
- 1c**
- DÉPÔTS INSTABLES AU DÉGEL : DÉPÔTS QUATÉRIAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE**
- Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (M). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Altération de silt mince sur le roc et d'affleurements rocheux au-delà de la limite de délavage par la mer d'arrière. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte en raison de sa faible épaisseur.
 - Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevâtes également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex : excavation ou préfonte du couvert de sédiments gelés).
 - Terrains aménageables pour la construction (pente <math>< 4^\circ</math>).
 - Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4° et 8°).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
- 2a**
- Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (M). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m, avec possibilités d'affleurements rocheux ponctuels. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.
 - Fondations sur pieux possibles, mais requièrent des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevâtes également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains aménageables pour la construction, mais requièrent la prudence (pente <math>< 8^\circ</math>).
 - Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
- 2b**
- Dépôts à granulométrie fine d'origine marine (sable fin, silt et argile) parfois recouvert d'une couche mince de sols organiques, de sédiments alluviaux ou de sédiments littoraux. Dépôt mal drainé. La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.
 - Fondations sur radiers et chevâtes ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex : thermosiphons). Excavation à éviter.
 - Terrains défavorables à la construction.
- 2c**
- CONTRAINTES SÈVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES**
- Dépôts contemporains soumis à des processus périglaciaires actuels et dynamiques. Dépôts sujets à l'érosion, aux inondations et aux mouvements de versant.
 - Terrain problématique à éviter.
 - Terrains problématiques défavorables à la construction.
- 3**

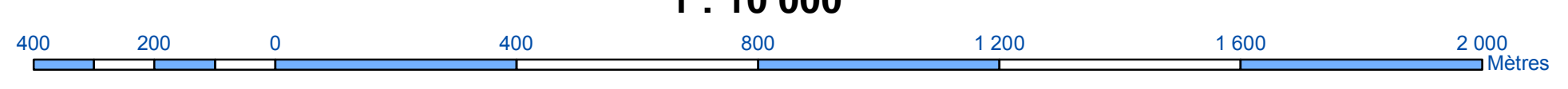
- CARRIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)
- SABLIÈRES OU GRAVIERIÈRES EN EXPLOITATION (actives et inactives)
- INFRASTRUCTURES
- CONTACTS GÉOLOGIQUES
- FENTES DE GEL
- RÉSEAU DE DRAINAGE - russeaux
- AFFLEUREMENTS ROCHEUX PONCTUELS
- COURSES STRATIGRAPHIQUES
- FORAGES AVEC RÉCUPÉRATION

RÉFÉRENCE
 F. Vinet, 2008. Géomorphologie, stratigraphie et évolution du niveau marin holocène d'une vallée soumise à des conditions macroclimaticales en régression forçée, région de Tasiujaq, Nunavik, M. Sc. géographiques, Université Laval, Québec, 97 pages.

Auteurs : E. L'Hérault et M. Allard
 Centre d'études nordiques, Université Laval, octobre 2012.

Image en relief ombragé préparée par L'Hérault, E. dérivée des données LIDAR 2010 (MRNF 2010, gouvernement du Québec).
 Illumination : azimuth 315°, altitude 45°, exagération verticale 1x

















Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes
TASIUJAQ
 Québec, Nunavik
 1 : 10 000



Projection: MTM zone 7, NAD83

Citation recommandée:
 L'Hérault, E. et Allard, M. 2012. Potentiel de construction et types de fondations selon les conditions de pergélisol et les pentes, Tasiujaq, Québec, Nunavik; Centre d'études nordiques, échelle 1:10 000.

Tableau 17: Corrélations générales entre les unités géologiques de surface et les conditions de pergélisol pour la région de Tasiujaq accompagnées des types de fondations adaptés et la valeur de pente critique pour chacune des classes.

DEPOTS STABLES AU DEGEL : ROC ET DEPOTS CONTENANT TRES PEU OU PAS DE GLACE						
DÉPÔTS DE SURFACE	CONDITIONS DE PERGÉLISOL	TYPES DE FONDATIONS ADAPTÉS AUX CONDITIONS DE PERGÉLISOL	COTES DE RISQUE	PENTE CRITIQUE	POTENTIEL DE CONSTRUCTION SELON LES CONDITIONS DE PERGÉLISOL ET LES PENTES	
R	Socle rocheux composé essentiellement d'un schiste métamorphique à grains fins parfois recouvert d'une mince couche de sable, gravier ou blocs. Se présente sous forme de collines allongées orientées nord-ouest sud-est. En bordure des affleurements rocheux, particulièrement sur les versants nord-ouest, les pentes y sont très abruptes avec des valeurs bien au-delà de 15 degrés.	1a La couche active atteint une épaisseur d'environ 4 m. Seule sa structure de joints et de diaclases est susceptible de contenir une faible quantité de glace.	Fondations nordiques de tous types. Des adaptations à la topographie accidentée sont souvent nécessaires.	0	15° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
Mn/R	Dépôt de sable et gravier en couverture mince sur socle rocheux. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Présence d'affleurements rocheux dispersés.	1b La couche active atteint une épaisseur comprise généralement entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle poreuse dont le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 10 %.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonde du couvert de sédiments gelés).	0	15° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 7,5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 7,5 et 15°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 15°).
GMd Mn	Dépôts de sable et gravier stratifiés épais. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m. Les sables et graviers pré littoraux (Mn) se présentent sous forme d'une succession de cordons arqués.	1c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 m. Contient de la glace interstitielle et possiblement de la glace sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés.	Fondations nordiques sur radier et chevalets ajustables ou pieux. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier pourraient requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons).	0	10° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 5°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 5 et 10°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 10°).
DEPOTS INSTABLES AU DEGEL : DEPOTS QUATÉNAIRES CONTENANT BEAUCOUP DE GLACE						
Tx/R	Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture mince sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement inférieure à 2 m et sa topographie est contrôlée par le roc. Alternance de till mince sur le roc et d'affleurements rocheux au-delà de la limite de délavage par la mer d'Iberville.	2a La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et à des tassements différentiels limités lors de sa fonte en raison de sa faible épaisseur.	Fondations nordiques profondes prenant appui sur le roc applicables (ex : pieux). Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de préparation du terrain (ex. : excavation ou préfonde du couvert de sédiments gelés).	0	8° et plus	 Terrains aménageables pour la construction (pente < 4°).  Terrains aménageables pour la construction, mais pouvant nécessiter des travaux de nivellement importants (pente entre 4 et 8°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
Mn/T Tx	Dépôt glaciaire hétérogène mal trié en couverture épaisse sur socle rocheux (till). Composé principalement de sable et de silt avec quelques graviers et blocs. L'épaisseur du dépôt est généralement supérieure à 2 m avec possibilités d'affleurements rocheux ponctuels.	2b La couche active atteint une épaisseur comprise entre 2,5 et 3 m. Contient de la glace interstitielle et sous forme de lentilles dans les couches de matériau à granulométrie fine. Le contenu volumique en glace est généralement inférieur à 30 %. Présence d'ostioles et de coulées de gélifluxion sur les versants. Matériau sujet au fluage et au tassement différentiel lors de sa fonte.	Fondations sur pieux possibles, mais requérant des forages plus profonds pour l'installation. Fondations sur radier et chevalets également possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la fonte du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	60	8° et plus	 Terrains aménageables pour la construction, mais requiert la prudence (pente < 8°).  Terrains défavorables à la construction (pente > 8°).
Ap/Mit At/Mit Mit	Dépôts à granulométrie fine d'origine marine (sable fin, silt et argile) parfois recouvert d'une couche mince de sols organiques, de sédiments alluviaux ou de sédiments littoraux. Dépôt mal drainé.	2c La couche active atteint une épaisseur comprise entre 0,5 et 1,5 m. Contient beaucoup de glace de ségrégation dont le contenu volumique dépasse régulièrement 30 % et peut atteindre près de 100 %. Présence probable de réseaux de polygones à coins de glace bien développés. Matériau sujet à des tassements différentiels importants et à des ruptures de pente sur les versants lors de sa fonte.	Fondations sur radiers et chevalets ajustables possibles. Les bâtiments avec dalle de fondation sur radier requièrent des techniques élaborées de protection contre la dégradation du pergélisol (ex. : thermosyphons). Excavation à éviter.	120	2° et plus	 Terrains défavorables à la construction.
CONTRAINTES SEVERES : PROCESSUS PERIGLACIAIRES ET DE VERSANTS DYNAMIQUES, LITTORAUX ET PLAINES ALLUVIALES ACTUELLES						
C Ap Mi Mr	Dépôts contemporains soumis à des processus géomorphologiques actuels et dynamiques. Inondations et mouvements de versant (ex. : éboulis). Cicatrices d'ancien glissement, sillons de polygones à coin de glace, buttes saisonnières à noyau de glace,	3 Processus périglaciaires et de versants dynamiques, littoraux et plaines alluviales actuelles	Terrain problématique à éviter	120	N.A	 Terrains défavorables à la construction.