

Cartographie des conditions de pergélisol dans les communautés du Nunavik en vue de l'adaptation au réchauffement climatique.

Allard, M., Calmels, F., Fortier, D., Laurent, C., L'Hérault, E., et Vinet, F.

2007



Cartographie des conditions de pergélisol dans les communautés du Nunavik en
vue de l'adaptation au réchauffement climatique

Par

Michel Allard
Fabrice Calmels
Daniel Fortier
Cyrielle Laurent
Emmanuel L'Hérault
et
Frédéric Vinet

2007

Avant-propos

Les auteurs tiennent à remercier le Programme d'adaptation aux impacts des changements climatiques de Ressources Naturelles Canada (anciennement le Fonds d'Action pour le changement climatique) ainsi que le Consortium Ouranos pour la confiance exprimée envers les auteurs dans la réalisation de cette étude et pour le financement conjoint qui a permis sa réalisation.

Nous sommes redevables aussi aux administrations et aux communautés du Nunavik pour l'accueil intéressé et amical que les membres de notre équipe ont reçus partout sur le territoire.

Table des matières

Avant-propos	i
Table des matières	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux	iv
Introduction	1
Méthodes	6
Cartes morpho-sédimentologiques.....	6
Cartes de géologie simplifiée	8
Format des cartes.....	8
Précision de l'information cartographique.....	8
Commentaires des cartes	9
Umiujaq	9
Inukjuak.....	12
Puvirnituaq	15
Akulivik.....	18
Ivujivik	21
Salluit.....	23
Kangijsujuaq.....	23
Quaqtaq.....	26
Kangirsuk	29
Aupaluk	32
Tasiujaq	35
Kangijsualujuaq.....	38
Conclusion et recommandation.....	41
Bibliographie	42

Liste des figures

Figure 1	Les communautés du Nunavik	1
Figure 2	Tendances climatiques à Kuujuaq, de 1948 à 2006	2
Figure 3	Projections climatiques au 21e siècle pour le Nunavik.....	3
Figure 4	a) Prévisions des températures moyennes annuelles en surface du sol dans le nord-est canadien pour la période 2041-2070 (i.e. différences entre la simulation SM_CRCM2 (2041-2071) et la simulation SM_CRCM1 (1961-1990). b) taux modélisés de changements de la température moyenne annuelle de surface selon les deux sorties de modèles couvrant les mêmes périodes	4
Figure 5	Carte morpho-sédimentologique d’Umiujaq.....	10
Figure 6	Carte de géologie simplifiée d’Umiujaq	11
Figure 7	Carte morpho-sédimentologique d’Imukjuak	13
Figure 8	Carte de géologie simplifiée d’Inukjuak	14
Figure 9	Carte morpho-sédimentologique de Puvirnituk	16
Figure 10	Carte de géologie simplifiée de Puvirnituk	17
Figure 11	Carte morpho-sédimentologique d’Akulivik	19
Figure 12	Carte de géologie simplifiée d’Akulivik	20
Figure 13	Carte morpho-sédimentologique d’Ivujivik	21
Figure 14	Carte de géologie simplifiée d’Ivujivik.....	22
Figure 15	Carte morpho-sédimentologique de Kangiqsujuaq.....	24
Figure 16	Carte de géologie simplifiée de Kangiqsujuaq.....	25
Figure 17	Carte morpho-sédimentologique de Quaqtac.....	27
Figure 18	Carte de géologie simplifiée de Quaqtac	28
Figure 19	Carte morpho-sédimentologique de Kangirsuk.....	30
Figure 20	Carte de géologie simplifiée de Kangirsuk	31
Figure 21	Carte morpho-sédimentologique d’Aupaluk.....	33
Figure 22	Carte de géologie simplifiée d’Aupaluk.....	34
Figure 23	Carte morpho-sédimentologique de Tasiujaq	36
Figure 24	Carte de la géologie simplifiée de Tasiujaq	37
Figure 25	Carte morpho-sédimentologique de Kangiqsualujuaq.....	39
Figure 26	Carte de la géologie simplifiée de Kangiqsualujuaq.....	40

Liste des tableaux

Tableau 1 Prévisions d'augmentation des températures moyennes saisonnières et des précipitations sur le Nunavik.....	3
Tableau 2 Corrélations générales entre les formes et les cryosols associés au pergélisol, les formations géologiques de surface et les types de glace de sol au Nunavik.....	7

Introduction

L'objectif du présent projet est d'évaluer la vulnérabilité du terrain des communautés du Nunavik face au réchauffement climatique en vue d'aider leurs administrateurs à prendre les meilleures mesures d'adaptation possible. Il existe au Nunavik 14 communautés inuites réparties le long des côtes de la baie d'Hudson, du détroit d'Hudson et de la baie d'Ungava (Figure 1). À l'exception de Kuujjuarapik, la plus méridionale, toutes sont établies dans les zones de pergélisol. Trois d'entre elles, Umiujaq, Kuujjuaq et Kangiqsualujuaq, sont en zone de pergélisol discontinu; on peut donc retrouver des parcelles de terrain non gelé à l'intérieur de leurs limites. Dans les autres, le terrain est gelé à l'année sur toute la superficie de leur territoire.

La localisation de ces villages découle de circonstances historiques. La plupart sont bâtis à l'emplacement d'anciens postes de traite et de missions religieuses situés dans des endroits favorables à la rencontre de groupes familiaux qui vivaient autrefois dispersés sur le territoire avoisinant. Seul Umiujaq est récent, ayant été construit en 1985 et 1986 suite à une décision de relocalisation des Inuit de Kuujjuarapik en vertu de l'application de clauses de la Convention de la Baie James et du Nord québécois. Au tournant des années 1960, la sédentarisation dans des villages s'est accentuée, en lien avec l'intervention gouvernementale en matière de soins de santé, de services sociaux, d'éducation et d'administration publique. La croissance des villages et le développement social et économique des communautés ont été accompagnés par la construction de nouveaux secteurs résidentiels, d'écoles, de dispensaires, d'arénas, de bâtiments municipaux et de lieux de rencontre publics. Les infrastructures nécessaires pour les transports, à l'approvisionnement en eau et l'élimination des déchets ont aussi pris de l'expansion en conséquence.

La population du Nunavik est actuellement en croissance rapide. En conséquence, les communautés ont toutes besoin d'espace pour établir de nouvelles constructions et développer de nouveaux services.



Figure 1 Les communautés du Nunavik

Comme les données climatiques le démontrent, le climat s'est réchauffé de façon importante au Nunavik depuis 15 ans. Alors qu'il était en lent refroidissement depuis environ 1950, la tendance s'est inversée à partir de l'année particulièrement froide de 1992. Autour de 1995, les températures sont passées au-dessus de la moyenne à long terme et depuis le début des années 2000, elles se maintiennent à un niveau élevé. Les données enregistrées à Kuujjuaq durant cette période illustrent très bien le changement survenu (Figure 2). En prenant la voie du réchauffement, le climat au Nunavik a rejoint la tendance que suivait déjà le reste de l'Arctique, notamment l'Alaska et le nord-ouest du Canada, depuis environ 1970.

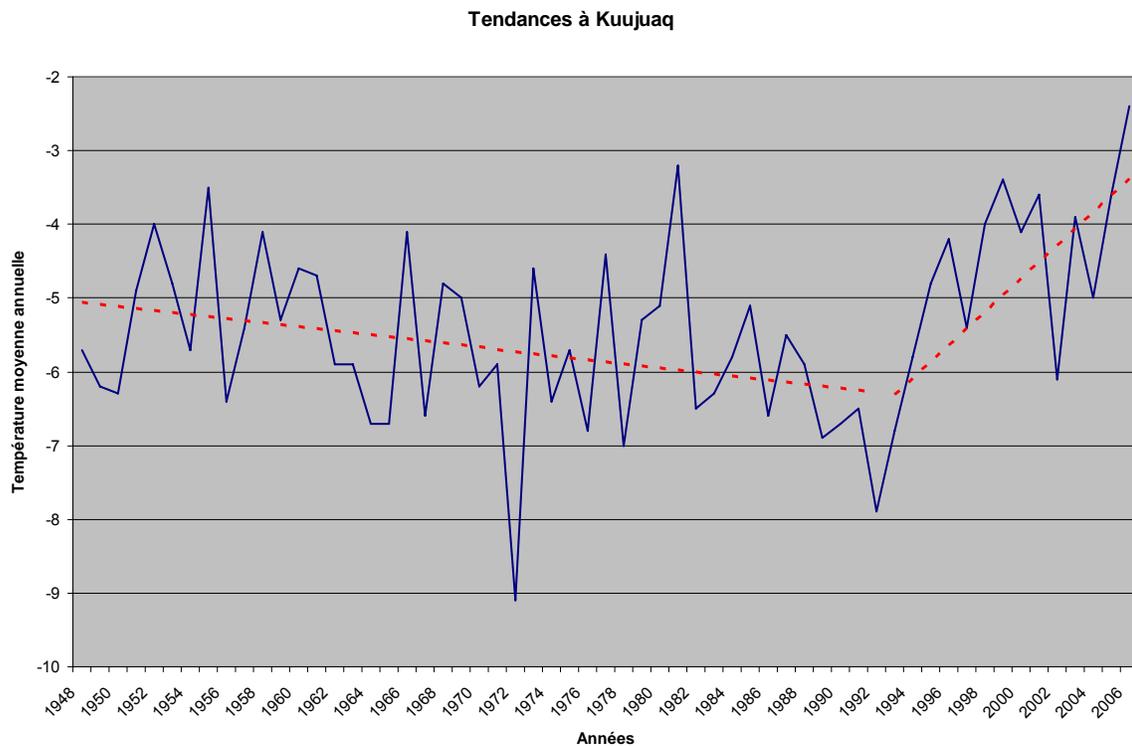


Figure 2 Tendances climatiques à Kuujuaq, de 1948 à 2006

Avec le réchauffement climatique prévu, le pergélisol sera affecté dans l'ensemble de l'hémisphère nord et verra sa superficie réduite (ACIA, 2004; Lawrence et Slater, 2006.). À l'échelle locale, les premières manifestations du réchauffement climatique sont le réchauffement du profil de température dans le sol et l'approfondissement du mollisol, c'est-à-dire de la couche superficielle du terrain qui dégèle à chaque été. Toutefois, le climat se réchauffant, l'épaisseur du mollisol augmente, provoquant la fonte de la glace contenue dans les pores du sol ainsi que la glace présente sous formes de lentilles subhorizontales et de veines verticales. Ce processus entraîne des tassements de la surface du terrain. Sur les pentes, la déstabilisation du pergélisol et la libération de l'eau de fonte provoquent des mouvements de versants. Le dégel plus rapide accélère la gélifluxion et conduit éventuellement à des glissements de terrain sur les sols à texture fine, comme les argiles. Il a été estimé que le réchauffement provoquera des dégradations importantes du terrain en milieu de pergélisol et mettra à risque de nombreuses infrastructures et communautés (Nelson et al., 2001).

Au Nunavik, les impacts sont déjà évidents en milieu naturel alors que le pergélisol discontinu disparaît progressivement dans les tourbières (Payette et al., 2005) et que des déformations affectent déjà les pistes d'atterrissage et les routes (Allard et al., 2007).

La figure 3 et le tableau 1 montrent les prévisions de réchauffement pour le Nunavik sur l'horizon de 2020, 2050 et 2080, selon différents modèles et différents scénarios d'émission de gaz à effets de serre. Par ailleurs, en appliquant les résultats du modèle régional canadien du climat, Sushama et al. (2006) ont estimé que la surface des sols au Nunavik est appelée à se réchauffer de 3 à 4 degrés au Nunavik d'ici 2050 (Figure 4).

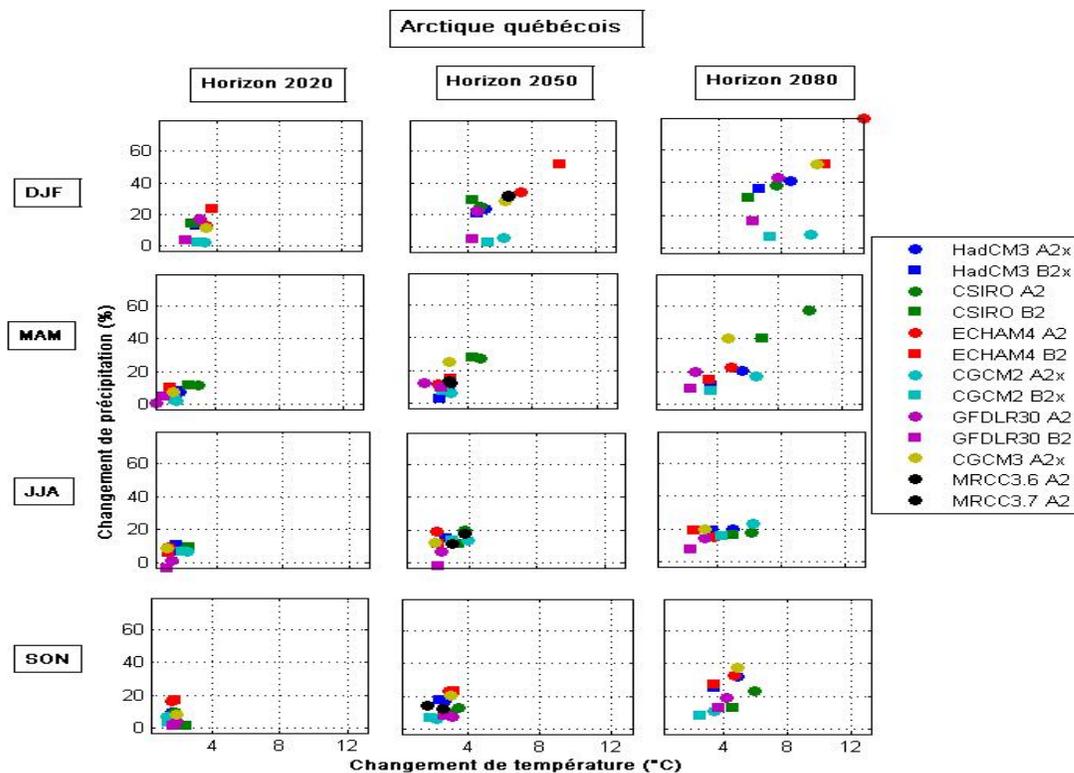


Figure 3 Projections climatiques au 21e siècle pour le Nunavik

Mois	Climat 1980s	Delta 2020s	Delta 2050s	Delta 2080s
Hiver	-21 à -25C 60-160mm	ΔT : +2 à +4C ΔP_{cpn} : +0 à +25%	ΔT : +4 à +10C ΔP_{cpn} : +0 à +50%	ΔT : +5,5 à +10C ΔP_{cpn} : -0 à +45%
Print.	-7 à -17C 75-125mm	ΔT : +0 à +3C ΔP_{cpn} : 0 à +15%	ΔT : +1 à +5C ΔP_{cpn} : +0 à +30%	ΔT : +2 à +10C ΔP_{cpn} : +5 à +60%
Été	+6 à +10C 150-230mm	ΔT : +0,5 à +2C ΔP_{cpn} : -5 à +15%	ΔT : +2 à +4C ΔP_{cpn} : -5 à +20%	ΔT : +2 à +6C ΔP_{cpn} : +5 à +25%
Aut.	+1 à +4 150-240mm	ΔT : +1 à +2,5C ΔP_{cpn} : +0 à +20%	ΔT : +1,5 à +4C ΔP_{cpn} : +5 à +25%	ΔT : +2 à +6C ΔP_{cpn} : +5 à +40%

Tableau 1 Prévisions d'augmentation des températures moyennes saisonnières et des précipitations sur le Nunavik

Les prévisions sont présentées avec des écarts selon différents modèles et scénarios et elles sont relatives (ΔT et ΔP_{cpn}) au climat des années 1980.

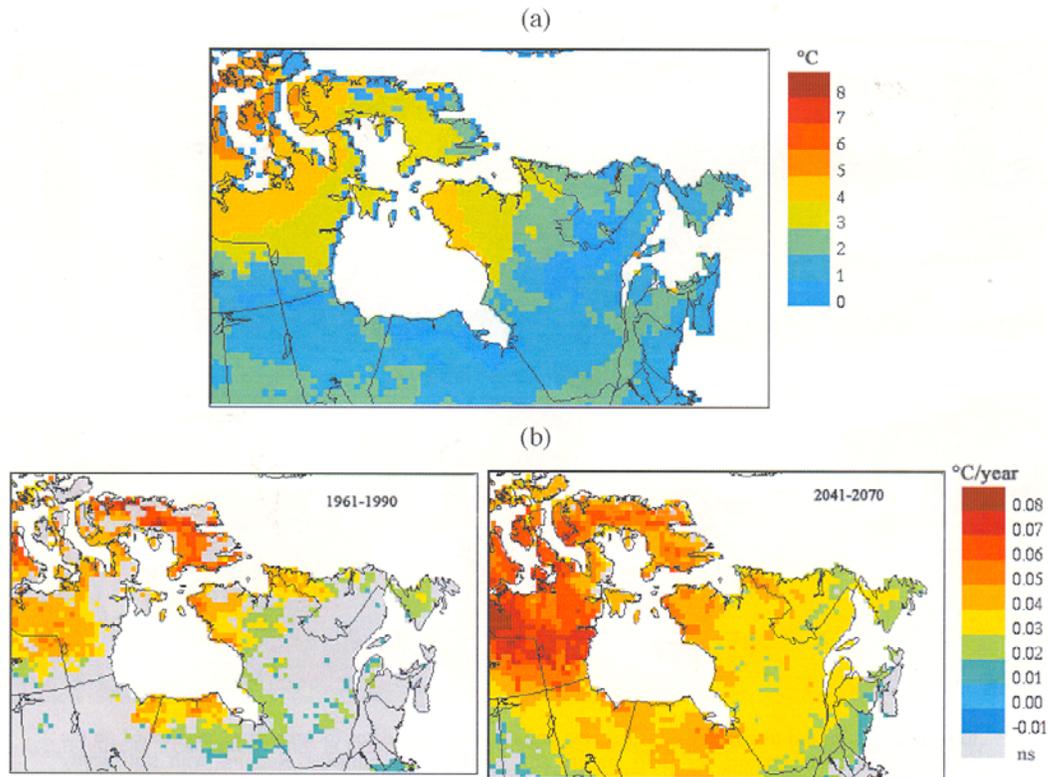


Figure 4 a) Prévisions des températures moyennes annuelles en surface du sol dans le nord-est canadien pour la période 2041-2070 (i.e. différences entre la simulation SM_CRCM2 (2041-2071) et la simulation SM_CRCM1 (1961-1990). b) taux modélisés de changements de la température moyenne annuelle de surface selon les deux sorties de modèles couvrant les mêmes périodes

Parmi les villages du Nunavik, Salluit apparaît comme celui qui est construit sur un pergélisol particulièrement riche en glace. Il a fait l'objet d'une étude approfondie (Allard et al. 2004). Cependant, il demeure très important que l'on puisse avoir une bonne idée des propriétés du pergélisol dans toutes les communautés du Nunavik afin de prévoir de moyens d'adaptation au réchauffement climatique et de minimiser, particulièrement, l'impact de la dégradation du pergélisol sur les constructions et les infrastructures.

Parmi les moyens d'adaptation, on peut songer aux techniques de construction et de fondation spécialement adaptées au pergélisol. Plusieurs sont déjà appliquées au Nunavik. La construction des maisons sur chevalets montés sur des radiers est très répandue; des mesures du régime thermique sous les maisons ainsi soulevées au-dessus du sol ont montré que ce procédé est très efficace (Allard et al. 2004). À cette technique éprouvée s'ajoutent les pieux, en particulier pour les gros édifices comme les écoles et les hôpitaux, ainsi que les thermosyphons, qui ont été surtout appliqués sous des édifices sur des dalles de béton, comme des garages. D'autres techniques connues, mais peu appliquées au Nunavik, sont les tabliers ventilés et les drains de chaleur (Andersland et Ladanyi, 2004).

Le choix d'une méthode de construction sur un terrain donné dépend en premier lieu des caractéristiques du pergélisol au site même. Le choix des meilleurs terrains pour un type de construction en particulier dépend aussi des connaissances des formes de terrain, de la nature de la géologie de surface et de la quantité et du type de glace que contient le sol, tout étant étroitement relié. Les coûts diffèrent aussi énormément d'une option de fondation à l'autre. Souvent, il est difficile de choisir la meilleure méthode de construction, faute d'une connaissance adéquate des propriétés du pergélisol au site même de construction. Or, les conditions de terrain, par exemple la teneur en glace du pergélisol, varient parfois sur de courtes distances.

La présente étude a pour but de combler au moins partiellement ce besoin en prenant pour principe qu'une meilleure connaissance des conditions du pergélisol variables dans l'espace est la première étape qui permet d'orienter les décisions et de réduire les risques de dégradation du pergélisol en conséquence des actions humaines ou du réchauffement climatique. Dans cette ligne de pensée, un aménagement du territoire planifié sur une connaissance des terrains est certes la première approche à envisager. Un choix optimal d'aménagement du territoire peut à la fois réduire les risques pour les bâtiments et limiter le recours à des technologies coûteuses de fondation.

Afin de venir en aide aux décisions pour mieux aménager des communautés en expansion alors que le pergélisol devient de plus en plus sensible, il nous est apparu que l'approche de base à privilégier est de dresser une carte des conditions de pergélisol pour chaque communauté et ses environs. Ces cartes sont destinées être intégrées aux dossiers cartographiques et au plans d'aménagement des municipalités pour lesquels ils constituent une couche d'information.

En tout, des cartes des conditions de pergélisol et des cartes de zonage en fonction du potentiel pour la construction ont été produites pour onze des quatorze communautés. En effet, Salluit a déjà fait l'objet d'une étude indépendante particulièrement approfondie. Par ailleurs, il n'y a pas de pergélisol dans la communauté de Kuujuarapik. Finalement, malgré un intérêt certain, le village de Kuujuaq n'a pas été cartographié faute, à la fois, d'un budget suffisant et de la complexité du terrain dans la zone discontinue où il se situe, qui aurait demandé beaucoup de forages et de relevés géophysiques relativement dispendieux. Il est à souhaiter que les cartes produites pourront éventuellement être incluses dans un plan stratégique d'adaptation du Nunavik au réchauffement climatique.

Méthodes

Cartes morpho-sédimentologiques

En première étape nous avons procédé à l'interprétation des formes et des dépôts meubles du territoire des villages sur des photographies aériennes de même que, pour certaines communautés, sur des images à haute résolution prises par le satellite Ikonos. Par la suite, tous les villages ont été visités pour vérifier la véracité de la photo-interprétation, apporter les corrections nécessaires, procéder à des sondages, ainsi qu'à des excavations avec de la machinerie dans quelques cas. Certains villages ont été visités en juillet 2004, en même temps que des relevés étaient effectués pour étudier les propriétés du pergélisol sous leurs pistes d'atterrissage. Ce fut le cas de Tasiujaq, Aupaluk, Kangirsuk et Quaqlaq. En effet, pour des raisons économiques, les coûts de logistique et de déplacement étaient partagés avec une étude parallèle sur les aéroports du Nunavik (Allard et al., 2007). En 2005, une tournée de tous les autres villages a été faite par deux chercheurs de notre équipe.

La cartographie par photo-interprétation est basée sur la reconnaissance de formes de terrain résultant de l'histoire géomorphologique holocène, c'est-à-dire des formes résultant de l'évolution du paysage au cours des derniers millénaires, ce qui inclut les formes et les dépôts glaciaires, comme les moraines et les tills, les dépôts fluvioglaciaires, généralement graveleux, les dépôts marins d'eau profonde, argileux en général, et les dépôts littoraux sableux laissés par la régression marine post-glaciaire. Ces derniers apparaissent la plupart du temps sous forme de plages soulevées. Superposées à la surface du terrain aux formes et dépôts meubles liés à la déglaciation et à la transgression marine post-glaciaire, toutes les formes de terrain associées au pergélisol ont aussi été répertoriées. En fait, il existe un lien entre la géologie du Quaternaire, la texture des dépôts, les formes périglaciaires à la surface du sol et le type et la quantité de glace contenue dans le pergélisol. Ces relations sont compilées et résumées au tableau 2, tiré d'une étude non publiée de Allard et al. (1991). Ce tableau constitue une clé d'interprétation des conditions de pergélisol en fonction de la nature des dépôts meubles et des formes de terrain. Les travaux de recherche et de cartographie antérieurs réalisés à l'occasion de thèses ont aussi été intégrés dans la cartographie, par exemple les travaux de Gahé (1987) à Kangiqsualujuaq et de Fraser et al. (2004) à Umiujaq.

TABLEAU 2
CORRÉLATIONS GÉNÉRALES ENTRE LES FORMES ET LES CRYOSOLS ASSOCIÉS AU PERGÉLISOL, LES FORMATIONS GÉOLOGIQUES DE SURFACE
ET LES TYPES DE GLACE DE SOL AU NUNAVIK

FORMES ET CRYOSOLS	NATURE DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES DE SURFACE	TEXTURE	RÉGIONS DE PERGÉLISOL	TYPES DE GLACE DE SOL	PRÉSENCE PROBABLE DE GLACE EN EXCÈS	ÉCHELLE MINIMALE DE DÉTECTION DE PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE
Buttes cryogéniques	Limons et argiles marins Sables (buttes plus basses)	Limons argileux Sables fins et moyens	Discontinu et répandu Discontinu et dispersé	Ségrégation	Oui	1 :40,000
Palses	Tourbe Tourbe/limons et argiles Tourbe/sable ou till (rare)	Tourbe fibreuse ou humique sur sols généralement fins	Discontinu e répandu Discontinu et dispersé	Ségrégation	Oui, dans les sédiments minéraux sous la tourbe	1 :40,000
Mares de thermokarst (accompagnent les palses les buttes cryogéniques)	Toutes les formations ; surtout fines et tourbeuses	Tourbe Limons argileux Sables	Discontinu et répandu Discontinu et dispersé Sporadique	Nil	Nil	1 :40,000
Polygones à coins de glace	Tills Sables de terrasses fluviales Sables à carex	Tourbe Sables fins à grossiers	Continu	Glace de coins Glace interstitielle dans les polygones	Oui, dans le réseau de coins	1 :20,000
Polygones à coins de sol	Tills (sur crêtes de drumlins) Dépôts fluvio-glaciaires (plaines d'épandages et deltas), sables de plage	Dépôts sablo-graveleux hétérométriques et grossiers	Continu Discontinu et répandu	Glace interstitielle	Non	1 :20,000
Ostioles à bourrelets	Tills Diamictons (estrans soulevés) Souvent associés aux polygones à coins de sol et aux lobes de gélifluxion	Dépôts sablo-graveleux hétérométriques avec une fraction de sable très fins ou de limons	Continu Discontinu et répandu	Glace interstitielle Un peu de glace de ségrégation	Non	1 :10,000
Ostioles à centre soulevé	Dépôts marins et lacustres Abondent sur les buttes cryogéniques	Sables fins et limons argileux	Continu Discontinu et répandu Discontinu et dispersé	Ségrégation	Oui	1 :20,000
Sols striés	Tills Dépôts de versants	Dépôts blocailleux avec matrice fine	Continu	Interstitielle	Non	1 :40,000
Lobes et nappes de gélifluxion	Tills Sables marins Dépôts de versants	Dépôts hétérométriques avec matrice sableuse et/ou limoneuse	Continu Discontinu et répandu Discontinu et dispersé Sporadique	Interstitielle, Un peu de ségrégation	Non	1 :40,000
Thufurs	Tills et diamictons sur terrains bas mal drainés	Dépôts hétérométriques avec matrice sableuse et/ou limoneuse	Continu Discontinu et répandu	Interstitielle	Non	1 :10,000
Buttes saisonnières à noyaux de glace et glaçage	Tous les types de dépôts	Toutes granulométries et sols organiques. Près des ruisseaux e à l'emplacement de sources	Continu Discontinu et répandu	Intrusive (gonflement important et rapide en hiver, affaissement en été)	Oui	1 :10,000 On voit surtout les zones de suintement et le micro- drainage désordonné)
Blocs ou monticules d'éjection	Roc (favorablement fissuré)		Continu Discontinu et répandu Discontinu et dispersé	Intrusive ? Ségrégation ?	?	1 :5000

Tableau 2 Corrélations générales entre les formes et les cryosols associés au pergélisol, les formations géologiques de surface et les types de glace de sol au Nunavik

Les cartes produites sont dites « morpho-sédimentologiques », c'est-à-dire qu'elles représentent à la fois les dépôts de surface et les principales formes de terrain. D'un village à l'autre, la même structure de légende a été utilisée. Toutefois, toutes les formes et tous les dépôts du Nunavik ne se retrouvent pas dans tous les villages, la géologie de surface étant très différente d'un endroit à l'autre. Une attention spéciale a aussi été portée à l'évaluation des conditions de drainage du terrain, notamment à l'identification des zones où affleurent soit la nappe phréatique soit la nappe perchée sur le pergélisol. Certains de ces sites sont le lieu en hiver de suintements qui donnent naissance à des buttes de glace ou encore à des buttes de sol à noyaux de glace (appelées « frost blisters »), qui exercent des forces importantes de soulèvement du sol, suivies d'affaissements en été. Dans plusieurs communautés, des aires potentiellement inondables lors de la fonte printanière ont aussi été répertoriées. Lorsque présentes, les dunes et les aires de déflation ont aussi été cartographiées; elles représentent des secteurs instables, sensibles à l'érosion et au transport du sable par le vent qui est une nuisance à l'aménagement et un risque pour la santé publique.

Cartes de géologie simplifiée

Une fois les cartes morpho-sédimentologiques complétées, les unités cartographiques ont été regroupées de façon à dresser des cartes relativement simples de compréhension et qui fournissent un premier zonage en fonction des conditions plus ou moins propices à la construction. Trois catégories ont été retenues :

- 1- Les terrains pouvant supporter des constructions. Il s'agit pour l'essentiel des zones d'affleurement rocheux et des zones de sables et graviers épais (on estime plus de 3 m) non susceptibles de subir des tassements lors de la fonte du pergélisol.
- 2- Les terrains présentant des limitations pour la construction ou requérant des méthodes de fondation adaptées, ou encore nécessitant des investigations plus poussées avant d'entreprendre des travaux d'aménagement. Ces terrains comprennent par exemple des zones en till qui pourraient servir à certaines activités comme de l'entreposage extérieur ou qui pourrait possiblement recevoir des constructions après une préparation avancée du terrain (ex. fonte provoquée).
- 3- Les terrains impropres à la construction. Il s'agit notamment des argiles marines riches en glace de ségrégation, des aires mal drainées, des marécages, des secteurs de formation de « frost blisters » des aires de dunes et de déflation sensibles à l'érosion, des zones inondables au printemps, des aires sillonnées par des réseaux denses de coins de glace appelés à fondre, des buttes cryogènes (riches en glace de ségrégation) et des aires affectées déjà par le thermokarst (dérangement de la topographie dû à la fonte du pergélisol).

Format des cartes

Les cartes morpho-sédimentologiques et les cartes de géologie simplifiées sont de grande échelle et produites en format numérique, de sorte qu'il est possible de les superposer aux autres documents cartographiques tels que les plans de village, le tracé des rues et les modèles topographiques de terrain en vue d'orienter les choix d'aménagement du territoire.

Précision de l'information cartographique

Les conditions du sol, par exemple l'épaisseur des couches superficielles (ex. du sable par-dessus de l'argile) et la quantité de glace dans le pergélisol peuvent être extrêmement variables dans l'espace. En conséquence, les cartes doivent être utilisées d'abord comme des guides donnant une image d'ensemble des conditions de terrain et susceptible d'orienter la planification dans les communautés. Dans chaque projet de construction, il demeure recommandé de faire procéder à un examen du sol avant la construction. Le niveau d'investigation et la nature des analyses techniques à effectuer avant une construction peuvent aller de la simple observation pour les cas faciles jusqu'à des forages et des études géotechniques poussées pour des cas où l'incertitude est grande.

Il aurait été aussi souhaitable d'utiliser comme information de base dans la cartographie les résultats de sondages, forages et autres investigations faites préalablement pour des projets de construction antérieurs dans les communautés. Mais un manque de temps et de financement au vu du mandat qu'on s'est donné ainsi qu'une absence de réponse du service technique que nous avons contacté ont fait en sorte que cela n'a pas été fait. Les cartes du présent rapport constituent donc une première approche qui est certes perfectible. On peut parler de la version 1.0 de documents informatiques qui pourraient donner lieu à des versions ultérieures améliorées.

Commentaires des cartes

Assorties chacune d'un bref commentaire, les cartes sont présentées en commençant par celle d'Umiujaq sur la côte de la baie d'Hudson, et de là en faisant le tour de la péninsule d'Ungava et de la baie d'Ungava.

Umiujaq

La communauté d'Umiujaq a été établie sur des sédiments de plage constitués de sable grossier. Le roc, un basalte très solide, affleure dans la partie est du village, en allant vers les hauteurs du relief. À l'emplacement actuel des village, des travaux de géophysique et des relevés stratigraphiques effectués par Fraser et al. (2005) dans des coupes le long des cours d'eau montrent que des dépôts glacio-marins sableux se retrouvent en profondeur sous les sables de plage. Le pergélisol dans ce genre de dépôt est pauvre en glace et peu sensible au dégel. Du côté nord de la rivière Umiujaq s'étend une terrasse sableuse de qualité identique à celle sur laquelle le village est déjà bâti. Son développement nécessiterait toutefois la construction d'un pont de qualité supérieure à la jetée avec ponceau qui existe présentement pour s'y rendre. L'arrière-pays, en suivant la route qui mène au Lac Guillaume-Delisle, est constitué pour une bonne part de terrain en sable et gravier très grossier et en roc (figure 5).

Par contre le sable de la terrasse immédiatement au sud du village et où se situent le terrain de balle et quelques résidences ne fait que 3 à 5 m d'épaisseur environ et repose sur un dépôt argileux. Il n'existe aucun forage dans ce secteur qui permettrait de connaître la teneur en glace de cette argile, mais la probabilité est forte qu'elle ait une teneur élevée. Les quelques résidences privées en cet endroit connaissent déjà des problèmes de fondation; toutefois il faut dire qu'elles ont des sous-sols creusés, une façon de faire non recommandable en terrain pergélisolé. En conséquence de cette limitation sur le type de fondation possible et sur le besoin de mieux évaluer ce secteur, il est classé dans la zone jaune (figure 6).

Dans le fond de la vallée de la rivière Umiujaq pointent ici et là des buttes cryogènes, ce qui, en plus de l'humidité en fond de vallée, en fait un site non recommandable. Plus au sud, sur les terrasses marine entre l'aéroport et le littoral, le terrain est constitué d'une mosaïque de dunes, d'aires de déflation, de terrains humides et de zones de « frost blisters » dans l'ensemble non favorable à l'expansion (figure 6).

Les formes périglaciaires qui se sont mises en place dans la région consistent en des buttes cryogènes riches en glace sises surtout dans les sédiments alluviaux, en des buttes saisonnières à noyau de glace dans les zones affectées de suintements, ainsi qu'à des sols polygonaux.

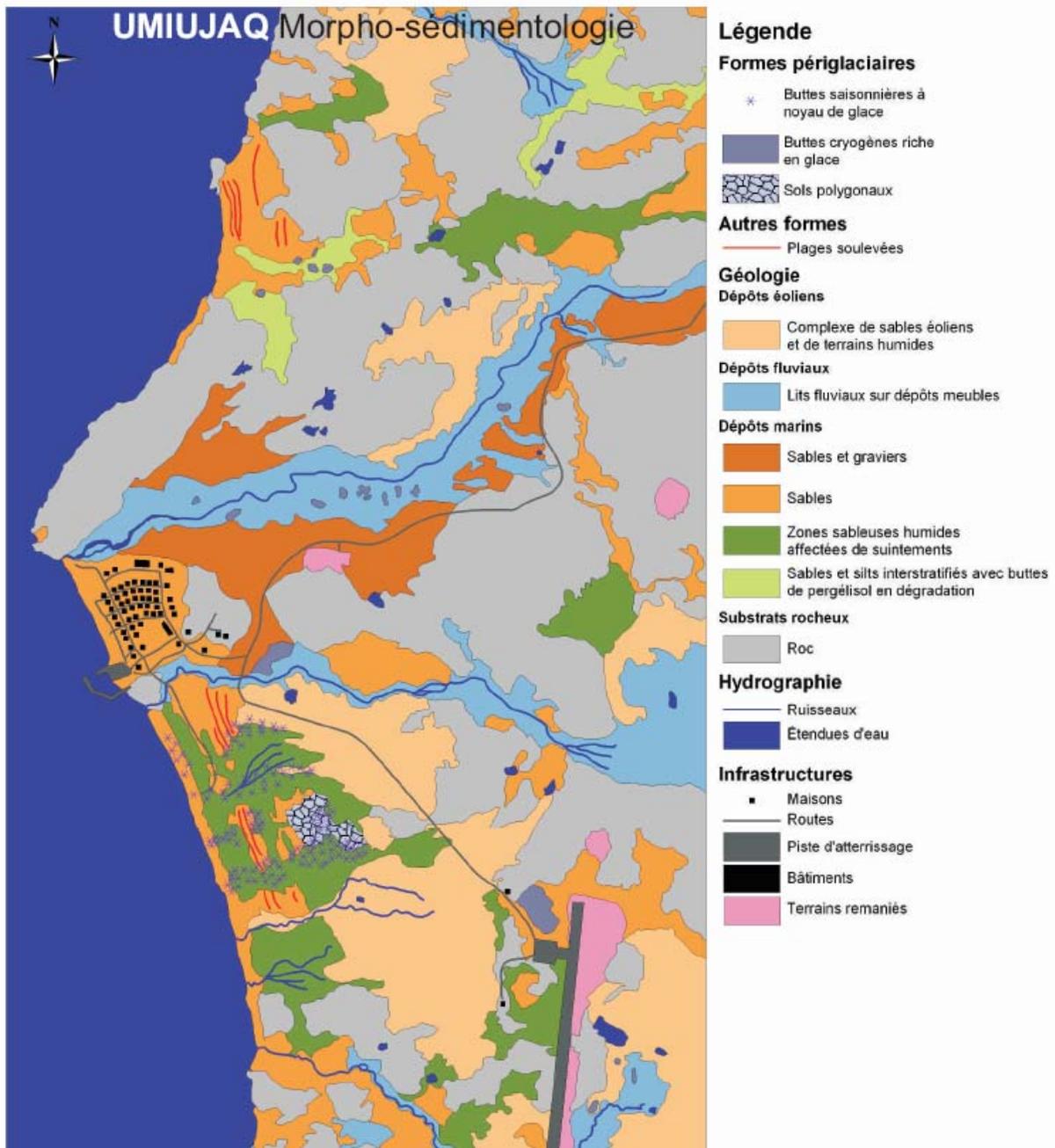


Figure 5 Carte morpho-sédimentologique d'Umiujaq

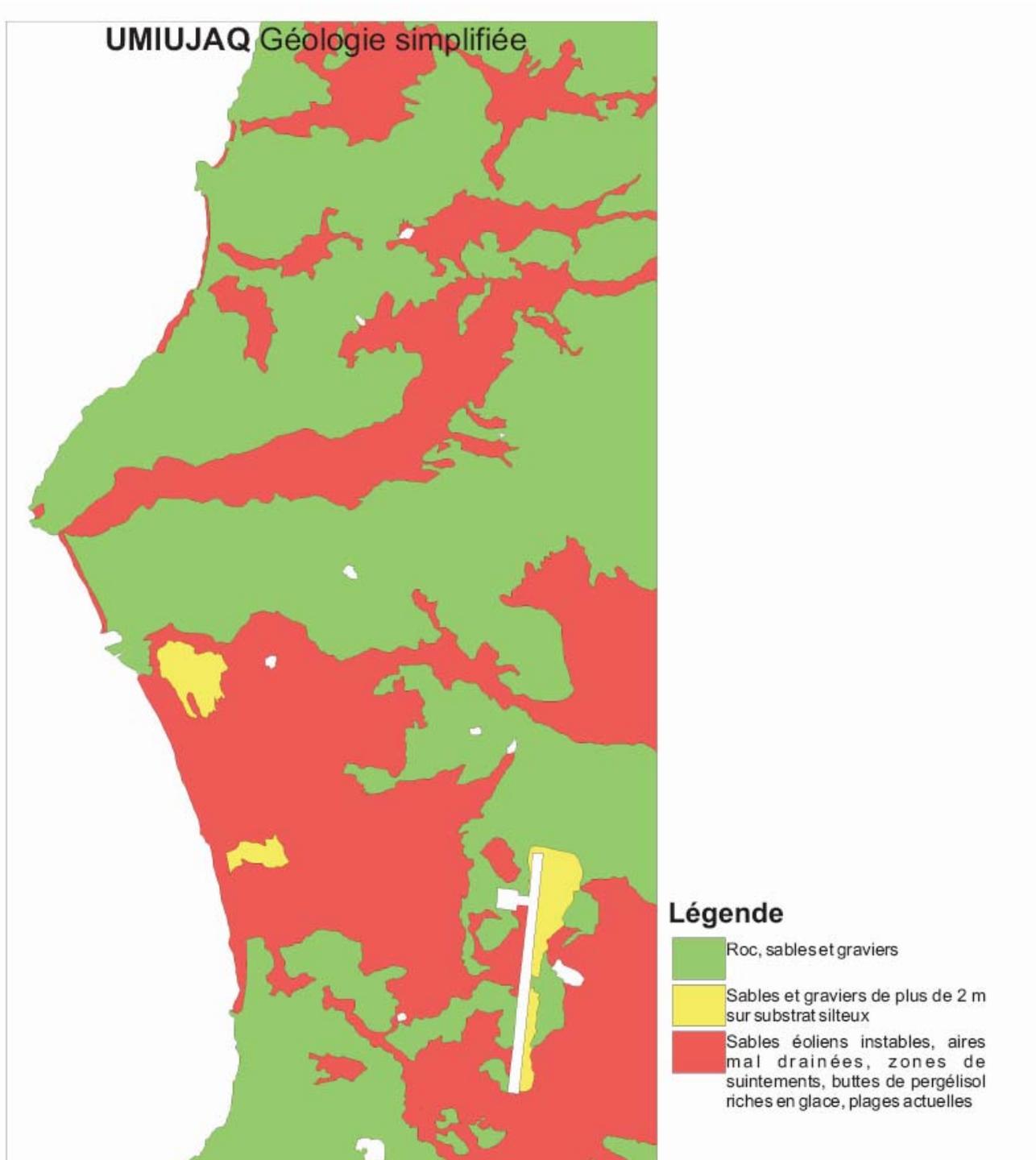


Figure 6 Carte de géologie simplifiée d'Umiujaq

Inukjuak

Le village se situe dans un région au relief plutôt plat en général, mais ponctué de collines rocheuses entrecoupées de plaines de sable et gravier. Il est probable que des argiles existent sous ces dépôts superficiels grossiers, voire qu'elles affleurent par endroits, mais les relevés de terrain trop sommaires ne nous ont pas permis de les détecter. Le village d'Inukjuak est bâti sur les sables et graviers marins. Les terrains bas sont en général mal drainés et certaines de ces zones contiennent de petites buttes basses de pergélisol. Quelques réseaux de fentes de gel et de coins de glace s'observent par endroits dans les dépôts sableux, notamment dans les alentours de l'aéroport (figure 7).

La granulométrie des dépôts de surface étant de même nature dans tout le secteur, la géologie régionale simplifiée a été établie selon le drainage, les formes périglaciaires et les indices suggérant la présence possible de matériaux fins plus en profondeur et donc la présence de glace. Deux catégories de terrain ont ainsi été identifiées (figure 8):

- 1- Les surfaces où affleurent le roc et où les dépôts de sables et graviers sont épais (2 m et plus) et bien drainés. Comparable aux espaces déjà construits, ces terrains peuvent accommoder l'expansion urbaine avec les techniques de construction déjà en application.
- 2- les sols à texture sableuse, mais mal drainés avec dépôts organiques, ce qui laisse à penser que la teneur en sédiments fins augmente plus en profondeur. Cette catégorie englobe également les terrains où l'on peut noter la présence de coins de glace, et berges de la rivière pouvant être sujettes à l'érosion. Ces secteurs sont non recommandables pour la construction.

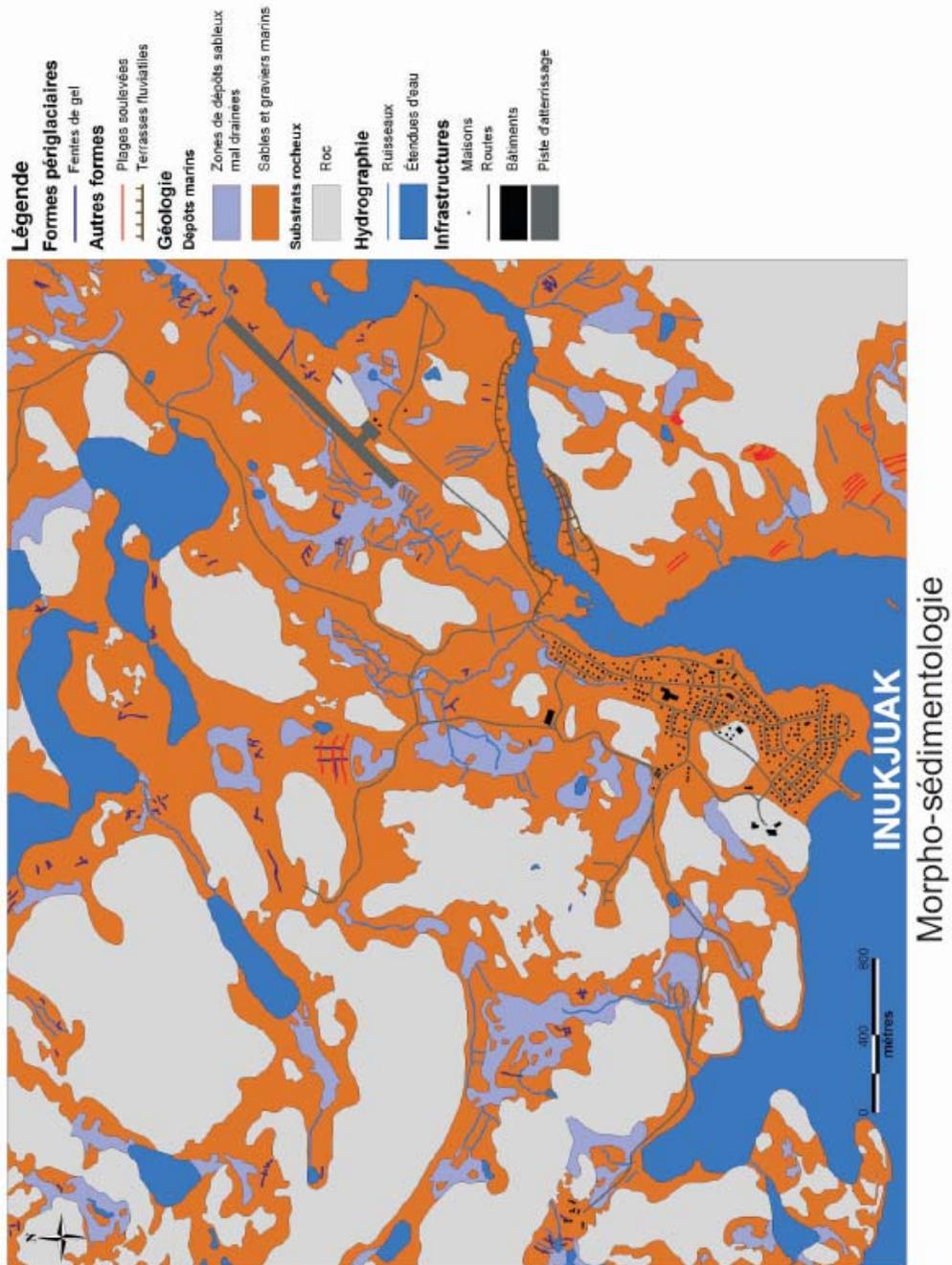


Figure 7 Carte morpho-sédimentologique d'Imukjuak

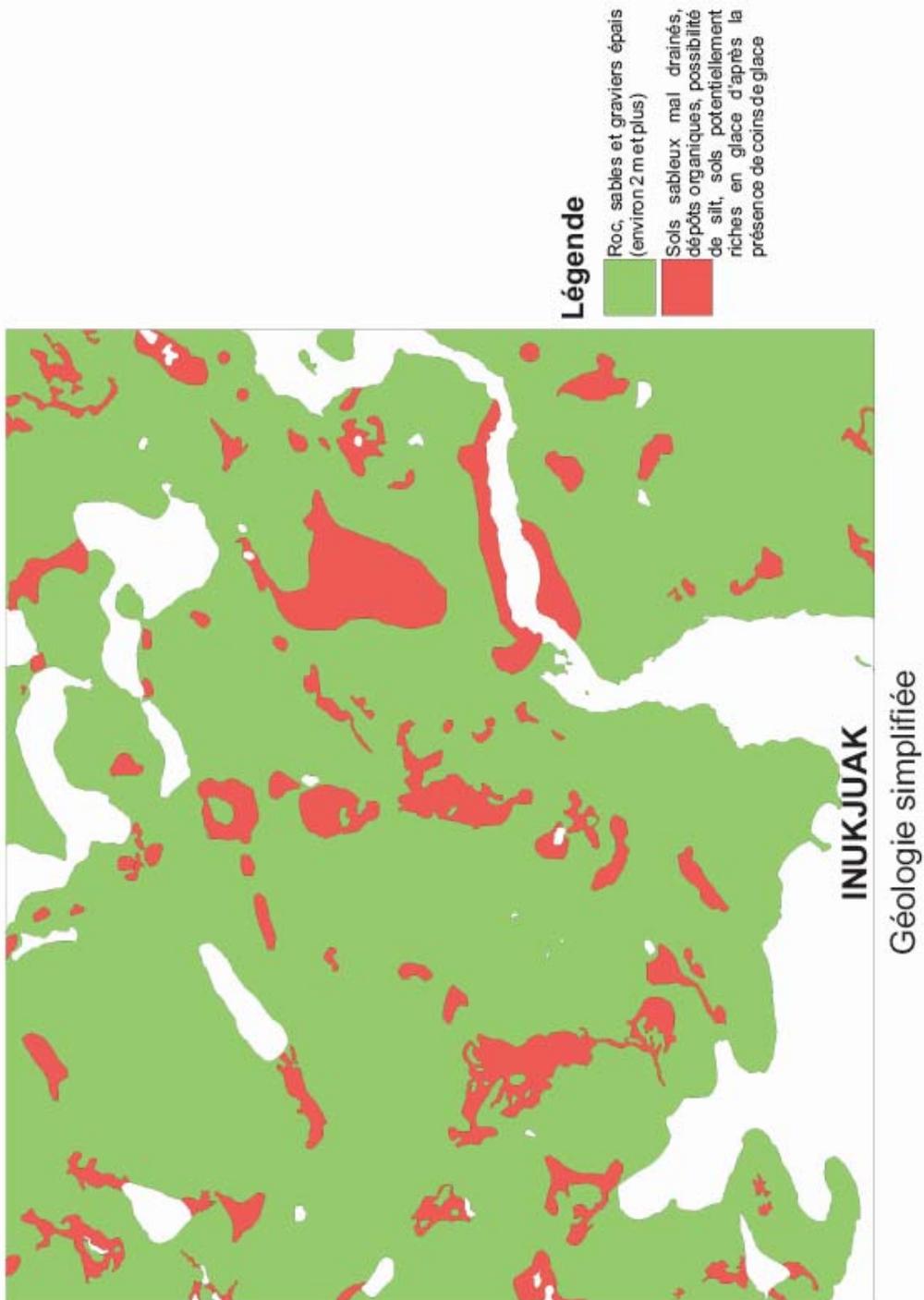


Figure 8 Carte de géologie simplifiée d’Inukjuak

Puvirnitug

Le village de Puvirnitug est construit principalement sur une assise rocheuse recouverte d'un till remanié ou de dépôts littoraux émergés. Ce roc et ces dépôts forment des crêtes basses et relativement planes. Entre ces crêtes, les terrains bas consistent en champs de blocailles déposés autrefois par les glaces flottantes et en terrains humides reposant sur des argiles marines riches en glace. L'aéroport, les routes et les nouveaux développements se situent déjà tous sur les terrains surélevés et évitent les terrains bas. Quelques crêtes ont été cartographiées comme des buttes de till remanié, c'est-à-dire de accumulations d'un dépôt mal trié avec une fraction silteuse et sableuse et contenant de nombreux cailloux et blocs. La teneur en glace de ces tills n'a jamais été évaluée, fautes de forages adéquatement échantillonnés. Mais ces dépôts demeurent potentiellement susceptibles de connaître des tassements en cas de dégel (Figure 9).

Compte tenu d'un niveau de connaissance plutôt faible sur les détails de la géologie de surface et des caractéristiques internes du pergélisol, seuls les affleurements rocheux sont considérés comme totalement stables et sont donc représentés en vert sur la carte de géologie simplifiée. Les dépôts de till (remaniés lors de la régression marine) pourraient être utilisés vraisemblablement comme aires d'entreposage ou pour des constructions légères sans fondation, après une évaluation plus poussée. Ils ont été représentés en jaune. Les terrains bas sableux et blocailleux ainsi que les terrains humides qui, selon nos quelques sondages sont sur un fond argileux riche en glace, ainsi que les champs de polygones, sont regroupés dans les zones non recommandables, en rouge (Figure 10).

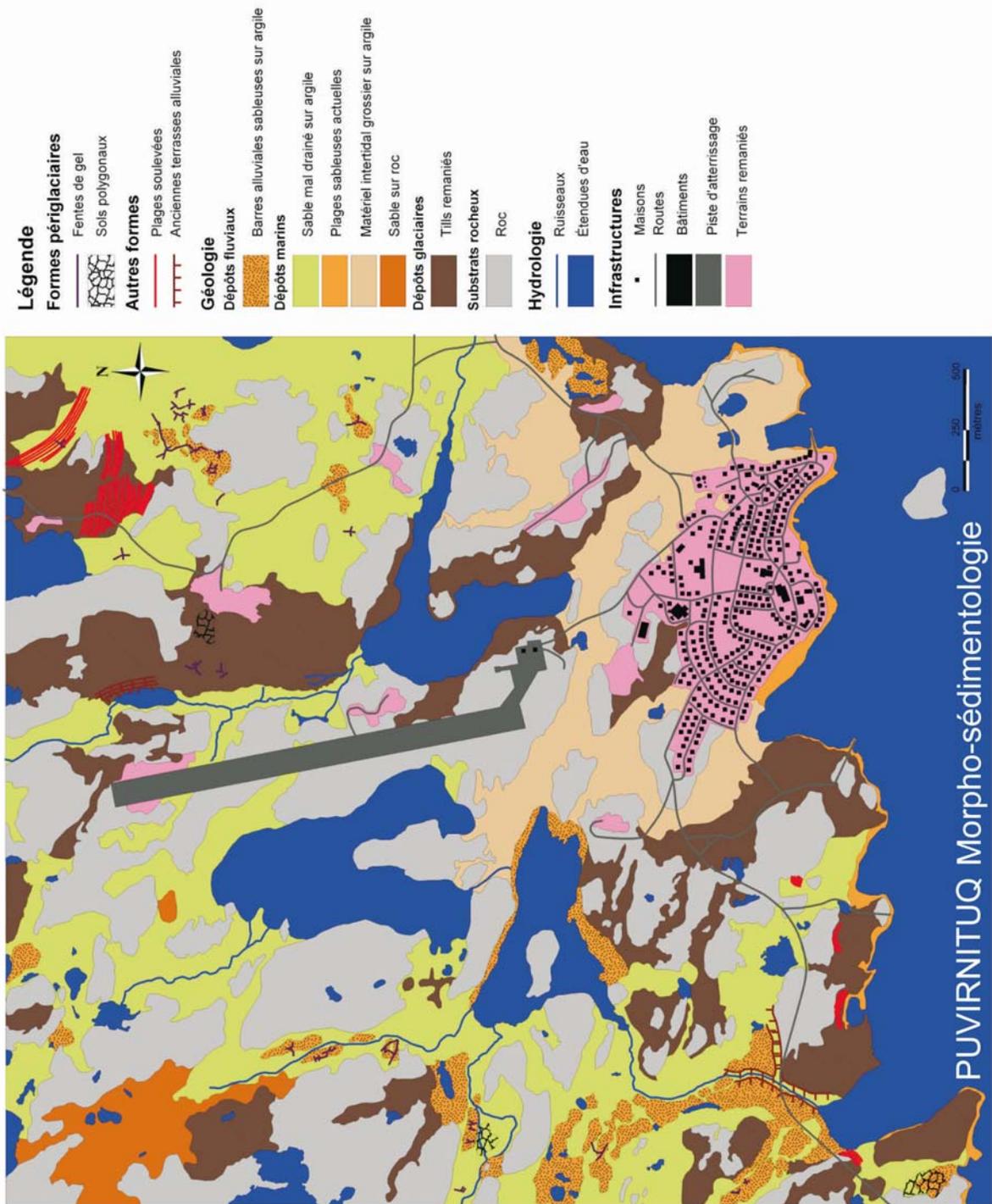


Figure 9 Carte morpho-sédimentologique de Puvirnituq

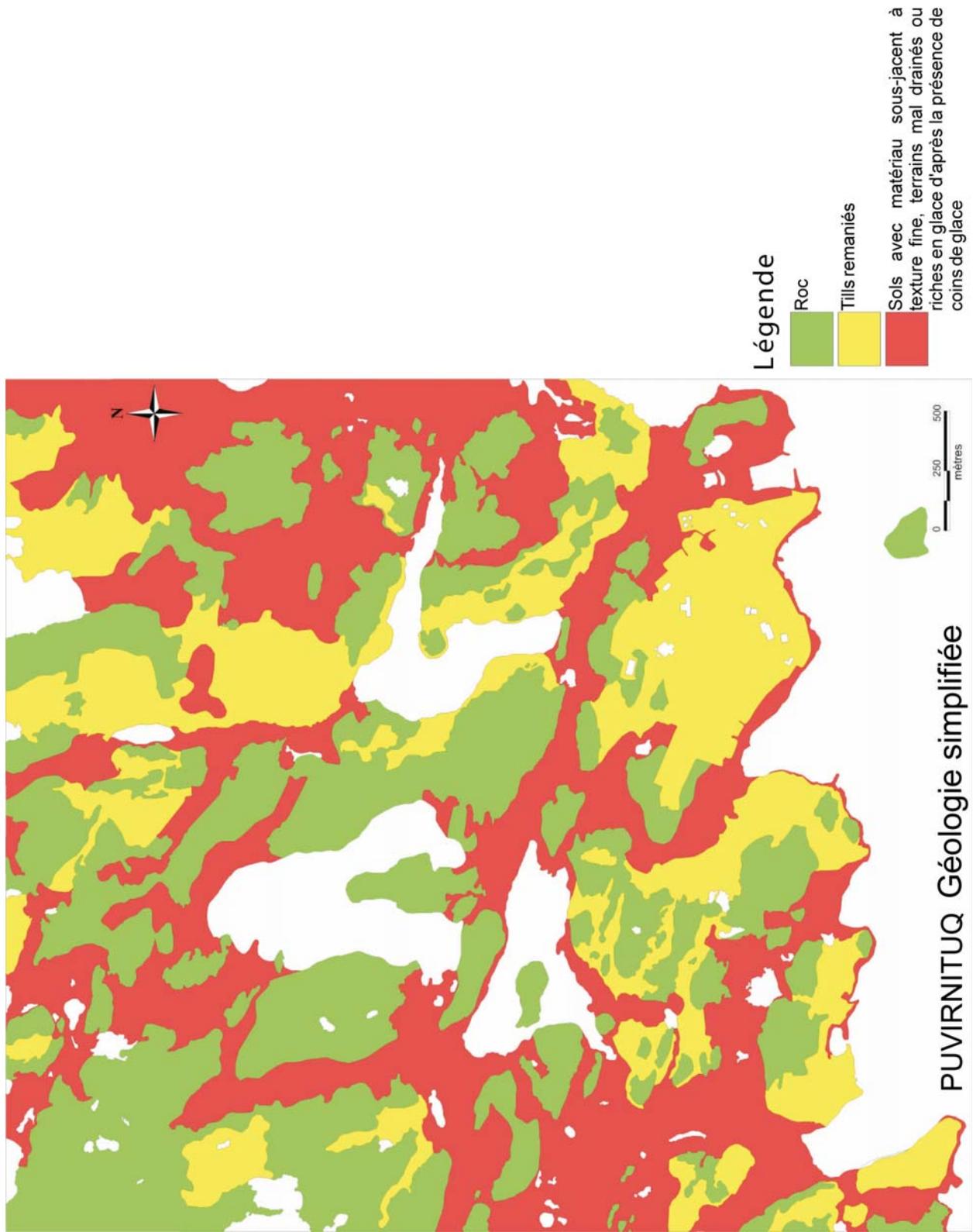


Figure 10 Carte de géologie simplifiée de Puvirnituk

Akulivik

Dans sa partie ouest, le village est installé sur une péninsule rocheuse. Par endroits, le roc est recouvert de dépôts sableux peu épais. La moitié est du village est quant à elle construite sur un sol sableux dont l'épaisseur n'est pas connue et est certainement variable. Un sondage à la pelle mécanique entre les maisons et la berge de la rivière Illukotat en août 2005 (triangle vert sur la carte) a révélé 1.2 m de sable coquilliers avant d'atteindre le front de dégel. On ne sait donc pas l'épaisseur totale du sable et s'il y a ou non présence de sédiments plus fins et gélifs en dessous. Le long de la route conduisant à l'aéroport, près de l'aréna, les sables de surface sont minces et recouvrent des silts riches en glace, comme l'ont révélé deux autres trous à la pelle mécanique (triangles verts). Plus loin vers l'est, l'aéroport est construit sur une plaine de sable grossier riche en coquilles et sillonnée de fentes de gel et de coins de glace. L'épaisseur de cette couche de sable superficielle est mal connue; un forage à l'emplacement de la tour de communication lors de la construction de l'aérogare suggère qu'elle ne fait que 4 m et repose sur un substrat argileux. Un autre forage (en destructif, donc sans observation de carotte, pour l'installation d'un câble à thermistance), à mi-longueur de la piste sur son côté nord, suggère que le sable peut atteindre 15 m d'épaisseur sur le roc. En quelques endroits, par exemple sous l'extrémité est de la piste d'atterrissage, le sable recouvre aussi du till, un matériau gélif. Il subsiste donc une large imprécision, et probablement une large variation, dans l'épaisseur des couches de sables superficielles. Ces sables en surface sont sillonnés par des fentes de gel sous lesquelles existent des coins de glace. Les dépôts plus fins en dessous contiennent de la glace de ségrégation.

De vastes superficies parsemées d'ostioles sont susceptibles d'avoir des dépôts gélifs juste sous la surface. Les terrasses le long des deux rives de la rivière Illukotat supportent de nombreux petits lacs, des surfaces humides et des réseaux de coins de glace. Les dépôts meubles qui recouvrent les versants des collines rocheuses sont affectés par la gélifluxion et le colluvionnement (figure 11).

Selon des critères géomorphologiques et granulométriques, la géologie simplifiée de la région se résume à deux grandes catégories (figure 12):

- 1- D'une part, des sols rocheux et/ou grossiers épais qui ne contiennent ni fraction sédimentaire fine, ni phénomènes géomorphologiques périglaciaires actifs (vert).
- 2- D'autre part, des terrains contenant des fractions fines importantes, de la glace, qui sont potentiellement inondables ou qui présentent des phénomènes périglaciaires actifs. Les processus périglaciaires que l'on y rencontre le plus couramment sont les coins de glace, les ostioles et le thermokarst. Ils traduisent la présence de glace dans le sol, et leur présence rend les surfaces sur lesquels ils se trouvent impropres à la construction. On notera que les coins de glace sont préférentiellement dans des terrains sableux, tandis que les ostioles se présentent surtout dans des dépôts de sables et graviers, et sont indicatrices d'une fraction sédimentaire plus fine dans le sol (rouge).

Le zonage a été fait au mieux sur les photos aériennes, mais des incertitudes vont continuellement persister dépendant du niveau de détail requis pour des projets d'aménagement précis.

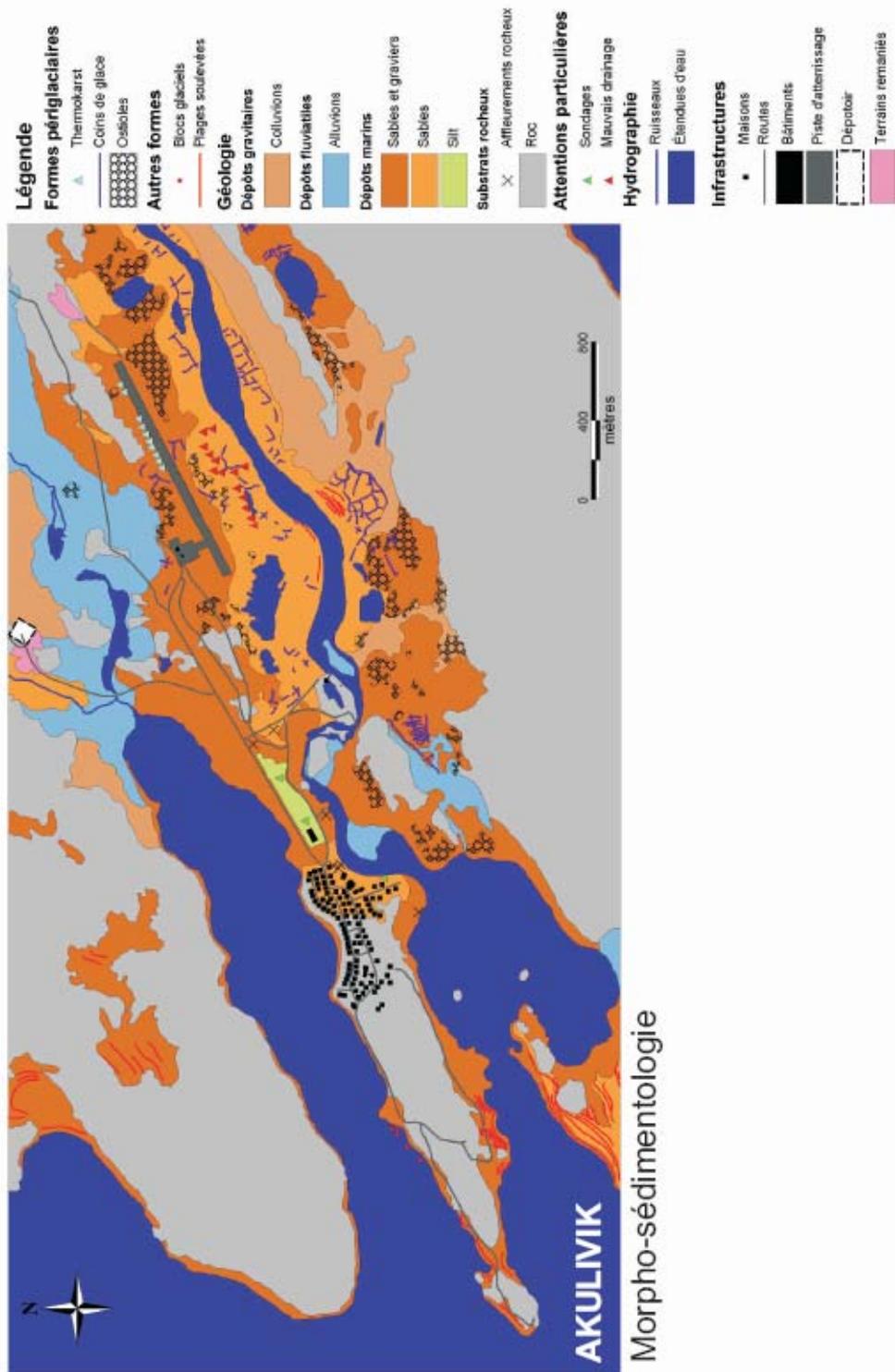


Figure 11 Carte morpho-sédimentologique d'Akulivik

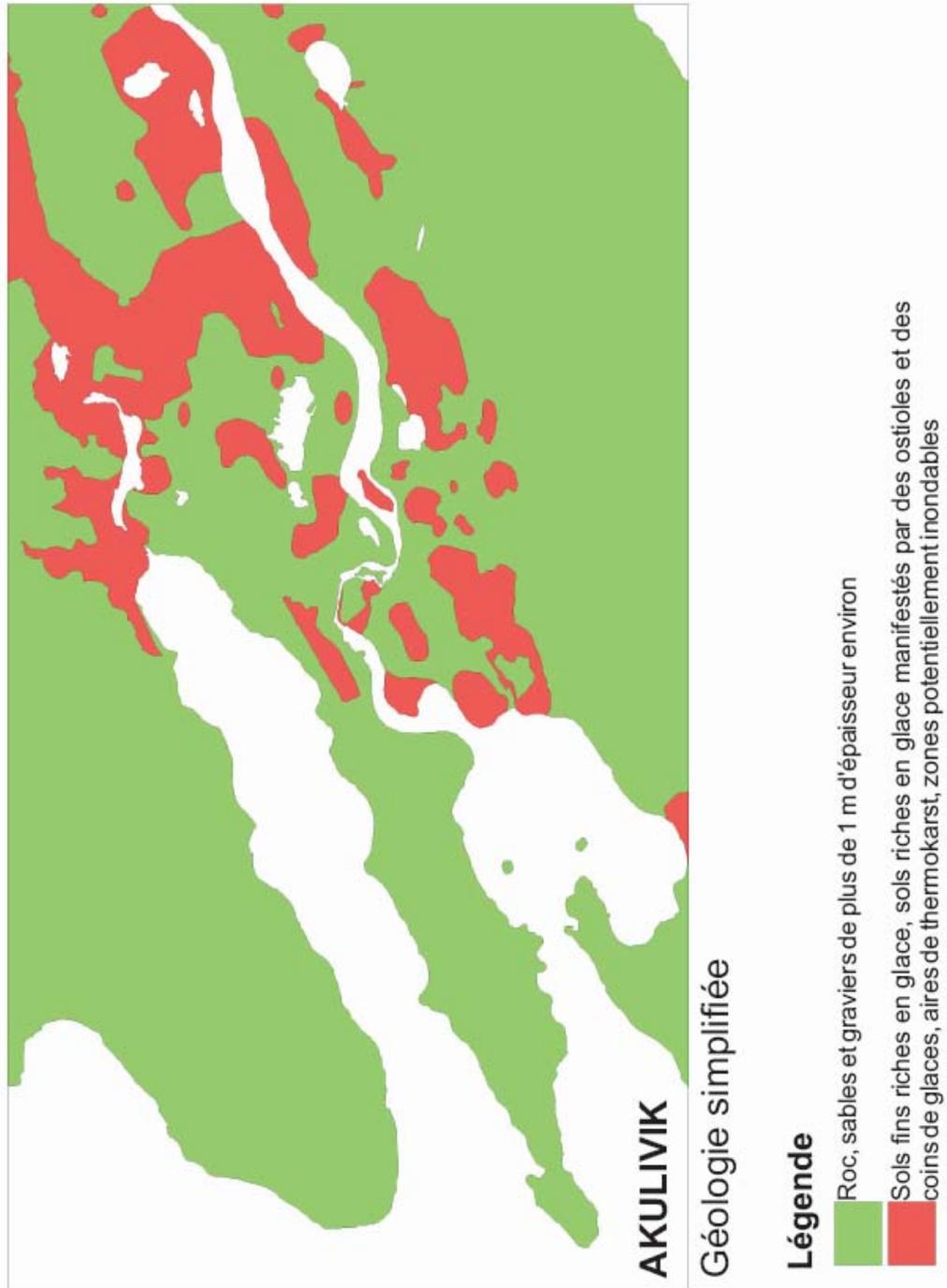


Figure 12 Carte de géologie simplifiée d'Akulivik

Ivujivik

La communauté d'Ivujik est installée en quasi-totalité sur un terrain rocheux à la topographie légèrement ondulée. À quelques endroits, il existe des petites vallées étroites et/ou faiblement incisées dans lesquelles se sont logés des sédiments grossiers sablo-graveleux. C'est sur ce type de dépôt de surface que le village a été construit, tandis que l'aéroport repose à 90% sur le roc. Un peu d'argile a été observée au nord-ouest du village, entre celui-ci et la piste d'atterrissage (figure 13).

En conséquence, deux types de terrain peuvent être catégorisés concernant la géologie simplifiée (figure 14) :

- 1- D'une part le roc et les sables et graviers (vert);
- 2- D'autre part les sols montrant une texture fine et les terrains mal drainés qui y sont associés, et donc peu propices à la construction (rouge).

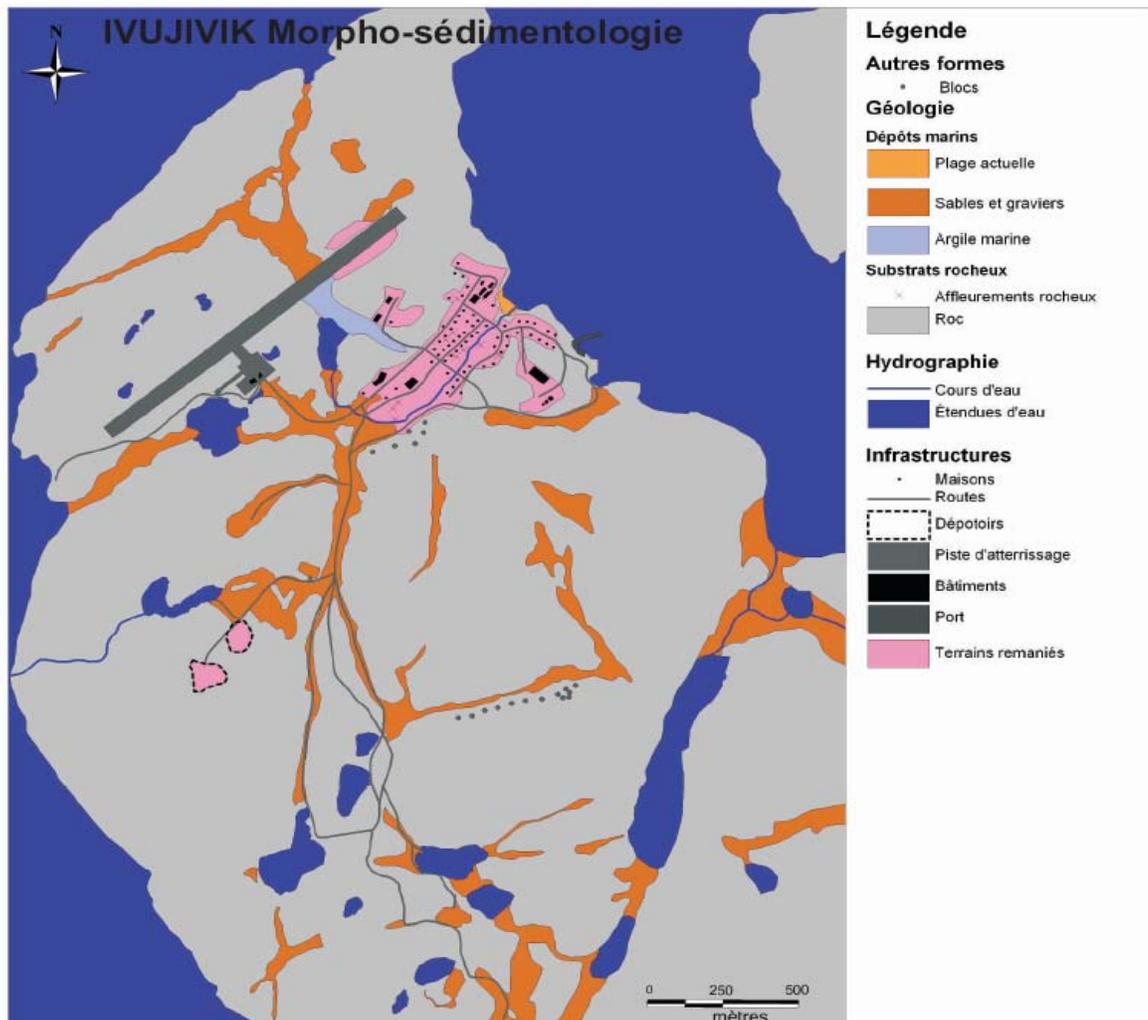
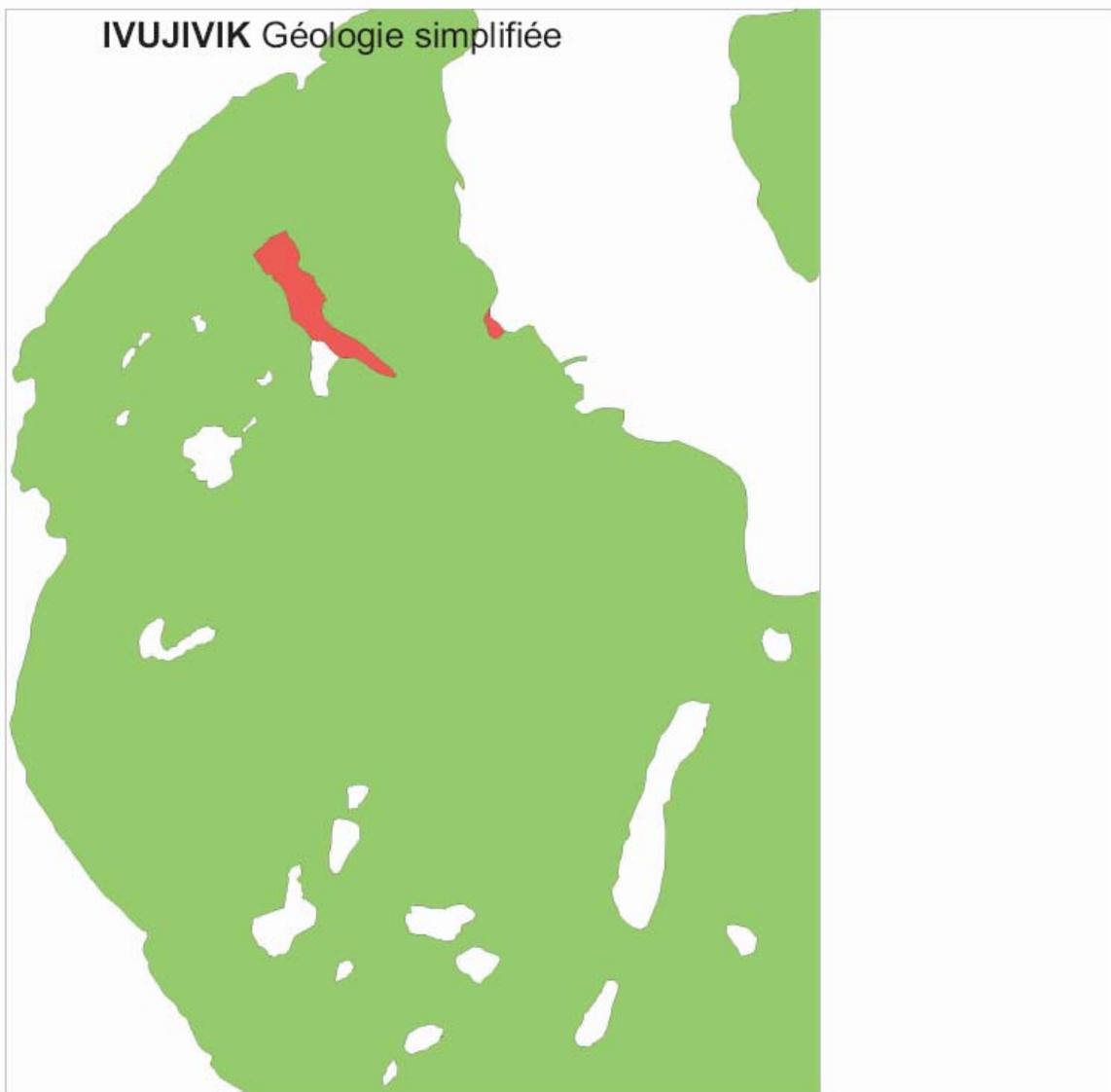


Figure 13 Carte morpho-sédimentologique d'Ivujivik



Légende

-  Roc, sables, graviers
-  Sol à texture fine ou mal drainé

Figure 14 Carte de géologie simplifiée d'Ivujivik

Salluit

Le lecteur est référé au rapport détaillé sur les conditions de pergélisol préparé pour le compte du Ministère de la sécurité publique du Québec par Allard et al. (2004).

Kangijsujuaq

Kangijsujuaq est situé sur la rive de la baie de Wakeham, un fjord afférent au détroit d'Hudson. Le village est entouré de hautes parois rocheuses. Il a été construit sur deux types de terrain, à savoir sur le roc pour sa moitié nord et sur des sables et graviers littoraux pour sa moitié sud. L'aéroport est, quant à lui, situé au sommet d'une colline rocheuse qui domine la vallée. Trois ruisseaux à chenaux multiples traversent le secteur du village. Le premier plus, au nord, draine le pied du versant montagneux. Il est constitué d'un lit étalé sur fond de galets et de blocs. Il s'agit d'une plaine inondable lors de la fonte printanière. Le second, qui traverse le village, est l'exutoire d'un grand lac en amont de la communauté; dans le village, il coule sur le roc jusqu'à la mer. Le dernier ruisseau, au sud, longe le pied d'une haute paroi rocheuse. Son cours traverse une zone sableuse sillonnée de coins de glace. De nombreux suintements d'eau au niveau de la plus basse terrasse sableuse provoquent la formation saisonnière de buttes à noyaux de glace (frost blisters) (figure 15). Le soulèvement de ces buttes en hiver a provoqué la déformation du pipeline qui relie les réservoirs de carburant au littoral. À l'été, leur affaissement crée une topographie en continuel dérangement dans un sol saturé en eau.

L'analyse d'une coupe stratigraphique à environ 6 m d'altitude dans la berge sud du ruisseau a permis de voir que les sables dans le secteur au sud du village font au moins 1,7 m d'épaisseur. Par contre, nos observations sur l'estran, à marée basse, montrent que celui-ci s'étend sur une surface d'argile marine. Il est logique de penser que cette surface s'étend sous les sables au sud du village, qui ne doivent faire que quelques mètres d'épaisseur au maximum. En somme, la plaine sableuse au sud du village, avec ses coins de glace, ses « frost blisters », ses dépressions humides et la présence possible d'argile marine sensible en profondeur, ne peut être occupée en toute sécurité. La progression du village dans cette direction devrait être supportée d'études supplémentaires.

Dans ce contexte, deux de catégorie de terrain ont été déterminées (figure 16):

- 1- Le roc et les dépôts sablo-graveleux secs dont l'épaisseur excède apparemment 1 mètre (vert)
- 2- Les sols potentiellement riches en glace tel qu'indiqués par la présence d'ostioles, de buttes à glace d'injection ou de fentes de gel à coins de glace. Y sont inclus également les terrains humides et potentiellement inondables soit par des cours d'eau, soit par la mer (rouge).

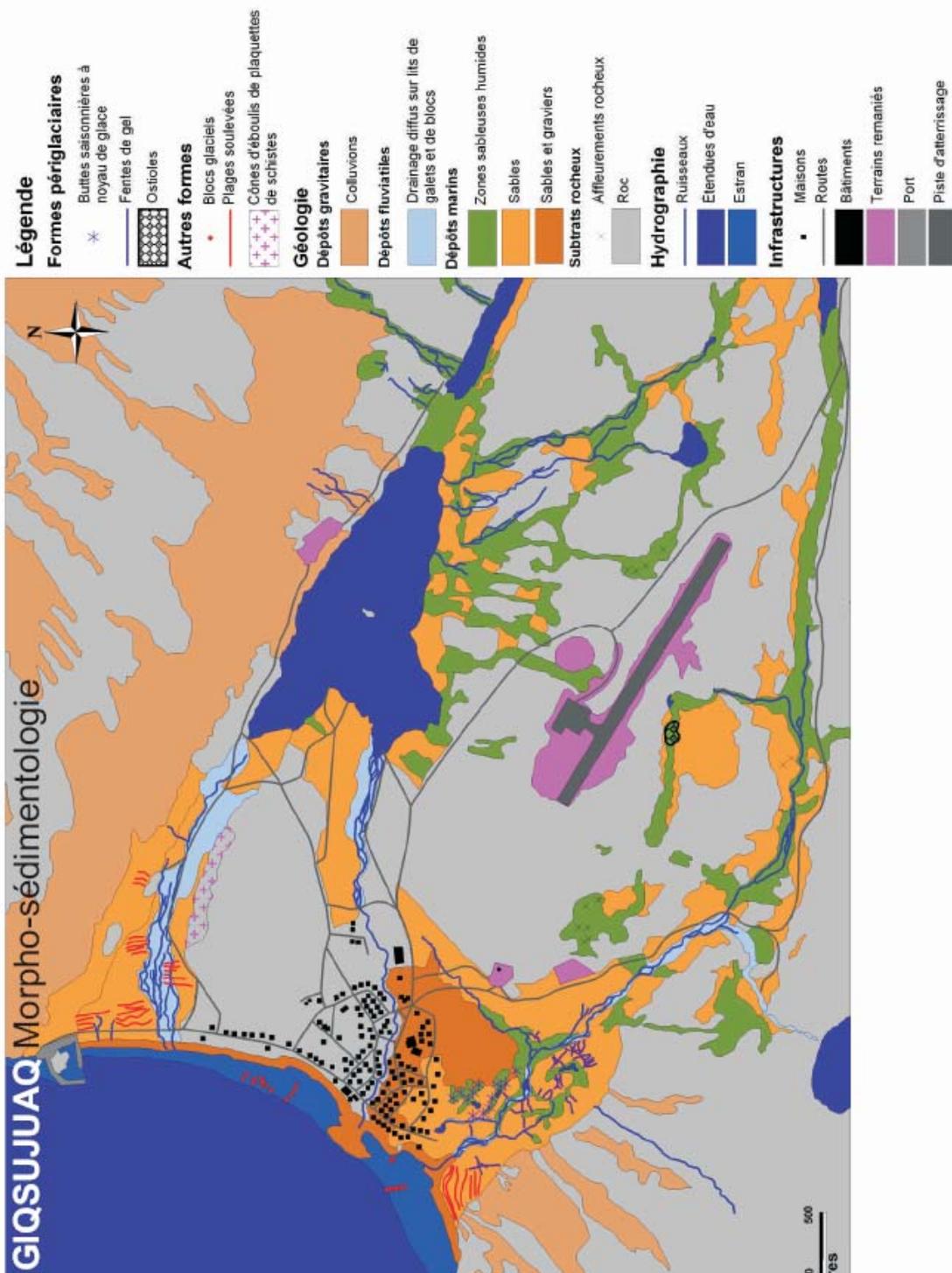


Figure 15 Carte morpho-sédimentologique de Kangiqsuujuaq

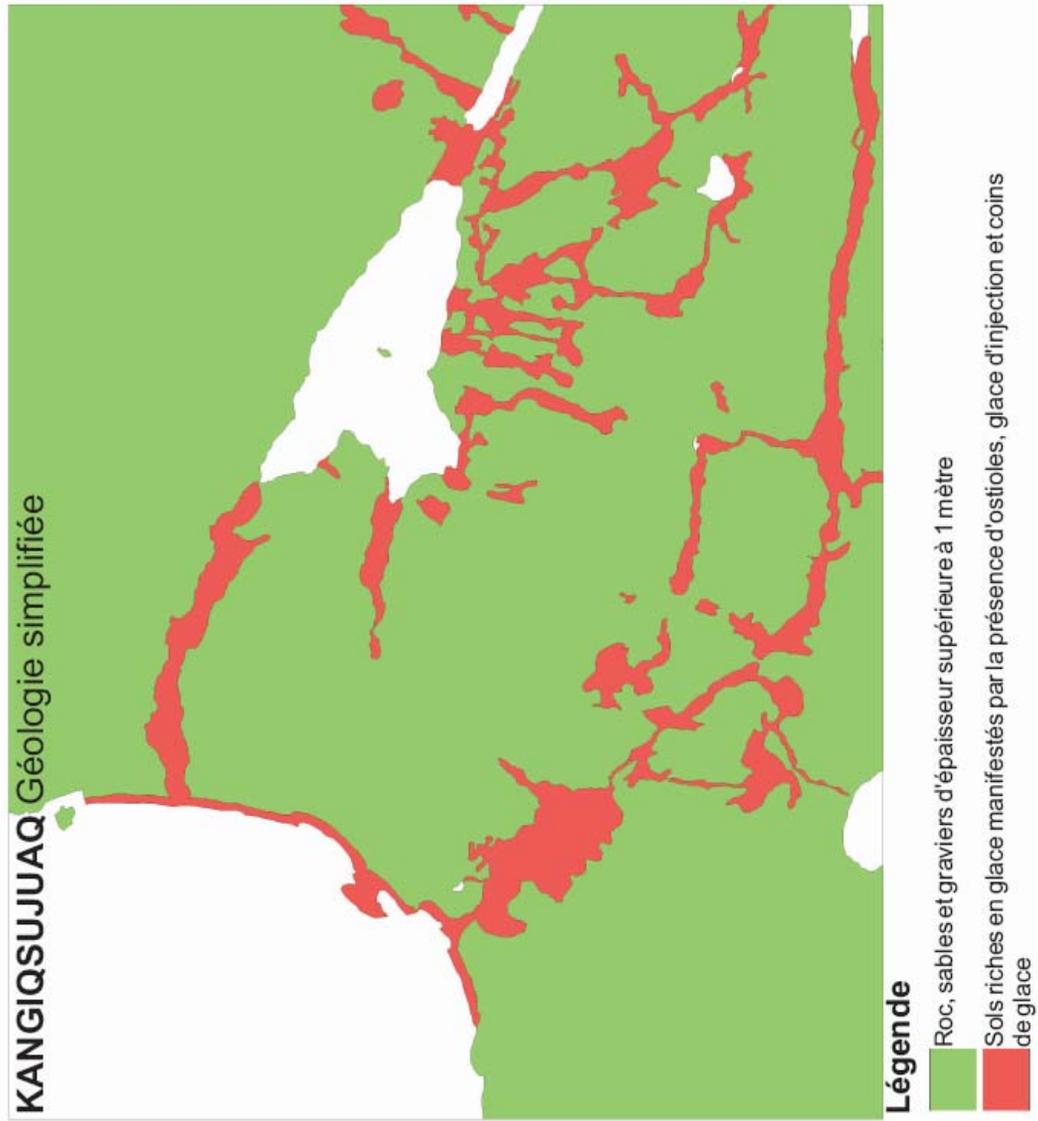


Figure 16 Carte de géologie simplifiée de Kangiqsuujuaq

Quaqtaq

Le village de Quaqtaq occupe des terrains en fond de vallée entre des crêtes rocheuses. La partie la plus ancienne de la communauté s'étire le long d'un ruisseau bordé de dépôts sableux grossiers identifiés comme des sables et graviers littoraux anciens et des alluvions grossières, anciennes aussi et bien drainées. Le roc affleure à de nombreux endroits le long du ruisseau dans cette partie du village, ce qui indique que le sol est mince. Les principaux dépôts meubles des alentours se rencontrent au voisinage de la piste d'atterrissage. Il s'agit de sables et graviers littoraux épais de quelques mètres et reposant fort probablement directement sur le roc. En amont du village coule une rivière au fond plat sur un substrat de sable grossier et de blocs. Cette surface connaît un fort écoulement au moment de la fonte printanière, lequel vient certaines années inonder le fossé qui ceinture la piste d'atterrissage (ex. en mai 2005). Une visite des nombreux chemins qui rayonnent à partir du village n'a permis de voir que des dépôts sableux et graveleux minces et dispersés sur une surface rocheuse. Aucun affleurement de sédiments argileux ou silteux n'a été trouvé.

Les principales formes périglaciaires observées sont des polygones dans les sables près de la piste d'atterrissage ainsi que des buttes à noyaux de glace qui se forment dans la plaine inondable près de l'extrémité sud de la piste, révélant les problèmes de drainage de cette plaine inondable (figure 17).

La géologie a été simplifiée selon deux catégories de terrain (figure 18) :

- 1- Les sites rocheux ou avec des dépôts de sables et graviers minces sur roc.
- 2- Les sites où les sols sont riches en glace (présence de buttes saisonnières ou de coins de glace) et les terrains mal drainés ou pouvant être sujet à inondation. Il est à noter toutefois que la communauté a déjà pris un peu d'expansion avec succès sur de tels terrains grâce à des remblaiements avec du matériel prélevé dans une carrière.

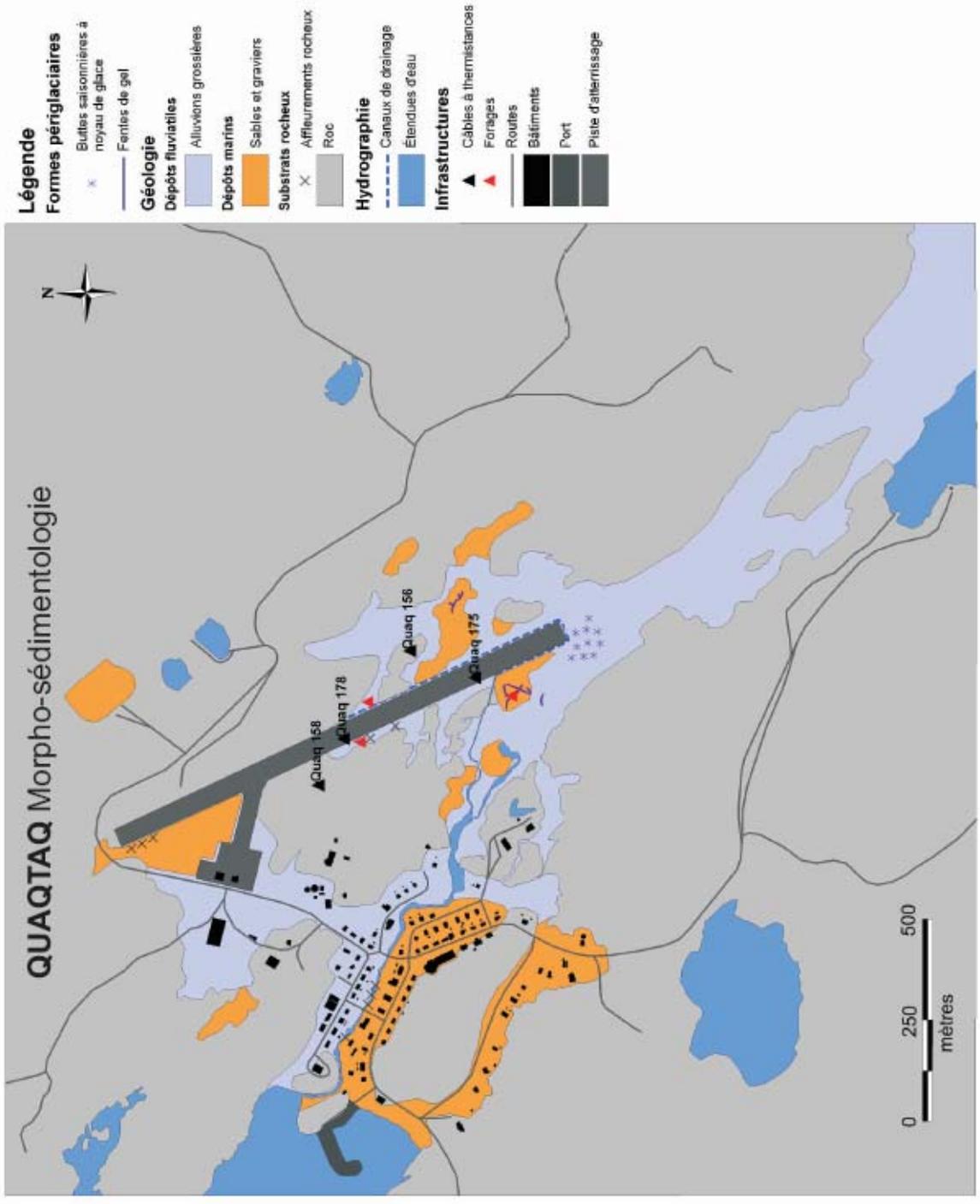


Figure 17 Carte morpho-sédimentologique de Quaqtaq

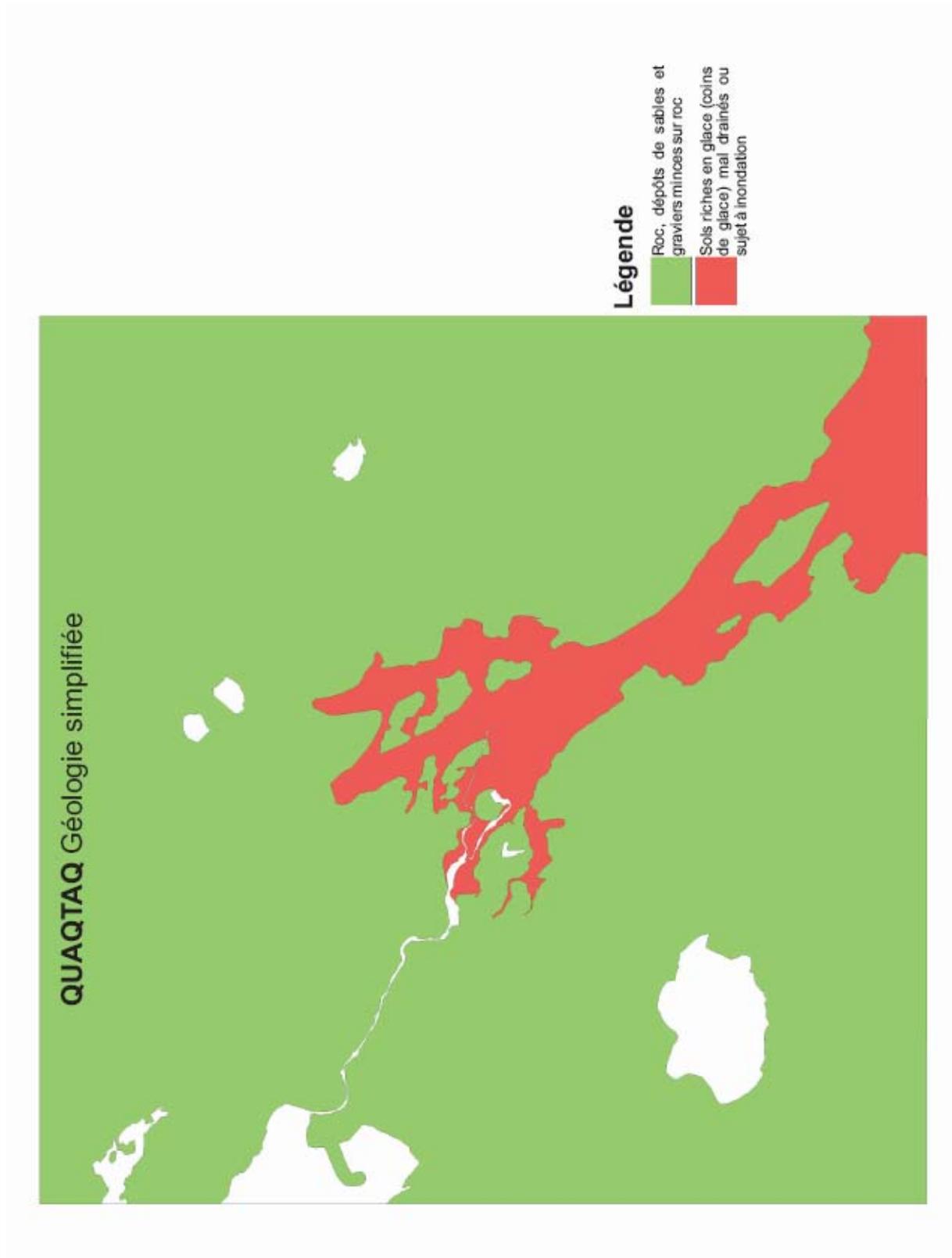


Figure 18 Carte de géologie simplifiée de QUAQTAQ

Kangirsuk

Le village de Kangirsuk est disposé en deux quartiers situés de part et d'autre d'une baie sur la rive nord de la rivière Arnaud. La quasi-totalité des constructions reposent sur des dépôts grossiers très minces sur le roc, voire sur le roc lui-même qui consiste en un schiste métamorphique plutôt friable qu'il est souvent possible de travailler en surface avec de la machinerie. Le roc est prédominant en terme de superficie dans tout le secteur. Les dépôts de surface sont d'origine glaciaire (till), d'origine marine (sables fins à moyens et sables graveleux avec blocs) et, enfin, d'origine fluviatile, le long des cours d'eau (dépôts meubles pouvant contenir des galets et des blocs).

Localisés sur les hauteurs mais dans des creux de la topographie rocheuse, la plupart des terrains meubles portent en surface des ostioles à bourrelets tourbeux. De plus, d'innombrables petites rigoles en surface révèlent l'imperméabilité du pergélisol sous-jacent. Ces ostioles sont diagnostiques de la présence d'une fraction fine dans les dépôts et, par conséquent, d'un contenu non négligeable en glace de ségrégation. L'expérience vécue par Transports Québec à la piste d'atterrissage démontre hors de tout doute que la fonte du pergélisol dans un matériau ponctué d'ostioles en surface (en l'occurrence un till; Allard et al. 2007) entraîne des tassements de terrain. De tels sols sont difficiles à caractériser car ils nécessitent des carottages dans un terrain très pierreux. Un défi technique lorsque les moyens sont limités.

Des fentes de gel, indicatrices de coins de glaces, sont présentes dans les dépôts de sable littoraux au nord-ouest de la piste d'atterrissage. Enfin, par endroits dans le roc, des buttes d'éjections rocheuses peuvent être observées; ces buttes se forment au fil des ans avec le regel annuel dans un roc fissuré qui retient de l'eau dans sa structure (figure 19). La sensibilité du roc local à ce genre de processus implique que des affaissements peuvent se produire sous des bâtiments chauffés construits sur des dalles de béton suite à la fonte de glace en profondeur dans les diaclases et les plans de stratification. Un remblai peut être nécessaire, ou encore un dégel provoqué au cours des deux ou trois ans précédant la construction.

La géologie simplifiée distingue (figure 20):

- 1- Les secteurs où le roc affleure et où il n'est recouvert que de sables et de sables graveleux épais (vert).
- 2- Des aires identifiées comme étant composées de till ou de sables marins et où les ostioles sont rares. Une investigation plus poussée (forages) révélerait soit leur potentiel, soit leur inaptitude pour le développement ou comme ressources de matériel granulaire (jaune).
- 3- Les terrains où des formes périglaciaires indiquent la présence de glace (ostioles, fentes de gel) dans le sol, ainsi que les terrains mal drainés ou pouvant être inondés. Encore là, les sondages font défaut pour avoir une connaissance vraiment adéquate des propriétés du pergélisol (rouge).

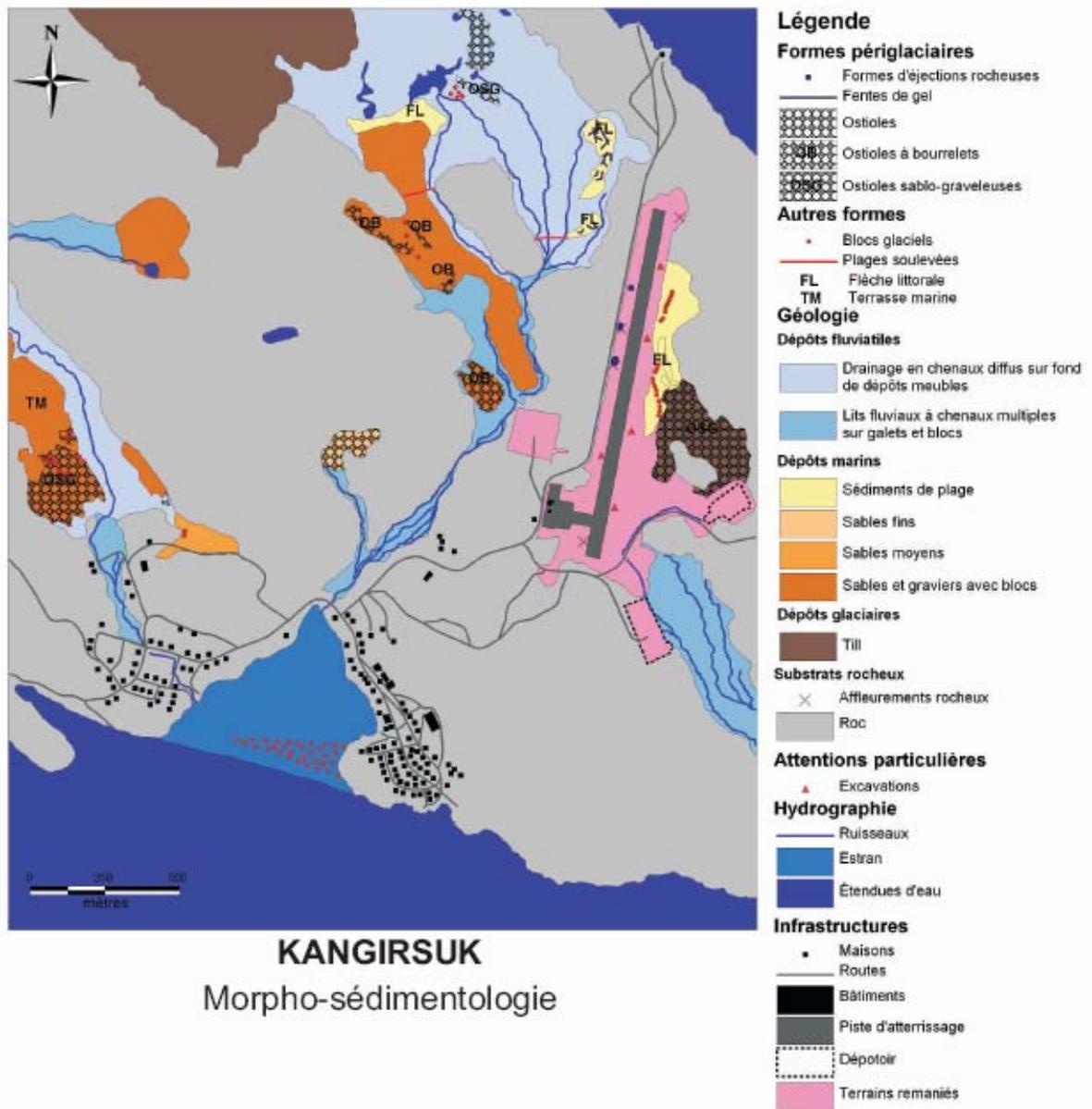


Figure 19 Carte morpho-sédimentologique de Kangirsuk



KANGIRSUK
Géologie simplifiée

Légende

- Roc, sables et graviers épais
- Zone demandant une investigation approfondie
- Sols à fort contenu en glace avec présence d'ostioles et coins de glace, terrains mal drainés ou sujet à inondations

Figure 20 Carte de géologie simplifiée de Kangirsuk

Aupaluk

La communauté d'Aupaluk est établie sur des sédiments de plage constitués de sable grossier pour l'essentiel. Tous les dépôts meubles sont en effet hérités de littoraux soulevés par l'émersion marine post-glaciaire. Les crêtes de plage soulevées abondent dans le paysage. Au plus près du littoral, on retrouve l'estran, la plage actuelle et des sables intertidaux. Plus en retrait, en allant vers l'intérieur des terres se trouvent des sédiments littoraux de plage. Ces dépôts non gélifs sont épais de plusieurs mètres, en particulier le long de la piste d'atterrissage. Dans certains secteurs, au nord et à l'est du village, au pied des collines rocheuses, les affleurements nombreux indiquent une couverture sableuse plus mince sur le roc.

D'autres secteurs, par contre, sont constitués de terrains relativement plats, légèrement bosselés et parsemés de petits lacs. Il s'agit d'anciennes zones intertidales. Le drainage est mauvais dans ces secteurs et on y trouve des sols organiques minces (environ 30 cm), voire un peu de silt dans les creux de la microtopographie.

Les réseaux de polygones à coins de glace sont les principales formes de terrain associées à la présence du pergélisol. Ils abondent dans le secteur de l'aéroport. Leur fonte entraînerait des affaissements de terrain et des modifications du drainage de surface. Le lac situé juste au nord de la piste d'atterrissage connaît sporadiquement des baisses de niveau suite à l'écoulement d'eau le long de coins de glace en thermo-érosion. Heureusement, l'eau qui s'écoule du lac resurgit dans le terrain humide quelques centaines de mètres au nord-est, dans un bassin versant de direction opposée au village. Des buttes saisonnières à noyau de glace (« frost blisters ») se forment aussi à l'extrémité sud de la piste, au débouché du fossé qui en draine le flanc est (figure 21). Leur fonte en été entraîne de petits affaissements de terrain qui pourraient un jour devenir problématiques en provoquant l'érosion de coins de glace sous la piste.

La géologie régionale a été simplifiée en deux catégories (figure 22) :

- 1- Socle rocheux, et sable et graviers épais, bien drainés et non gélifs (vert).
- 2- Sols à texture fine, mal drainés ou riche en glace, principalement les anciens estrans soulevés. Les aires à forte concentration de coins de glace et la zone de « frost blisters » ont aussi été cernées sur les photos aériennes et cartographiées comme non propices au développement (rouge).

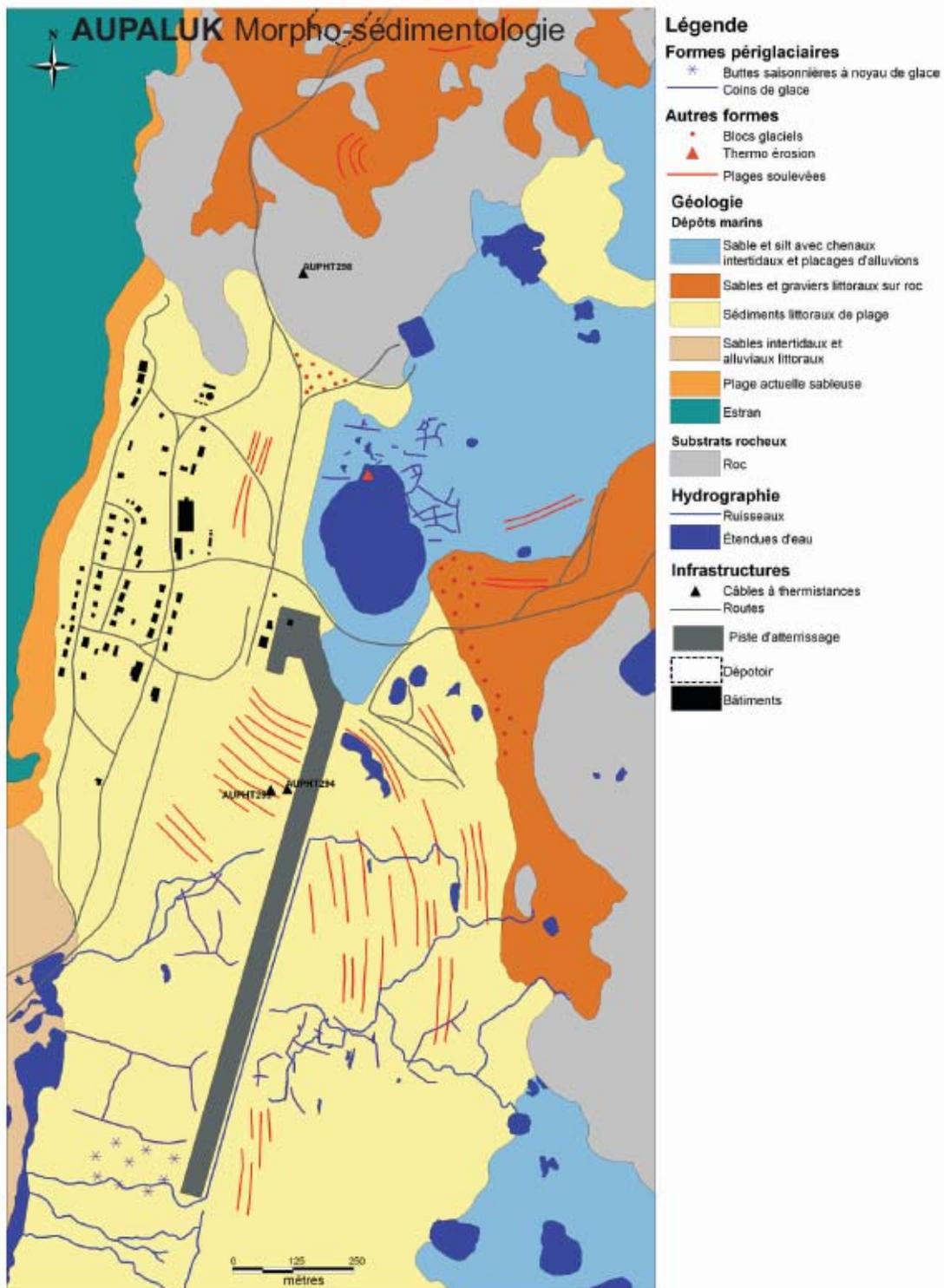


Figure 21 Carte morpho-sédimentologique d'Aupaluk



Figure 22 Carte de géologie simplifiée d'Aupaluk

Tasiujaq

Le village est construit à l'embouchure de la rivière Bérard sur les rives de l'immense Baie aux Feuilles. L'estran fait plusieurs kilomètres de largeur en raison d'un marnage marégraphique dans les quinze mètres et pouvant atteindre tout près de 20 m lors des grandes marées. La marée a aussi joué un rôle important par le passé sur les terres aujourd'hui émergées et sur la basse terrasse sur laquelle se situe maintenant la communauté (Vinet, en prép.).

En effet, le terrain dans le village même consiste en une plaine située un peu au-dessus du niveau des grandes marées. Cette plaine est la surface émergée d'un ancien estran. (figure 23). Le terrain est caractérisé par une plaine humide basse à l'emplacement des anciens chenaux de marées et par de petits monticules graveleux, avec des blocs et, aussi, des poches de silt, disposés entre les paleo-chenaux et accumulés autrefois par les glaces flottantes. Plusieurs sondages et des observations dans les coupes stratigraphiques le long du littoral et dans les fossés de drainage nous ont permis de réaliser la grande hétérogénéité spatiale des conditions de terrain. 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. Ce mélange 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.

Une autre observation importante dans les coupes stratigraphiques le long de la rivière est la présence sous les dépôts intertidaux, à quelques mètres de profondeur, d'une surface d'érosion dans l'argile marine post-glaciaire. On ne connaît pas l'épaisseur de cette argile ni son contenu réel en glace.

Un examen des chevalets sous les maisons a laissé voir que bon nombre d'entre elles ont connu des tassements par le passé, comme le témoignent les nombreux coins de bois insérés entre les chevalets et les châssis. L'ancien garage municipal construit sur dalle de béton n'est plus utilisé suite au tassement de son plancher et à la déformation de ses portes.

Le nouveau garage municipal et les nouvelles rues construites dans la partie nord du village au pied du versant de la vallée bénéficient de la présence d'affleurement rocheux (figure 23). Il existe une réelle possibilité d'expansion sur du terrain solide sur cette hauteur en marge du village actuel. La municipalité met présentement à profit l'existence d'un bon gisement de sable et gravier fluvioglaciers dans le voisinage de l'aéroport pour procéder à du remplissage et rehausser le niveau du terrain pour l'expansion urbaine. Autour de l'école construite sur pieux, ce remplissage a pour effet de créer une dépression sous le bâtiment, qui y retiendra l'eau de fonte au printemps, un facteur susceptible d'accélérer la fusion du pergélisol en dessous.

En remontant la vallée vers l'aéroport, la route monte par paliers sur des terrasses, constituées pour certaines de dépôts fluvioglaciers, pour d'autres des sables et graviers déposés durant l'Holocène par la rivière Bérard. Beaucoup de ces terrains sont non gélifs et stables.

Parmi les processus géomorphologiques actifs, la tendance à la migration d'un méandre de la rivière Bérard menace sérieusement d'érosion la prise d'eau de la municipalité. Il faut aussi souligner que, vers l'est, la route récemment tracée en direction de la nouvelle infrastructure maritime passe sur des sols sensibles au dégel et à l'érosion thermique, notamment des tills. Sa stabilité future est pour le moins incertaine.

La géologie simplifiée comprend quatre classes (figure 24):

- 1- Le roc et les sables graveleux d'origine marine, propres à supporter des constructions (vert)
- 2- Des dépôts littoraux anciens mal drainés à cause de la présence du pergélisol et une petite étendue de sable éolien sur la rive sud de la rivière Bérard. Il n'est pas impossible qu'une préparation du terrain, du drainage ou du remplissage puisse permettre une utilisation dans le futur, mais il faudrait davantage de sondages. (jaune)
- 3- Les tills remaniés sous la limite marine sur les plateaux en dehors de la vallée de la rivière Bérard. Ces dépôts peuvent être plus ou moins instables au dégel mais néanmoins avoir une capacité portante après des travaux de préparation (rouge/jaune).
- 4- Les alluvions actuelles sur plaine inondable et les alluvions anciennes mal drainées sur les terrasses fluviales (rouge).

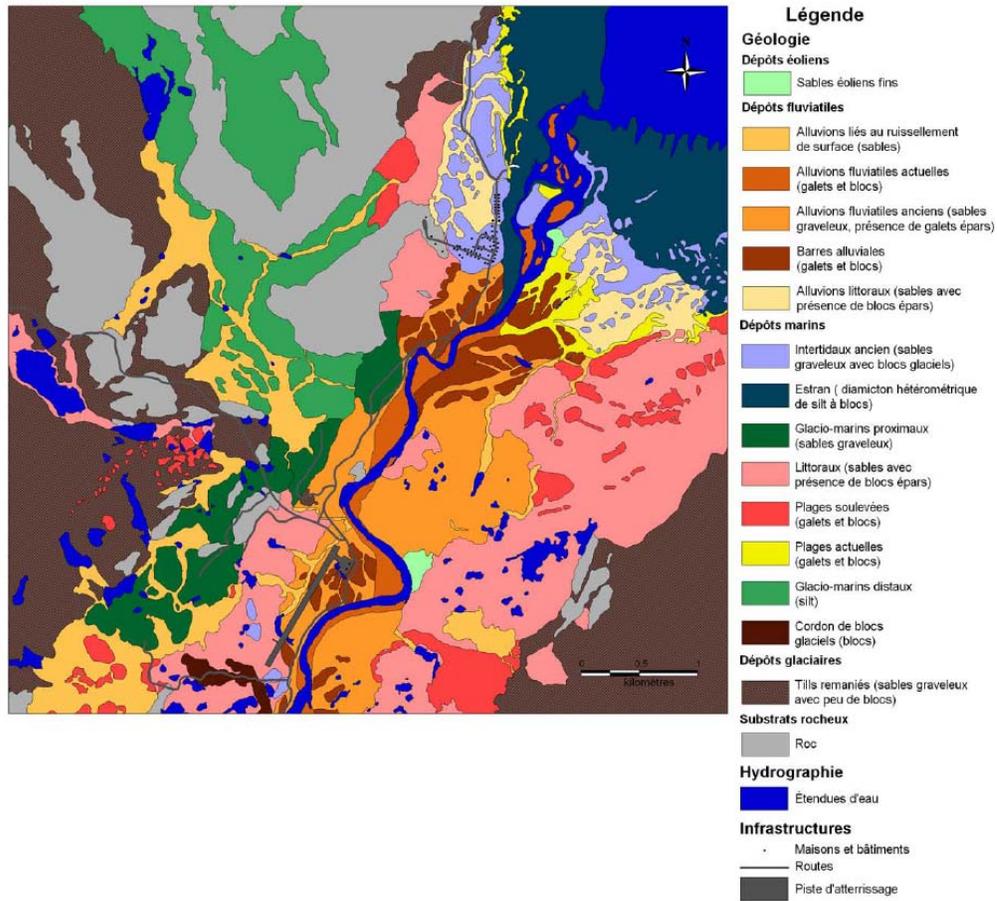
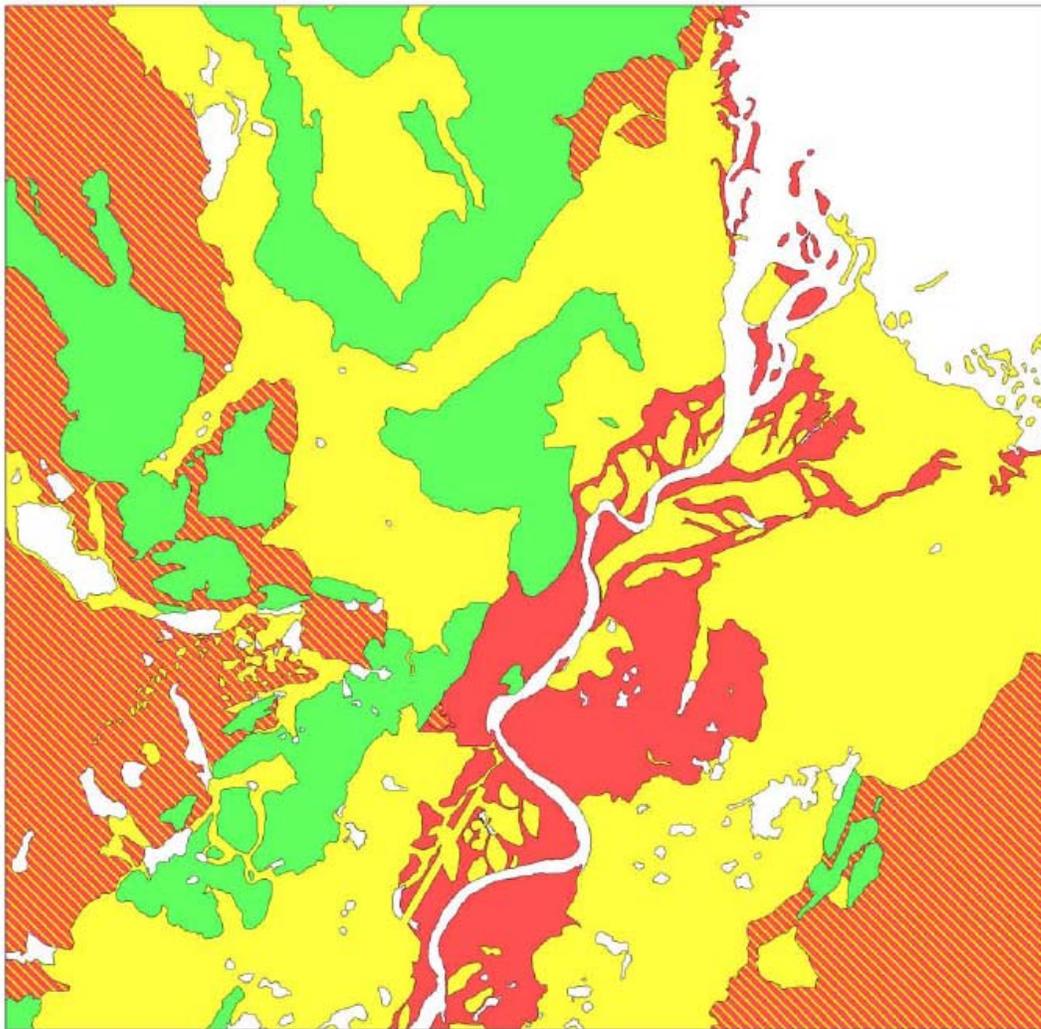


Figure 23 Carte morpho-sédimentologique de Tasiujaq



Légende

- Roc et sables graveleux d'origine glaciomarine
- Dépôts intertidaux et littoraux anciens à la surface mal drainée et sables fins d'origine éolienne
- Tills remaniés (sables graveleux avec un peu de blocs, contiennent une fraction fine potentiellement riche en glace, peuvent fluer au dégel)
- Alluvions actuelles de plaine inondable, alluvions anciennes mal drainées, plages actuelles recouvertes à marée haute

Figure 24 Carte de la géologie simplifiée de Tasiujaq

Kangiqsualujjuaq

La communauté de Kangiqsualujjuaq est installée sur les bords d'une baie le long de l'estuaire du fleuve George. Derrière le village s'étire sur environ cinq kilomètres une vallée encaissée entre des collines rocheuses. L'aéroport est situé presque à l'autre bout de la vallée. Les rives de la baie et le fond de la vallée sont couverts de dépôts meubles formant une mosaïque de terrain complexe (figure 25). En effet, on trouve sur les flancs de la vallée des dépôts morainiques qui, pour la plupart sont remaniées en surface par des terrasses marines de la mer d'Iberville. Quelques sablières y ont déjà été exploitées. Le fond de la vallée est surtout tapissé de sables d'origine marine qui en majeure constituent des terrains humides supportant des thufurs caractéristiques d'un pergélisol avec une nappe perchée. Le réseau de petits ruisseaux y est diffus. Quelques buttes isolées de sable mieux drainées sont dispersées dans le paysage. Mais on retrouve aussi des buttes cryogènes riches en glace isolées et dispersées, probablement à la faveur de couches ou de poches de silt près de la surface à travers les sables. En effet, la présence de masses de tels sédiments fins est favorable à la formation de glace de ségrégation, le processus qui fait se soulever les buttes. Dans ces conditions, il devient en réalité très difficile de cartographier la condition des sols à très grande échelle sans une campagne de sondage élaborée. Près de la baie subsiste à l'intérieur même du village une zone de silt argileux qui a été contournée par le tracé des rues. Les abords même de la baie sont constituées d'argile marine à travers lesquelles le pergélisol discontinu apparaît sous formes de buttes cryogènes très riches en glace (Fortier et al., 1993). Au nord-est du village, au-delà de l'aéroport, un delta fluvioglaciaire recouvert d'une série de plages marines constitue présentement une source de matériaux granulaires absolument nécessaires au nivellement du terrain et à la construction de radiers.

Les tills, au-dessus de la limite marine à 100 m d'altitude, et les tills remaniées, en bas de cette limite, ont une matrice sableuse avec une fraction de silt. Ils contiennent de la glace en quantité non négligeable et sont susceptibles de fluer au dégel. Des sols polygonaux y sont visibles, mais des études antérieures n'ont jamais permis d'y observer de coins de glace (Gahé, 1987). À l'est du village, dans une vallée derrière une colline rocheuse on retrouve un champ de paises. Il s'agit de buttes de pergélisol faisant jusqu'à environ 10 m de hauteur, formées dans des argiles marines recouvertes d'environ un mètre de tourbe (Gahé et al., 1987).

La carte géologique simplifiée (figure 26) regroupe en trois classes les unités suivantes :

- 1- Le roc et les matériaux grossiers pauvres en glace tels que les sables et graviers (vert). Il est à noter que même dans cette catégorie des investigations plus poussées et des travaux de préparation du terrain pourraient s'avérer nécessaires dans les zones sableuses compte tenu de la non homogénéité du terrain.
- 2- Les dépôts glaciaires; il s'agit des tills et des tills remaniés qui peuvent contenir de la glace et donc fluer au dégel. Il faudrait mieux les caractériser avant d'y construire des bâtiments. Toutefois tous les types de travaux n'y sont pas impossibles. Par exemple, à la fin des années 1980 l'installation de la conduite amenant l'eau au village a nécessité de creuser dans le till, un travail qui fut laborieux mais néanmoins réalisé avec succès.(jaune)
- 3- Les zones sableuses et organiques mal drainées, avec et sans thufurs, les argiles marines avec les buttes de pergélisol et les paises. Ces derniers types de terrain sont particulièrement riches en glace. Pour cette raison, toute construction y est à proscrire.(rouge)

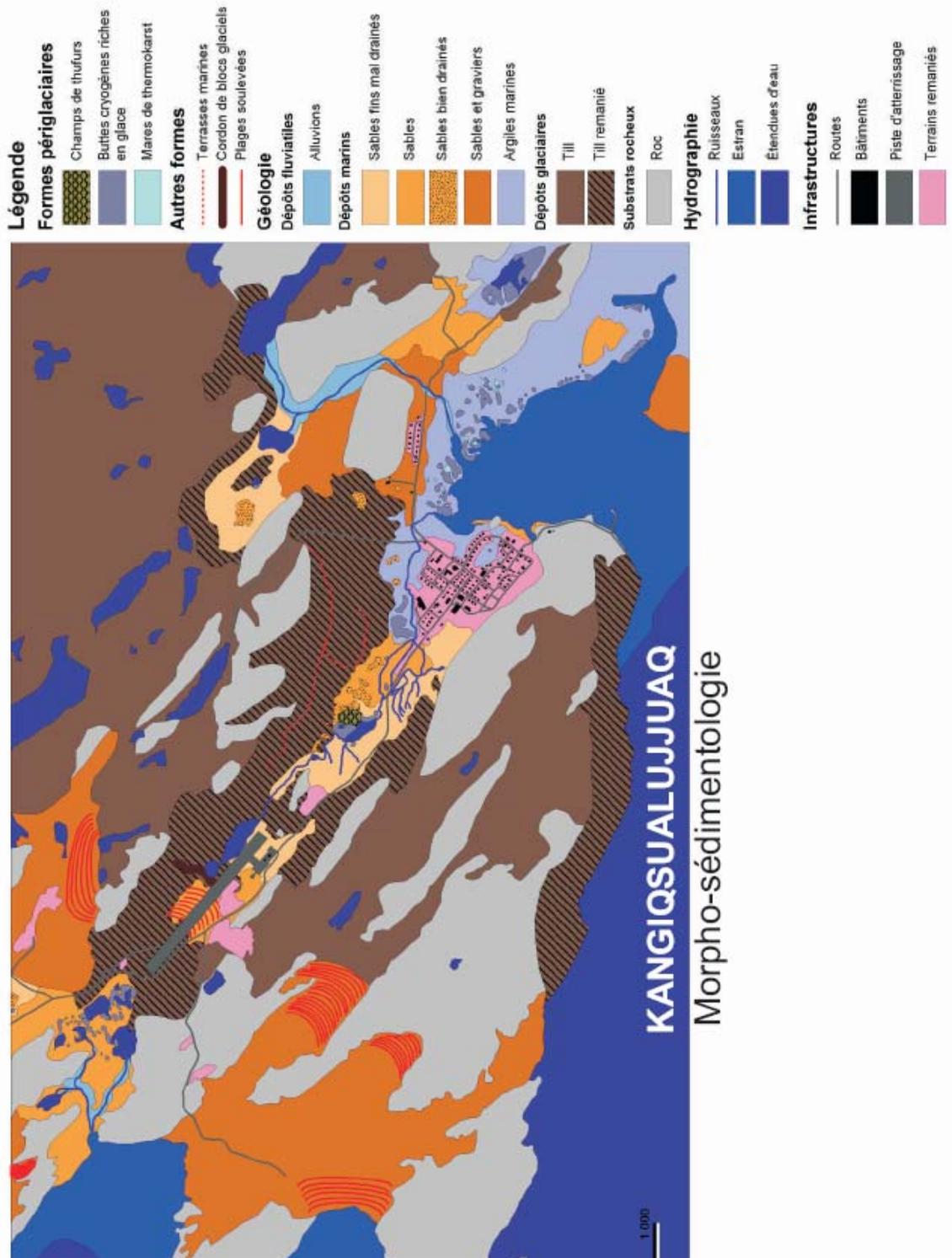


Figure 25 Carte morpho-sédimentologique de Kangiqsualujjuaq

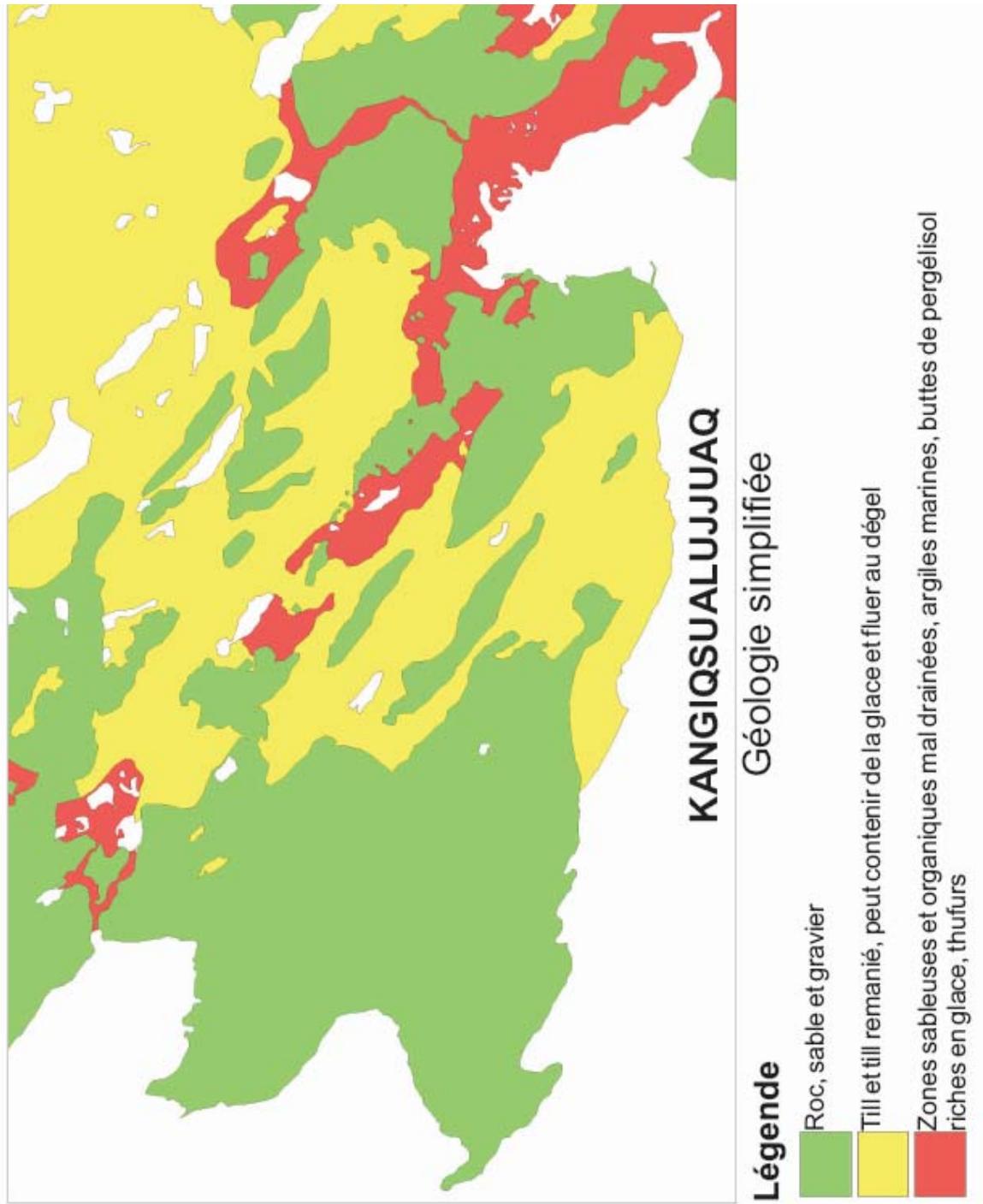


Figure 26 Carte de la géologie simplifiée de Kangiqsualujjuaq

Conclusion et recommandation

Les cartes produites serviront, espérons-le, pour aider à la planification de l'expansion des communautés et pour l'aménagement de leur voisinage. On peut s'attendre à que leur utilisation soulève parfois davantage de questionnement et provoque des demandes de précision. Néanmoins, leur utilisation comme outil de planification pour l'aménagement du territoire des communautés constituera de façon simple, mais fondamentale, un premier moyen d'adaptation au réchauffement climatique. En effet, la sélection des terrains favorables pour la construction permettra d'éviter de nombreux problèmes liés à la dégradation prévisible du pergélisol.

Les cartes sont certes perfectibles. Il est donc recommandé de poursuivre les travaux de caractérisation des terrains des communautés pour en améliorer la précision.

Bibliographie

- ACIA, (Arctic Climate Impact Assessment) (2004) Impacts of a warming Arctic. Cambridge University Press, 139 p.
- Allard, M., Lévesque, R., Seguin, M. K. et Pilon, J.A. (1991). La caractérisation du pergélisol et les études préliminaires aux travaux de génie nordique. Centre d'études nordiques, Université Laval, 94p.
- Allard, M., Fortier, R., Gagnon, O. et Michaud, Y. (2004) Problématique du développement du village de Salluit, Nunavik. Rapport final. Une communauté en croissance sur un terrain sensible au changement climatique. Ministère de la sécurité publique du Québec. 93p.
- Allard, M., Fortier, R., Sarrazin, D., Calmels, F., Fortier, D., Chaumont, D. Savard, J.P., et A. Tarussov (2007). L'impact du réchauffement climatique sur les aéroports du Nunavik: caractéristiques du pergélisol et caractérisation des processus de dégradation des pistes. Université Laval, Centre d'études nordiques, Rapport à Ouranos, Ressources Naturelles Canada et Transports Québec, 192 p.
- (Andersland, O.B. and Ladanyi, B. (2004). Frozen ground engineering. Second edition. John Wiley & Sons, Hoboken , New Jersey, 365 p.
- Gahé, Émile (1988). Géomorphologie cryogène et géophysique dans la région de Kangiqsualujuaq. Département de géographie, Université Laval, thèse de doctorat
- Gahé, É., Allard, M. et Seguin, M.K. (1987). Géophysique et dynamique holocène de plateaux palsiques à Kangiqsualujuaq, Québec nordique. Géographie physique et Quaternaire, 41 : 33-46.
- Fortier, R., Ladanyi, B. and Allard, M. (1993) CPT study of the effect of unfrozen water content of silty permafrost at Kangiqsualujuaq, Nunavik (Québec). Proceedings, 46th Canadian Geotechnical Conference, Saskatoon, Saskatchewan, pp. 307-318.
- Fraser, C., Hill, P.R. and Allard, M. (2005). Morphology and facies architecture of a falling sealevel strandplain, Umiujaq, Hudson bay. Sedimentology. 52 (1):141-160
- Lawrence, D. M. and Slater, A.G. (2006) A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century. Geophysical Research Letters, 32: L24401, doi:1029/2005GL025080.
- Nelson, F.E. Anisimov, O. and Shiklomanov, N. I. (2001) Subsidence risk from thawing permafrost. Nature, 410: 889-890.
- Payette, S., Delwaide, A., Caccianiga, M. and Beauchemin, M. (2004) Accelerated thawing of subarctic peatland permafrost over the last 50 years. Geophysical Research Letters, 31, L18208, doi:10.1029/2004GL020358.
- Sushama, L., Laprise, R. and Allard, M. (2006) Modeled current and future soil thermal regime for northeast Canada. Journal of Geophysical Research, 111, D18111, 13 p.
- Vinet, F. (en préparation) Géomorphologie et Quaternaire de la région de Tasiujaq, Nunavik. Département de géographie, Université Laval, mémoire de maîtrise.