

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Les fondations dans le pergélisol

Johnston, G. H.

For the publisher's version, please access the DOI link below. / Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

#### **Publisher's version / Version de l'éditeur:**

<https://doi.org/10.4224/40000918>

*Digeste de la construction au Canada, 1967-09*

#### **NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :**

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=d9095ea0-a8e8-4644-a680-c3ea17447250>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=d9095ea0-a8e8-4644-a680-c3ea17447250>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

**Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

## Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

**CBD 64F**

# Les fondations dans le pergélisol

*Publié à l'origine en septembre 1967*

*G.H. Johnston*

### **Veillez noter**

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Les difficultés découlant du gel annuel du sol dans le Canada méridional sont bien connues. Le soulèvement des fondations, causé par le gel, et le boursoufflement des routes, des voies d'accès et des vérandas se produisent fréquemment. Les phénomènes physiques se produisant lors du gel du sol et de son boursoufflement ont été décrits dans le **CBD 26F**. Des soulèvements inégaux du sol gelé ont également causé des difficultés dans les salles de patinage et les entrepôts frigorifiques. Le **CBD 61F** décrit ces difficultés et les méthodes employées pour les éviter ou y remédier.

D'autres questions sont à envisager quand on entreprend des constructions dans le Canada septentrional. La moitié environ de la superficie totale du pays est occupée par le pergélisol, un terrain qui reste toujours gelé en profondeur, et comme le Canada se développe vers le nord, cette particularité du sol doit être prise en considération. Le présent Digeste décrit brièvement le pergélisol et ses traits caractéristiques, et traite des questions touchant le genre de fondations convenables dans les régions où il existe.

### **Le pergélisol**

Le terme "pergélisol" s'applique aux sols maintenus dans des conditions thermiques telles que leur température reste continuellement au-dessous de 32° F pendant des années. Le terme *pergélisol* n'implique qu'une question de température, et tout matériau, que ce soit du sable, du gravier, du limon, de la tourbe, des détritiques ou du rocher, qui a été maintenu en dessous du point de congélation pendant plus de deux ans, est qualifié de pergélisol. Bien qu'on le considère généralement comme n'existant qu'en terrain septentrional, un pergélisol artificiel peut aussi exister dans les entrepôts frigorifiques qui sont continuellement maintenus à des températures inférieures au point de congélation.

On attribue la création du pergélisol à l'action du climat des temps récents, quoique son origine ne soit pas bien connue. Il se peut que dans les régions hyperboréales le pergélisol se soit maintenu depuis des temps anciens en raison du climat, et qu'il y soit peut-être apparu pendant la période froide du début du pléistocène. Au cours des fluctuations climatiques qui ont suivi, l'épaisseur et l'extension des aires de pergélisol ont varié de façon correspondante. On sait qu'actuellement ces aires restreignent dans certaines régions et s'étendent dans d'autres.

La formation d'un sol perpétuellement gelé résulte directement d'un déséquilibre dans les échanges de chaleur qui se produisent à la surface du sol: les pertes thermiques annuelles sont plus fortes que les gains de chaleur de toute l'année. Les facteurs qui déterminent le bilan thermique annuel à la surface du sol peuvent se grouper grosso modo en deux classes se rattachant au climat et au terrain; ce dernier englobe les conditions physiques de la surface du sol et ses propriétés thermiques. Il est difficile de prédire l'existence et la distribution du pergélisol, tant horizontalement que verticalement, en raison des actions réciproques complexes des divers facteurs, dont les plus importants sont la température atmosphérique, le relief (pente et exposition), la nature de la couche végétale, la disposition du réseau d'égouttement, la couverture nivale et le genre de sol.

On divise habituellement la région de pergélisol en deux zones, la zone discontinue au sud et la zone de pergélisol continu au nord. Des aires de terrain non gelé coexistent avec les aires gelées dans la zone de pergélisol discontinu. Les proportions de chaque type de sol varient considérablement depuis la limite méridionale, où prédominent les aires de terrain non gelé parsemé d'îlots et de taches de pergélisol dispersés, jusqu'aux limites septentrionales où le pergélisol est très étendu et où le sol gelé prédomine. Les proportions de sol gelé varient non seulement sur un plan horizontal, mais son épaisseur varie aussi dans le plan vertical. Le pergélisol peut ainsi n'être épais que de quelques pieds vers la limite sud, et atteindre des profondeurs considérables, 200 pieds par exemple, dans les aires situées à la limite nord. Dans la zone de pergélisol continu, au contraire, le sol gelé se rencontre partout sous la couche superficielle, et peut atteindre des épaisseurs de 1000 pieds.

### **Caractéristiques du pergélisol**

Au-dessus du niveau supérieur de pergélisol, se trouve une couche de sol ou de roche qu'on qualifie de couche active, qui gèle en hiver et dégèle en été. Son épaisseur peut varier selon les régions, de plusieurs pieds à la limite méridionale, jusqu'à quelques pouces dans le nord de la zone de pergélisol continu. Elle dépend aussi des mêmes conditions climatiques et de terrain qui influencent le pergélisol lui-même. Des variations locales des conditions du terrain peuvent causer des variations d'épaisseur de la couche active, allant d'un ou deux pieds jusqu'à plusieurs pieds dans la même région.

L'existence du pergélisol découle du fait que la température du sol ne dépasse jamais 32° F. en raison du bilan thermique de la surface du sol. Les variations de la température de l'air au cours de l'année produisent des variations correspondantes de la température du sol, bien que leur importance décroisse avec la profondeur, en raison de l'existence d'une couverture superficielle de mousse ou de neige et des caractéristiques de résistance thermique du sol. En outre, un certain retard intervient, qui varie en raison de l'épaisseur du sol. La profondeur à partir de laquelle les variations deviennent imperceptibles, soit entre 20 et 50 pieds, est qualifiée de niveau de variation annuelle mille (fig. 1). En-dessous de ce niveau la température du sol n'est influencée que par des changements climatiques à longue échéance, s'étendant au cours de longs siècles.

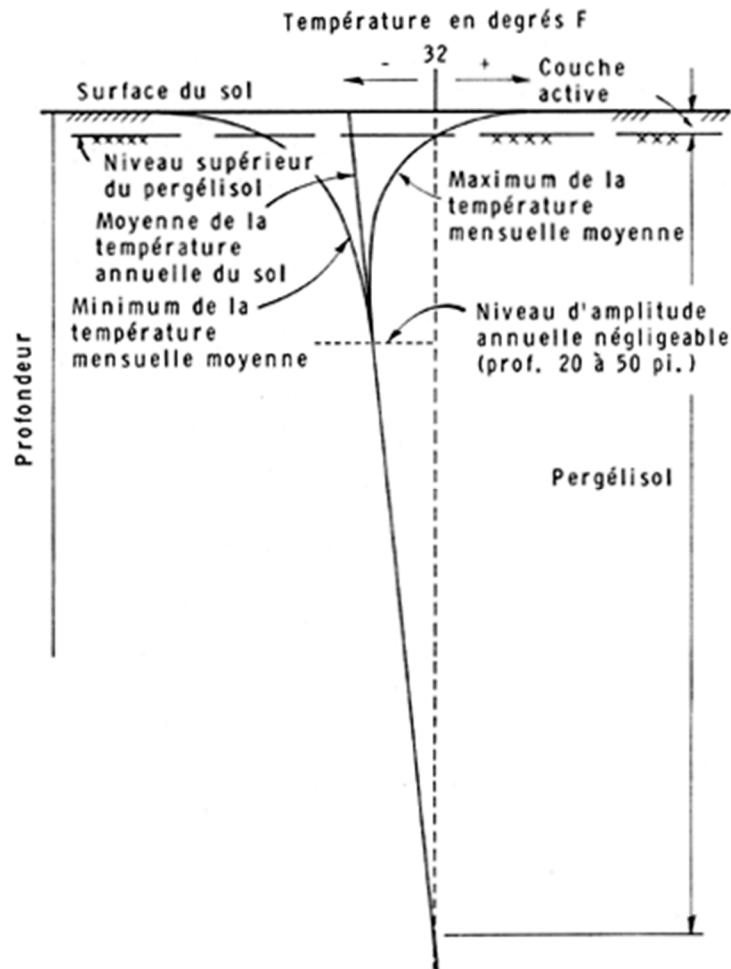


Figure 1. Diagramme normal des températures du pergélisol

La température moyenne du sol peut varier de façon appréciable sous l'influence d'un certain nombre de facteurs. On peut dire qu'en général elle décroît au fur et à mesure que les latitudes sont plus élevées. Dans la région de la limite méridionale, la température moyenne du pergélisol se tient légèrement en-dessous de 32° F. (entre 30 et 32° F.); plus au nord, toujours dans la zone de pergélisol discontinu, ce dernier est plus épais et plus fréquent, et la température moyenne peut varier entre 23 et 30° F.; dans la zone de pergélisol continu elle est habituellement inférieure à 23° F.

Il existe une certaine relation entre la température moyenne annuelle de l'air et la température moyenne annuelle du sol. Les observations recueillies ont indiqué que la température moyenne annuelle de l'air se maintient de 3 à 10° F. plus bas que la température moyenne annuelle du sol, selon les conditions locales. La moyenne générale est d'environ 5° F.

Le sol gelé en permanence peut contenir de grandes quantités de glace qui se présente sous nombre de formes allant des croûtes ou des pellicules présentes à la surface des particules de sol, ou encore des filaments minuscules à peine visibles à l'oeil nu, jusqu'aux lentilles de plusieurs pieds d'épaisseur. Toutes les formes de glace peuvent coexister dans le même matériau. Les matériaux à très fine granulométrie contiennent souvent de très fortes quantités de glace, bien que celle-ci soit parfois difficile à discerner. En certain cas, dans les sols vaseux par exemple, le volume de la glace peut atteindre jusqu'à six fois celui des autres matériaux.

Le pergélisol possède habituellement les qualités de la roche, mais sa résistance dépend de sa composition, de sa texture, de sa teneur en glace et de sa température. La valeur relativement

élevée de sa résistance peut être attribuée partiellement aux qualités de liant de la glace, qui soude en une masse compacte les particules du sol. Les propriétés mécaniques du sol gelé tendent à se rapprocher de celles de la glace qui remplit les interstices entre les particules, en partie ou en totalité. La résistance du sol gelé augmente au fur et à mesure que la température s'abaisse, et en raison directe de la teneur du sol en humidité (sous forme de glace). Pour quelques sols, tels que les argiles, l'accroissement de résistance est relativement faible aux températures immédiatement au-dessous du point de congélation, en raison principalement de la présence d'eau non solidifiée dans le matériau. Les sables gelés bien cimentés par la glace possèdent habituellement une résistance considérablement plus forte que les matériaux à fine granulométrie, particulièrement aux températures proches de celle du dégel.

### **Considérations utiles au génie civil**

La plus grande partie du Canada septentrional a subi la glaciation quaternaire, et il en résulte une prédominance de sols à fine granulométrie tels les limons, les argiles et les sables fins et leurs mélanges. Les matériaux organiques se présentent aussi fréquemment en couche recouvrant le sol d'origine minérale. Ces sols sont généralement très sensibles au gel, et quand ils sont gelés en permanence ils contiennent une forte quantité de glace.

Le constructeur des régions septentrionales doit prendre en considération un facteur important: l'action du gel dans la couche active du sol qui gèle et dégèle tous les ans. La couche active consiste souvent en un sol très sensible à l'action du gel, et elle est en outre saturée d'humidité. Elle constitue ainsi une source d'humidité disponible, condition préalable à l'existence de gonflement par le gel. Ce dernier produit des gonflements inégaux du sol pouvant occasionner des dommages sérieux aux fondations et aux bâtiments.

Le pergélisol est particulièrement sensible aux variations de température. Toute action de la nature ou de l'homme, si légère soit-elle, sur les conditions de milieu propices à l'existence du pergélisol, retentira fortement sur le délicat équilibre thermique naturel. Le déboisement d'un terrain ou la construction d'un bâtiment, par exemple, peuvent entraîner un dégel du sol durci ou une élévation du niveau supérieur du pergélisol. Il est par conséquent nécessaire de prendre soin, au cours des opérations de construction, d'éviter tout changement préjudiciable causé par des modifications ou une perturbation des conditions du milieu original.

Bien que le sol gelé fournisse une excellente assise pour un édifice, ses propriétés de résistance sont fortement réduites par un accroissement de sa température; si ce sol dégèle, la plus grande partie de sa résistance disparaîtra, de telle sorte qu'il ne pourra supporter des charges même légères. Les complications les plus sérieuses surgissent lors du dégel de ces sols habituellement à fine granulométrie, qui contiennent de fortes proportions d'humidité (sous forme de glace). Lors de leur dégel ces sols se transforment en une boue ne possédant que bien peu de résistance, ou même aucune; de forts tassements se produisent, pouvant entraîner la destruction d'un bâtiment.

Dans les régions septentrionales, l'eau superficielle est bien en évidence, malgré la faiblesse habituelle des précipitations. L'écoulement des eaux se fait mal en raison de l'imperméabilité relative du pergélisol, et les eaux ne se meuvent qu'en surface. C'est pour cette raison que les matériaux de la couche active sont souvent saturés d'eau.

L'accumulation d'eau à la surface du sol peut causer de sérieuses difficultés en raison de son action de dégel. Il est par conséquent très important que les eaux s'écoulent. Si l'écoulement naturel est entravé ou qu'un système de drainage n'ait pas été installé, les opérations du constructeur peuvent être sérieusement gênées par l'intensification de l'effet du gel en hiver et l'accélération du dégel en été.

Il apparaît évident à la lecture du bref exposé ci-dessus qu'il est essentiel de se livrer à une étude complète du site avant de dresser les plans et d'entreprendre la construction d'un bâtiment dans les régions à pergélisol. Il est nécessaire de disposer des renseignements concernant non seulement la distribution du pergélisol, mais aussi les conditions régnant dans

le sous-sol, et incluant les données relatives aux propriétés physiques et mécaniques des sols et le bilan thermique du terrain.

### **Tracé des fondations**

Les résultats des recherches entreprises sur place indiqueront la méthode à suivre pour le tracé des fondations et les techniques de construction à employer. Le choix du meilleur tracé des fondations est généralement basé sur une des quatre méthodes suivantes:

1. Il est possible de négliger l'existence de pergélisol si le bâtiment doit être érigé sur de la roche de fond ou un sol granulaire bien égoutté. Ces sols ne contiennent habituellement que peu ou pas de glace et des modifications du bilan thermique auraient peu d'effet sur leurs propriétés physiques. Il est par conséquent possible de tracer des plans normaux et d'employer les méthodes de construction habituelles.
2. Il est possible de maintenir le sol à l'état gelé, de façon qu'il puisse supporter un édifice. Dans la zone de pergélisol continu, il ne faut épargner aucun effort pour préserver cet état de gel permanent, particulièrement quand le sol est constitué de matériaux à fine granulométrie, contenant un fort pourcentage de glace. On y parvient habituellement en prévoyant une ventilation suffisante ou en utilisant un isolant sous le bâtiment. La première méthode est généralement employée pour les bâtiments chauffés. Les fondations sont établies profondément dans le pergélisol, et le bâtiment est construit au-dessus de la surface du sol, afin de permettre la circulation de l'air entre les deux et pour réduire au minimum ou empêcher totalement une transmission de la chaleur du bâtiment vers le sol. Les pilots des fondations sont enfoncés dans des trous percés à la vapeur ou à la perforatrice jusqu'à des profondeurs atteignant quinze ou trente pieds selon le matériau d'assise, le poids du bâtiment et sa température, et se sont révélés bien adaptés à la méthode de ventilation. On les a employés de façon intensive.

Quand la mise en place des pilots est difficile, comme dans le cas des sols très caillouteux, il peut se révéler plus économique d'utiliser d'autres types de fondations. On peut réaliser l'isolement thermique nécessaire pour prévenir le dégel des matériaux gelés de l'assise en recouvrant la surface du sol d'une couche de gravier. L'épaisseur de cette couche peut varier de un à deux pieds, dans le cas des bâtiments non chauffés pouvant supporter de légers déplacements, jusqu'à dix pieds ou plus dans le cas des édifices chauffés.

3. Quand le sol d'assise contient des quantités excessives de glace et qu'il n'est pas possible de le garder à l'état gelé, il peut être avantageux de le dégeler et de consolider ses matériaux constituants avant d'entreprendre la construction. Dans certains cas on pourrait avec avantage extraire ces matériaux et les remplacer par un matériau non influencé par le gel, tassé et bien drainé. La profondeur jusqu'à laquelle le dégel précédant la construction sera poussé dépendra du taux estimé d'affaissement qui résultera du dégel postérieur à l'achèvement du bâtiment. On peut adopter cette méthode tant dans la zone de pergélisol continu que dans celle à pergélisol discontinu, mais il est probable qu'elle convient mieux à cette dernière, particulièrement s'il se trouve une couche portant convenable à profondeur relativement faible. Il est assez facile de dégeler et d'extraire le pergélisol dans les aires où la température s'approche de 32° F. On peut ensuite employer les méthodes de construction normales pour élever des bâtiments de type habituel.
4. Dans certains endroits le tracé des fondations doit tenir compte de l'affaissement probable. Ceci est particulièrement important à la limite méridionale du pergélisol (mais aussi dans la zone à pergélisol continu) où d'importants tassements des matériaux d'assise sont prévisibles et où le dégel du sol se produira inévitablement au cours de l'existence du bâtiment. On peut utiliser des fondements déformables, établis de façon à éliminer les déformations structurales du bâtiment causées par des affaissements inégaux des assises. On peut également employer des joints spéciaux de tassement permettant aux différentes parties du bâtiment de s'enfoncer sans produire de déformation dans les parties voisines, et donnant ainsi de la stabilité à l'ensemble.

On doit prendre soin d'éviter une trop grande proximité de bâtiments construits suivant différentes méthodes, particulièrement quand la construction d'un bâtiment pourrait influencer défavorablement l'équilibre thermique du sol d'assise d'un autre. Il faut autant que possible éviter les aires possédant en sous-sol des matériaux contenant de grandes quantités de glace, ou celles dont le dégel est probable. Il est nécessaire de préparer les aires à construire, quelle que soit la méthode de construction, d'aménager la pente du sol pour assurer le drainage des eaux loin du bâtiment et de l'aire construite. Bien que la construction dans les zones septentrionales soit compliquée par la présence d'un sol éternellement gelé, il est possible de réduire au minimum les difficultés rencontrées dans le tracé des fondations et la construction par un choix convenable des aires à construire.