

## Les sols du toit du monde menacés

*Binh An Vu Van*

Été 2002. Michel Allard, géologue, observe, sidéré, son écran d'ordinateur.

Sous ses yeux, les graphiques unanimes de la température du sol en différents points du Nunavik. Serait-ce possible que la température de ce pergélisol — ce sol gelé en permanence — ait augmentée d'un gigantesque 1,5 degrés en à peine six années dans l'ensemble du Nord du Québec? *Pendant tout ce temps*, sans que personne ne l'ait jamais remarqué? Ses collègues remettent en question ses instruments de mesure. Mais Michel Allard ne démord pas. Il appelle Environnement Canada : « Vite, j'ai besoin des données des dernières années pour le Nord du Québec, je les veux. » En peu de temps, ses soupçons sont confirmés.

Trois mois plus tard, il se rend à une rencontre de l'American Geophysical Union (AGU), à San Francisco, où il présente ses résultats à une cinquantaine de spécialistes du pergélisol venus de neuf pays. Et, suite à une succession de présentations, les scientifiques réalisent que, pour la première fois, ils sont unanimes. L'annonce est envoyée aux médias : partout au monde, le pergélisol fond, même au dernier bastion qui a si longtemps résisté, l'Est du Canada. « C'est suite à cet après-midi que nous nous sommes tous dit : oups, ça réchauffe », se rappelle Michel Allard, géologue au centre d'études nordiques de l'Université Laval, aussi appelé le Monsieur pergélisol du Québec.

### Et alors?

Le pergélisol qui fond, c'est littéralement le sol qui se dérobe sous les pieds des quatre millions d'habitants des régions arctiques. Il

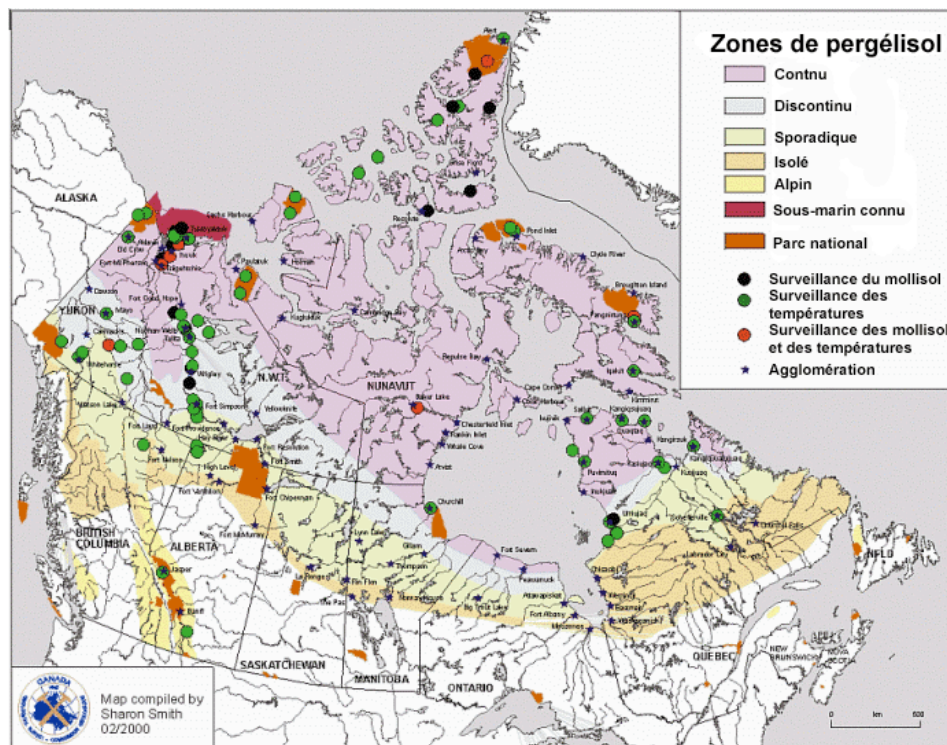
**Le pergélisol** est tout sol qui se maintient à une température égale ou en dessous de 0 degré Celsius pendant au moins deux ans.

Son épaisseur peut varier de quelques mètres à 500 mètres au nord du Canada ou à 1500 m dans certaines parties de Sibérie. Selon les reconstitutions climatiques, le pergélisol québécois est probablement vieux de plusieurs milliers d'années.

Chaque été une partie du sol qui recouvre le pergélisol fond, c'est le **mollisol**, ou la **couche active**.

soutient 25% des sols de la planète et plus de la moitié du sol canadien. Reposent sur lui des villes, des routes, des gazoducs, des pistes d'atterrissage que l'on voit déjà, dans certaines régions, se fissurer, s'enfoncer dans le sol fondu.

C'est vers la frontière sud de la zone du pergélisol, où les températures sont plus chaudes, qu'il est le plus menacé. Le dernier rapport publié d'une initiative internationale *Arctic Climate Impact Assessment* (ACIA) estime que presque la moitié du pergélisol a une température d'entre deux et zéro degrés Celsius et donc est menacé s'il y a une augmentation de la température de quatre ou sept degrés lors des 50 prochaines années dans les régions nordiques, tel que le prévoient les modèles climatiques. Sans compter qu'une partie du pergélisol fondra déjà à -2 ou -1 degrés à cause du sel contenu dans celui-ci.



<http://www.socc.uwaterloo.ca>

Dans toutes les régions arctiques, que ce soit en Russie, en Europe ou dans l'Ouest canadien, les températures du pergélisol avaient augmentées d'entre un et quatre degrés pendant les 20 dernières années. Pendant ce temps, au Québec, on notait une diminution des températures entre 1980 et 1992; on en était tellement aise que pratiquement aucune mesure n'a été prise avant 2002. « Nous n'avions tout simplement pas les subventions

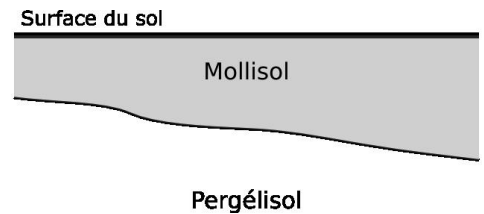
pour suivre ces températures; on ne l'avait pas du tout vu venir », mentionne Michel Allard.

Le sol fondait progressivement, pendant ces six ans, sous les pieds de nos Inuits sans même qu'aucune autorité ne s'en doute. Pour des raisons administratives, l'entretien se faisait sur place sans être rapporté aux autorités.

### **Glissement de terrain**

Un indice criant de ce qui se tramait dans nos régions nordiques fut les deux affaissements de terrains qui ont eu lieu en 1998 dans le deuxième village le plus au nord du Québec, Salluit. « Il aura fallut près de un an et demi, uniquement pour retrouver la date d'un des glissements de terrain, » se rappelle Michel Allard. Le 5 septembre 1998. Par coïncidence, l'été 1998 fut l'un des étés les plus chauds jamais enregistrés pour le Nord du Québec.

Le premier glissement de terrain a eu lieu en marge d'un développement domiciliaire. Pendant cet été, la neige que l'on avait dégagée du champ de construction avait été empilée dans une côte non loin de là. Au mois de septembre,



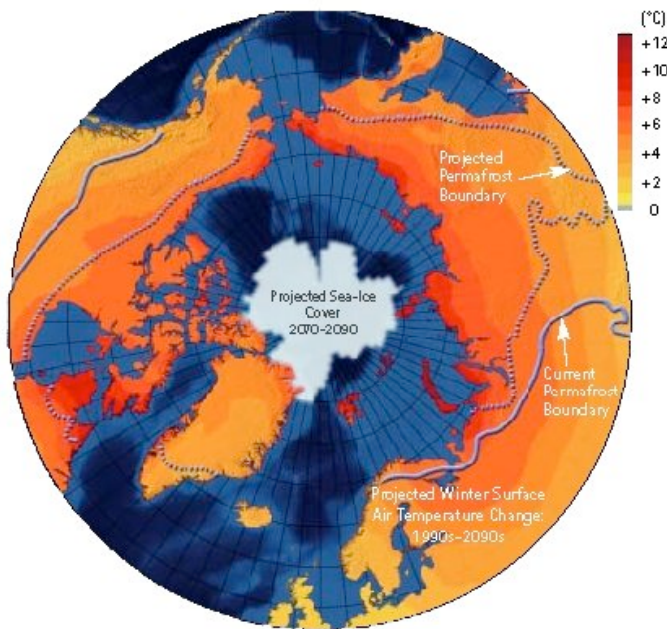
le mollisol, la partie superficielle du sol qui dégèle à chaque été, avait bien eu le temps de fondre et d'atteindre son épaisseur maximale. L'eau de la neige s'est donc peu à peu mise à ruisseler dans cette couche de terre pour la gorger d'eau. Juste en dessous du mollisol, le pergélisol imperméable devenait plus glissant. Enfin, le mollisol, lourd d'eau, s'est effrité pour glisser vers la base de la côte, ce qui a entraîné le glissement de terrain. Bien entendu, sur cette côte, le pergélisol, autrefois protégé par la couche active, fond et forme une nouvelle couche active. Il a fallu déménager la vingtaine de maisons fraîchement construites. Les humains n'ont certainement pas aidé, mais le climat est aussi en cause, selon Michel Allard. Et pour preuve, le deuxième glissement, lui, a eu lieu en milieu totalement naturel.

« Tous les facteurs s'additionnent pour faire passer la température au-dessus du point de fusion, le pergélisol va fondre de plus en plus vite. Ce que les gens oublient, c'est qu'il ne fait pas que simplement fondre. Le terrain est affecté par toutes sortes de processus », souligne Michel Allard. Un des processus les plus visibles : l'érosion côtière.

## Érosion côtière

Les habitants inuïes du village de Shishmaref, en Alaska, seront probablement les premiers « réfugiés du réchauffement climatique ». Les 600 villageois de cette île d'à peine un kilomètre de large par quatre de longueur, ont récemment voté le principe de déménagement d'ici 2009. Ils quitteront ainsi une terre qui a vu grandir leurs ancêtres

Changement projeté de la frontière du pergélisol



depuis 4000 ans. Que faire d'autre, en voyant disparaître des pans entiers de terre à chaque tempête, s'effondrer des maisons, s'engloutir une cours d'école, des bateaux, une digue? En 40 ans, les habitants estiment avoir perdu plusieurs centaines de mètres de terre. Il a fallu déménager une vingtaine de maisons ainsi que le réservoir de mazout du village. Il n'est plus possible d'aller chasser le caribou ou l'orignal au centre des terres, les sols sont trop boueux. Les dernières modélisations donnent encore huit ans à l'île. Les scientifiques estiment qu'il s'agit du « canari dans la mine de charbon », le cas qui

alertera le monde.

Et Shishmaref n'est pas un cas isolé, loin de là. Les côtes de Sibérie reculent à des vitesses sans précédent, soit de 30 mètres par année. À Varandei, en Russie, le sol sous un baril de pétrole est menacé par la mer. À long terme, 184 des 213 villages de l'Alaska sont appelés à disparaître tout comme le sont plusieurs îles et villages dans les Territoires du Nord-Ouest au Canada. Et quatre de ces villages sont en danger imminent. Déménager

dans des installations fiables sur des terrains plus sûrs coûterait entre 100 et 400 millions de dollars. Soit presque un million par habitant.

La vitesse fulgurante à laquelle se dégradent ces sols n'est bien sûr pas attribuable uniquement à la fonte du pergélisol : si ces flancs sont confrontés à des vagues de plus en plus hautes, ils sont également en grande partie constitués de glace. Cette glace cimente leurs sables et leurs roches. Ainsi lorsqu'ils s'écroulent, ne s'effondrent à leur pied que peu de débris, seulement de l'eau. « Habituellement, la mer prend un certain temps à évacuer ces dépôts. Mais dans ces cas, il y en a si peu, les terres vont s'éroder beaucoup plus rapidement » explique Michel Allard.

Au Québec, les scientifiques n'ont pas identifié de cas si critique. Bien que nos villages du Nunavik occupent surtout les régions côtières, ces rivages sont principalement rocheux. Et, même si certaines côtes s'effritent, celles du Nord du Québec gagnent en général du terrain, et ce, grâce aux mouvements de l'écorce terrestre! Cette dernière, qui s'était enfoncée sous le poids des glaces durant la dernière glaciation, se rétablit aujourd'hui, telle une gigantesque membrane élastique poussant les terres du Québec vers le haut. C'est ce que l'on appelle le relèvement isostatique. Une publication récente documente cette lutte de force au détroit de Manitousuk. Sa conclusion : l'érosion des côtes causées par la fonte du pergélisol, qui contient 80% d'eau, a considérablement accéléré lors des 50 dernières années, mais pas encore suffisamment pour compenser le relèvement isostatique.

### **Affaissement des sols**

Si Salluit est encore loin d'être menacé d'érosion, il fait face à un problème tout autre : le village est en pleine expansion. En à peine une décennie, la population a augmenté de 50% et aujourd'hui 60% de la population a moins de 25 ans. Il faut donc construire au moins une trentaine de maisons pour répondre aux besoins. Cependant, le village est construit dans le creux d'un fjord. Sous le mollisol, il y a deux cents mètres de pergélisol très riche en glace. Où construire? Michel Allard se montre inquiet pour cette région :

« Le sol est extrêmement sensible dans cette région ». Plusieurs des autres villages du Nunavik font face au même problème.

Les années plus chaudes, le sol absorbe davantage de chaleur et sur une plus longue durée. La partie supérieure du pergélisol fond, augmentant ainsi l'épaisseur du mollisol. Cette dernière est une des mesures les plus fiables de la santé d'un pergélisol, et les chercheurs surveillent sa profondeur en une multitude de points partout sur la planète. Les données ainsi récoltées contribuent au *Réseau terrestre global pour le pergélisol*, un tout nouveau programme mondial de surveillance des températures de sondage.

Depuis la prise de conscience de 2002, la sécurité publique du Québec a entrepris de cartographier la région de Salluit en collaboration avec les chercheurs du centre d'études nordiques de l'Université Laval. Pour cela, il a fallu concevoir un modèle informatique tenant compte de toutes les informations connues sur le terrain. En ce moment, les chercheurs étudient encore la manière dont ces sols répondent aux changements de température, et surtout comment varie la capacité de support de charge en fonction des conditions.

Lorsque des pergélisols contenant beaucoup de glace fondent, le sol qui est au-dessus s'affaisse, c'est ce que l'on appelle des thermokarstes. Bien qu'ils menacent sérieusement les infrastructures de certaines régions, presque toutes nos maisons du Nunavik sont protégées par une technologie québécoise. Certains ingénieurs vont la qualifier de « broche à foin », mais aux yeux de beaucoup, elle constitue une des solutions les plus satisfaisantes. Et heureusement, la vaste campagne de construction qui a suivi la Convention de la Baie James et du Nord québécois a permis de répandre cette méthode partout au nord du Québec.

Sans même toucher au sol d'origine, on répand du gravier que l'on compacte pour former ce que l'on appelle un tablier. Dans cette partie, pendant le premier hiver, le pergélisol va remonter dans le gravier puis geler ce qui va solidifier la base de la maison. Sur ce tablier, reposent des planches de bois surmontées de grosses pyramides en acier traversées de vis géantes. Ces vis géantes tiennent un grand plateau en métal qui supporte la maison, ce qui

évite que les mouvements du sol ne la déforment. « À chaque printemps, il y a quelqu'un qui se promène dans chaque village avec une clé et un niveau, pour remettre les maisons à niveau et compenser les mouvements du sol; ce n'est pas plus compliqué que ça! » mentionne Michel Allard. En plus, dans des cas extrêmes, ces maisons sont déménageables!

L'espace qu'il reste entre la maison et le tablier permet de laisser circuler les vents en hiver et de faire de l'ombre en été. C'est également le principe des populaires maisons sur pieux que l'on retrouve partout ailleurs en Amérique du Nord, mais qui ont le désavantage de ne pas être ajustables. Des mesures permettent même d'affirmer que la température du sol en dessous de la maison est la même qu'aux endroits sans maison.

Tous n'ont pas la même chance. Les recherches indiquent qu'une petite augmentation de



la température peut affecter considérablement la solidité des sols. Ainsi, un peu partout, les vieux édifices se fissurent ou s'enfoncent dans le sol. Les infrastructures russes sont certainement les plus touchées. À Yakutsk, ville de Sibérie centrale presque entièrement construite sur du pergélisol, on dénombre 300 bâtiments endommagés, et, selon l'ACIA, un sondage mené dans les années 90 va même jusqu'à chiffrer à 50% la proportion d'édifices en mauvaise condition en Sibérie.

Source : <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature-4120755.jpg>

### **Affaissement des sols (bis)**

Partout au nord du Québec, on voit déjà des centaines de lacs de thermokarste pulluler, en symptôme de la fonte du pergélisol. Un thermokarste crée un creux dans lequel l'eau va s'accumuler : un lac naît. De tels lacs vont éventuellement s'unir pour former de plus grands lacs. D'autres, au contraire, peuvent se drainer en à peine quelques minutes. Il suffit qu'un morceau de glace situé au fond se liquéfie pour laisser couler l'eau dans les



fissures du sol, qui rejoignent parfois des ruissellements d'eau souterraine. Ce phénomène est particulièrement inquiétant dans l'Ouest du Canada, où certains gigantesques lacs menacent de se vider catastrophiquement. En modifiant la quantité d'eau dans une région, on modifie de façon notable l'équilibre du milieu. Dans certaines forêts, des espèces d'arbres, en particulier les épinettes noires, s'agrippent à un sol riche en glace. Leurs racines, bloqués par le pergélisol, ne peuvent s'étendre en profondeur. Une légère fonte de celui-ci suffit pour rendre arbres deviennent chancelants. Ces forêts, que les autochtones appellent les « forêts ivres », sont parfois noyées par les nouveaux lacs, et alors la fonte du pergélisol, autrefois protégé par l'ombre des feuillages, s'accélère.

Isabelle Laurion, biologiste à l'INRS, a passé le dernier été les pieds dans ces lacs à étudier le phénomène. Elle a noté qu'une grande quantité de carbone y était dissoute, carbone qui sera sans doute partiellement libéré dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique ou sous forme de méthane, un gaz dont l'effet sur le réchauffement est vingt-



Source : <http://sts.gsc.nrcan.gc.ca>

trois fois plus fort. « C'est causé par quoi? C'est ce que l'on doit déterminer. On suppose qu'il y a une grande production microbienne. Ce sont des processus organiques qui avaient été mis sur la glace et qui sont remobilisés à la fonte du pergélisol, explique-t-elle. Possiblement qu'à court terme ces mares représentent une source de carbone, mais possiblement qu'à long terme, la végétation croissante peut absorber beaucoup de carbone. » Une publication récente dans la respectée *Geophysical Research Letters* présente les résultats d'une étude menée sur 30 ans, entre autre, sur les émissions de méthane au nord de la Suède. Ils constatent, grâce à des photos infrarouges aériennes, une augmentation d'entre 20% à 60% des émissions de méthane. Comme il est peu d'endroits où l'on dispose des données pour une si longue période, leurs résultats sont uniques.

Tous s'entendent pour dire que de grandes quantités de méthane et de dioxyde de carbone pourraient être libérées par la fonte du pergélisol, cependant aucun ne peut avancer de



chiffres concrets. Mais, il est possible, selon certains chercheurs, que ces émissions s'élèvent environ à 25% de la quantité actuelle de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Et la libération de ces gaz contribueraient à accentuer l'effet de serre, et donc, la fonte du pergélisol.

## **Infrastructures**

Avant la prise de conscience de l'été 2002, les routes avaient déjà commencé à se déformer et à créer des creux puisque le pergélisol en-dessous fondait. Les pistes d'atterrissage également avaient commencé à se déformer. « Aujourd'hui, les problèmes sont encore au stade précoce. Ils sont limités, mais ils tendent à prendre de l'ampleur », explique Guy Doré, ingénieur civil à l'Université Laval. Guy Doré a été mandaté par le Ministère des transports du Québec pour étudier ces phénomènes et pour identifier les routes et les aéroports les plus sensibles aux variations climatiques, et il vient tout juste de déposer son rapport. Il note qu'en ce qui a trait aux pistes d'atterrissage, au moins la moitié éprouvent des problèmes à différents degrés. Mais, pour la plupart d'entre elles, il suffira de remettre du gravier et niveler. « Le pire cas est qu'une fois, la queue d'un avion a touché le sol. Pour un avion qui touche la piste à de grandes vitesses, une petite dépression peut-être déjà grave. »

Depuis peu, tous les villages du Nunavik ont entrepris de paver leurs routes. « Le problème va s'accroître, les routes vont absorber davantage de chaleur. » Les routes pavées qui vont gondoler seront plus difficiles à corriger. « Il faudra beaucoup d'entretien de reconstruction à court terme. Ce sera à surveiller intensivement. » Pour le moment, la stratégie du Ministère des transports du Québec est d'abord d'identifier les tronçons sensibles, et de surveiller de près ces routes. Il est également en train d'étudier diverses méthodes pour garder les pergélisols froids.

« On a l'avantage de pouvoir bénéficier de l'expérience de l'Alaska. Ils vivent ces problèmes depuis longtemps. », affirme Guy Doré. Leurs routes avaient été construites au temps où « réchauffement climatique » ne voulait encore rien dire. Ils ont même tenté de peindre en blanc les routes pour qu'elles absorbent moins de chaleur. Résultat : les

chauffeurs étaient aveuglés et les routes, glissantes. Pour le Québec, Guy Doré et ses collègues sont en train de tester des solutions. Il s'agira probablement de bien élever les routes et de faire circuler l'air le long de celles-ci. « Pour les cas difficiles, il faudra quantifier l'incidence de ne rien faire versus faire quelque chose. Nous voulons voir qu'est ce qui se passe si on fait quelque chose, et voir et si on peut contrôler quelque chose sur 15 ans. »

Malgré la détérioration avancée du pergélisol en Alaska, on y retrouve une des plus grandes initiatives conduites sur pergélisol. Le gazoduc Trans-Alaska qui traverse l'état du nord au sud sur 1280 km est un modèle d'ingénierie. Il est supporté sur une grande partie de sa longueur par des poteaux qui servent également de réfrigérateur pour le pergélisol sur lequel ils reposent. Ces coûteux

Selon le rapport ACIA Les régions les plus affectées par la fonte du pergélisol comprennent l'Alaska, la vallée du Mackenzie dans les territoires du nord-ouest, la péninsule qui se dirige vers l'Antarctique, soit l'Amérique du sud, le Nord de la Sibérie.

thermosiphons extraient la chaleur du sol grâce à un liquide qu'ils contiennent. C'est, par exemple, du CO<sub>2</sub> liquide qui s'évapore lorsque la température du sol est plus chaude que celle de l'air. Le gaz évaporé est contenu dans le haut du tuyau en dehors du sol. Il refroidit puis se condense pour redescendre sous le niveau du pergélisol qu'il refroidit.

Malgré tout ce gazoduc est surveillé près. Les infrastructures plus vieilles de Sibérie inquiètent. L'ACIA répertorie 1702 accidents impliquant des déversements de pétrole. Plus de 640 km carrés de terre sont devenus inutilisables en un an, dans le district de Khanty-Mansi. La majorité des aéroports sont en état d'urgence, et le chemin de fer Aikal Amur dont 10 à 16% de son trajet était déformé en 1990 est passé à 46% de déformation en 1998.

### **Changement de mentalité**

Mais au-delà des constructions coûteuses, de simples gestes peuvent épargner des dégâts importants. « Pour le moment une des véritables menaces qui guettent les villages sont les ornières créées par la circulation des véhicules autour du village, » s'inquiète Michel Allard. Il suffit qu'un petit VTT circule sur du mollisol en été pour que ses traces

s'érodent et se transforment en de véritables rivières au printemps suivant. Cette négligence de quelques minutes peut laisser des traces pour les vingt ans à venir.

Par exemple, pendant la construction des nouvelles routes, on voit bulldozers et des pelles mécaniques contribuer à la construction de routes, mais sans remorqueuses pour les déplacer. Pour se déplacer d'un endroit à l'autre, elles doivent passer dans les champs. « Au printemps, les ruisseaux vont couler de façon catastrophique, éroder le pergélisol et le faire fondre. J'ai vu des routes complètement coupées par les ruissellements. »

« En 1989, je me souviens d'avoir survolé sur des kilomètres le champ pétrolier et gazier à Yamal. Je ne voyais rien d'autre que de la boue. C'était à force d'avoir passé la machinerie, transporté les foreuses.» En Russie, les mesures sont moins étroites qu'en Amérique du Nord, et en plus de l'exploitation pétrolière, il y a également beaucoup d'activités minières.

Il y a plusieurs mesures peu coûteuses à prendre. Il suffit par exemple de souffler la neige sur de grandes surfaces plutôt que de les empiler le long des routes, de cartographier les terrains pour prévoir les constructions, d'éviter de construire des maisons à sous-sols etc. Selon Michel Allard si les températures haussent, il n'y a rien qui pourra empêcher cette fonte du pergélisol. En devisant sur tous les facteurs complexes qui vont accélérer ou ralentir la fonte, il rétorque : « Ce n'est pas compliqué, tu prends un glaçon, tu le mets dans le réfrigérateur, il fond. »