NRC·CNRC

NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

Congélation du sol et soulèvements dus au gel

Penner, E.

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/10.4224/40000967
Digeste de la construction au Canada, 1964-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=52bc885d-8166-4df8-9814-bd108d8e75f7
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=52bc885d-8166-4df8-9814-bd108d8e75f7

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.

National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada

Canada

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 26F

Congélation du sol et soulèvements dus augel

Publié à l'origine en janvier 1964

E. Penner

Veuillez 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 dommages causes par le gel aux fondations des maisons, aux murs de soutènement, aux allées de garage, etc. sont très communs au Canada et, quoiqu'ils ne soient pas aussi graves dans toutes les régions, le coût qui en résulte chaque année est très élevé. On trouvera dans le présent Digeste une brève description des processus physiques impliqués dans la congélation du sol et dans le soulèvement par le gel ainsi que des suggestions concernant les moyens à employer pour empêcher ou diminuer les dommages causés aux ouvrages par le gel.

Les dégâts dus au soulèvement par le gel ne datent pas d'hier. Des documents suédois remontant au 17^{e} siècle font mention du soulèvement de gros rochers dans la nature et de la cassure de racines de plantes en hiver. Tout d'abord on a pensé que le soulèvement du sol par le gel était le résultat de la dilatation de l'eau qui gèle. On pense maintenant que les cristaux de glace qui grandissent attirent l'eau du sol avoisinant et forment des lentilles de glace.

Congélation du sol et pénétration du gel

Lorsqu'un sol humide gèle le phénomène principal est le changement physique de l'eau du sol qui va de l'état liquide à l'état solide et transforme le sol en une masse dure qui ressemble au béton. La dureté de cette masse est due en partie au fait que des particules de sol sont reliées ensemble par la glace. Dans un corps poreux comme le sol l'eau se trouve dans un réseau de pores reliés les uns aux autres; lorsqu'elle gèle ce réseau devient rigide et il enferme les particules de sol dans un bloc solide. Si le sol est sec il ne peut pas "geler" au sens propre du mot quoique sa température puisse être bien inférieure à 32°F.

On a constaté que toute l'eau du sol ne gèle pas à la même température, Dans des études effectuées avec de l'argile limoneuse saturée la moitié de l'eau est restée non gelée à 28°F; à -4°F le sixième de l'eau n'était pas encore gelé. Du fait que tous les sois gèlent de la même façon il n'est pas surprenant que la résistance du sol gelé augmente lorsque la température baisse et que davantage d'eau gèle. On a découvert récemment que la résistance des sols à gros grains augmente de trois ou quatre fois lorsque la température passe de 18 à 0°F.

La vitesse à laquelle le sol gèle dépend de ses propriétés thermiques, de sa teneur en humidité et de la température de l'air ambiant. Le plus important de ces facteurs est probablement la quantité d'eau qui doit geler étant donné qu'il faut 144 unités thermiques (Btu) pour geler une livre d'eau alors qu'il faut seulement environ 0.20 unité de chaleur pour modifier la température d'une livre de sol sec de 1°F. La densité, la conductivité des particules de sol et la teneur en eau sont des facteurs qui influent tous sur la conductivité thermique globale du sol. Du fait que les particules d'argile ont une valeur isolante supérieure à celle des particules de limon ou de sable et du fait que les sols argileux contiennent normalement plus d'humidité que les limons et que les sables la pénétration du gel est généralement plus profonde dans les sols limoneux et sableux (sols à consistance légère) que dans les argiles et dans les argiles limoneuses (sols à consistance lourde).

Il existe d'autres facteurs influant sur la profondeur du gel. L'effet isolant de la neige mérite une mention spéciale. On a indiqué que chaque pied de neige non remuée réduit la profondeur du gel du sol d'environ un pied. Parmi les facteurs météorologiques comme la température de l'air, l'ensoleillement, les précipitations et la vitesse du vent c'est probablement la température de l'air qui est le facteur le plus important. L'emploi de "jours-degrés de gel" comme guide pour calculer la profondeur du gel d'une zone donnée donne une idée de la grande influence que la température de l'air exerce sur la température du sol. Un jour-degré de gel se produit lorsque la température moyenne de l'air extérieur pour une journée est de 1F degré sous 32°F. Par exemple, si la moyenne de la température de l'air pour ni) jour donné est de 31°F cela constitue un jour-degré de gel. L'indice de gel est simplement le nombre total de jours-degrés de gel pour un hiver donné.

L'indice de gel pour prédire la profondeur de la pénétration du gel doit être utilisé avec prudence car il est basé seulement sur la température de l'air et il ne tient pas compte d'autres facteurs comme le type de soi, la couverture de neige et les différences climatiques locales. Dans les zones où on ne dispose pas de renseignements sur la pénétration réelle du gel l'indice du gel est un guide utile. On peut voir à la figure 1 une courbe de gel établie en fonction de la profondeur de pénétration du gel telle qu'elle a été déterminée par l'analyse de nombreuses observations faites à l'égard de la pénétration du gel au Nord des États-Unis. Cette courbe a été établie par le *U.S. Corps of Engineers* et elle est utilisée comme guide pour estimer la profondeur de la pénétration du gel lorsque l'on établit les plans des pistes d'aéroport. Une carte donnant les indices de gel pour le Canada tout entier a été préparée par le ministère des Transports et on peut l'obtenir en s'adressant à la Division des recherches en bâtiment (Document NRC 3573). Une notice explicative accompagne la carte.

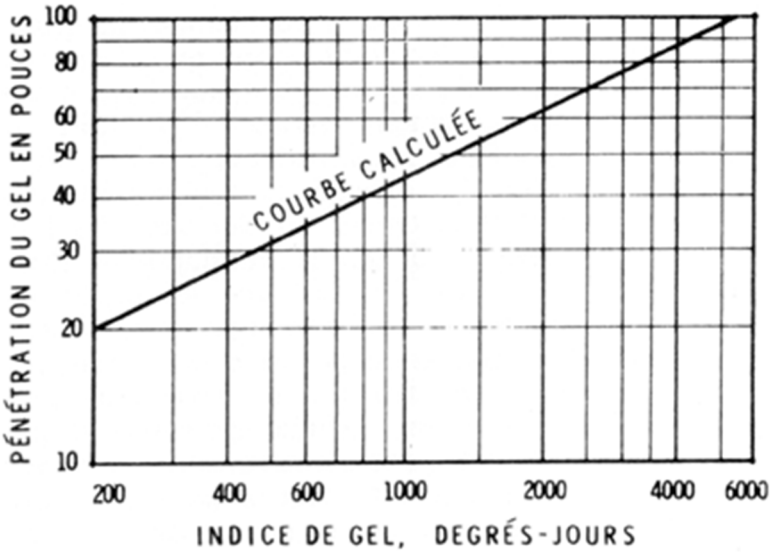


Figure 1. Courbe calculée de la pénétration du gel observée dans les excavations.

Soulèvement par le gel

Dans de nombreux cas où le sol gèle aucun changement extérieur n'est visible quoique, comme on l'a indiqué plus haut, la dureté du sol est accrue. Dans d'autres cas, cependant, il y a soulèvement et le déplacement du sol qui en résulte peut provoquer des dégâts considérables. Le déplacement vertical de ce soulèvement est bien plus important que la dilatation de l'eau quand elle gèle. Le soulèvement a lieu lorsqu'il se produit une combinaison appropriée de sol à grains fins, d'humidité et de basse température.

Lorsque la température moyenne de l'air baisse en automne la surface du sol commence à geler. Lorsque les basses températures de l'hiver font leur apparition le niveau du gel descend lentement dans le sol. Dans un sol humide à grains fins un phénomène particulier se produit. Au niveau du gel l'eau du sol se transforme en glace. Ceci, en fait, est une action desséchante et l'eau qui se trouve dans les couches inférieures du sol non gelé se dirige vers le niveau du gel de la même façon que l'eau qui va d'un soi humide à un sol sec. Cette eau en atteignant le niveau du gel peut traverser et côtoyer les particules de sol qui s'y trouvent et rejoindre les cristaux de glace des couches supérieures ce qui provoque le grossissement des lentilles ou des couches de glace pure. Une pression est exercée de telle sorte que la glace et le sol au-dessus d'elle sont soulevés.

Quand il y a une quantité suffisante d'au niveau du gel dans un sol du type approprié les lentilles de glace peuvent grossir presque indéfiniment. Par ailleurs, il est impossible pour le niveau du gel de pénétrer plus avant dans le sol non gelé par suite de la chaleur dégagée par l'eau lorsqu'elle gèle.

En pratique, le niveau de gel reste rarement stationnaire pendant longtemps; l'approvisionnement en eau peut décroître ou le taux de perte de la chaleur peut augmenter par suite d'un changement dans les conditions ambiantes. L'équilibre entre la chaleur provenant du gel de l'eau et la perte de chaleur à la surface est alors rompu et le niveau du gel avance jusqu'à ce que les conditions de croissance de nouvelles lentilles de glace règnent à nouveau. Ceci a pour conséquence la formation d'une série de lentilles de glace séparées par des couches de sol congelé, situation que l'on trouve très communément dans la nature.

Les lentilles de glace se développent fréquemment dans le sol sous les surfaces des routes quelles soulèvent. A mesure que le dégel se produit vers le bas à partir de la surface au printemps les lentilles de glace fondent et apportent de l'eau au sol. Dans certains cas l'eau qui s'est accumulée par suite de la formation de lentilles de glace et leur fonte subséquente est suffisante pour que le sol perde sa résistance et que le passage des véhicules défonce les chaussées des rues qui n'ont plus de fondation solide.

La dilatation du sol due à la formation de lentilles de glace varie sur une grande échelle mais des mouvements verticaux de 4 à 8 pouces ne sont pas inusités et on a même enregistré des mouvements de 24 pouces.

Les pressions de soulèvement varient également sur une très grande échelle et elles dépendent principalement du type du sol et de sa teneur en humidité. Un sol saturé donne de très fortes pressions de soulèvement; a mesure que la teneur en humidité baisse la pression de soulèvement est réduite. Elle est nulle dans un sol ayant une faible teneur en humidité. Le type du soi a une influence en ce sens que des sols argileux provoquent des pressions plus fortes que les limons. Des pressions excédant 14 livres par pouce carré ont été mesurées et dans une expérience de laboratoire une pression de 213 livres par pouce carré a été réalisée dans un sol argileux. Des pression de cet ordre sont très supérieures aux pressions que l'on trouve sous les chaussées ou sous les fondations de la plupart des bâtiments de telle sorte que ces ouvrages peuvent être soulevés très facilement lorsque les conditions sont appropriées pour que se forment des lentilles de glace. Aucun soulèvement ne peut avoir lieu cependant à moins que la pression de soulèvement ne dépasse la charge exercée sur le sol.

Les trois exigences fondamentales pour le soulèvement par le gel sont: 1) un niveau de gel dans le sol; 2) un sol à grains fins au travers duquel l'humidité peut se déplacer et 3) une réserve d'eau. Si l'un quelconque de ces facteurs peut être contrôlé le soulèvement par le gel peut ne pas avoir lieu. Étant donné qu'il est rarement possible de contrôler économiquement la

température du sol le soulèvement par le gel est généralement contrôlé en remplaçant le sol à grains fins par un matériau à gros grains. L'humidité du sol peut aussi être contrôlée par un bon système de drainage de telle sorte que le soulèvement par le gel soit grandement réduit.

La nature des sols soulevés par le gel

Dans toute étude visant au choix d'un lieu de construction il faut déterminer si des lentilles de glace risquent de se former dans le sol envisagé. Cette détermination peut être très difficile si le sol est composé de granules de dimensions telles qu'elles puissent ou ne puissent pas provoquer de soulèvement. Les caractéristiques d'un sol ayant un grand pouvoir de soulèvement par le gel sont bien connues ainsi que celles d'un sol qui ne risque pas d'être soulevé par le gel. La difficulté se fait jour lorsqu'il y a un mélange de sol apte à être soulevé par le gel et de sol que le gel ne soulève pas.

La dimension des particules d'un sol a une influence marquée sur les propriétés de ce dernier et cette caractéristique est souvent employée pour déterminer les risques de soulèvement. La détermination de la dimension des particules est relativement facile étant donné que la plupart des laboratoires d'essais sont équipés en conséquence. Bien que l'on se fonde souvent sur la dimension des particules de sol pour prédire les possibilités de formation des lentilles de glace, il y a de nombreux cas où le soulèvement par le gel a lieu dans des sols que l'on considérait sans danger d'après les dimensions des particules. On a tenté d'avoir recours à d'autres propriétés comme la capillarité pour déterminer les risques de soulèvement par le gel. Quoique cette méthode de détermination soit plus difficile les indications qu'elle fournit sont plus réalistes pour ce qui est des caractéristiques de soulèvement par le gel et elles renseignent indirectement quant à la dimension des pores et à leur répartition dans le sol.

Une théorie fondée sur les corrélations existant entre les dimensions des pores et les pressions de soulèvement est que plus la dimension des pores est petite plus la pression est grande. La façon dont la répartition des dimensions des pores affecte la pression de soulèvement fait actuellement l'objet d'une étude.

En général on peut dire que les sables grossiers et les graviers propres ne se soulèvent pas tandis que les sables fins et les limons risquent fort de se soulever. Les argiles sont également très aptes à se soulever quoiqu'elles se soulèvent généralement lentement mais souvent avec de très fortes pressions. Les limons se soulèvent très facilement mais leurs pressions de souIèvement sont très faibles. Lorsque des limons, des sables ou des graviers renferment de l'argile, cependant, les risques de soulèvement sont généralement très accentués et il est très difficile de les déterminer avec précision.

A l'heure actuelle la méthode la plus sûre pour déceler les sois susceptibles d'être soulevés par le gel consiste à effectuer un essai de congélation en laboratoire, quoique les sols soulevés par le gel au laboratoire ne le sont pas toujours dans la nature. Ce type d'essai semble par conséquent assez sûr mais des études complémentaires doivent être effectuées afin que l'on puisse faire des prédictions absolument sûres.

Prévention des dégâts causés par le gel

Le soulèvement par le gel n'est généralement pas un problème dans les ouvrages chauffées puisque la perte de chaleur du bâtiment maintient au-dessus du point de congélation la température du sol adjacent à la fondation. Des difficultés se produisent souvent, cependant, en ce qui concerne les, bâtiments non chauffés et non accotés à des bâtiments chauffés. Des dégâts se produisent également sur les routes, sur les trottoirs et dans les conduites souterraines.

Un bâtiment non chauffé situé sur un sol soulevé par le gel peut fort bien ne subir aucun dégât si la fondation est soulevée uniformément de telle sorte qu'aucun effort n'est communiqué à la structure. Par contre, lorsque le sol n'est pas uniforme ou lorsque la couverture de neige est variable le soulèvement risque de ne pas être uniforme. Cette absence d'uniformité dans le soulèvement peut également se produire lorsque le bâtiment a une charpente reposant sur des semelles situées à l'intérieur du périmètre de l'ouvrage. Par suite de la protection fournie par le

bâtiment la pénétration du gel sous ces semelles peut être moins accentuée que sous les semelles du périmètre. Dans ces conditions, il risque de se produire des mouvements différentiels.

Si des murs de fondation et des semelles de type classique sont employés pour les bâtiments non chauffés et non adjacents à des bâtiments chauffés il faut qu'ils descendent au-dessous du niveau de pénétration maximum du gel. Dans de tels cas la terre de remblayage doit être choisie avec soin et bien drainée. Si on ne fait pas cela, la terre de remblayage peut être soulevée par le gel et elle peut soulever à son tour le mur de fondation qui repose sur elle.

Lorsqu'un bâtiment détaché est situé sur une dalle de béton une protection sera assurée en plaçant la dalle sur une couche de terrain à gros grains lesquels serviront de tampons contre tout mouvement du sol sous la couche en question laquelle doit avoir de 12 à 18 pouces d'épaisseur.

Les dépendances non chauffées ajoutées aux bâtiments situés sur des sols ayant tendance à être soulevés sont souvent endommagées si leur fondation ne descend pas au-dessous du niveau du gel. Cela est du au fait qu'une partie ou que l'ensemble de la fondation de la dépendance ne bénéficie nullement de la chaleur du bâtiment central. Dans de tels cas la pénétration du gel au-dessous des fondations provoquera un soulèvement qui aura pour résultat le déplacement de la dépendance. Par suite de ce danger les dépendances devraient avoir des fondations prolongées au-dessous de la ligne de gel et reposer sur des matériaux de remblayage appropriés pour empêcher le soulèvement des murs de fondation.

Pour qu'ils ne se déplacent pas les murs de soutien peuvent être protégés au moyen d'un matériau de remblayage placé derrière le mur et renfermant des grains propres et au moyen de barbacanes pratiquées à la base des murs de façon à faciliter le drainage.

Bien que les allées de garage puissent tolérer certains mouvements différentiels particulièrement lorsque la chaussée est souple comme le béton à base d'asphalte, ces mouvements doivent être contenus le plus possible pour éviter les fissures et les infiltrations d'eau qui pourraient en résulter. Il est souhaitable d'avoir une sous-fondation uniforme de façon à réduire les soulèvements différentiels. Pour cela il est souvent nécessaire de faire un mélange spécial du sol sur les lieux. En ajoutant six pouces de remblai granulaire propre on fournira un support supplémentaire pour la chaussée durant la période de dégel si la sous-fondation venait à s'amollir au printemps par suite de la fonte des lentilles de glace.

L'eau qui s'écoule des bâtiments devrait être dirigée loin des zones critiques en aménageant comme il faut le terrain environnant. Ceci permettra en même temps d'avoir un meilleur drainage dé la sous-fondation ce qui est particulièrement important pour les allées de garage où l'on utilise une fine couche de matériaux granulaires sous la surface.

On peut empêcher le soulèvement par le gel si la température du sol ou la teneur en humidité du sol ou le type du soi peuvent être contrôlés. Lorsque des mouvements différentiels ne peuvent pas être tolérés il faut remplacer le sol. Un bon drainage réduira l'étendue du soulèvement par le gel mais il n'est généralement pas possible de réduire la teneur en humidité du soi par simple drainage au point d'éliminer tout soulèvement.

Bien que les bâtiments chauffés aient peu à craindre de l'action du gel ceci ne signifie pas que la hauteur de leurs fondations puisse être réduite. Toute fondation située sous la ligne de gel se trouve, dans la plupart des régions du Canada, dans une région où la teneur en humidité du sol est uniforme d'un bout de l'année à l'autre. Ceci peut être une considération tout aussi importante dans l'établissement des plans d'un bâtiment que celle qui consiste à prévenir le soulèvement par le gel.