

418183

JUILLET 1996

VOLUME THÉMATIQUE

Numéro 22

Modélisation du comportement des chaussées dans les déblais d'argile

La construction de nouvelles routes, la modification du profil ou du tracé existant nécessitent parfois la réalisation de déblais à l'intérieur d'un dépôt d'argile. Dans certains cas, des déformations importantes de la chaussée ont été observées dans les secteurs en déblai à la suite d'un premier cycle de gel-dégel de l'argile. Ce numéro thématique de *Recherches Transport* présente ici un cas où la chaussée s'est déformée au printemps suivant sa construction. L'analyse du problème et les solutions envisagées y sont exposées.

La profondeur de gel a été modélisée en fonction de l'indice de gel et des propriétés des matériaux de la structure de chaussée et de l'argile sous-jacente. Les relations proposées par de récents travaux de recherche pour prévoir la variation de l'indice de liquidité et de la teneur en eau de l'argile ont servi à évaluer le tassement de l'argile au dégel.

Les résultats ont été comparés et validés par les relevés effectués sur la chaussée et par les sondages.

Les modélisations effectuées dans cette étude pour les caractéristiques de l'argile rencontrée sur le site démontrent que des mesures doivent être prises pour limiter la pénétration du gel et éviter ainsi des déformations inadmissibles qui seraient occasionnées par un deuxième cycle de gel-dégel.

Pour limiter la pénétration du gel, des modélisations ont été réalisées afin d'évaluer l'épaisseur de matériau requis et la faisabilité de la technique du rechargement granulaire et de la technique incorporant un isolant thermique à l'intérieur de la structure de chaussée. Compte tenu des conditions rencontrées sur le site étudié, l'isolation thermique de la chaussée a donc été retenue.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,
21^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

Yves Savard, ing., M.Sc.
Service des chaussées
Transports Québec

SOMMAIRE

2	Introduction
2	Description du site
3	Comportement de la chaussée
5	Caractéristiques de la structure de chaussée et de l'argile
6	Modélisation
10	Intervention sur la chaussée
1	Conclusion
1	Références



Ce bulletin est produit par le Service de la documentation et de l'information scientifique, Direction de la coordination de la recherche et de l'information en transport, Ministère des Transports du Québec 700, boul. René-Lévesque Est, 21^e étage Québec (Québec) G1R 5H1
Tél. : (418) 643-6039
Fax : (418) 646-2343

Recherche et coordination : *Dominique Duchesne*
Conception et édition électronique : *Carole Robitaille*

Dépôt légal -
Bibliothèque nationale
du Québec, 1996
ISSN 1198-1113

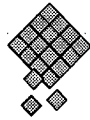
CANQ
TR
248
V. 22



INTRODUCTION

La modification du profil ou du tracé des routes existantes et la construction de nouvelles routes nécessitent parfois la réalisation de déblais à l'intérieur de dépôts argileux. Dans certains cas, des déformations importantes de la chaussée ont été observées dans les secteurs en déblai à la suite d'un premier cycle de gel-dégel de l'argile.

Cet article présente un cas récent où la chaussée s'est déformée dans les déblais d'argile au printemps suivant sa construction. Les causes du mauvais comportement de la chaussée à la suite d'un premier cycle de gel-dégel y sont établies. Des modélisations ont été réalisées pour proposer les mesures appropriées afin d'éviter des déformations de la chaussée au deuxième cycle de gel-dégel.



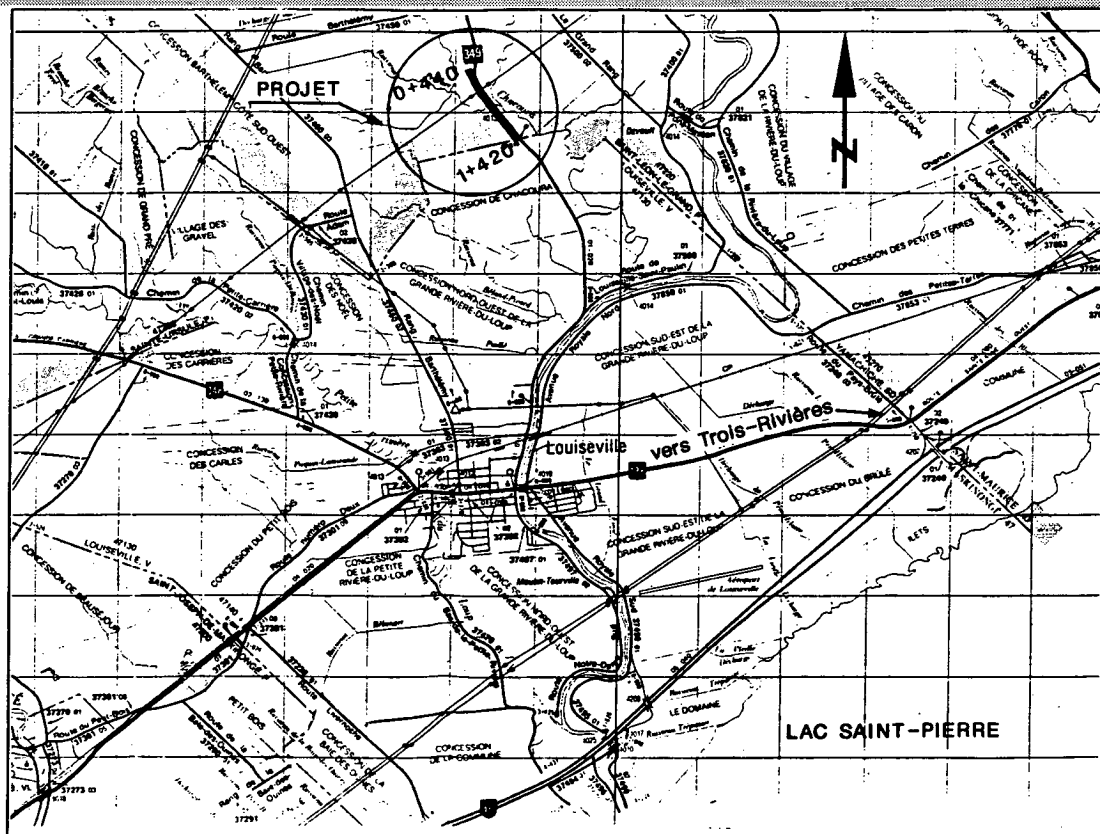
DESCRIPTION DU SITE

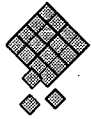
Le tronçon de route étudié est localisé à environ 30 km à l'ouest de Trois-Rivières et 6 km au nord de Louiseville sur la route 349 à Saint-Léon-le-Grand (figure 1). Cette section de route a fait l'objet d'une reconstruction complète en 1993 en raison du changement de tracé et de profil entre les chaînages 0+440 et 1+420, soit sur une longueur de 980 mètres. Les travaux ont nécessité la réalisation de déblais à l'intérieur d'un dépôt d'argile pouvant atteindre 3,50 mètres de profondeur. Des sections de la route sont en remblai et, de plus, un ponceau a été aménagé au droit d'un ruisseau. Au printemps de 1994, la surface de la chaussée s'est déformée de façon importante, c'est-à-dire immédiatement après le premier cycle de gel-dégel suivant la reconstruction.

Le débit journalier moyen annuel (DJMA) mesuré en 1992 sur ce tronçon de la route 349 est de 2660 véhicules par jour. Par ailleurs, le pourcentage de véhicules lourds sur ce tronçon est estimé à 10 %.

L'indice de gel des normales climatiques calculé sur 30 ans est d'environ 1285 °C x jour pour cette région. L'indice de gel calculé pour l'hiver 1993-1994 s'élève à 1500 °C x jour et représente un hiver relativement rigoureux. Pour le dimensionnement des chaussées au gel, on utilise un indice de gel rigoureux évalué sur la moyenne des trois hivers les plus froids des 30 dernières années et qui correspond, pour la région étudiée, à 1690 °C x jour.

Figure 1
Plan de localisation





COMPORTEMENT DE LA CHAUSSÉE

Les déformations observées à la surface de la chaussée sont localisées dans trois secteurs en déblai à l'intérieur d'un dépôt d'argile. Les déformations se présentent sous la forme de dépressions réparties de manière désordonnée. L'occurrence

des déformations semble être liée aux déblais qui atteignent l'argile homogène n'ayant pas subi de cycles de gel-dégel sous la croûte argileuse (figure 2). Les secteurs en déblai à l'intérieur du dépôt d'argile sont compris entre les chaînages 0+740 à 0+830, 0+940 à 1+020 et 1+165 à 1+335 (figure 3).

Les différences entre les profils théoriques et les profils mesurés des trois secteurs affectés par des

déformations sont présentées sur la figure 4. Les différences d'élévation entre les profils indiquent que les déformations observées sont généralement des tassements de l'ordre de 4 à 10 cm et peuvent atteindre localement 19 cm. La qualité de roulement est sérieusement affectée dans ces secteurs. En effet, plusieurs endroits de la route présentent une variation de l'élévation du profil de l'ordre de 8 cm sur une distance de 2 mètres.

Figure 2
Déblai dans les secteurs déformés

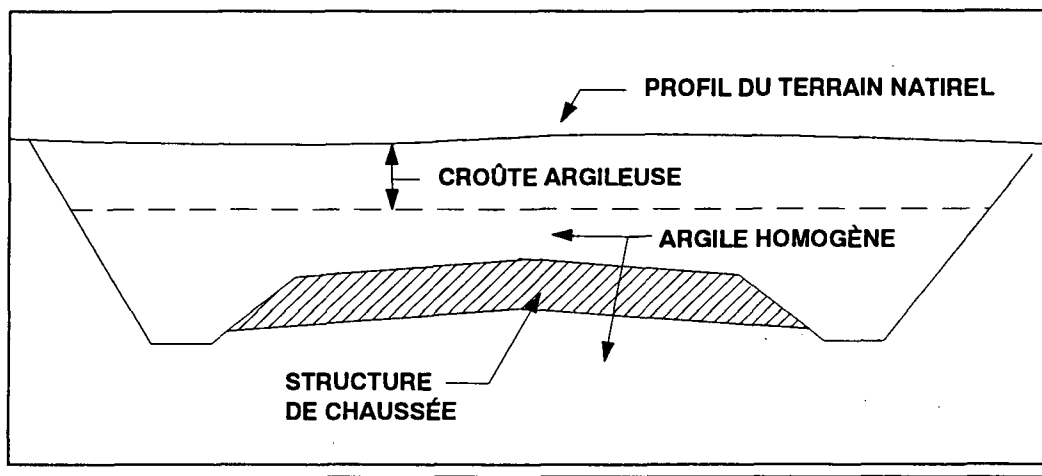


Figure 3
Profil longitudinal de la route

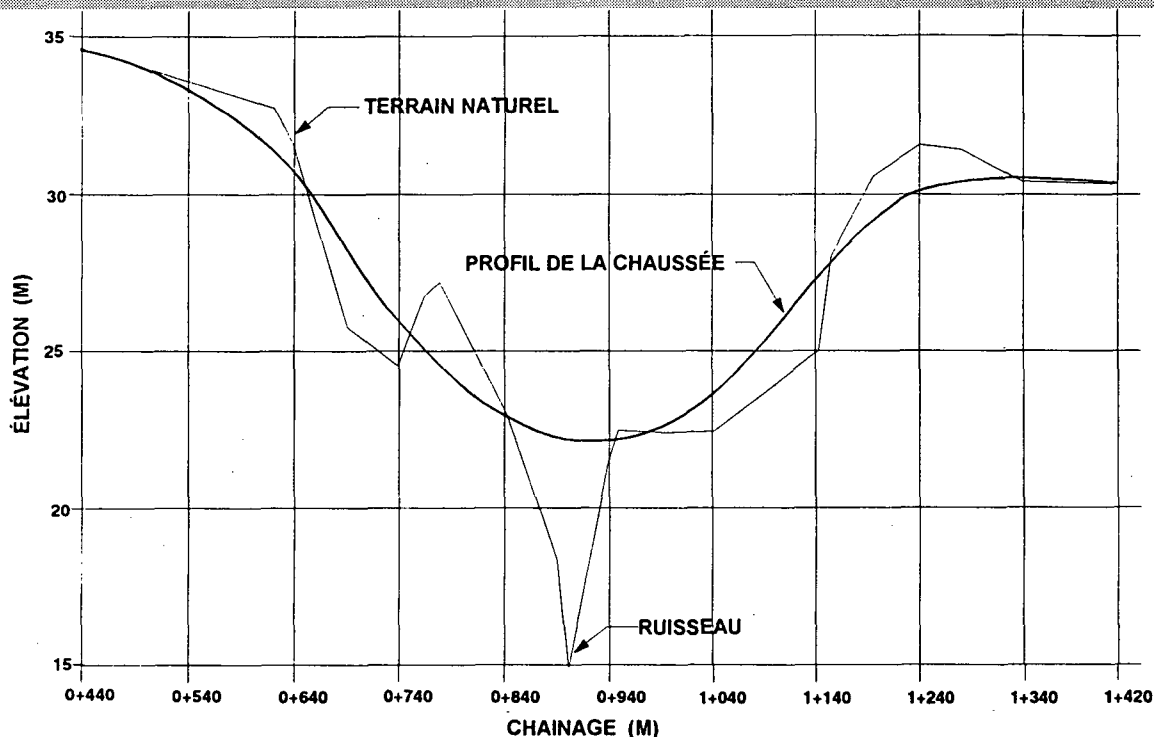
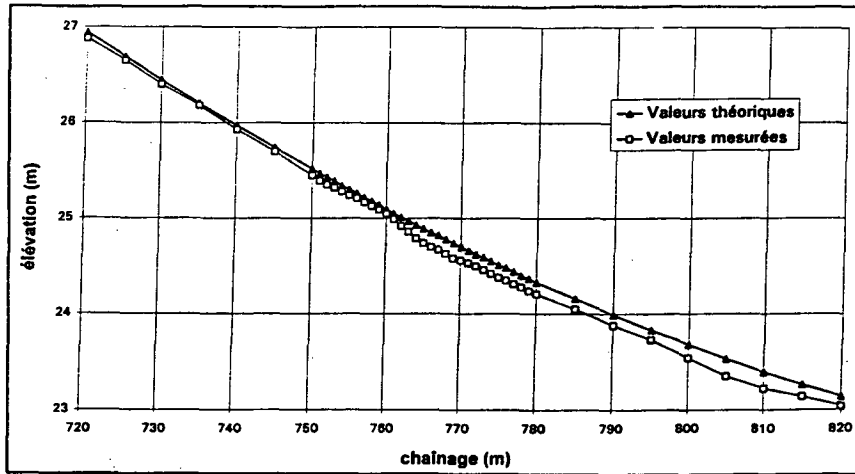
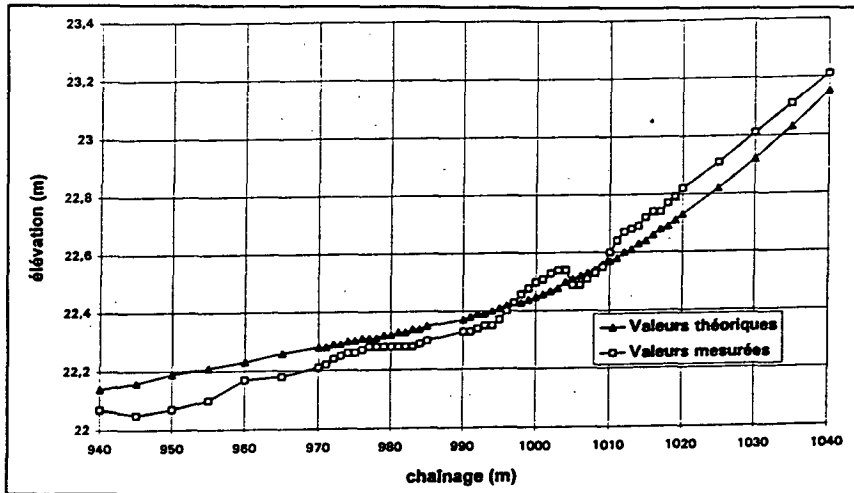


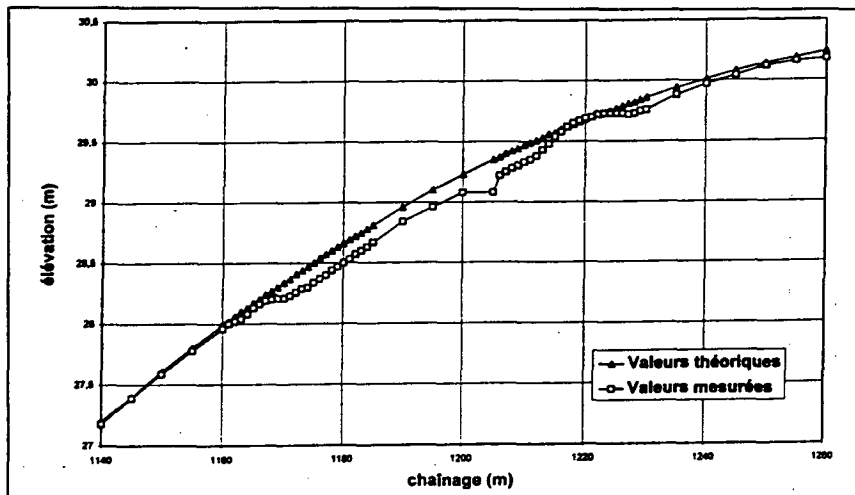
Figure 4
Profils longitudinaux des secteurs déformés



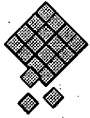
A) SECTEUR 0+720 À 0+820 (CENTRE)



B) SECTEUR 0+940 À 1+040 (CENTRE)



C) SECTEUR 1+140 À 1+260 (CENTRE)



CARACTÉRISTIQUES DE LA STRUCTURE DE CHAUSSÉE ET DE L'ARGILE

Dans les secteurs présentant des déformations, huit sondages ont été réalisés à l'aide d'une foreuse montée sur camion. Une tarière de 150 mm de diamètre a été utilisée à l'intérieur de la structure de chaussée pour mesurer l'épaisseur des couches et prélever des échantillons. À partir du contact avec le dépôt d'argile, les échantillons ont été prélevés à l'aide de tubes à paroi mince.

La structure de chaussée mise en place lors des travaux de construction réalisés à l'été de 1993 et confirmée par les sondages est la suivante :

Enrobé (couche de base) :

55 mm (130 kg/m²) de MB-20;

Fondation supérieure :

150 mm de granulats concassés de calibre 20-0;

Fondation inférieure :

225 mm de granulats concassés de calibre 56-0;

Sous-fondation :

450 mm de sable de classe «A» de calibre 112-0.

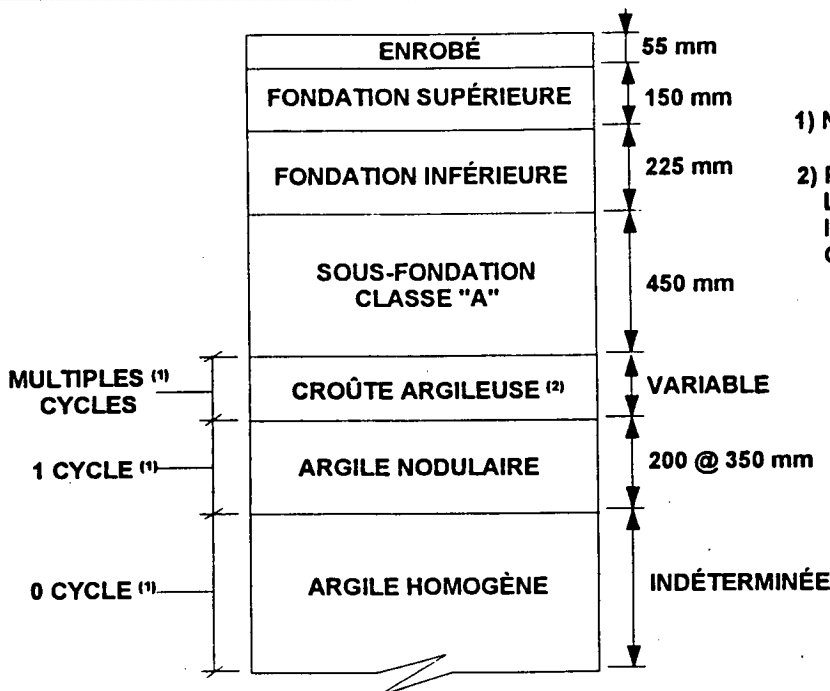
La couche de roulement de 40 mm (90 kg/m²) de MB-16 prévue pour recouvrir la couche de base devait être posée à l'été de 1994. À cause du mauvais comportement de la chaussée, la couche de base en béton bitumineux a été enlevée localement aux endroits où les déformations étaient très accentuées afin de régaler la surface et d'ainsi rétablir provisoirement le profil de la route.

Les analyses granulométriques effectuées sur les échantillons prélevés dans la fondation et la sous-fondation indiquent que ces matériaux rencontrent les exigences du ministère des Transports du Québec (MTQ). La teneur en eau dans chacune des couches a été mesurée pour déterminer les propriétés thermiques de ces matériaux. Les analyses démontrent que la teneur en

eau dans les matériaux de fondation est d'environ 2,5 % et, dans la sous-fondation, la teneur en eau est en moyenne de 6 % dans la partie supérieure et de 11 % dans la partie inférieure. Par ailleurs, la saturation de la partie inférieure de la sous-fondation est occasionnée par le drainage de la nappe phréatique dans les secteurs en déblai.

Sous la structure de chaussée, une croûte argileuse oxydée de couleur brun jaunâtre a été rencontrée localement aux chaînages 0+739 et 0+758, soit dans un secteur où l'épaisseur excavée du dépôt d'argile était plus faible. De façon générale, on découvre une argile grise d'aspect nodulaire sous la structure de chaussée et localement aussi sous la croûte argileuse. Par ailleurs, de l'argile grise d'aspect homogène est rencontrée sous l'argile nodulaire. La figure 5 schématise la stratigraphie rencontrée dans les sondages. Les propriétés physiques et mécaniques des couches d'argile relevées dans les sondages sont résumées au tableau 1.

Figure 5
Stratigraphie dans les sondages



NOTES

1) NOMBRE DE CYCLES DE GEL-DÉGEL

2) PRÉSENTE SEULEMENT LORSQUE LA PROFONDEUR DE DÉBLAI EST INFÉRIEUR À 1,50 m (terrain naturel) OU 2,0 m (ancienne chaussée)

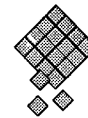
Tableau 1
Propriétés physiques et mécaniques de l'argile

Nature de la couche	W (%)	W _I	W _p	I _p (%)	I _L	C _u (kPa)	
						intact	remanié
Croûte	30,2 à 33,1 (\bar{X} = 31,7)	50,2 à 53,0 (\bar{X} = 51,6)	27 À 28 (\bar{X} = 27,5)	22,2 à 26,0 (\bar{X} = 24,1)	0,12 à 0,23 (\bar{X} = 0,18)	176 à 245 (\bar{X} = 210)	80
Nodulaire	43,9 à 47,9 (\bar{X} = 45,5)	53,7 à 60,3 (\bar{X} = 56,5)	22,4 à 29,2 (\bar{X} = 24,7)	28,4 à 35,5 (\bar{X} = 31,8)	0,58 à 0,74 (\bar{X} = 0,65)	54 à 80 (\bar{X} = 65)	14,4 à 19,6 (\bar{X} = 16)
Homogène	69,8 à 78,0 (\bar{X} = 73,0)	61,8 à 65,1 (\bar{X} = 63,3)	25,3 à 27,3 (\bar{X} = 26,4)	34,5 à 38,8 (\bar{X} = 37,0)	1,23 à 1,34 (\bar{X} = 1,29)	n.d.	n.d.

Le dépôt d'argile est classé CH d'après la classification unifiée des sols. L'indice de liquidité (I_L) et la teneur en eau (W) de l'argile homogène n'ayant pas subi de cycle de gel-dégel sont élevés, soit respectivement des valeurs moyennes de 1,29 et 73 %. Après un cycle de gel-dégel, l'argile présente un aspect nodulaire à la suite de la formation des lentilles de glace. L'indice de liquidité de l'argile nodulaire est en moyenne de 0,65 et la teneur en eau de 45,5 %, soit des baisses respectives de 0,64 et de 27,5 % après un cycle de gel-dégel. L'épaisseur mesurée d'argile nodulaire est généralement comprise entre 20 et 35 cm avec une moyenne de 27 cm. La résistance au cisaillement (C_v) mesurée dans cette couche à l'aide du pénétromètre à cône suédois est en moyenne de 65 kPa à l'état intact et de 16 kPa à l'état remanié. La croûte argileuse est la couche superficielle du dépôt d'argile qui a subi de multiples cycles de gel-dégel et qui est ainsi oxydée par le temps. L'indice de liquidité de la croûte argileuse est en moyenne de 0,18, soit une variation de 0,47 par rapport à l'argile avec un cycle de gel-dégel. La teneur en eau est en moyenne de 31,7 %, soit une baisse de 13,8 % avec l'argile d'un cycle de gel-dégel. La résistance au

cisaillement dans la croûte argileuse est élevée, soit en moyenne 210 kPa pour l'argile intacte et 80 kPa pour l'argile remaniée.

Ces résultats indiquent donc que les cycles de gel-dégel font diminuer la teneur en eau (W) et la limite de liquidité (W_L) des argiles, alors que la limite de plasticité (W_p) n'est pratiquement pas affectée. Par conséquent, l'indice de liquidité (I_L) diminue avec les cycles de gel-dégel et, de façon moindre, l'indice de plasticité (I_p).



MODÉLISATION

La pénétration du gel, la variation des propriétés des argiles et les tassements ont été modélisés pour expliquer l'apparition des déformations observées sur la route et proposer ainsi les interventions appropriées pour corriger la situation.

La profondeur de pénétration du front de gel dans un système multicouche a été modélisée à l'aide de la formule de Berggren modifiée (Aldrich, 1956) :

$$x = \lambda \left[\frac{48 F}{(L/k)_{eff}} \right]^{1/2}$$

où x est la profondeur de gel (pi), λ est un facteur de correction, F est l'indice de gel (°F x jour), L est la chaleur latente et k est la conductivité thermique pour chacune des couches.

De plus, les relations proposées par le groupe de géotechnique de l'Université Laval ont été utilisées pour prévoir la variation de la teneur en eau et de l'indice de liquidité (Leroueil et al., 1991) ainsi que le comportement de l'argile à partir des critères d'indice de liquidité (Roy et al., 1992) :

$$\Delta I_{L_0} = 0,73 (I_{L_0} - 0,5)$$

$$\Delta W = 0,73 I_{p_0} (I_{L_0} - 0,5)$$

où ΔI_{L_0} est la variation de l'indice de liquidité initiale, ΔW est la variation de la teneur en eau, I_{L_0} est l'indice de liquidité initiale et I_{p_0} est l'indice de plasticité initiale.

Par ailleurs, les tassements ont été estimés à partir de la théorie de consolidation des sols en géotechnique suivant la relation :

$$S = \frac{G \Delta W H}{1 + e_0}$$

où S est le tassement de la couche, G est la densité des grains, ΔW est la variation de la teneur en eau, H est l'épaisseur de la couche et e_0 est l'indice des vides initial.

Les relevés et les sondages sur le site ainsi que les résultats de laboratoire ont fourni les paramètres pour les modélisations et ont servi aussi à valider les relations utilisées.

Effet des cycles de gel-dégel

Les cycles de gel-dégel dans l'argile ont pour effet de diminuer la teneur en eau et l'indice de liquidité, ce qui modifie alors le comportement de l'argile.

Les recherches réalisées à l'Université Laval par le groupe de géotechnique indiquent que des déformations importantes sont susceptibles

de se produire, à la suite d'un cycle de gel-dégel, dans les dépôts d'argile avec un indice de liquidité supérieur à 0,9 (Roy et al., 1992). Pour les argiles avec un indice de liquidité compris entre 0,5 et 0,9, les déformations ne seront pas assez importantes pour altérer le bon comportement de la chaussée. Par ailleurs, les déformations seront nulles pour un indice de liquidité inférieur à 0,5.

a) Premier cycle de gel-dégel

L'indice de liquidité mesuré sur les échantillons d'argile homogène n'ayant pas subi de cycles de gel-dégel sur le tronçon étudié à Saint-Léon-le-Grand est en moyenne de 1,29. Cette valeur est largement supérieure à 0,9 et implique que la pénétration du gel à l'intérieur de ce dépôt va provoquer, par conséquent, des déformations au dégel. L'effet d'un premier cycle de gel-dégel sur la section de route construite à l'été de 1993 est analysé pour expliquer les déformations observées au printemps de 1994.

La profondeur de pénétration du gel modélisée à partir de l'équation de Berggren modifiée pour l'hiver 1993-1994 avec un indice de gel de 1500 °C x jour correspond à 1,19 m. D'après cette modélisation, le gel a pénétré de 310 mm à l'intérieur de l'argile homogène sous la structure de chaussée (figure 6).

La variation de la teneur en eau de la couche d'argile après un cycle de gel-dégel a été estimée à 21 % à partir de la relation proposée par Leroueil et al. (1991). La variation de la teneur en eau mesurée sur les échantillons prélevés sur le site est en moyenne de 28 %, ce qui est légèrement supérieur à la valeur estimée. Pour l'épaisseur estimée d'argile gelée (310 mm), la diminution de la teneur en eau conduit à un tassement de 6 cm à partir de la valeur estimée et de 7,9 cm d'après les valeurs mesurées sur les échantillons prélevés. Ces tassements sont en accord avec les déformations observées, généralement de l'ordre de 4 à 10 cm. Localement, l'effet du

poinçonnement sous les charges dynamiques peut occasionner des tassements pouvant atteindre 19 cm. L'épaisseur de la couche nodulaire, après le tassement de la couche initiale de 310 mm, est estimée à 250 mm, ce qui correspond, par ailleurs, à la moyenne de 270 mm observée dans les sondages.

D'un autre côté, la variation de l'indice de liquidité après un cycle de gel-dégel a été estimée à 0,58 à partir de la relation proposée par Leroueil et al. (1991). Cette variation conduit à un indice de liquidité de la couche nodulaire après un cycle de gel-dégel de l'ordre de 0,71. La variation de l'indice de liquidité mesurée sur les échantillons prélevés est en moyenne de 0,64, ce qui apparaît légèrement supérieur à la valeur estimée. L'indice de liquidité mesurée sur les échantillons de la couche nodulaire se situe en moyenne à 0,65. Après un cycle de gel-dégel, l'indice de liquidité de cette couche d'argile est compris entre 0,5 et 0,9 et indique que les déformations à l'intérieur de cette couche se révéleront de faible amplitude après un deuxième cycle de gel-dégel.

b) Deuxième cycle de gel-dégel

L'analyse effectuée pour le premier cycle de gel-dégel a démontré que les relations utilisées permettaient de prévoir avec assez d'exactitude le comportement réel observé. Une modélisation a donc été effectuée pour estimer l'effet d'un deuxième cycle de gel-dégel et prévoir ainsi le comportement de la chaussée dans le cas où aucune modification n'était apportée à la structure de chaussée.

La profondeur de pénétration du gel a été modélisée pour un indice de gel normal de 1285 °C x jour et un indice de gel rigoureux de 1690 °C x jour. L'épaisseur de l'argile homogène pénétrée par le front de gel, sous la couche nodulaire évaluée à 250 mm d'épaisseur, serait de 60 mm dans le cas d'un indice de gel normal et de 150 mm pour un indice de gel rigoureux (figure 7).

Le tassement total occasionné par la variation de la teneur en eau de la couche avec deux cycles de gel-dégel et de la couche sous-jacente avec un cycle de gel-dégel est estimé à 3,5 cm pour un indice de gel normal et à 6 cm pour un indice de gel rigoureux. La majorité du

tassement provient de la couche d'argile avec un premier cycle de gel-dégel puisque le tassement estimé dans la couche d'argile avec un second cycle de gel-dégel est inférieur à 1,5 cm. Ces tassements sont jugés inadmissibles, considérant les déformations différentielles

susceptibles de se produire à la surface du revêtement bitumineux et le poinçonnement de la couche d'argile sous l'effet des charges dynamiques en raison de la perte de résistance.

Figure 6
Profondeur de pénétration du gel (1^{er} cycle de gel-dégel)

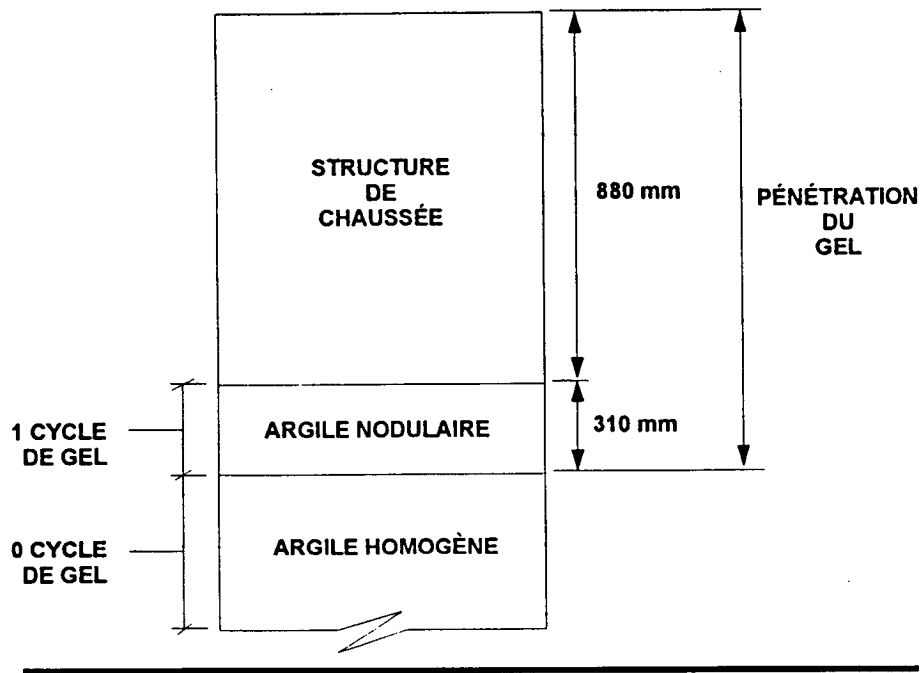
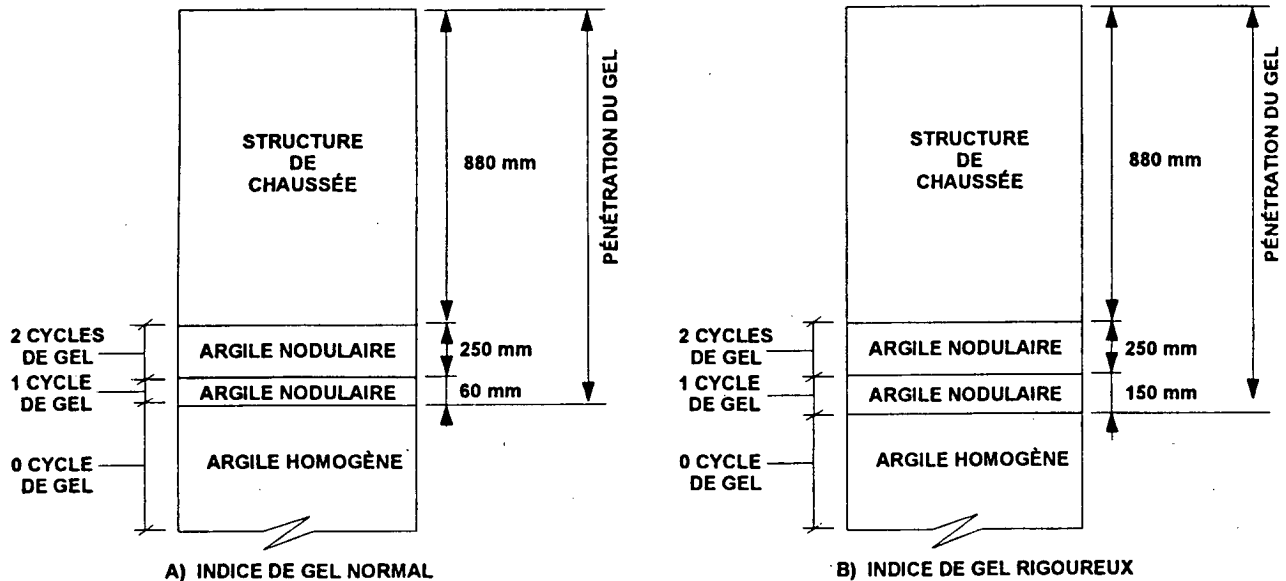


Figure 7
Profondeur de pénétration du gel (2^e cycle de gel-dégel)



Mesures de protection

Les déformations différentielles susceptibles de se produire à la suite d'un deuxième cycle de gel-dégel obligent à prendre des mesures pour éviter des tassements excessifs de la couche argileuse. La solution consiste à éviter le gel de la couche d'argile homogène affectée par des tassements de grande amplitude lors d'un premier cycle de gel-dégel. La protection contre la pénétration du gel peut être dimensionnée pour offrir une protection partielle puisque les tassements à l'intérieur de la couche nodulaire, après le premier cycle de gel-dégel, sont estimés de faible amplitude lors d'un deuxième cycle de gel-dégel. Deux interventions ont été envisagées pour limiter la pénétration du gel à la couche nodulaire et éviter ainsi le gel de la couche homogène sous-jacente. Il s'agit du rechargement granulaire et de l'isolation thermique de la chaussée.

a) Rechargement granulaire

La profondeur de pénétration du gel a été modélisée pour un indice de gel rigoureux de $1690\text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{jour}$. L'épaisseur de rechargement granulaire requis pour éviter le gel de l'argile homogène est de 500 mm de granulats concassés de calibre 200 mm.

Le front de gel va pénétrer jusqu'à la base de la couche d'argile nodulaire estimée à 250 mm d'épaisseur (figure 8). La variation de la teneur en eau à l'intérieur de cette couche, à la suite de ce deuxième cycle de gel-dégel, va induire, par conséquent, des tassements inférieurs à 1,5 cm. Dans ces conditions, les déformations différentielles susceptibles de se produire en surface peuvent être considérées de très faible amplitude.

Le rechargement granulaire de 500 mm de la structure de chaussée en place pose, par ailleurs, plusieurs contraintes. Les glissières de sécurité devront être rehaussées, les accotements seront réduits d'un

mètre de chaque côté et, de plus, l'intervention ne pourra être restreinte aux secteurs déformés; elle englobera la presque totalité du projet. Le coût de cette intervention semble donc passablement élevé.

b) Isolation thermique

La profondeur de pénétration du gel a été modélisée pour un indice de gel rigoureux de $1690\text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{jour}$ et un indice de gel normal de $1285\text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{jour}$. La protection totale requise pour éviter la pénétration du gel dans l'argile nodulaire nécessite un isolant thermique de 65 mm d'épaisseur. En incorporant à l'intérieur de la structure de chaussée un isolant de 25 mm d'épaisseur, le gel va pénétrer de 70 mm à l'intérieur de l'argile nodulaire pour le cas d'un indice de gel rigoureux et de seulement 20 mm à l'intérieur de l'argile nodulaire dans le cas d'un indice de gel normal (figure 9).

Les tassements provoqués par la variation de la teneur en eau à l'intérieur de l'épaisseur de l'argile nodulaire soumise à un deuxième cycle de gel-dégel sont inférieurs à

1 cm. Dans ces conditions, les déformations différentielles susceptibles de se produire à la surface peuvent être considérées comme négligeables. L'utilisation d'un isolant de 25 mm d'épaisseur présente plusieurs avantages : il n'apporte qu'une légère modification au profil actuel, il est restreint à des secteurs localisés, il entraîne un bon comportement de la chaussée et, finalement, il est beaucoup plus économique qu'une protection totale nécessitant un isolant de 65 mm d'épaisseur.

Figure 8
Profondeur de pénétration du gel
(Rechargement granulaire)

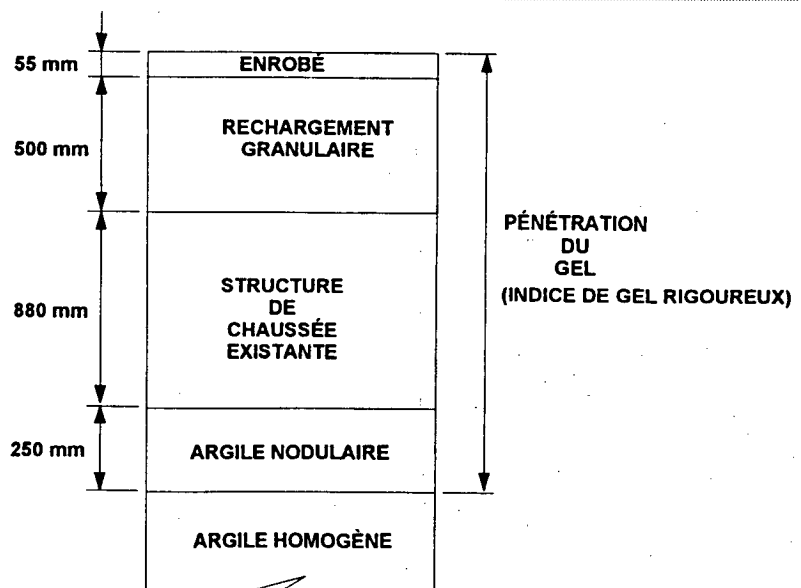
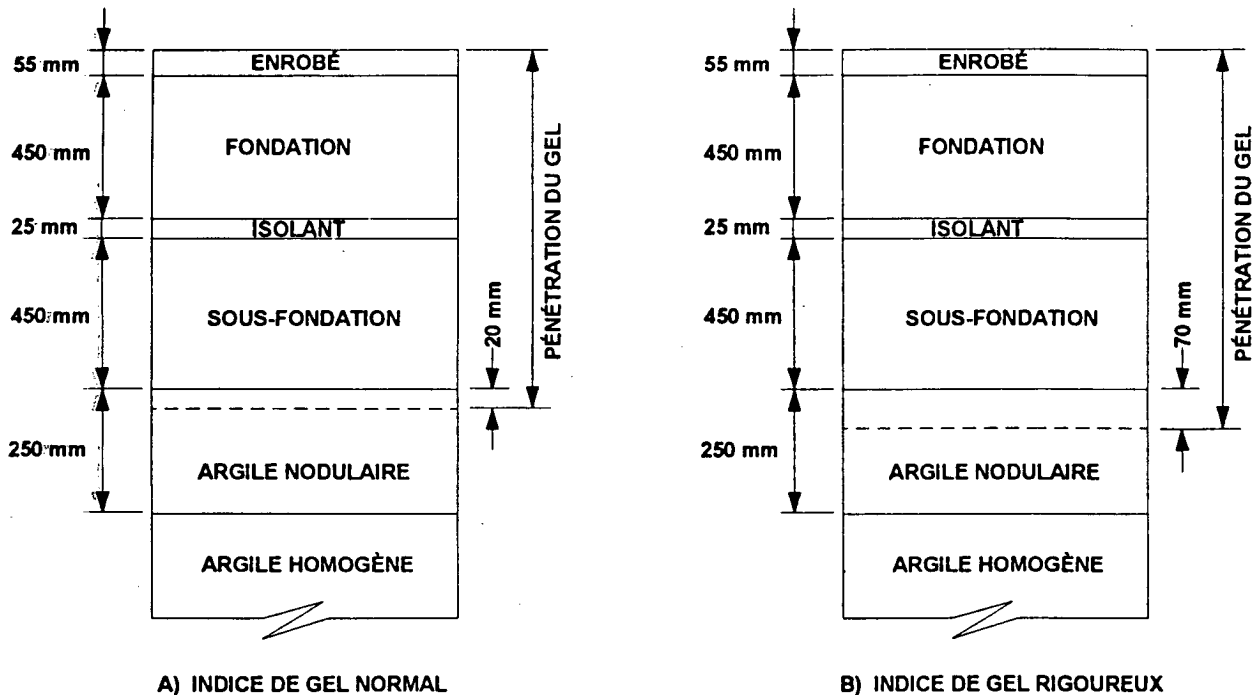


Figure 9
Profondeur de pénétration du gel
(Isolation thermique)



INTERVENTION SUR LA CHAUSSÉE

L'intervention retenue pour limiter la pénétration du gel et éviter ainsi des déformations inadmissibles de la surface de la chaussée lors d'un deuxième cycle de gel-dégel est l'isolation thermique de la chaussée. Cette isolation est constituée de plaques de 25 mm d'épaisseur de polystyrène extrudé.

La longueur des interventions a été déterminée en fonction de la localisation des déformations et des caractéristiques du sol afin d'éviter des soulèvements différentiels aux extrémités des zones isolées. Les trois secteurs où un isolant thermique a été incorporé dans la structure de chaussée sont les suivants :

- 1) 0+740 à 0+830 (90 m);
- 2) 0+940 à 1+020 (80 m);
- 3) 1+165 à 1+335 (170 m).

Les travaux pour incorporer l'isolant thermique dans la structure de chaussée existante ont consisté à réaliser les opérations suivantes :

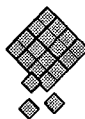
- 1) Enlèvement de la couche de béton bitumineux et des fondations (mise en réserve) jusqu'à la surface de la sous-fondation.
- 2) Régalage de la surface et compactage de la partie supérieure de la sous-fondation.
- 3) Pose d'un isolant thermique de 25 mm d'épaisseur et de 400 kPa de résistance en compression minimale. Les panneaux d'isolant ont été installés suivant le dessin normalisé II-2-010 du MTQ.

- 4) Mise en place en trois couches de 450 mm de granulats concassés 20-0 mm et densifiés pour éviter le givrage différentiel et réduire les contraintes transmises à l'isolant (réutilisation des fondations mises en réserve).

- 5) Pose du revêtement bitumineux.

En outre, les travaux ont été réalisés par demi-largeur de chaussée afin de permettre ainsi la circulation des véhicules sur une voie.

En raison de l'épaisseur d'isolant, aucune transition thermique n'est alors requise aux extrémités. De plus, des transitions dans la fondation de 1V:1H ont été pratiquées pour se raccorder à la chaussée existante. La résistance en compression requise pour l'isolant thermique (400 kPa) a été déterminée en tenant compte de la position de l'isolant dans la structure de chaussée et du trafic prévu sur ce tronçon.



CONCLUSION

Les résultats de l'étude sur le mauvais comportement d'un tronçon de la route 349 à Saint-Léon-le-Grand au printemps suivant sa reconstruction se présentent ainsi :

- La surface de la chaussée s'est déformée de façon importante dans les secteurs en déblai à l'intérieur d'un dépôt d'argile.
- L'argile d'infrastructure mise à jour dans les déblais sous la croûte argileuse a un indice de liquidité de l'ordre de 1,3 et présente les caractéristiques pour se déformer après un cycle de gel-dégel.
- Les déformations sont occasionnées par le tassement de la couche d'argile soumise à un premier cycle de gel-dégel. Le tassement résulte de la consolidation de la couche d'argile à la suite de la diminution de la teneur en eau et de sa perte de résistance.
- Les modélisations effectuées pour prévoir le comportement de la chaussée lors d'un deuxième cycle de gel-dégel indiquent que des mesures doivent être prises. Celles-ci auront pour but de limiter la pénétration du gel afin d'éviter ainsi le tassement de la couche d'argile sous la couche affectée lors du premier cycle de gel-dégel.
- La pénétration du gel peut être admise à l'intérieur de la couche d'argile affectée lors du premier cycle de gel-dégel puisque la déformation de cette couche lors du deuxième cycle de gel-dégel est estimée de faible amplitude et conséquemment n'affectera pas le comportement de la chaussée. Cette approche de protection partielle permet donc de diminuer les coûts de réhabilitation de ce projet par rapport à une protection totale.

- Deux interventions ont été envisagées pour limiter la pénétration du gel à la couche d'argile ayant subi un cycle de gel-dégel, soit le rechargement granulaire et l'isolation thermique de la chaussée. Compte tenu des conditions rencontrées sur le site, la solution retenue se traduit par l'incorporation d'un isolant à l'intérieur de la structure de chaussée.

Les argiles susceptibles de se déformer considérablement après un cycle de gel-dégel ont un indice de liquidité supérieur à 0,9. Cette étude a présenté une approche pour estimer l'amplitude des déformations lors des cycles de gel-dégel suivant la construction d'un tronçon de route à l'intérieur d'un déblai d'argile. Pendant la préparation d'un projet, cette approche peut servir, par conséquent, à déterminer les mesures appropriées pour éviter des déformations de la chaussée au printemps suivant sa construction.

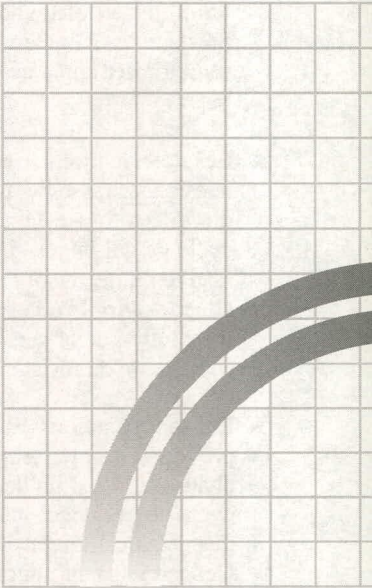
RÉFÉRENCES

Aldrich, H.P. (1956). *Frost Penetration Below Highway and Airfield Pavements*. Highway research board, bulletin 135, p. 124-144.

Leroueil, S., Tardif, J., Roy, M., Larochelle, P. and Konrad, J.M. (1991). *Effects of Frost on the Mechanical Behavior of Champlain Sea Clays*. Revue canadienne de géotechnique, vol. 28, no 5, p. 690-697.

Roy, M., Tardif, J., Leroueil, S., Larose, G. et LaRochelle, P. (1992). *Effets du gel sur les infrastructures routières argileuses au Québec*. Revue canadienne de géotechnique, vol. 29, no 1, p. 131-142.





MINISTÈRE DES TRANSPORTS

QTR A 092 375