

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE COORDINATION
200, RUE LORCHESTER SUD, 7e
QUÉBEC, QUÉBEC
G1K 5Z1



RAPPORT D'ÉTUDE

ÉTUDE DE L'ACTION DU GEL SUR LES ROUTES



Gouvernement du Québec
Ministère
des Transports

301
79
8-89
80
10x



PAPPOPIE

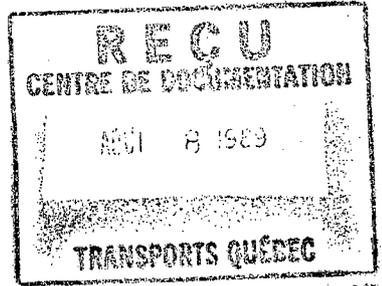
REÇU

471654



Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

ETUDE DE L'ACTION DU GEL SUR LES ROUTES



Préparé par: André Lacasse, stagiaire
Université de Sherbrooke
85 662 466

Supervisé par: Aziz Amiri, Dr. ing.
Service des Sols et Chaussées

Ministère des Transports
Direction générale du Génie
Service des Sols et Chaussées

mai 1988

CANQ
TR
GÉ
SM
152

REMERCIEMENTS

Le stage effectué au cours de ces quatre derniers mois fut pour moi des plus profitable. Cette étude m'a permis, avec l'enseignement reçu, de mettre à profit mes connaissances et mes ressources personnelles.

Je remercie d'abord, le Ministère des Transports qui a mis à ma disposition l'équipement et les ressources humaines nécessaires à l'élaboration de mon travail. Je tiens tout particulièrement, à remercier le Service des sols et chaussées ainsi que la Division Structures de chaussées qui ont favorisé le cheminement et la réalisation de ce projet.

Il m'apparaît essentiel également, de remercier avec gratitude M. Aziz Amiri, Docteur - ingénieur, qui par son expertise a soutenu et souvent orienté le cheminement et la conclusion de cette étude.

Pour terminer, je voudrais exprimer mes remerciements les plus sincères à l'ensemble de la Division, pour leur collaboration et leur qualité de travail auxquelles j'ai pu bénéficier durant cette période.

A. Lacasse, stagiaire

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	1
I - Analyse des causes et effets du gel dans les chaussées	3
II - Critères d'identification des sols gélifs ...	4
III - Validité des critères de gélivité	9
IV - Les principales causes de désordre, de différentes constructions routières affectées par le gel	10
V - Méthode pratique proposée pour l'étude du comportement des chaussées gélives	13
A- Relevés visuels	14
B- Relevés de profilométrie "MAYS"	15
C- Sondages mécaniques	16
D- Etude du cas de l'autoroute 117	17
VI - Méthode de protection et moyens d'intervention contre le gel	19
CONCLUSION	21
ANNEXE 1 Figures	23
ANNEXE 2 Analyse du mécanisme du gel	30
ANNEXE 3 Photos	34
Bibliographie	38
Tableau I Subdivision grossière des sols gélifs d'après leur granulométrie et leur consistance en utilisant la classification unifiée (U.S.C.S.)	6
Tableau II Système de classification proposé	5
Tableau III Système unifié de classification des sols	20

LISTE DES FIGURES

		Pages
Fig. 1	Gélinivité des matériaux granulaires en fonction de leur granulométrie	23
Fig. 2	Vue d'ensemble d'un simulateur de gel ...	23
Fig. 3	Relation entre le gonflement et la racine carrée de l'indice de gel	24
Fig. 4	Relation entre le gonflement et la racine carrée de l'indice de gel	24
Fig. 5	Appareil d'essai d'intrusion du mercure	25
Fig. 6	Appareil d'essai à la plaque de succion	25
Fig. 7	Fiche d'évaluation de l'indice de comportement	25
Fig. 8	Plan de localisation de la route étudiée	26
Fig. 9	Qualité de roulement "MAYS"	27
Fig. 10	Sondages Mécaniques	28
Fig. 11	Qualité de roulement "MAYS"	29
Fig. 12	Variation de la profondeur du gel VS le temps (1986-1987)	31
Fig. 13	Concept de la migration de l'eau vers la ligne de gel	32
Fig. 14	Grossissement d'une lentille de glace	32

ÉTUDE DE L'ACTION DU GEL SUR LES ROUTES

INTRODUCTION

Tout le monde sait bien que dans notre pays Nordique, on est constamment confronté à des conditions climatiques très difficiles. On peut passer d'un temps doux et pluvieux à une journée d'hiver rigoureuse aussi bien que d'un temps froid de janvier à un dégel subit atteignant des records. En considérant toutes les répercussions économiques que cela peut provoquer, il en sort que l'action du gel, dans les fondations des routes et des pistes d'aérodrome, constitue un problème d'importance nationale qui mérite une étude attentive.

Ce présent rapport se veut donc un outil de travail pour évaluer et solutionner le plus adéquatement que possible le comportement déficient des routes affectées par l'action du gel.

Nous commencerons donc par donner un bref aperçu des causes et effets du gel sur les routes.

Après cette première approche du problème, il serait très intéressant de déterminer par des essais en laboratoire, les critères permettant d'identifier et d'évaluer les sols qui endommagent nos réseaux routiers. Ensuite, la validité de ces mêmes critères en sera discutée.

Dans un autre ordre d'idées, il sera question d'élaborer sur la façon avec laquelle les différentes constructions routières sont affectées par le gel.

Suite à cela, une méthode pratique d'étude du comportement des chaussées gélives sera suggérée et appuyée par un exemple d'interprétation des données recueillies jusqu'à présent sur une route affectée par l'action du gel.

Et enfin, nous terminerons par une suggestion de méthodes de protection et de moyens d'intervention sur les routes contre le gel.

I - ANALYSE DES CAUSES ET EFFETS DU GEL DANS LES CHAUSSÉES

Trois facteurs sont nécessaires pour amorcer le processus de gel dans les sols. 1) Il faut une alimentation en eau, quelle que soit sa provenance: d'une infiltration d'eau (ruissellement ou écoulement) ou d'une nappe phréatique. 2) Le froid intense et 3) la présence de sols gélifs. Il est à noter que si l'un de ces facteurs n'est pas présent, il ne peut y avoir de gel et par conséquent de soulèvement.

Les effets causés par l'action du gel dans les chaussées, résultent le plus souvent en fissures transversales (photos 1 et 2). Cette formation de fissures s'explique par le gonflement du sol gelé ainsi que par le rétrécissement du revêtement avec la baisse de température. En effet, une fois que le gonflement des sols dépasse le coefficient d'allongement du revêtement, il se produit une rupture perpendiculaire à la direction des contraintes. On peut aussi remarquer la présence d'ondulations prononcées sans fissuration (photo 5). Ceci est dû à la distance élevée qui existe entre deux soulèvements consécutifs.

Des fissures de centre et des lézardes sont également observées sur les tronçons de route affectés par le gel et résultent d'un gel plus profond (photos 3 et 4).

Lors d'un dégel printanier, on retrouve des ventres de boeuf qui sont le résultat d'une infiltration d'eau importante à travers des fissures polygonales et

reconditionnée par le gel qui suit (photo 6).

la capacité de support (portance) d'une chaussée est beaucoup moins forte au printemps, lors du dégel, qu'en été. Ceci, à cause de l'accumulation d'eau dans la partie supérieure de la fondation. A partir de ce fait, la restriction des charges, barrière de gel, devient très importante.

II - CRITÈRES D'IDENTIFICATION DES SOLS GÉLIFS

Suite à plusieurs expériences, on a déterminé des critères pour évaluer le niveau de susceptibilité au gel de différents sols. Ces critères de gélivité permettent d'identifier adéquatement les sols qui causent des dommages importants sur les routes.

Le premier critère est basé sur la granulométrie des sols en place. Il correspond au pourcentage en poids des particules d'un échantillon de sol, plus petites que $20\mu\text{m}$ de diamètre. Ce pourcentage est trouvé en laboratoire par sédimentométrie. On peut également avoir une petite idée de la quantité des particules fines en se servant tout simplement de tamis, lors de l'analyse granulométrique. Par contre, cette façon ne donne que la quantité de particules fines qui ont un diamètre inférieur à $80\mu\text{m}$.

Ce critère de gélivité est très efficace et se

résume selon la classification unifiée au tableau I (p.6).

On peut également utiliser la courbe granulométrique d'un sol, en comparant avec les fuseaux des types de sols de gélivité variable (fig. 1). Les courbes qui se retrouvent en partie ou en totalité dans les zones ombragées, indiquent qu'il est difficile de déterminer d'une façon précise le bon degré de susceptibilité au gel du sol.

Dans ces cas, il faut élaborer davantage l'étude de ces sols par une autre méthode d'évaluation du degré de susceptibilité au gel.

Cette autre méthode consiste à établir la relation entre le soulèvement d'un échantillon (en mm) soumis au gel dans des conditions artificielles et la racine carrée de l'indice de gel ($\sqrt{I} = \sqrt{^{\circ}\text{C} \cdot \text{hres}}$) ainsi que d'en calculer la pente obtenue. Ce critère est déterminé à l'aide d'un simulateur de gel (fig. 2) et il apparaît dans le tableau suivant:

Tableau II - Système de classification proposé

Degré de gélivité:	Pente de la relation entre le gonflement et la racine carrée de l'indice de gel:
non susceptible au gel	<0,01
faiblement susceptible au gel	0,1 à 0,2
moyennement susceptible au gel	0,2 à 0,4
fortement susceptible au gel	0,4 à 0,8
très fortement susceptible au gel	>0,8

Tableau I

Subdivision grossière des sols gélifs: d'après leur granulométrie
et leur consistance en utilisant la classification U.S.C.S.

Degré de gélivité Catégorie	Augmentation des gonflements dus au gel et de la perte de portance au dégel	Sols	Pourcentage de la fraction plus petite que 0,075 mm, en %	Classification U.S.C.S. d'après les normes SW 670 005 et 670 008
G 1 très peu gélif		Graviers	3 ... 10	GW, GP, GM, GC
G 2 peu gélif (peu à moyen)		a) Graviers	10 ... 20	GM, GC, CL, CH, GC
		b) Sables	3 ... 15	SM, SP, SM, SC
G 3 gélif (moyen)	a) Graviers	> 20	GC-CL, GM-GC, CM-ML	
	b) Sables (exceptés très fins et limoneux)	> 15	SC-CL, SM-SC, SM-ML	
	c) Argiles, Indice de plasticité > 12		CL, CH	
G 4 très gélif	a) Limons		ML, Mh	
	b) Sables limoneux très fins	> 15	SM-ML	
	c) Limons argileux, Indice de plasticité < 12		CL, CL-ML	
	d) Argiles stratifiées et autres sédiments stratifiés à grains fins		en superposition : CL, ML CL, ML, SM CL, CH, ML CL, CH, ML, SM	

* Source [4]

Après une prise d'échantillon in situ, on fait un essai en laboratoire avec un simulateur de gel. Cet essai consiste à maintenir des températures constantes aux extrémités de l'échantillon, à alimenter le sol en eau et à représenter autant que possible l'échantillon comme un modèle semi-infini. Le processus de gel, se doit d'être unidirectionnel: c'est-à-dire, avoir un gel qui ne s'effectue que du haut vers le bas. La température en surface de l'échantillon est maintenue à -6°C . L'alimentation d'eau se fait par le bas à $+4^{\circ}\text{C}$: température où l'eau possède sa densité maximale; soit: 1 gramme/cm³. Et l'échantillon est situé dans une cellule isolée.

Les données de soulèvement sont prises à toutes les heures, puis tracées graphiquement. Des courbes de soulèvement en fonction de \sqrt{t} de quelques sols que l'on retrouve au Québec, sont tracées sur les figures 3 et 4.

Un autre critère basé sur la granulométrie mais moins élaboré, se détermine avec le coefficient d'uniformité (Cu). Le coefficient d'uniformité est évalué à l'aide du quotient d_{60}/d_{10} où d_{60}, d_{10} représentent l'ouverture du tamis dans lequel passe 60% et 10% en poids de l'échantillon respectivement.

La nomenclature donne un moyen de déterminer les sols comme étant à granulométrie étalée ou serrée de la

façon suivante:

$Cu \leq 2$	granulométrie très serrée
$2 < Cu \leq 5$	" serrée
$5 < Cu \leq 20$	" semi-étalée
$20 < Cu \leq 200$	" étalée
$200 < Cu$	" très étalée

Pour des graviers et des sables, on a évalué expérimentalement que pour une granulométrie serrée, si moins de 15% en poids des particules passent le tamis de 80 μ m d'ouverture, on sera en présence de sols non-gélifs et que pour une granulométrie étalée, il n'en faut pas plus de 10% passant.

Autres essais:

La porométrie peut être considérée comme un critère de gel. Cet essai qui détermine par capillarité la répartition des dimensions des pores dans le sol s'effectue sur quatre semaines. Alors deux essais en laboratoire plus rapides ont été employés pour l'évaluation de la porosité. L'essai d'intrusion de mercure qui est le plus simple et le plus rapide et l'essai à la plaque de succion apparaissent aux figures 5 et 6 respectivement.

Pour terminer, on peut retrouver en annexe 2, un tableau contenant différentes sortes de sol avec leurs caractéristiques et leur symbole.

III - VALIDITÉ DES CRITÈRES DE GÉLIVITÉ

Dans l'évaluation du degré de gélivité d'un sol, il importe d'effectuer une analyse complète de la granulométrie: c'est-à-dire; par tamis et par hydrométrie ou sédimentométrie. Cet essai, nous donne de très bons résultats lorsque nous sommes en présence de sols moyennement gélifs à très gélifs. Pour des sols peu gélifs, il faut compléter l'analyse granulométrique par un essai au simulateur de gel.

Pour ce qui est de l'utilisation du coefficient d'uniformité, nous ne pouvons déterminer un sol gélif que d'une façon très peu précise.

Les essais à la plaque de succion et d'intrusion au mercure, nous montre aucune corrélation entre le comportement au gel in situ et les courbes de répartition des pores. Par contre les essais par capillarité, nous en donne une, mais beaucoup moins rapide (4 sem.). Malgré cette corrélation, il nous faut quand même effectuer, pour des sols à peine gélifs, un essai au simulateur de gel.

IV - LES PRINCIPALES CAUSES DE DÉSORDRE, DE DIFFÉRENTES CONSTRUCTIONS ROUTIÈRES AFFECTÉES PAR LE GEL

Dans l'évaluation du comportement des routes gélives au Québec, il est important de déterminer les différents genres de construction qui ont dû être érigés sur ces routes. Que ce soit une construction routière nombreuse en transitions, en coupes de roc, ou en remblais, tout dépend des conditions environnementales et du milieu physique dans lequel, elle est située.

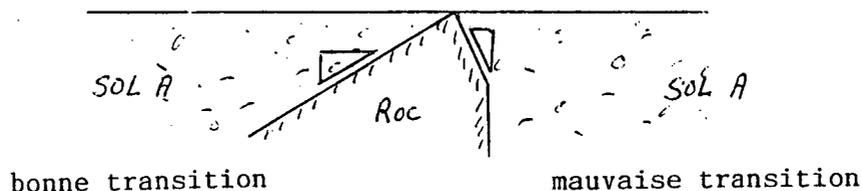
a) Route avec transitions:

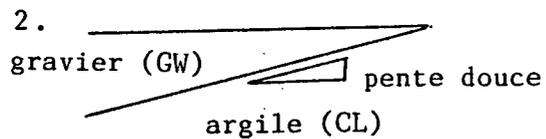
Les transitions sont utilisées dans le but d'éviter les changements brusques du degré de susceptibilité au gel, d'un sol à un autre.

Il est très important, dans la construction d'une route, d'effectuer de bonnes transitions aux rencontres de ponceaux, de viaducs, de remblai-déblai, de coupes de roc et de changements de sol. Si les transitions sont mals érigées, des problèmes de soulèvements et de tassements différentiels surviendront durant la période de gel.

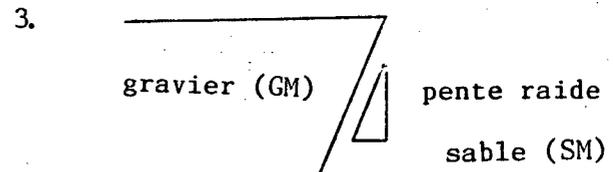
Exemples de bonnes transitions:

1.





- Susceptibilité au gel: très différente
- Solution: pente faible et longue



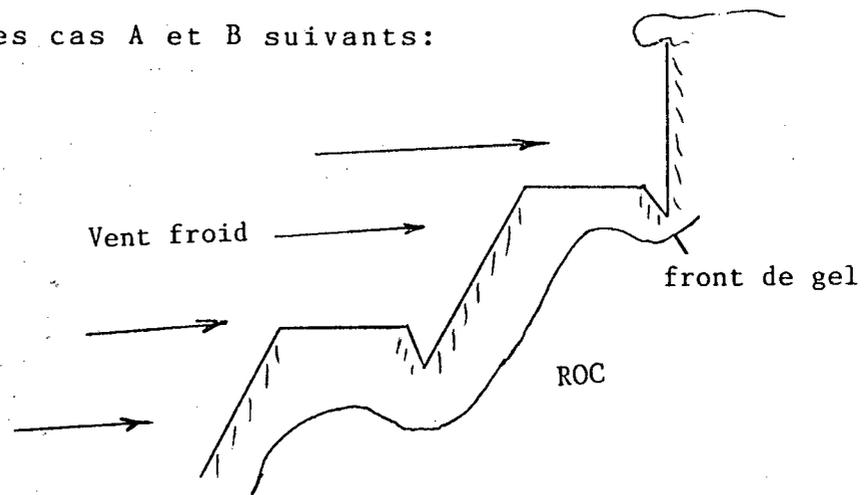
- Susceptibilité au gel: peu différente
- Solution: pente plus forte que précédemment

b) Route avec coupes de roc:

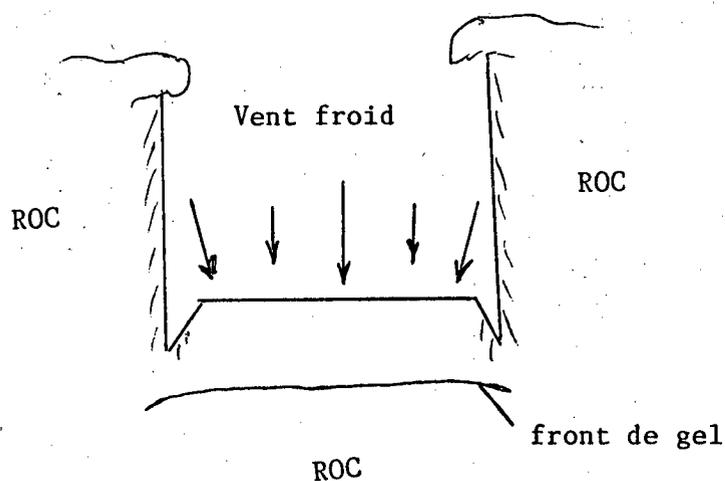
Ces constructions sont directement dépendantes des conditions topographiques défavorables à la construction d'un tracé de route. Par exemple, les montagnes sillonnées par une route, occasionne beaucoup de dynamitages et de coupes de roc.

La présence d'une coupe de roc fait intervenir des problèmes importants à considérer, tels que transitions, nappe phréatique coupée, eau sur le terrain et écoulement de surface déficient. Il importe donc, d'effectuer une construction adéquate, avec de bons matériaux et un bon système de drainage pour empêcher une accumulation d'eau à proximité de la surface du pavage.

Soit les cas A et B suivants:



A - Coupe en escalier



B - Coupe entre deux

Dans le cas A, on retrouve une construction en escalier qui offre la chance au vent de geler le sol non uniformément. Il est donc important d'avoir des bons matériaux de fondation pour ne pas avoir de soulèvements différentiels.

Dans le cas B, le gel sera plus uniforme et les dégradations spécifiques au gel endommageront moins le roulement. Dans ce genre de coupe, l'eau est plus propice à s'accumuler. Il est donc primordial d'établir un bon écoulement d'eau vers les fossés.

Dans les déblais de roc, on retrouve également souvent, une surface irrégulière de l'infrastructure rocheuse où l'eau s'emmagasiné en flaques d'eau souterraines ponctuelles. Par la suite, ces flaques d'eau traversées par le front froid et alimentée continuellement en eau, peuvent

donner naissance à des lentilles de glace et provoquer des ondulations à la surface du pavage.

c) Route avec remblais:

En général, dans les secteurs en remblai, le pavage se situe beaucoup plus haut par rapport au terrain naturel et à la nappe phréatique. Ce qui donne, une plus grande difficulté aux molécules d'eau d'amorcer une montée capillaire jusqu'à la surface de la route dépendamment des matériaux utilisés. Donc, la cause, la plus probable, des dégradations observées sur ces constructions, peut être expliquée par les cycles de gel-dégel.

En effet, pendant l'hiver, après un dégel, l'eau de surface infiltrée dans la fondation supérieure, regèle avec la baisse de température et provoque à nouveau de légers soulèvements et des fissures transversales. Ce phénomène se produit autant de fois qu'il y a de cycles de gel-dégel.

V - MÉTHODE PRATIQUE PROPOSÉE POUR L'ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES CHAUSSÉES GÉLIVES

Pour évaluer adéquatement une route, différents moyens sont employés pour compiler et comparer des données compatibles les unes par rapport aux autres.

Tout d'abord, il faut établir la problématique de la route soumise à une étude de gel. Considérons

l'exemple de la route 117, dont le plan de localisation est à la fig. 8. Située dans les Laurentides au nord de Montréal, cette route présente une dégradation généralement constituée de fissures transversales en soulèvement plus courantes sur les voies de dépassement. Et c'est en direction Nord que l'on rencontre les plus fortes dégradations dues à l'action du gel.

Maintenant que le problème est soulevé, il ne reste plus qu'à procéder à l'étude de la route gélive. Pour ce faire, différents relevés sont effectués afin d'identifier et de rassembler les paramètres nécessaires à l'analyse des causes et effets du gel.

A - Relevés visuels:

Dans le but de trouver les causes d'une dégradation due à l'action du gel, il est nécessaire de relever et localiser les différents types de dégradation reliés au gel. Il est également important de se rendre compte du profil du terrain environnant et des conditions de drainage (eau stagnante dans les fossés, sens d'écoulement, etc.). Pour aider à la mémorisation des relevés estivaux et hivernaux, il est grandement utile de prendre des photos témoins.

La photo-interprétation est un bon outil d'évaluation des tronçons de route endommagés par le gel. La photo 1 et les photos 7 à 12 ont été prises sur la route 117.

B - Relevés de profilométrie "MAYS":

Au Canada, on peut utiliser une échelle d'appréciation pour évaluer le comportement d'une route. L'ARTC, l'Association des Routes et Transports du Canada, établit cette échelle de 0 à 10 (fig. 7). Pour l'évaluation de l'indice de comportement (PR=Performance Rating), des personnes expérimentées (4 ou 5) donnent leur verdict sur la qualité de roulement. Normalement, on demande à une chaussée neuve d'avoir un PR supérieur à 8. Un PR entre 4 et 5, demande une intervention particulière.

Mais cette façon de mesurer l'indice de comportement d'une route est très subjective. On a donc inventé un appareil qui détermine la qualité de roulement selon la variation subie par l'essieu arrière d'un véhicule en fonction de la distance. Cet appareil "Mays" donne une très bonne évaluation de l'indice de roulement sur les routes. Il enregistre sur papier quadrillé toute vibration et déformation causées par la surface du pavage. Plus la longueur de papier est grande pour une longueur donnée, plus la route est cahoteuse, donc soumise à des déformations pouvant être reliées au phénomène du gel.

Les fig. 9 et 11 donnent les caractéristiques de la route 117 ainsi que les résultats obtenus lors des essais "MAYS" effectués à différentes profondeurs de gel.

Un relevé "MAYS" s'effectue en été et en hiver alors que la profondeur de gel dans le sol est maximum. Il est très important de faire le relevé hivernal avant qu'il y

ait un dégel de surface. Ceci dans le but d'atteindre l'optimum des soulèvements causés par l'action du gel sur les chaussées.

Les relevés de profilométrie "MAYS" se font habituellement vers la fin février - début mars, tout dépendant de la région. La profondeur moyenne du gel de quelques régions au Québec est la suivante:

Montréal	1.4m
Québec	1.8m
Saguenay-Lac St-Jean	2.0m
Abitibi	2.2m
Chibougamau	2.7m

Dans le but de localiser la ou les couches de fondation qui contribuent le plus aux soulèvements de la chaussée, il serait profitable d'effectuer plusieurs relevés "MAYS" avec l'avancement du front de gel (Exemple: à tous les pieds).

C - Sondages mécaniques:

Ces sondages sont effectués à des points stratégiques étudiés préalablement. Ils consistent à prélever des échantillons de sol pour l'analyse complète en laboratoire et à déterminer la stratigraphie des fondations de la chaussée.

L'utilisation d'une tranchée se veut l'étude in-situ

du degré de compactage des couches sous-jacentes au pavage. On retrouve la stratigraphie de deux tranchées effectuées sur la route 117 à la fig. 10.

D - Etude du cas de l'autoroute 117:

Après avoir fait ressortir la problématique de la route 117 à la page 14, nous avons découvert que la majorité des dégradations observées, étaient intimement reliées aux nombreuses coupes de roc effectuées sur cette route.

En effet, les photos 7 à 9, montrent des constructions en escalier qui permettent à l'eau de s'accumuler sur les voies en direction nord. C'est pour cette raison majeure que la route en direction nord est plus dégradée que celle en direction sud.

On remarque également des soulèvements de fissures transversales plus importants sur la voie de dépassement. Ceci est tout simplement dû au trafic circulant plus souvent sur la voie de roulement, qui lutte contre les soulèvements.

Sur les graphiques de la qualité de roulement de la route 117 (fig.9 et 11), on note les pires dégradations entre les kilomètres 9 à 15, en direction nord et 4 à 8, en direction sud.

Sur la photo #1, on remarque des fissures transversales en soulèvement dans le secteur de la tranchée B

effectuée à l'automne "87". Cette tranchée est au chaînage 12 + 620, donc justement où l'on voit sur le graphique de la fig.11, un gros changement de roulement entre le relevé d'été et ceux de l'hiver.

Selon la stratigraphie de la chaussée à cet endroit (fig.10), on détecte la présence de l'un des sols gélifs, du sable silteux, dans la fondation supérieure. En plus, on trouve à 1.70m sous la surface du pavage, des débris de bois très humide dans un sol saturé d'eau.

Dans le secteur du 18^e kilomètre jusqu'au 20^e kilomètre en direction sud (voir fig.11), on note une amélioration du roulement d'hiver par rapport à celui de l'été. On peut expliquer ceci, par le fait qu'en été, on avait des fissures en dépression et avec le soulèvement du sol durant l'hiver, la dépression s'est atténuée par soulèvement.

Avec la tranchée A (fig.10) effectuée dans ce secteur, on peut constater la présence de sable silteux et de matière organique, dans la fondation supérieure.

En résumé, on constate donc l'existence de la dépendance et de l'importance de chacun des relevés dans l'évaluation du comportement d'une route, pour apporter les solutions nécessaires pour remédier aux dégradations à venir.

VI - MÉTHODE DE PROTECTION ET MOYENS D'INTERVENTION CONTRE LE GEL

Plusieurs méthodes sont utilisées pour contrer les méfaits de l'action du gel sur nos routes. Elles font toutes intervenir différentes considérations reliées à la profondeur de gel, à la nature des sols et leur susceptibilité au gel ainsi qu'à la profondeur de la nappe phréatique.

Lors de la construction, on peut poser dans les fondations un isolant qui diminue la profondeur de pénétration du front de gel. Cet isolant consiste en un polystyrène expansé (styrofoam) situé à au moins 18 po sous la surface du pavage. Une expérience a démontrée qu'à l'application de chaque épaisseur de 1 cm de cet isolant, la profondeur de gel se trouve diminuée de 20 cm environ. Mais il est évident que l'utilisation d'un tel procédé est très dispendieux.

Une autre protection contre les soulèvements différentiels, est la construction de transitions. Comme on l'a déjà expliqué dans ce travail, une transition s'effectue à la rencontre de deux sols dont leur degré de gélivité est très différent. Plus les deux sols en contact sont de gélivité différente moins doit être la pente de l'interface séparant ces deux couches. (Nous invitons le lecteur à se référer aux normes du MTQ à ce sujet)

Et enfin, il est recommandé d'ériger un bon système de drainage afin de permettre un abaissement de la nappe

phréatique. Ce rabattement amortira l'influence des lentilles de glace sur la surface de roulement.

Maintenant, considérons quelques moyens d'intervention qui permettent de prolonger la vie d'une route existante.

Lorsque le problème se retrouve dans la fondation supérieure, il est recommandé d'effectuer un scellement de fissures, afin d'empêcher l'infiltration des eaux de surface.

On peut aussi pour le même cas, faire un resurfaçage mais pour des fissurations plus importantes, nous aurons droit à une réflexion de fissures. Donc pour une dégradation de plus grande ampleur, il serait préférable de surcharger la chaussée d'une couche de gravier et de béton bitumineux. (Mode de remise en état appelé communément "Sandwich")

Si le problème vient du matériel gélif dans les fondations inférieures, il est suggéré d'excaver et de reconstruire la route avec de bons matériaux, ou de reconstruire avec un isolant. On peut aussi surélever la route afin d'empêcher le front de gel d'atteindre le sol gélif, ou encore briser la capillarité par une couche granulaire grossière, etc. (Nous invitons le lecteur à consulter les références [3] et [5].)

On peut terminer en disant, que les moyens d'intervention appropriés aux différentes dégradations des chaussées, dépendent directement d'une étude complète et approfondie des conditions environnementales ainsi que du milieu physique dans lequel, les routes se situent.

CONCLUSION

Tout d'abord, nous pouvons dire que l'action du gel, par son mécanisme et ces conséquences, affecte grandement le comportement des chaussées sur nos routes. C'est pourquoi, il est important de déterminer des critères d'identification des sols gélifs.

Suite à la discussion de la validité des critères de gélivité, il nous permet de conclure qu'une étude complète et pertinente des sols, consiste à prélever un échantillon de sol afin d'en effectuer une analyse granulométrique et un essai au simulateur de gel.

Après avoir soulevé, comme il se doit, la problématique d'un tronçon de route, il est important de rassembler, selon différentes façons des données compatibles les unes par rapport aux autres. Ceci dans le but de déterminer les paramètres et leur pourcentage de contribution dans l'action du gel. Cette méthode pratique d'étude proposée, s'est révélée très efficace au cours des dernières années.

Pour terminer, on peut dire que les méthodes de protection contre le gel jouent un rôle primordial lors de la construction des routes. Malgré que les moyens d'intervention utilisés sur les routes sont assez efficaces,

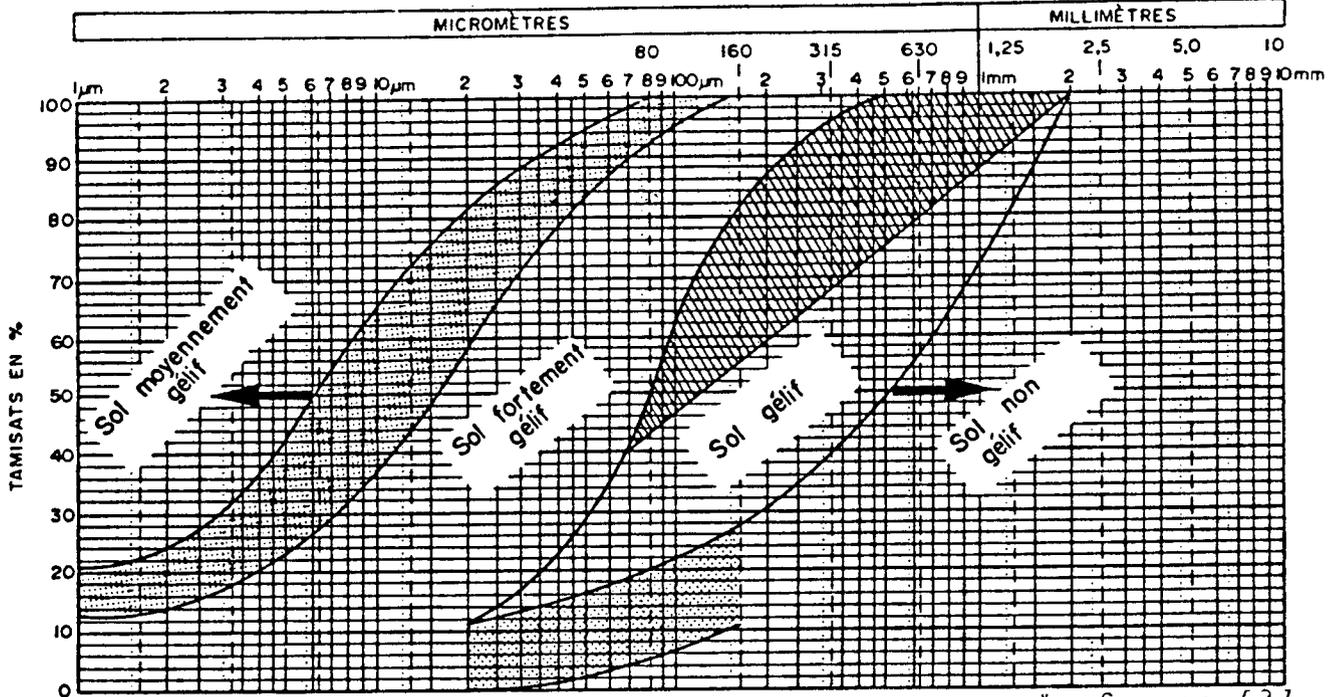
il n'en coûte pas moins cher pour autant! Comme on pourrait le dire, vaut mieux prévenir que guérir!

En somme, on peut conclure que l'action du gel sur les routes ne doit pas être considérée à la légère. C'est un problème économique de tous les jours et personne jusqu'à maintenant, n'a trouvé le remède miracle pour remédier à toutes les difficultés rencontrées sur la conservation de nos routes.

ANNEXE 1

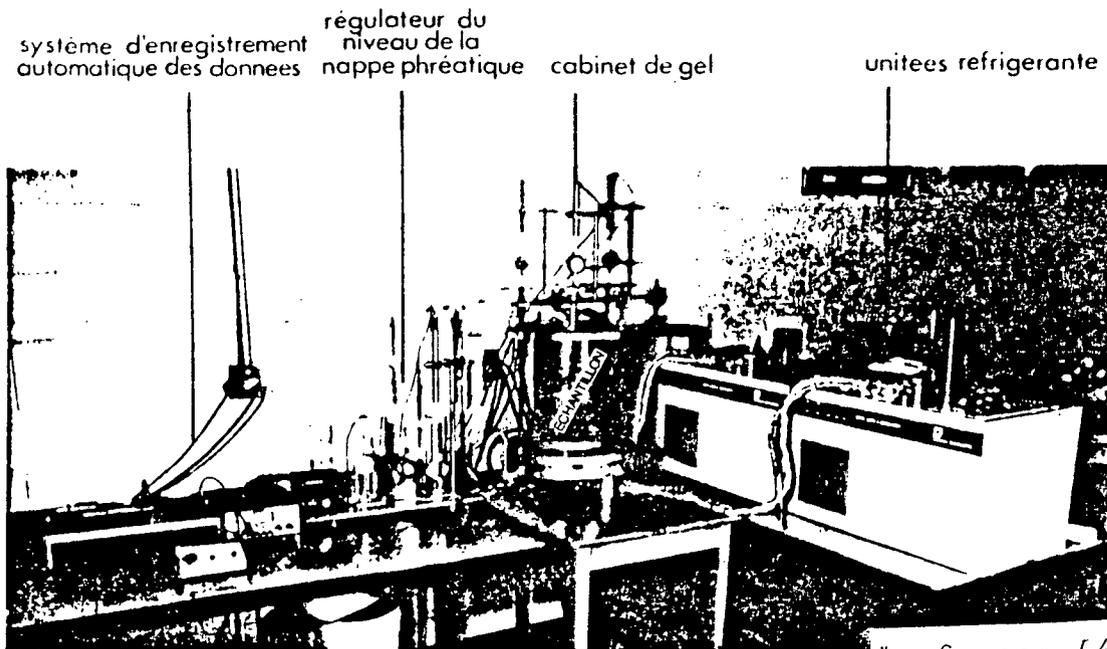
LABORATOIRE DE MATÉRIAUX
ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

PROJET : _____ SITE : _____ ÉCHANTILLON N° : _____
DESCRIPTION DU GRANULAT : _____



* Source [2]

Figure 1 - GELIVITE DES MATERIAUX GRANULAIRES EN FONCTION DE LEUR GRANULOMETRIE



* Source [4]

Figure 2 - VUE D'ENSEMBLE D'UN SIMULATEUR DE GEL

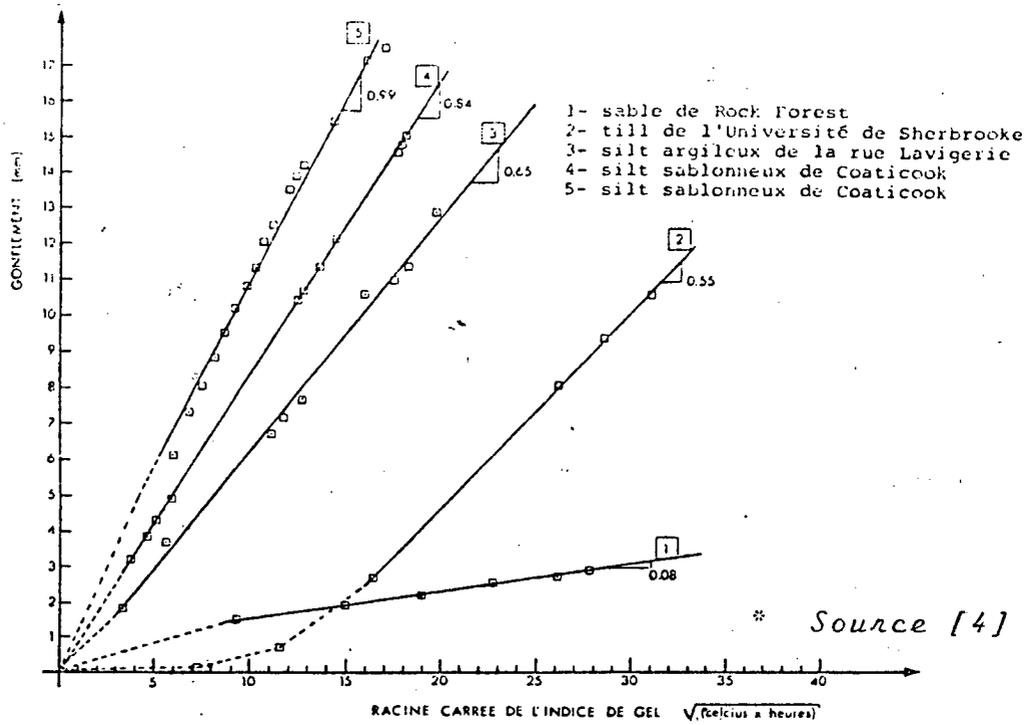


Figure 3 - RELATION ENTRE LE GONFLEMENT ET LA RACINE CARREE DE L'INDICE DE GEL

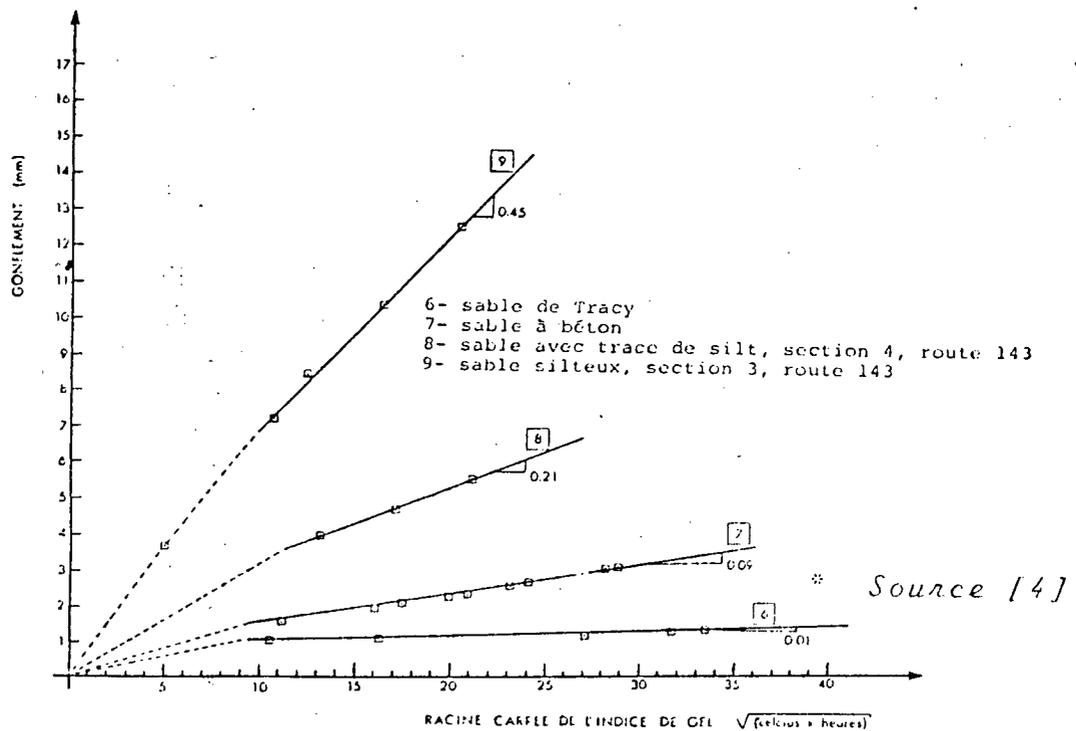
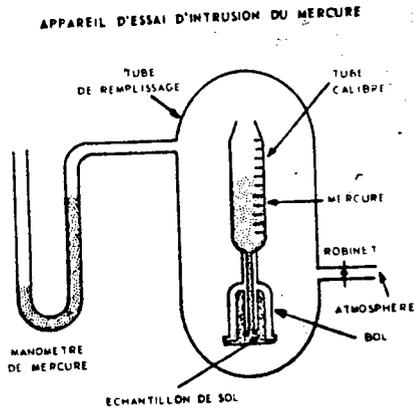


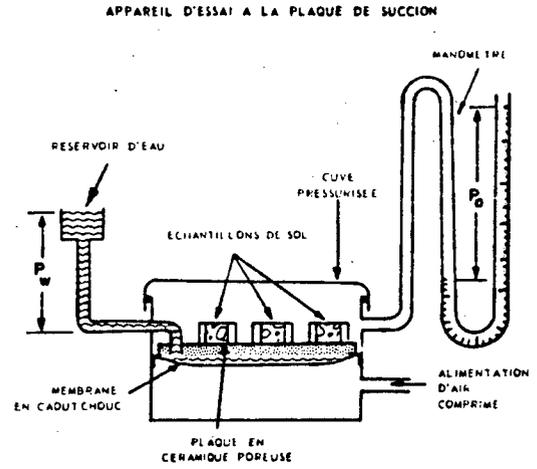
Figure 4 - RELATION ENTRE LE GONFLEMENT ET LA RACINE CARREE DE L'INDICE DE GEL

Figure 5

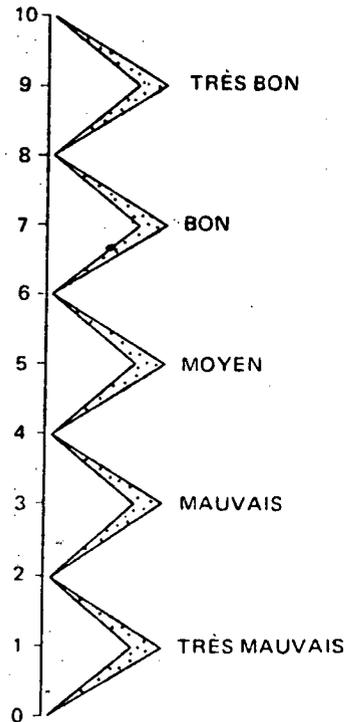


* Source [3]

Figure 6



* Source [3]



ÉVALUATEUR _____
RTE NO _____
SECTION NO _____
DATE _____

QUALITÉ DE LA CHAUSSEE?

ACCEPTABLE	INACCEPTABLE	INDÉCIS
------------	--------------	---------

* Source [5]

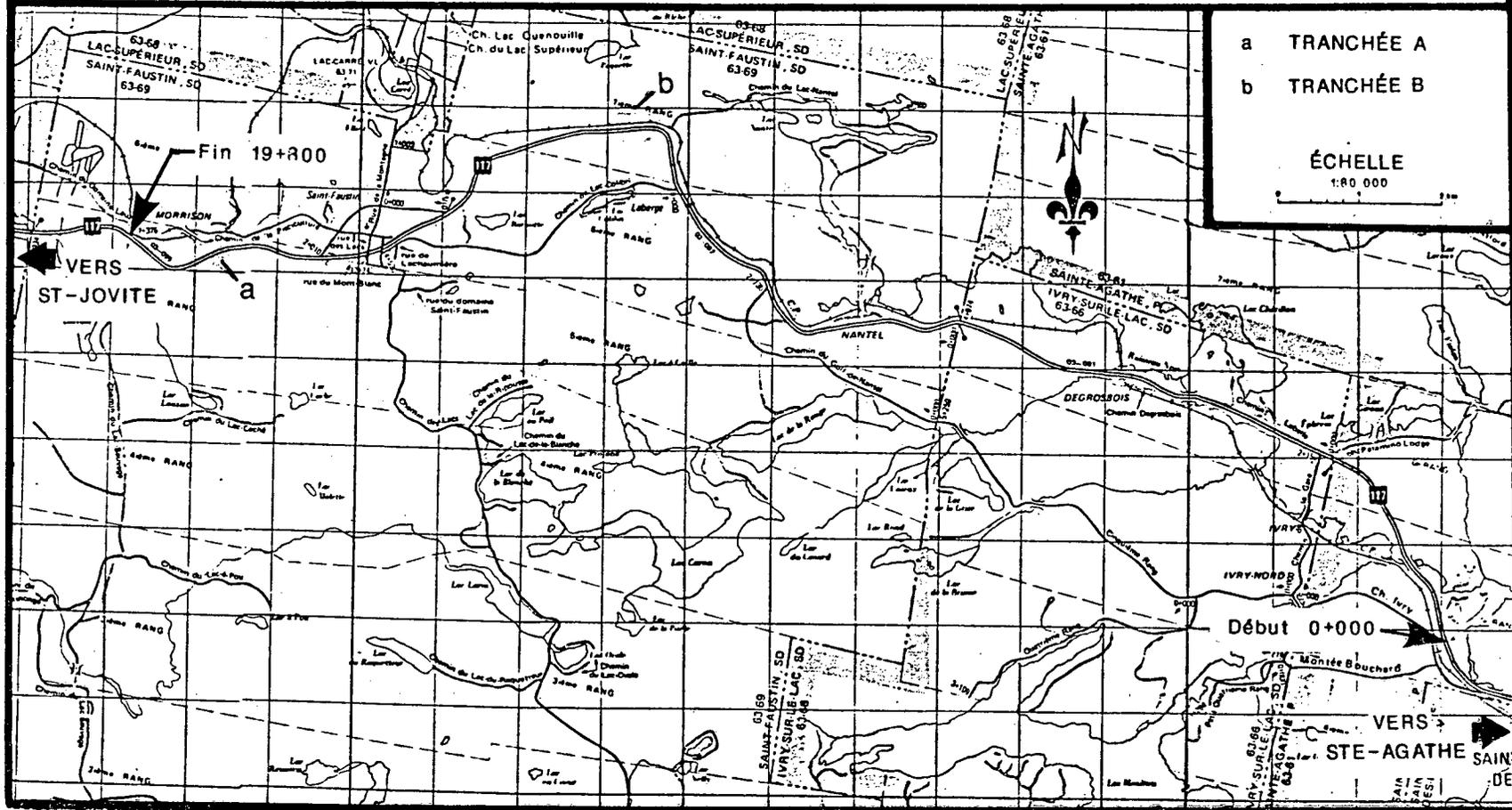
REMARQUES

Figure 7 - FICHE D'ÉVALUATION DE L'INDICE DE COMPORTEMENT

ANNEXE 2

AUTOROUTE 117

MUNICIPALITÉS: STE-AGATHE, IVRY-SUR-LE-LAC, ST-FAUSTIN

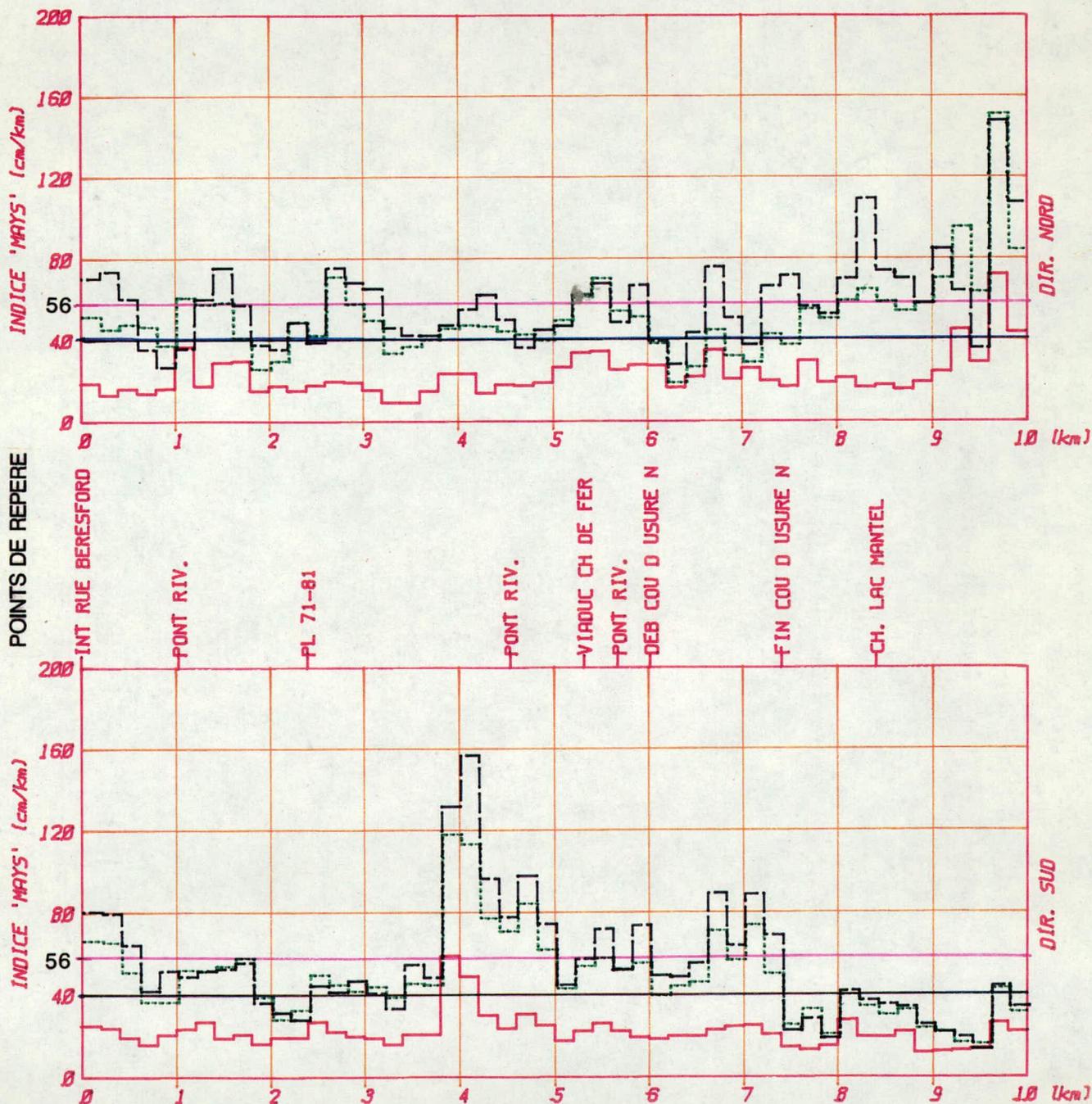


* Source M.T.Q.

Figure 8 - PLAN DE LOCALISATION

QUALITE DE ROULEMENT 'MAYS'

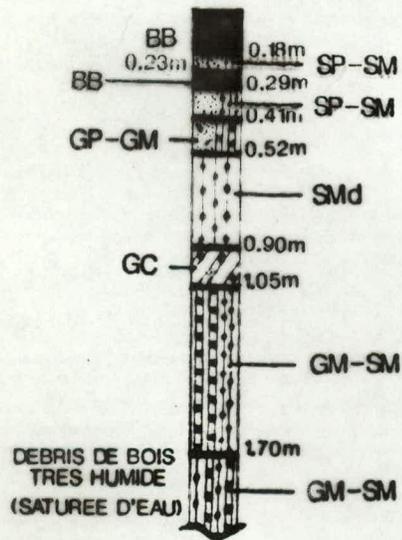
RTE-TR.-SEC. : <u>0117-03-095</u>		ND. DOSSIER : <u>0117-03-095 (22) 87</u>	
MUNICIPALITE(S) : <u>IVRY SUR LE LAC</u>		ND. FICHIER : <u>11703RMJ. 87A</u>	
COMTE : <u>LABELLE</u>		SURFACE : <u>BETON BITUMINEUX</u>	
LONGUEUR (km) : <u>19,8</u>			
DATE DES ESSAIS: <u>87-10-08</u>		DATE DES ESSAIS: <u>88-01-11</u>	
TEMP ('C): <u>8</u> VITESSE (km/hre): <u>80</u>		TEMP ('C): <u>-7</u> VITESSE (km/hre): <u>80</u>	
DIR. NORD	DIR. SUD	DIR. NORD	DIR. SUD
VOIE DEPA. NORD	VOIE DEPA. SUD	VOIE DEPA. NORD	VOIE DEPA. SUD
DATE DES ESSAIS: <u>88-03-01</u>		DIR. NORD	DIR. SUD
TEMP (C): <u>0</u> VITESSE (Km/hre): <u>80</u>		VOIE DEPA. NORD	VOIE DEPA. SUD



Figure

SONDAGES MÉCANIQUES

Tranchée B



Tranchée A

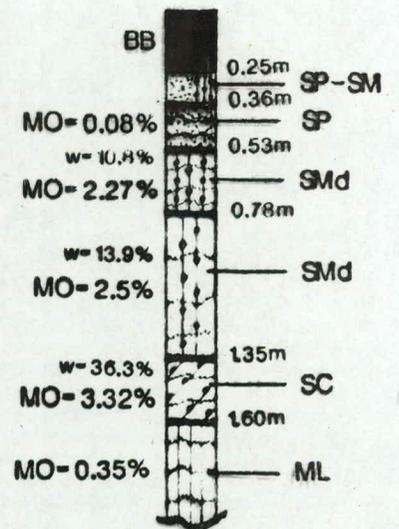
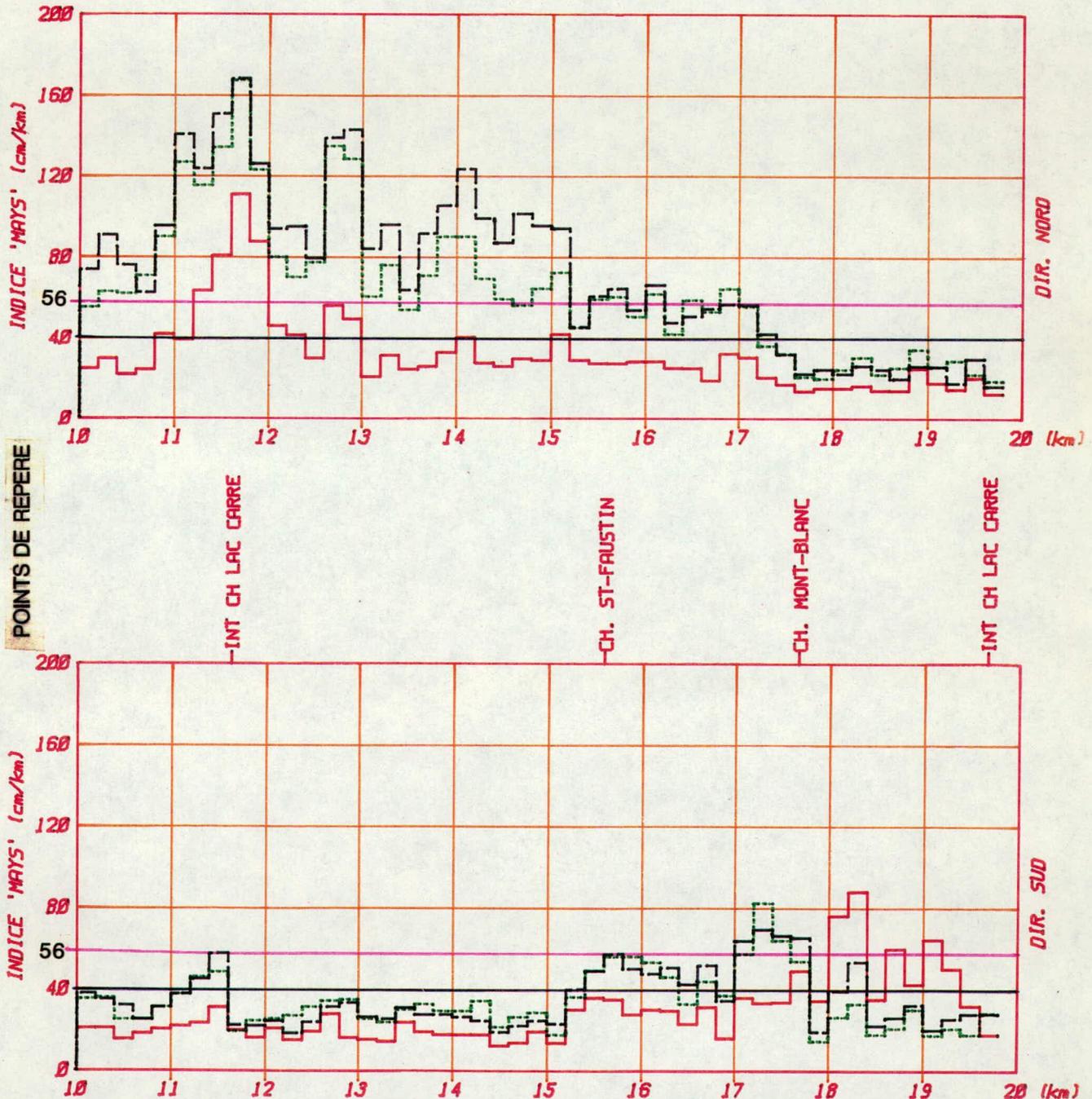


Figure 10

QUALITE DE ROULEMENT 'MAYS'

RTE-TR.-SEC. : <u>0117-03-095</u>		NO. DOSSIER : <u>0117-03-095(22)87</u>	
MUNICIPALITE(S) : <u>IVRY SUR LE LAC</u>		NO. FICHER : <u>11703RMJ.87A</u>	
COMTE : <u>LABELLE</u>		SURFACE : <u>BETON BITUMINEUX</u>	
LONGUEUR (km) : <u>19.8</u>			
DATE DES ESSAIS: <u>87-10-08</u>		DATE DES ESSAIS: <u>88-01-11</u>	
TEMP ('C): <u>8</u> VITESSE (km/hre): <u>80</u>		TEMP ('C): <u>-7</u> VITESSE (km/hre): <u>80</u>	
DIR. NORD	DIR. SUD	DIR. NORD	DIR. SUD
VOIE DEPA. NORD	VOIE DEPA. SUD	VOIE DEPA. NORD	VOIE DEPA. SUD
DATE DES ESSAIS: <u>88-03-01</u>		DIR. NORD	DIR. SUD
TEMP (C): <u>0</u>	VITESSE (Km/hre): <u>80</u>	VOIE DEPA. NORD	VOIE DEPA. SUD



Figure

ANALYSE DU MÉCANISME DU GEL

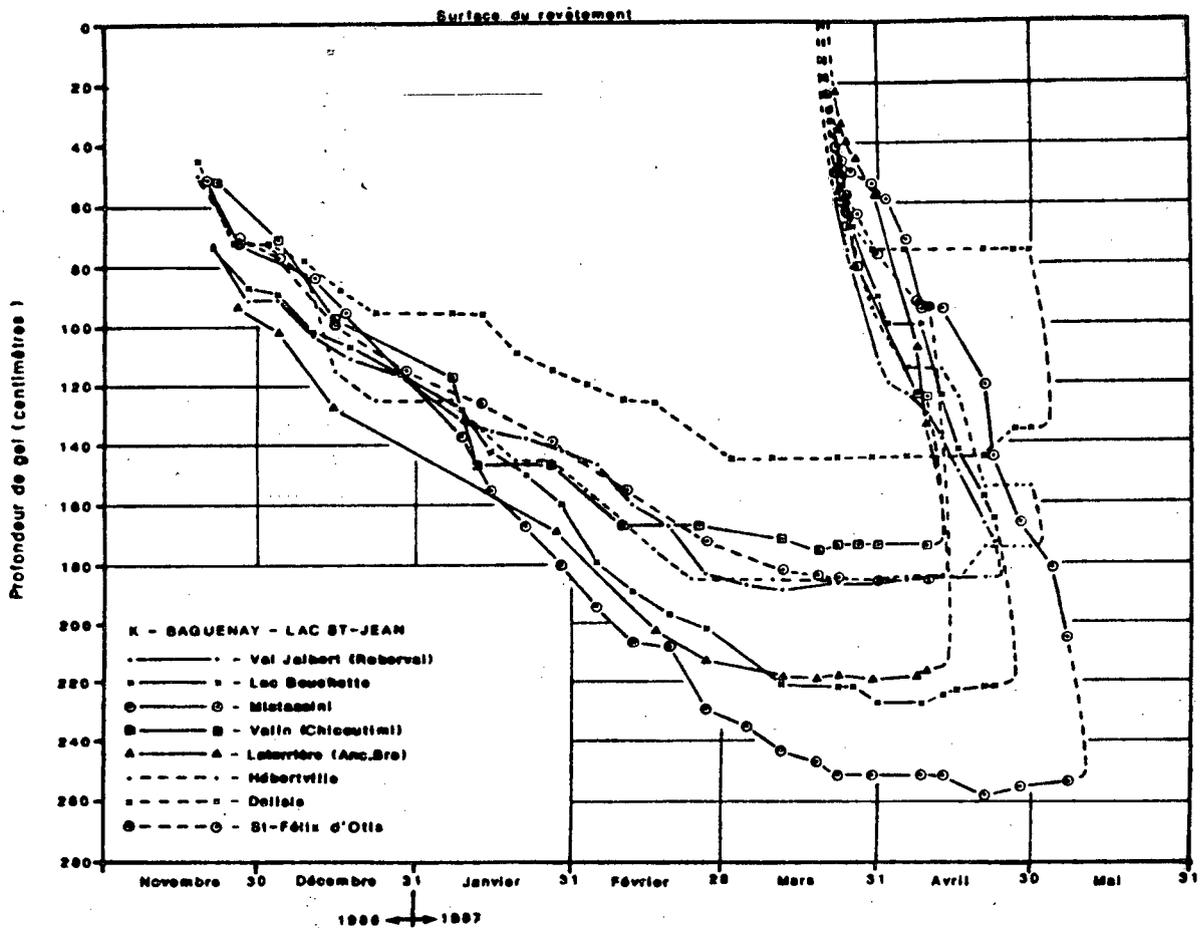
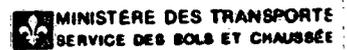
Avec la baisse de température sous le point de congélation, un front froid descend dans le sol et l'eau interstitielle du sol, se cristallise. En présence du froid, les molécules d'eau dans le sol non-gelé montent par voies capillaires et s'accumulent le long du front de gel. Cette succion vers le froid se fait un peu comme dans un sol mouillé où l'eau se dirige vers un sol sec (phénomène de thermo-osmose). La fig. 13 illustre ce concept de la migration de l'eau vers le front de gel.

Quand l'eau gèle, il se produit un dégagement de chaleur dite de cristallisation. Si celle-ci ne peut s'échapper vers l'extérieur, le sol en présence ne gèlera pas; par contre, si la chaleur de cristallisation qui réussit à percer le sol gelé, est supérieure à la chaleur amenée par la présence d'eau, nous aurons droit à la formation de lentilles de glace. Cette dernière provoque une augmentation du volume de la partie gelée. A la fig. 14, on retrouve un grossissement d'une photo montrant une lentille de glace dans un sol gélif.

On peut également dire qu'avec un avancement du front de gel rapide, l'eau n'aura pas le temps d'émigrer vers la surface du sol. Par conséquent, on obligera la formation des lentilles de glace de s'effectuer à un endroit plus

endroit plus profond dans le sol, ce qui entraînera des soulèvements beaucoup moins prononcés à la surface du pavage. A la fig. 12, on retrouve la variation de la profondeur du gel d'une région, en fonction du temps.

Figure 12 - Variation de la profondeur du gel VS le temps (1986-1987)



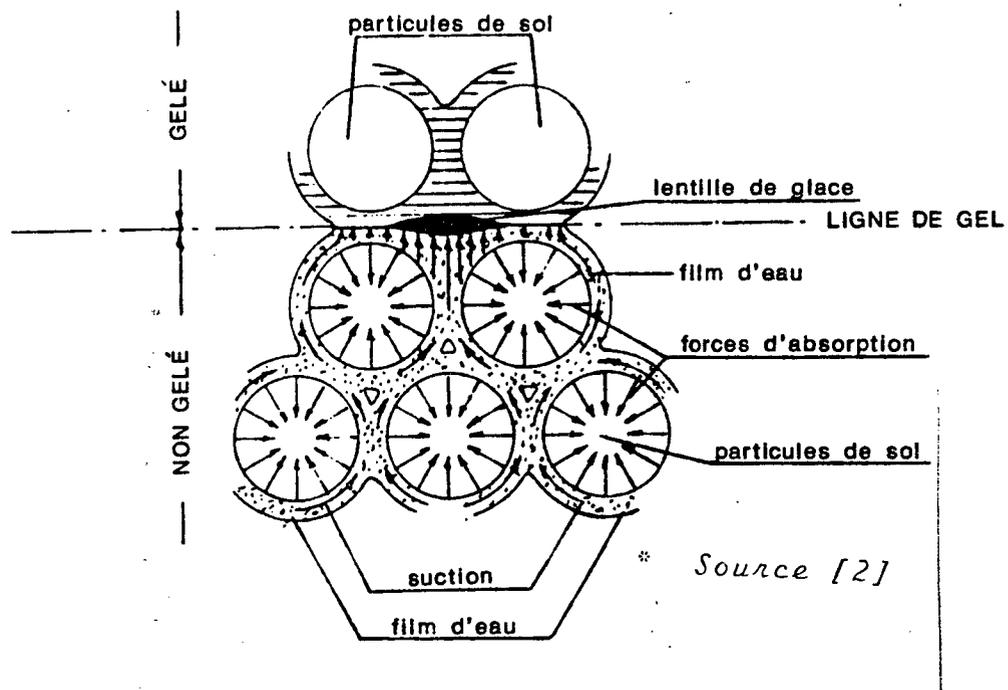


Figure 13 - CONCEPT DE LA MIGRATION DE L'EAU VERS LA LIGNE DE GEL.



* Source [1]

Figure 14 - GROSSISSEMENT D'UNE LENTILLE DE GLACE.

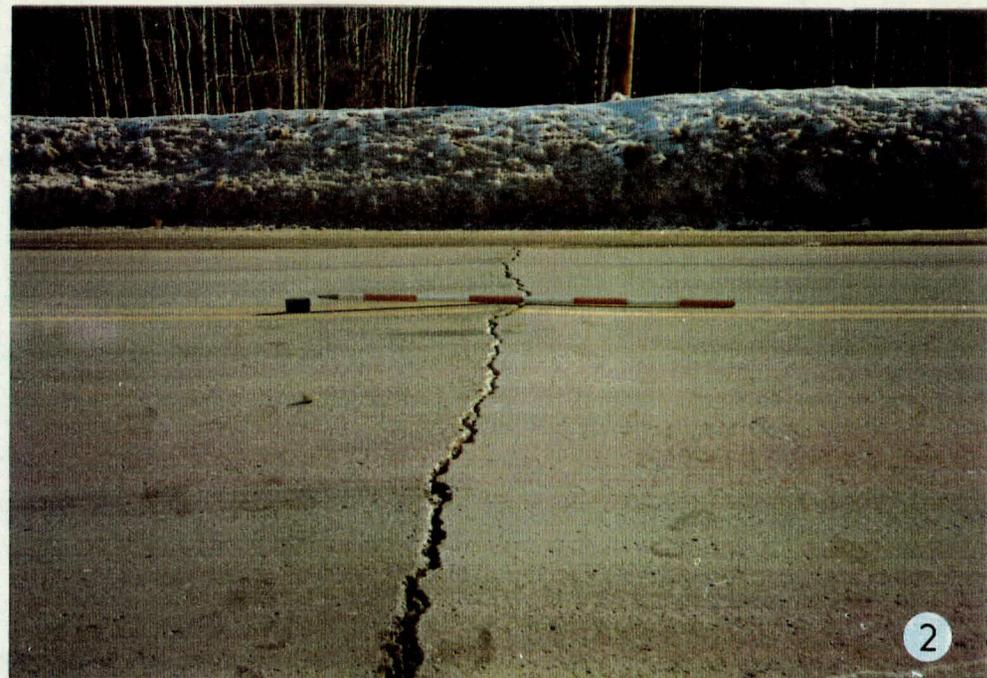
TABLEAU III

SYSTÈME UNIFIÉ DE CLASSIFICATION DES SOLS.

PRINCIPALES DIVISIONS	SYMBOLE		DESCRIPTION	COULEUR	COMPORTEMENT SI NON AU GEL			COMPRESSIBILITÉ ET DRAINAGE			ENGINS DE COMPACTAGE RECOMMANDÉS	POIDS SPÉC. SEC LBS/PT. 3	VALEURS-TYPES POUR PROJET			
	LETTRE	DESSIN			COMME MATÉRIEL DE SOUS-FONDATION	COMME MATÉRIEL DE FOND INFÉRIEUR	MATÉRIEL DE SUPÉRIEUR	GÉLIVITÉ	ET GONFLEMENT	DRAINAGE			C.B.R.	MODULE DE REACTION "R"		
															LBS/PT. 3	LBS/PT. 3
SOLS À GROS GRAINS	MOINS DE LA MOITIÉ DU MATÉRIEL PASSE LE TAMIS N° 200 GRAVIER ET SOLS GRAVELEUX MOINS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4	GRAVIER PROPRES PEU OU PAS DE GRAINS FINS	GW	Rouge	Excellent	Excellent	Bon	Nul à très faible	Presque nuls	Excellent	Rouleaux vibrants, pneus multiples Cylindres lisses.	175 - 140	40 - 60	300 - 500		
			GP		Bon à excellent	Bon	Moque à bon									
		GRAVIER AVEC GRAINS FINS	GM	Jaune	*d) Si $L.L. \leq 25$, $I.P. \leq 5$ Gravier - silt, gravier - sable - silt. u) Si $L.L. > 25$, $I.P. > 5$	Bon à excellent	Bon	Moque à bon	Faible à appréciable	Très faibles	Médiocre à pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton Contrôle sévère de l'humidité.	125 - 145	40 - 60	300 - 500	
			GC		Bon	Médiocre	Mauvais à acceptable	Faible à appréciable	Faibles	Pauvre à imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	115 - 135	20 - 30	200 - 500		
		PLUS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4	SABLES PROPRES PEU OU PAS DE GRAINS FINS	SW	Rouge	Sable bien calibré, ou sable graveleux. Peu ou pas de grains fins.	Bon	Médiocre à bon	Mauvais	Nul à très faible	Presque nuls	Excellent	Rouleaux vibrants, pneus multiples	110 - 130	20 - 40	200 - 400
				SP		Sable mal calibré, ou sable graveleux. Peu ou pas de grains fins.	Médiocre à bon	Médiocre	Mauvais à acceptable	Nul à très faible	Presque nuls	Excellent	Rouleaux vibrants, pneus multiples	105 - 135	10 - 40	150 - 400
	SABLE AVEC GRAINS FINS		SM	Jaune	*d) Si $L.L. \leq 25$, $I.P. \leq 5$ Sable silteux, mélange sable - silt. u) Si $L.L. > 25$, $I.P. > 5$	Médiocre à bon	Médiocre à bon	Mauvais	Faible à grande	Très faibles	Médiocre à pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton. Contrôle sévère de l'humidité.	120 - 135	15 - 40	150 - 400	
			SC		Médiocre	Mauvais à médiocre	Acceptable	Faible à grande	Faibles à moyens	Pauvre à imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	100 - 130	10 - 20	100 - 300		
	SOLS À GROS GRAINS		MOINS DE LA MOITIÉ DU MATÉRIEL PASSE LE TAMIS N° 200	SABLES ET SOLS GRAVELEUX PLUS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4	Jaune	Sable argileux, mélange sable - argile	Mauvais à médiocre	Mauvais	Inacceptable	Faible à grande	Faibles à moyens	Pauvre à imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	100 - 135	5 - 20	100 - 300
						Sable argileux, mélange sable - argile	Mauvais à médiocre	Mauvais	Inacceptable	Faible à grande	Faibles à moyens	Pauvre à imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	100 - 135	5 - 20	100 - 300
	SOLS À GRAINS FINS	MOINS DE LA MOITIÉ DU MATÉRIEL PASSE LE TAMIS N° 200	SABLES ET ARGILES	Vert	Silt inorg. et sable très fin, poussière de roche, sable très fin, silteux ou argileux, ou silt arg. de faible plasticité.	Mauvais à médiocre	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne à grande	Faibles à moyens	Médiocre à pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton.	90 - 130	15 ou moins	100 - 200	
					Argile inorg. de faible plasticité, argile graveleuse, sableuse, silteuse, limon.	Mauvais à médiocre	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne à grande	Moyens	Pratiquement imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	90 - 130	15 ou moins	50 - 150	
Silt organique, et mélange silt - argile organique de faible plasticité.					Mauvais	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne à grande	Moyens à grands	Pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton.	90 - 105	5 ou moins	50 - 100		
PLUS DE LA MOITIÉ DU MATÉRIEL PASSE LE TAMIS N° 200		SABLES ET ARGILES	Bleu	Silt inorganique, sol sableux très fin, ou silteux, micacé ou diatomacé, silt élastique.	Mauvais	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne à très grande	Grands	Médiocre à pauvre	Pieds de mouton, pneus multiples.	80 - 105	10 ou moins	50 - 100		
				Argile inorganique de grande plasticité, argile limoneuse.	Mauvais	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne	Grands	Pratiquement imperméable	Pieds de mouton, pneus multiples	90 - 115	15 ou moins	50 - 150		
				Argile organique d'une plasticité moyenne à grande, silt organique.	Mauvais à très mauvais	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne	Grands	Pratiquement imperméable	Pieds de mouton, pneus multiples	80 - 110	5 ou moins	25 - 100		
SOLS ORGANIQUES			Orange	Terre noire et autres sols très organiques, tourbe	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Faible	Grands	Médiocre à pauvre	Compactage impraticable.					

RÉFÉRENCE : SOILS MANUAL - THE ASPHALT INSTITUTE (MS-10) SECOND EDITION APR. 14 1963
 *LES SUBDIVISIONS "d" ET "u" N'EXISTENT PAS DANS A.S.T.M.-D.-2487-69 POUR GM ET SM.

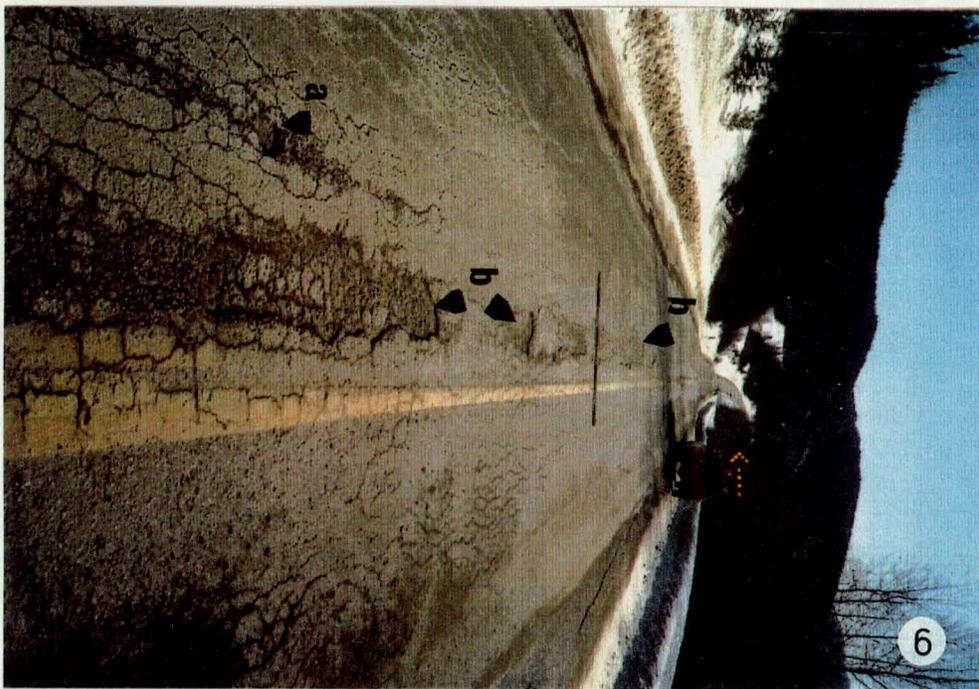
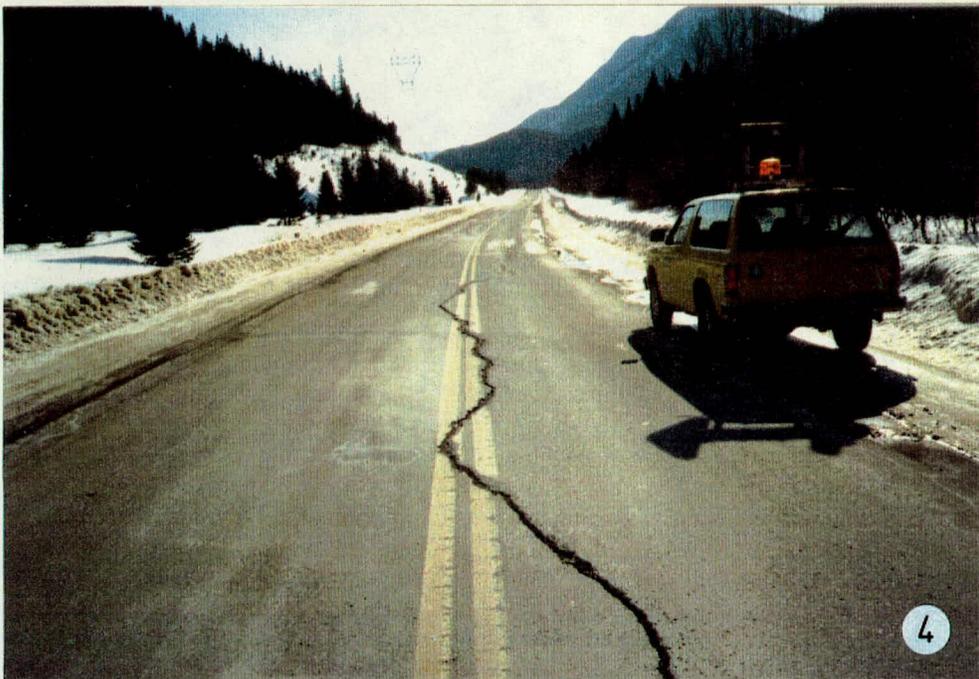
ANNEXE 3



1	2
3	

DESCRIPTION

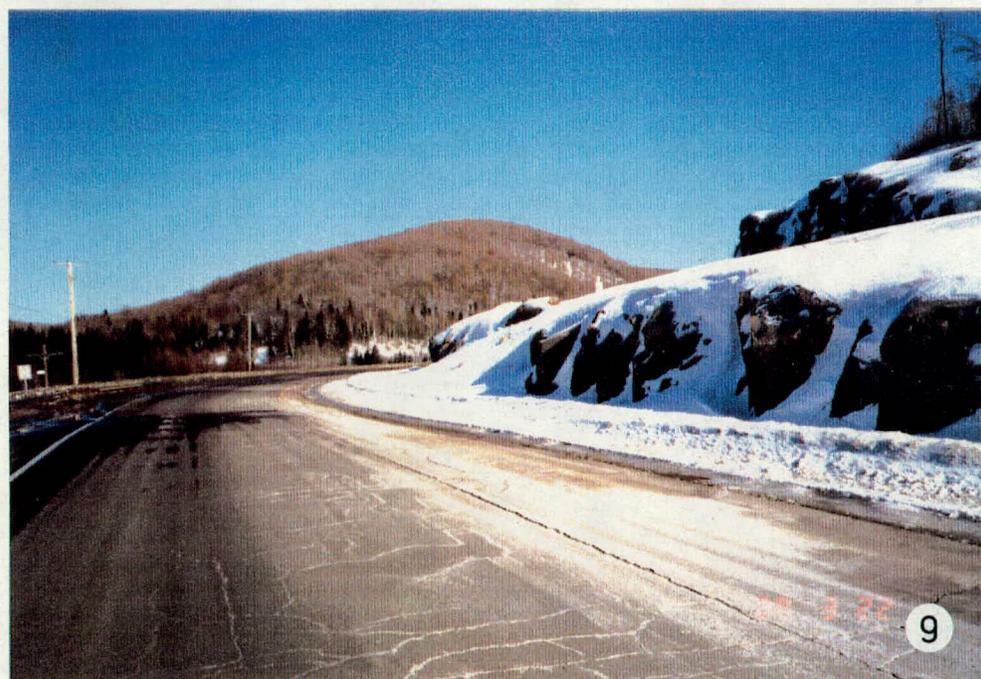
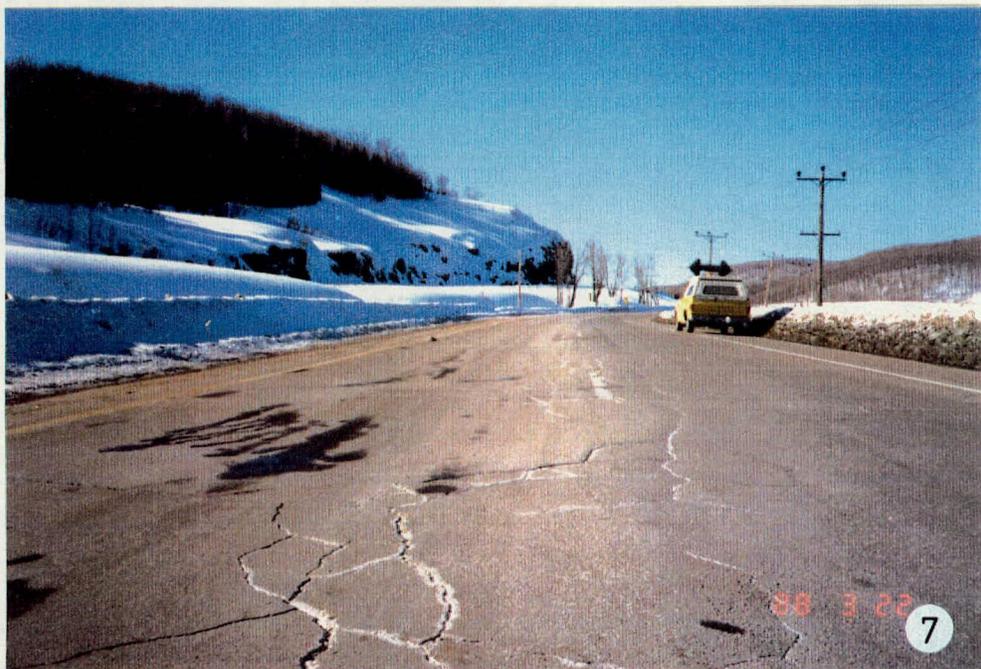
- PHOTO 1 — tranchée B, sur la rte 117 au chaînage 12+600
 — fissures transversales en soulèvement
- PHOTO 2 — fissure transversale moyennement soulevée et ouverte
- PHOTO 3 — fissure de centre très ouverte



4	5
6	

DESCRIPTION

- PHOTO 4 — lézarde très ouverte, au centre de la route
- PHOTO 5 — soulèvement différentiel, causant une ondulation
- PHOTO 6 — arrachements du pavage occasionnés par le gel
- a) nid de poule
b) pelades



7	8
9	

DESCRIPTION

- PHOTO 7 — coupe de roc prise au chaînage 9+700, en direction nord
- PHOTO 8 — coupe de roc prise au chaînage 10+400, en direction sud
- PHOTO 9 — coupe de roc prise au chaînage 12+500, en direction sud

* Source M.T.Q.



10	11
12	

DESCRIPTION

PHOTOS 10 à 12

— évolution des dégradations autour
des fissures transversales

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AITCIN, Pierre-Claude, et al. Technologie des granulats, Sherbrooke, s. éd., 1983,
- [2] DOUCET, Robert. Action du gel sur les sols et les routes, Québec, Ministère des transports, 1973, 77 p.
- [3] L'ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES, éd. Recherche routière, action du gel sur les chaussées, Paris, 1974, 237 p.
- [4] MORIN, Richard. Développement d'un simulateur de gel et élaboration d'un système de classement des sols selon leur degré de susceptibilité au gel, thèse de maîtrise présentée à la Faculté des sciences appliquées de L'Université de Sherbrooke, 1981, 254 p.
- [5] TESSIER, G.-Robert. Guide de construction routière, Québec, 2e éd., Ministère des Transports du Québec, 1973, 218 p. (reprod. de l'éd. de 1967).