

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Action du gel sur les fondations

Burn, K. N.

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/10.4224/40000929>

Digeste de la construction au Canada, 1977-04

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

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=2903731e-7af6-48f8-a256-bc0326d459b1>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=2903731e-7af6-48f8-a256-bc0326d459b1>

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 182F

Action du gel sur les fondations

Publié à l'origine en avril 1977

K. N. Burn

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.

Dans la plupart des régions du Canada, pendant les mois d'hiver, le sol gèle jusqu'à des profondeurs pouvant varier de quelques pouces à plusieurs pieds, selon la rigueur du climat. Ce gel du sol peut entraîner un soulèvement des bâtiments se trouvant au-dessus du sol ou à proximité. Les forces qui entrent en jeu peuvent être très dévastatrices pour les structures faiblement chargées et peuvent causer de sérieux problèmes dans les structures plus lourdes. Le présent bulletin donne une description des causes de l'action du gel, certains des problèmes de construction qu'elle présente, et les mesures à prendre pour la contrôler. Des bulletins précédents (**CBD 26F**, **61F** et **128F**) ont traité de problèmes connexes et peuvent être consultés pour avoir une explication plus complète du mécanisme de l'action du gel, du soulèvement dû au gel dans les entrepôts frigorifiques, et de l'adhérence due au gel.

Action due au gel

L'augmentation de volume qui accompagne la transformation de l'eau en glace a d'abord été considérée comme la cause des soulèvements dus au gel, mais on sait maintenant que le mécanisme de base est le phénomène connu sous le nom de ségrégation de la glace. L'eau est extraite du sol non gelé jusqu'à la zone de gel où elle adhère et forme des couches de glace et sépare des particules de sol, ce qui cause un soulèvement de la surface du sol. Sans contrainte physique, il n'y a pas de limite apparente à l'importance du soulèvement qui peut se produire. (On a enregistré des mouvements de plus de 4 po (100 mm) sous des dalles de sous-sol en seulement trois semaines.) Lorsqu'une contrainte apparaît sous la forme d'un bâtiment, les pressions de soulèvement peuvent surmonter ou non cette contrainte, mais elles peuvent être très élevées: on a déjà enregistré des pressions de 19 tonnes/pi² (1 820 kPa) et un immeuble en béton armé de sept étages avec fondations sur radier a été soulevé de plus de 2 po (50 mm).

Une forme différente d'action du gel appelée adhérence due au gel se produit lorsque le sol gèle à la surface d'une fondation (**CBD 128F**). Les pressions de soulèvement qui se développent à la base de la zone de gel sont transmises aux fondations par le lien d'adhérence due au gel, et produisent des forces de soulèvement capables de déplacements verticaux

appréciables. Si un mur de sous-sol est construit en blocs de béton, il peut accuser une défaillance sous l'action de la tension et se rompre tout le long d'un joint horizontal près de la profondeur de pénétration du gel. On sait relativement peu de choses sur l'importance de ces forces, mais on a mesuré des forces de liaison de l'adhérence due au gel d'environ 15 lb/po² (100 kPa) sur des surfaces en acier et de 10 lb/po² (70 kPa) sur du bois et du béton.

Facteurs de contrôle

Trois conditions essentielles doivent être réunies pour que l'action du gel se produise: le sol doit être sensible au gel, il doit y avoir de l'eau en quantité suffisante, et les conditions de refroidissement doivent entraîner le gel du sol et de l'eau. S'il manque une de ces conditions, le soulèvement par l'action du gel ne peut pas se produire. La sensibilité au gel est fonction de la distribution granulométrique des particules du sol. En général, les sols à gros grains, comme les sables et les graviers ne se soulèvent pas; alors que les argiles, les silts et les sables très fins contribuent à la formation de lentilles de glace même lorsqu'ils ne sont présents qu'en petites proportions dans des sols grossiers. Si, à proximité de fondations-on peut enlever un sol sensible au gel et le remplacer par un matériau plus grossier, il n'y aura pas de soulèvement par l'action du gel.

Il doit y avoir de l'eau dans la partie du sol non gelée pour qu'elle puisse monter vers la partie gelée et former des lentilles de glace. Si la nappe souterraine est peu profonde par rapport au niveau des lentilles de glace, l'action du gel sera favorisée. S'il y a une bonne évacuation de l'eau, celle-ci peut ne pas atteindre la zone de gel.

La profondeur de gel est en grande partie fonction du taux de déperdition thermique de la surface du sol. À part les propriétés thermiques du sol, ces pertes dépendent de variables climatiques telles que le rayonnement solaire, la couverture de neige, le vent et la température de l'air, qui est la variable la plus importante. Si on peut empêcher ou réduire la déperdition thermique, on peut empêcher de geler des sols sensibles au gel.

Indice de gel et profondeur de gel

Les températures de l'air enregistrées peuvent être utilisées pour déterminer la sévérité du gel du sol au moyen de la notion de degré-jour. (Une température quotidienne moyenne de l'air de 31°F correspond à un degré-jour.) L'«indice de gel» est tout simplement le total accumulé de degrés-jours de gel pour un hiver donné.

La figure 1 est une carte du Canada indiquant les valeurs normales de l'indice de gel (Boyd, 1973). Celles-ci varient de moins de 100 degrés-jours Fahrenheit (55 degrés-jours Celsius) pour le sud-ouest de la Colombie-Britannique à 7 500 degrés-jours F (4 150 degrés-jours C) pour le nord du Manitoba et le nord du Québec, et atteignent 14 000 degrés-jours F dans l'archipel arctique.

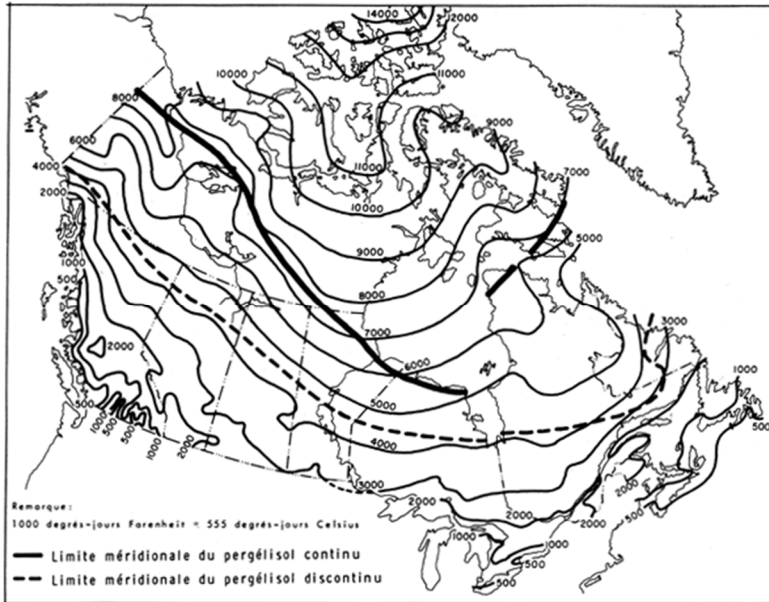


Figure 1. Indices de gel normaux, pour le Canada, en degrés-jours Fahrenheit, d'après la période 1931 à 1960 (Boyd, 1973).

Les corrélations entre la profondeur de gel et l'indice de gel peuvent être utiles pour estimer la profondeur totale de gel. Celles de la figure 2 sont basées sur des données enregistrées et des données théoriques, mais toutes les mesures ont été faites dans des régions dépourvues de neige et les différences dans les propriétés thermiques du sol n'ont pas été prises en considération. Ces deux facteurs influencent la profondeur de pénétration du gel.

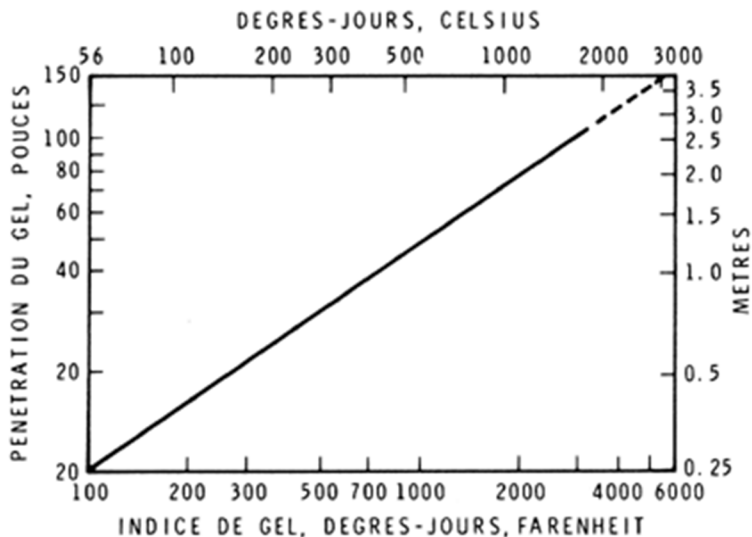


Figure 2. Relation entre l'indice de gel et la profondeur de pénétration du gel (Brown, 1964).

On peut prolonger la courbe et englober des régions où l'indice de gel dépasse la gamme des données originales, mais il faudrait limiter cette extrapolation aux régions au sud de la limite de pergélisol discontinu où l'indice de gel ne dépasse pas 4 500 degrés-jours F (2 500 degrés jours C). Comme la construction de fondations dans le pergélisol cause des problèmes particuliers qui débordent du cadre du présent bulletin, le lecteur devra se reporter au bulletin **CBD 64F** «Les fondations dans le pergélisol» pour trouver les renseignements pertinents.

Action du gel sur les fondations

Dans le calcul des fondations, l'approche traditionnelle en vue d'empêcher les dommages dus au gel consiste à placer la fondation au-dessous de la profondeur de pénétration du gel de sorte que le sol situé au-dessous de la surface portante ne gèle pas. Cette seule mesure n'empêche pas nécessairement les dommages causés par le gel. Si l'excavation est remblayée avec du sol sensible au gel, on peut avoir des dommages causés par l'adhérence due au gel. La profondeur des fondations est normalement déterminée par l'expérience locale, telle qu'elle est reconnue par les règlements de construction, mais en l'absence de telles données, on peut utiliser la corrélation indiquée à la figure 2.

En raison de leur nature même, les sols sensibles au gel n'évacuent pas bien l'eau, et bien qu'on puisse arrêter les infiltrations d'eaux souterraines, la quantité d'eau présente dans le sol non gelé suffit souvent à produire des soulèvements importants. Dans la mesure du possible, il est recommandé d'enlever le sol sensible au gel et de le remplacer par un matériau granulaire grossier qui évacue bien l'eau. Il faut également prévoir une bonne évacuation, au moyen de drains en grès par exemple, sur tout le pourtour des fondations (**CBD 156F**).

Moyen de contrôle par l'isolation thermique

Au cours de ces dernières années, on a beaucoup utilisé des isolants en plastique léger pour réduire les déperditions thermiques du sol et, par conséquent la profondeur de pénétration du gel. En installant la bonne épaisseur d'isolant sur la surface appropriée des fondations ou dans le sol, on peut maintenir les températures du sol au-dessus du point de congélation. On devrait cependant n'utiliser l'isolation à cette fin qu'après avoir attentivement examiné les conditions pertinentes afin de bien comprendre l'effet qui en résultera sur le flux de chaleur à la surface de contact sol-fondations. L'isolation est particulièrement avantageuse dans les bâtiments non chauffés comme les entrepôts et les garages, et dans des installations spéciales d'entreposage des aliments ou comportant des surfaces gelées pour des sports d'hiver et où la température doit être maintenue plusieurs degrés au-dessous du point de congélation.

L'isolant qui possède une résistance à la compression relativement élevée peut être placé en panneaux directement sous la surface portante des fondations. Les avantages économiques d'un tel système sont importants car il est possible d'avoir des fondations moins profondes, ce qui réduit les coûts d'excavation et de transport du matériau de remblai destiné à remplacer le sol sensible au gel (Robinsky and Besspflug, 1973).

Sous-sols de bâtiments chauffés

Les déperditions thermiques des sous-sols par le sol qui les entoure réduisent la profondeur de pénétration du gel au voisinage immédiat d'un bâtiment. Les fondations peuvent donc être placées au-dessus de la ligne de profondeur de pénétration maximale du gel. Toutefois, au cours de ces dernières années, la nécessité de réduire des dépenses d'énergie a conduit à augmenter l'isolation sur les murs de fondation des bâtiments existants. Ceci, tout en réduisant les déperditions calorifiques, peut accroître la profondeur de gel du sol, en particulier si l'isolant est appliqué du côté intérieur du sous-sol. Les niveaux de sécurité pour la profondeur des semelles sur le périmètre d'un bâtiment doivent donc être déterminés à partir de la profondeur maximale de pénétration du gel; les semelles intérieures sont généralement moins profondes.

Garages

Les sous-sols abritent fréquemment des garages, mais comme la corrosion des carrosseries des véhicules s'accélère lorsque la température est plus élevée, ces locaux sont souvent maintenus juste au-dessus du point de congélation. Un soulèvement dû au gel peut se produire s'il n'y a pas assez de chaleur pendant une vague de froid ou si les portes du garage sont laissées ouvertes. Des dalles en béton et des fondations peu profondes peuvent se soulever, causant des dommages à la structure et au fini intérieur du bâtiment (**CBD 128F**). Lorsqu'on prévoit de telles conditions, toutes les fondations au-dessous de murs de garages en sous-sol doivent atteindre des profondeurs supérieures à la pénétration maximale du gel, être convenablement remblayées et drainées ou protégées par de l'isolant.

Les petits bâtiments non chauffés tels que garages et installations de stockage, qui peuvent être sujets à des soulèvements lorsqu'ils sont construits sur un sol sensible au gel ne doivent pas être rattachés à des bâtiments qui ne sont pas susceptibles de se soulever. Dans le cas contraire, les mouvements différentiels qui en résulteraient pourraient endommager les murs de liaison et les toits et créeraient des problèmes d'entretien continus.

Action du gel pendant la construction en hiver

Le soulèvement et les dommages dus au gel surviennent souvent au début de l'hiver sur les chantiers de construction parce que le chauffage temporaire ne commence généralement pas assez tôt. Il faut faire bien attention d'éviter que l'action du gel n'affecte les fondations durant cette période.

Les semelles intérieures, qui ne sont souvent placées qu'à quelques pouces au-dessus des dalles de sous-sols, sont particulièrement vulnérables à l'action du gel pendant cette période. Les murs et les dalles d'un bâtiment inachevé exercent un effet de refroidissement et accélèrent l'extraction de la chaleur du sol. Cet effet est plus prononcé immédiatement au-dessus de la semelle. Si le sol est sensible au gel, il peut s'ensuivre un soulèvement très prononcé de l'ossature. Dans les mêmes conditions, les dalles en béton sur terre-plein peuvent être soulevées, ce qui entraîne l'écrasement des cloisons légères ou la distorsion de l'ossature du bâtiment et des dommages à la structure si les cloisons sont suffisamment résistantes pour transmettre les contraintes. On utilise parfois de la paille avec succès comme isolant temporaire sur les dalles, mais en temps de gel, cela ne peut empêcher les déperditions thermiques sous les semelles supportant les murs et les poteaux. Dans les bâtiments conçus pour être chauffés, il est donc important que les fondations peu profondes et les dalles sur terre-plein soient adéquatement protégées contre le gel durant la construction par temps froid soit au moyen d'un chauffage temporaire, soit par une isolation appropriée convenablement placée.

Les bâtiments qui comportent un vide sanitaire entre les fondations et le premier niveau sont aussi vulnérables à l'action du gel. Un chauffage temporaire n'est souvent installé qu'au-dessus du premier étage et rien n'est prévu pour le vide sanitaire. Par temps de gel, il peut se produire un soulèvement.

Parois et supports d'excavations

Des conditions dangereuses peuvent se développer en hiver dans les parois des excavations supportées par des rideaux de palplanches ou des systèmes de pieux et de garnitures. L'air froid est plus dense que l'air chaud et s'infiltré dans les espaces sous le rez-de-chaussée, accélérant l'extraction de la chaleur du sol derrière les ouvrages de retenue. Dans ces conditions l'écoulement de chaleur est essentiellement horizontal et les lentilles de glace se forment parallèlement aux murs. Il en résulte de fortes pressions contre les murs, ce qui cause des augmentations considérables dans les pièces horizontales des éléments de support. Les longrines qui vont d'une paroi à l'autre sont soumises à des augmentations de contraintes provenant des deux murs. Si l'on suspecte des risques de conditions dangereuses, il est absolument indispensable de surveiller les murs et les systèmes de support pour détecter les mouvements et les augmentations de contraintes associés à l'action du gel. Si ces constatations indiquent que des pressions de soulèvement excessives se développent, il est possible de prendre des mesures préventives. Parmi celles-ci on peut citer l'ajustement continu des systèmes de support pour libérer les tensions excessives et l'installation de systèmes de chauffage.

Le sol sous la semelle d'un étau ne doit jamais geler. En plus de produire des contraintes plus fortes sur l'élément porteur, des conditions d'instabilité peuvent se développer si le sol dégèle rapidement et il peut s'ensuivre une perte de la force de cisaillement dont dépend la stabilité. Cela peut entraîner la défaillance complète de la semelle et la perte de support de la paroi.

Résumé

En concevant les bâtiments contre les risques de soulèvement par le gel, on évite des conditions qui causeraient la ségrégation de la glace dans les sols sensibles au gel. On peut contrôler l'action du gel grâce à une bonne compréhension des problèmes qu'elle peut produire et en appliquant les mesures préventives appropriées.

Bibliographie

- Boyd, D. W., 1973. Normal freezing and thawing degree-days for Canada. Environment Canada, Atmos. Environ., Rep. CL 14-73.
- Brown, W. C., 1964. Difficulties associated with predicting depth of freeze or thaw. Can. Geotech., J., Vol. 1, No. 4, p. 215-226.
- Robinsky L, and K. E. Bessflug, 1973. Design of insulated foundations. J. Soil Mech. Found. Engg., A.S.C.E., Vol. 99, SM9, p. 649-667.