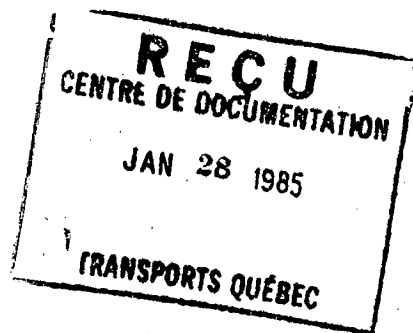


COMPORTEMENT 1969-1983 DU TRONCON
CHARNY - RIVIERE-DU-LOUP
DE LA ROUTE 20 EST

CANQ
TR
GE
EN
596



470 786



COMPORTEMENT 1969-1983 DU
TRONCON CHARNY-RIVIERE-DU-LOUP
DE LA ROUTE 20 EST

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24^e ÉTAGE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5H1

Pierre De Montigny, ing., M.Sc.
Chef de la Division structures de chaussées
Service des sols et chaussées

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

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
~~200, Rue Dorchester sud, 7^e~~
~~Québec, (Québec)~~
~~G1K 5Z1~~

Date: 83-11-21

Dossier: 76 (22) 225

1
CANP
TR
GE
EN
1596

INTRODUCTION

Le présent document fait suite à une lettre de monsieur René Blais, ing., s.m.a., datée du 19 août 1982, dans laquelle il réitérait une demande faite auprès de notre service il y a plusieurs années, soit le 21 février 1973, pour connaître notre opinion sur le comportement de la route 20 entre Charny et Montmagny. Il parlait alors de fissures nombreuses et de granulats qui, bien que non conformes aux normes admises (déficients en fines) auraient donné lieu à moins de fissuration dans le temps que d'autres pourtant jugés de bonne qualité. Il revint sur ce sujet dans sa note du 19 août 82 en faisant allusion aux avantages que plusieurs voient dans la technique des chaussées drainantes.

Même si nous sommes assez en accord avec monsieur Blais lorsqu'il laisse entendre qu'on aurait peut-être trop insisté sur le compactage et pas suffisamment sur la drainabilité des fondations à l'époque de la construction de la transcanadienne, il reste que, pour être équitable envers chacun, il faut tout de même tenir compte des idées qui prévalaient au moment de la construction de la transcanadienne dans le domaine du design structural.

Il nous apparaît en outre que la nouvelle technique des chaussées drainantes fait l'objet depuis quelques années de trop de confusion, de demi-vérités et même de faussetés pour que nous n'y consacrons pas quelques lignes.

Nous allons peut-être en surprendre, voire même en offusquer quelques-uns... mais il faudra bien s'y faire à la fin. Après tout, nous ne faisons que donner suite à une tâche qui nous a été demandée avec insistance, qui a pris beaucoup de notre temps et qui mérite donc un compte rendu clair.

Notre exposé va comprendre deux parties:

- Une première constituera un rappel historique des chaussées drainantes et des techniques qui étaient les mieux admises et les plus courantes au moment de la construction de la transcanadienne.
- Une seconde discutera du comportement de la route elle-même depuis sa mise en service.

NOTIONS PERTINENTES DE DESIGN STRUCTURAL

A) Structures drainantes

Il importe de noter en premier lieu que personne ne parlait de chaussées drainantes au moment de la construction de la transcanadienne. Ce n'est en effet qu'en 1974 qu'a été proposée cette idée par H.R. Cedergren dans son livre intitulé "Drainage of Highway and Airfield Pavements". L'auteur n'indiquait cependant pas alors comment concilier les exigences relatives à la perméabilité avec celles qui concernaient la résistance structurale.

Selon Cedergren, l'eau qui s'infiltré de la surface par les fissures du revêtement doit pouvoir rencontrer, immédiatement sous le pavage, un horizon perméable qui lui permette de sortir de la chaussée en un temps très court. Ceci élimine à toute fin utile l'emploi possible d'un granulat 19-0a à ce niveau, une pierre concassée, nette, reliée à un drain perforé souterrain ou débouchant à la surface du talus étant, selon l'auteur, de beaucoup préférable. Cedergren ne fait nulle mention des exigences structurales de cette couche et n'indique pas non plus l'épaisseur de béton bitumineux requise au-dessus d'elle en fonction du trafic.

Le moins que l'on puisse dire, c'est que sa théorie, si intéressante soit-elle, n'est pas complète: il lui manque une composante importante qui est celle de la résistance ou de la capacité de support de la couche drainante.

Il est sûr cependant que peu de personnes ne nieront les avantages que comporte une évacuation prompte de l'eau hors de la chaussée. Le problème réside plutôt dans la façon d'assurer une telle évacuation sans mettre en danger la stabilité de la structure et quel prix on est prêt à payer pour le faire.

Lorsque monsieur Blais parle de "fondations imperméables et parfois dures comme du béton" il a sans doute en tête les exigences granulométriques du ministère qui conduisent trop souvent à des chaussées plus ou moins imperméables. Il faut toutefois se souvenir que la granulométrie influence non seulement la perméabilité mais aussi la stabilité d'un sol et qu'elle influence ces deux propriétés de façon inverse. On ne peut donc pas se préoccuper uniquement de hausser la perméabilité au-delà d'un certain seuil sans penser à une détérioration concurrente de la stabilité. On comprendra dans ces conditions qu'il ne soit pas souhaitable de viser une perméabilité inutilement élevée.

Certains adeptes des chaussées drainantes au ministère semblent avoir décidé de contourner cette difficulté en recouvrant la couche perméable avec un granulat 19-0a. Ce faisant, ils s'écartent d'abord de l'idée fondamentale qui a présidé à l'élaboration de cette technique et qui consistait à faire en sorte que l'eau qui s'infiltrait dans la chaussée en soit rapidement évacuée. S'il est vrai en outre que le 19-0a est si imperméable, on ne doit pas forcer l'eau à le traverser avant de pouvoir sortir de la chaussée. Ce matériau n'a donc pas sa place au-dessus de l'horizon

perméable. Et si l'on en pose quand même, l'eau ne pourra le franchir que goutte à goutte. Pourquoi donc penser qu'il soit bien utile alors que la couche sous-jacente puisse acheminer l'eau à un rythme 10 à 20000 fois plus élevé? De plus, en recouvrant ainsi la couche perméable avec un granulats conventionnel, l'eau va imprégner ce dernier de façon inégale (teneur plus élevée au voisinage des fissures), créant de ce fait des hétérogénéités au point de vue portance et surtout au point de vue changement de volume en hiver. Ces variations horizontales au niveau de la fondation granulaire sont de même nature que celles observées dans les chaussées traditionnelles et risquent donc d'occasionner des désordres similaires, notamment des pertes importantes de qualité de roulement en hiver,

L'expérience acquise par le ministère depuis sept ou huit ans avec les mélanges ouverts dans les travaux de réfection pourrait pourtant s'avérer utile ici. En plus d'être perméables en effet, ces derniers se sont avérés suffisamment forts même sous des trafics extrêmement lourds à condition:

- d'être constitués d'un agrégat concassé,
- d'être recouverts d'une couche de surface de 40 à 60 mm d'épaisseur, selon l'intensité du trafic,
- de reposer sur une surface stable telle que celle constituée par un ancien pavage;
- de déboucher librement sur l'extérieur de la chaussée de façon à n'être jamais sollicités dans un état de saturation.

Ces quatre conditions ne sont sans doute pas toutes nécessaires à la bonne tenue des mélanges ouverts mais il est sûr que plus on s'écarte de cette situation optimale, plus on s'expose à des instabilités plus ou moins prononcées. Il faut donc se garder de telles méthodes que d'aucuns pourraient qualifier de trop capricieuses. Il est cependant permis

d'entrevoir deux genres de solutions:

- Avoir recours à un mélange qui serait un peu moins grossier et moins perméable mais plus stable que notre mélange ouvert habituel;
- Avoir recours à un recouvrement plus épais de béton bitumineux dense au-dessus du mélange ouvert.

Nous ne commenterons pas la première solution (qui n'a d'ailleurs pas encore été explorée au ministère) si ce n'est pour dire qu'avant d'y avoir recours, elle requerrait des essais en laboratoire tant du point de vue stabilité que perméabilité. Notons cependant qu'une certaine expertise existe en ce domaine dans quelques états américains*.

Pour ce qui est de la deuxième solution, il importe de noter qu'il ne servirait à rien d'augmenter l'épaisseur de la couche instable que constitue ~~par~~ le mélange ouvert. Bien au contraire, on risquerait du même coup d'augmenter:

- l'instabilité de l'ensemble de la chaussée,
- le coût ~~de~~ initial de construction,
- les risques de mauvais comportement et de frais d'entretien pendant les années consécutives à la construction.

C'est donc l'épaisseur du mélange dense qu'il faut accroître de façon à ce que le mélange ouvert tienne plus ou moins lieu de fondation supérieure.

(*) : NCHRP Report 202, 1979: "Improved Pavement - Shoulder Joint Design".

Il va de soi que cette solution conduit à une augmentation du coût initial de construction mais c'est peut-être le prix qu'il faut payer pour obtenir une chaussée suffisamment forte et en même temps vraiment drainante. Et si, au lieu d'un mélange ouvert, on utilise une pierre nette pour constituer l'horizon perméable, c'est un recouvrement encore plus épais en béton bitumineux qu'il faut utiliser, parce que la pierre gagne évidemment de la stabilité à être enrobée.

On voit donc que les chaussées drainantes ne comportent pas que des avantages et qu'elles sont encore aujourd'hui, régies par des normes ni trop claires ni trop précises. On ne peut donc pas décemment reprocher aux concepteurs de la transcanadienne de n'y avoir pas eu recours il y a une quinzaine d'années.

Il faut noter d'ailleurs que même si cette nouvelle méthode de concevoir les chaussées a pu influencer certains experts et provoquer une réflexion constructive chez plusieurs, elle ne semble pas avoir convaincu les administrations nord-américaines les plus compétentes ou les plus influentes qu'il fallait modifier profondément les méthodes de dimensionnement structural en usage.

Certains "designers" du ministère sont cependant un peu plus influençables. Ils contribuent de ce fait à donner l'image d'une organisation qui manque de cohérence ou de rigueur au plan technique. Certains, par exemple, proposent des mélanges ouverts par mesure d'économie ou avec l'espoir de réduire la fissuration dans le temps mais sans tenir compte du fait que ces mêmes mélanges peuvent en même temps servir d'horizon perméable dans la confection des chaussées drainantes. D'autres, fervents défenseurs des chaussées drainantes ignorent que les mélanges ouverts utilisés par les premiers pourraient jouer le rôle drainant qu'ils recherchent sans pour autant verser dans une instabilité par trop évidente ou prévisible. Les deux expériences cheminent donc en double, côte à côte sans que leurs initiateurs ne sachent qu'ils devraient au moins se parler.

En plus de cela, il existe une confusion dans les esprits qui est si importante ou fondamentale qu'elle modifie profondément la façon de penser de plusieurs vis-à-vis la nécessaire perméabilité des fondations. Cette confusion découle des caprices du vocabulaire technique qui varie souvent d'un pays à l'autre et d'une langue à l'autre. C'est ainsi que les expressions "agrégats ouverts" ou "granulométrie ouverte" sont souvent appliqués dans la littérature à des matériaux très différents les uns des autres et surtout très différents de ceux que nous désignons communément sous ces vocables au Québec. L'AASHTO, qui est certes l'un des organismes qui commande le plus d'autorité en technique routière parle par exemple de granulométrie ouverte ("open-graded aggregate") au sujet de granulats dont les tamisats aux niveaux des tamis de 4,75 mm et 75 μ m peuvent atteindre jusqu'à 60% et 7% respectivement*. Avec de tels matériaux, pourtant dits "ouverts", il n'y a certes guère à craindre du point de vue structural et il est sûr que le ministère a dû en utiliser fréquemment sur ses projets dans le passé sans éprouver de difficultés.

Yoder et Witczak reprennent la même nomenclature dans leur volume (p. 373) intitulé "Principles of Pavement Design" et considéré par plusieurs comme le meilleur en design Structural des chaussées. Ils préviennent cependant que l'expression "granulométrie ouverte" est souvent interprétée de façon erronée (p. 620).

On voit donc qu'avant de conclure aux bienfaits ou aux méfaits des chaussées drainantes il vaut la peine de vérifier ce à quoi elles correspondent dans chaque cas particulier et se tenir un peu sur ses gardes vis-à-vis l'utilisation de certains termes.

(*): AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, 1972.

B) Prévention des fissures

S'il est vrai que l'on faisait peu cas de la drainabilité des couches de fondation au moment où la route 20 a été construite, il n'en était pas ainsi de la fissuration. Celle-ci en effet avait fait l'objet d'études poussées de la part de l'Association des Routes et Transports du Canada (ARTC), la Canadian Good Road du temps. Cet organisme s'était également interrogé sur l'orientation que devait prendre le design structural au Canada à la suite de l'essai AASHO mené aux Etats-Unis entre 1960 et 1962 comme à la suite de l'apparition de nouveaux essais routiers visant notamment à déterminer de façon rapide la portance et la qualité de roulement des chaussées (Benkelman, roulemètre, etc.).

On concluait que c'est sous l'aspect des propriétés à exiger pour le bitume que la fissuration transversale pouvait le mieux être contrôlée. Etant donné par ailleurs que le bitume utilisé lors de la construction de la transcanadienne paraît avoir été partout de même pénétration, il est peu probable que l'on puisse invoquer cet aspect pour expliquer les variations de comportement notées aujourd'hui entre divers secteurs adjacents.

C) Dimensionnement et caractéristiques des couches granulaires

Pour ce qui est des couches sous-jacentes au pavage, l'ARTC ne voyait la nécessité de changer ni leur nombre, ni leur composition. Elles étaient au nombre de deux:

- L'une faite de sable non gélif, soit l'équivalent de notre sous-fondation (subbase en anglais);
- L'autre faite de granulat concassé (gravier ou pierre) à granulométrie étalée, assez voisine de notre calibre 103 ("base course", "base", ou "granular base" en anglais).

De plus, on continuait à préconiser un compactage vigoureux pour obtenir une surface non sujette aux tassements différentiels ou à l'orniérage et en même temps capable de résister aux sollicitations du trafic.

Ce sont là des précautions qui tiennent encore de nos jours même si l'on insiste également depuis quelques années sur la nécessité d'une perméabilité minimale pour les fondations, perméabilité que l'on cerne un peu plus clairement dans le cas des chaussées rigides (car alors, la portance de la fondation n'a qu'une importance relative sur l'épaisseur des dalles) mais de façon plutôt nébuleuse dans le cas des chaussées souples, ainsi qu'il a été expliqué plus haut. C'est pourquoi, dans ce dernier cas, une réduction de la teneur en éléments fins, notamment de ceux inférieurs à 80 µm, pourrait constituer la meilleure solution au problème des assises trop imperméables. Ce sont en effet ces éléments fins qui affectent le plus la perméabilité d'un sol à granulométrie dense.

Il y aurait donc lieu que le Ministère considère la possibilité d'appliquer une norme un peu plus restrictive en ce domaine. Remarquons que l'Ontario, qui, à notre avis, est très avant-gardiste en technique routière, s'en tient encore généralement à une teneur maximale de 8% de fines et dans certains cas (concassé, 0 @ 16 mm, type A) à 5%. Celle-ci ne semble cependant ne s'appliquer que dans certains cas précis et probablement lorsque les matériaux désirés sont disponibles à faible distance des travaux.

Remarquons encore une fois la plus grande flexibilité ontarienne vis-à-vis l'application des normes, flexibilité qui repose sur une autorité plus articulée du concepteur.

D) Pratique du design structural au Ministère

Toutes les administrations nord-américaines de voirie, du moins les plus importantes ont depuis longtemps adopté le concept de construction

mentionné plus haut à deux couches granulaires à condition évidemment de disposer des agrégats requis à cet effet. Nous croyons que le ministère devrait adopter la même politique attendu que nos trois couches granulaires deviennent souvent encombrantes, notamment lors de la construction de routes à faible trafic, où la portance n'a pas à être élevée et où, de ce fait, une couche de gravier peu épaisse au-dessus de la sous-fondation pourrait suffire.

Nos trois couches sont en outre cause de confusion au niveau même de la conception de la chaussée. Face à elles en effet, on a souvent mal traduit ou mal interprété les deux seuls termes utilisés chez les Anglo-Saxons pour désigner les couches granulaires à savoir: le "base" et le "subbase" et on a également mal attribué en français les exigences se rapportant à chacune d'elles.

De telles erreurs ont, à notre avis, eu des conséquences très coûteuses pour le ministère. Elles sont en outre fréquentes. Même les traducteurs du "Pavement Management Guide" ("Guide de gestion routière" en français) ont trébuché sur ce genre de difficulté à plusieurs reprises.

La confusion est encore plus manifeste lorsque l'on tente d'adapter une technique étrangère aux conditions québécoises (chaussées drainantes) ou lorsque l'on fait l'expérience de nouveaux matériaux et de nouvelles méthodes (stabilisations au bitume, emplois de schistes ou autres matériaux marginaux, etc.). Il ressort alors de façon évidente que le design structural constitue une branche faible au ministère, que ses actions sont souvent incohérentes et qu'une des raisons de cet état de chose réside dans le fait qu'on l'a remis entre les mains de trop de personnes qui n'ont aucun rapport entre elles en plus d'être peu initiées à ses techniques. Dans ces conditions, même l'introduction de nouveaux procédés est souvent faite sans recherche préalable ni sans essais suffisants en laboratoire.

Une autre cause de cette faiblesse réside dans le fait que le rôle possible d'une équipe de design n'a jamais été défini de façon précise. On admet bien dans d'autres domaines que le concepteur d'un pont ou d'un édifice puisse fixer ses propres exigences, préconiser l'emploi de certains matériaux, spécifier leur agencement, décider lui-même des calculs à effectuer en se basant sur les techniques qui lui semblent les meilleures, s'assurer dès le stade de la conception que certaines hypothèses qu'il a dû faire vont être vérifiées au moment de la réalisation, etc... Dans le domaine des chaussées, on ne s'attend jamais à un tel leadership de la part du design structural. Et pourquoi cela? A notre avis, c'est tout simplement parce que les échecs sont moins catastrophiques, spectaculaires ou dangereux que dans le cas des ponts, des viaducs ou des immeubles, de sorte que personne ne voit trop de risque de s'y aventurer surtout si les épaisseurs sont déjà fixées au C.C.D.G. et aux sections types et comportent tous les facteurs de sécurité imaginables.

Une normalisation aussi poussée est évidemment rassurante, et c'est peut-être pour cette raison que certaines opinions ou coutumes pourtant contre-dites par toute la pratique nord-américaine sont si tenaces au Ministère. Nous avons mentionné plus haut le cas de nos deux couches de fondations qui pourraient être réduites à une seule bien que d'épaisseur peut-être plus forte que celle de notre fondations supérieure actuelle. Sait-on cependant que dans le cas de routes à faible trafic, l'élimination pure et simple de notre fondation inférieure conduirait à des chaussées aussi fortes que celles supportant un trafic équivalent dans d'autres provinces canadiennes, y compris l'Ontario, ou dans plusieurs états américains?

Quant on peut ainsi se payer le luxe de 200 mm de gravier en excès, on a ensuite toute la latitude imaginable pour remplacer ledit gravier par de la pierre nette et croire qu'il n'en coûte rien de construire des chaussées drainantes. Bien plus, on est ensuite ^{en} une bonne position pour affirmer que ces der-

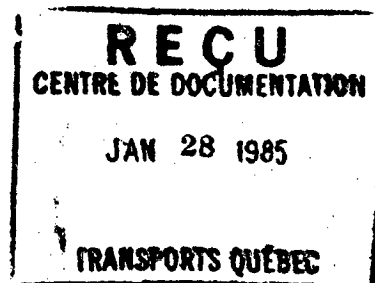
nières ne nous empêchent pas d'avoir une capacité de support satisfaisante comme on l'a affirmé il n'y a pas si longtemps. Mais lorsque la norme générale est 150 mm de gravier au-dessus du sable comme c'est le cas en Ontario, on comprend vite que l'emploi de 225 mm de pierre concassée nette ne peut se faire sans frais additionnels.

Tout ceci peut paraître invraisemblable mais c'est quand même réel. Et cela se produit sans que la Division "structures de chaussées", normalement chargée du design structural au Ministère n'y puisse quoi que ce soit.

On voit donc que dans la pratique, le design structural est loin d'être la responsabilité exclusive du Service des sols et chaussées. Il arrive même - chose assez cocasse il va sans dire - que nous soyions presque blâmés pour ne pas informer suffisamment les autres unités administratives du Ministère sur la façon dont ils doivent s'y prendre pour faire de bons designs! Et je ne suis pas sûr que la production du présent document ne fasse pas suite à un tel état d'esprit.

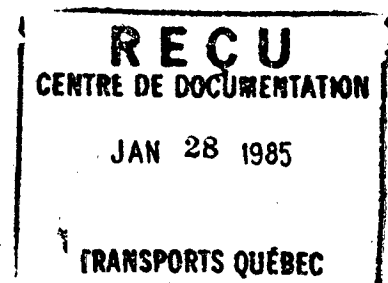
Conclusion

Voilà donc, exprimé de la façon la plus claire, la plus concise et aussi la plus honnête possible ce que nous pensons du design structural pratiqué au Ministère, de son évolution dans le temps au gré des modes et des idées nouvelles qui sont glanées ici et là par des personnes sans doute bien intentionnées mais pas toujours au fait des difficultés qui entourent cette technique.



Essayons, avant de terminer, de retenir quelques-unes des principales idées que nous avons développées plus haut:

- 1) Le rôle de design structural devrait être repensé au ministère des Transports et à notre avis, davantage centralisé;
- 2) Les couches constitutives d'une chaussée devraient être ramenées à deux et avoir des épaisseurs qui pourraient varier à chaque contrat selon la nature du sol de support, les caractéristiques des matériaux disponibles, le trafic, etc.;
- 3) Chez les matériaux granulaires, la stabilité varie souvent de façon inverse avec la perméabilité. La recherche de l'équilibre à atteindre est donc assez difficile étant donné d'une part l'absence de critères précis et facilement mesurables en ce domaine et d'autre part les coûts et autres inconvénients qu'entraîneraient dans bien des cas des changements aux normes existantes;
- 4) Même si, au moins en principe, nous serions favorable à une norme plus restrictive en ce qui concerne la teneur en éléments fins, nous croyons qu'il faut éviter d'aller subitement d'un extrême à un autre en préconisant des granulats constitués presque exclusivement d'éléments grossiers;
- 5) Il se dégage enfin des pages qui précèdent qu'il est presque impossible à quiconque travaille dans un domaine technique d'être efficace et en même temps, d'avoir continuellement à justifier ses actions et à expliquer les théories ou techniques qu'il utilise.



ETUDE DU TRONCON CHARNY - RIVIERE-DU-LOUP1) Cueillette de données; nature et difficultés

L'étude que nous avons menée sur le tronçon de l'autoroute 20 s'étendant de Charny à Rivière-du-Loup, a compris plusieurs relevés visuels menés à diverses dates de même qu'une foule d'observations et de comptages de fissures effectués depuis la mise en service de la route. Elle ne concerne cependant presque pas la chaussée nord pour laquelle nos données étaient beaucoup moins nombreuses et plus sporadiques et dont le comportement nous a d'ailleurs paru avoir été assez similaire à celui de la chaussée sud.

Les résultats de tous ces travaux sont indiqués à la figure 1. Ils nous permettent d'évaluer de façon relativement précise le comportement dans le temps des divers tronçons analysés.

La figure 2 contient en outre les résultats de quelques essais de perméabilité effectués à l'automne 82 sur divers types de fondations de même que sur les résultats de sondage effectués en avril 83 dans le but de vérifier la nature des fondations et ainsi découvrir la cause des comportements très variables notés dans des tronçons voisins.

Nous avons aussi consulté divers rapports de surveillance produits au moment de la construction. Ceux-ci ont sans doute constitué notre source de renseignements la plus valable même si le temps plutôt limité dont nous disposions nous a forcé à ne faire qu'une lecture rapide des rapports journaliers pour concentrer nos efforts sur l'étude de documents de portée générale. Il s'agissait là d'une difficulté importante étant donné que le soussigné n'a aucunement été mêlé à la construction de la route.

D'autres difficultés furent le résultat des lacunes ou imprécisions suivantes:

- Difficultés de savoir si plusieurs des anomalies rapportées avaient été corrigées avant la pose du revêtement, principalement en ce qui concernait "l'absence" ou "l'insuffisance de compactage";
- Imprécision de ces mêmes anomalies pour ce qui était de leur localisation (chaînage et niveau), de leur nature réelle (granulométrie non conforme parce que trop fine ou trop grossière?... Compacité insuffisante résultant d'une négligence de l'entrepreneur ou d'une granulométrie impropre?...etc.) et quant à leurs conséquences sur la qualité des ouvrages. Divers commentaires laissaient notamment croire à des granulométries trop fines des couches de fondations alors que d'autres (des témoins oculaires) témoignaient du contraire.

C'est finalement cette dernière version qui s'est avérée juste à la suite de quelques essais de perméabilité effectués sur le terrain à l'automne 82 et de sondages pratiqués en avril 83 à l'aide d'une foreuse mobile de 30 cm de diamètre.

- Difficulté de se faire une idée précise de la nature des couches constitutives de la chaussée en chaque secteur par suite du grand nombre de bancs d'emprunt employés et du fait que souvent, les limites des contrats de pavage ne correspondaient pas avec celles des contrats de terrassement et de gravelage.

Il semblerait, à la suite des sondages et des essais de perméabilité précités, comme à la suite des observations et autres renseignements recueillis, que les fondations en pierre concassée aient été quelque peu instables mais qu'elles aient tout de même eu l'avantage d'être très perméables. En de nombreuses occasions, on aurait même jugé nécessaire, au moment de la construc-

tion, d'étendre un peu de sable en surface de la fondation pour combler les interstices entre les fragments de pierre et conférer à la couche de roulement une portance suffisante pour résister aux passages répétés du matériel de construction. On se trouvait ainsi à ne diminuer la perméabilité que d'une fraction minimale, c'est-à-dire, juste assez pour augmenter la portance de la couche à un niveau suffisant pour les besoins de la construction. Autrement dit, on a eu recours sur ces contrats, aux fondations les plus perméables qu'il soit possible d'utiliser.

2) Comportements comparés de QC-29, QC-30 et QC-36

Voyons maintenant les caractéristiques des matériaux utilisés dans trois contrats pour lesquels nous disposons de meilleures données et qui sont plus facilement comparables au plan de leur comportement étant donné qu'ils sont adjacents les uns aux autres. Nous voulons parler ici de QC-29, QC-30 et QC-36.

a) QC-29 - On a utilisé, sur ce tronçon, un gravier qualifié de "marginal" mais qui, d'un autre côté, paraît avoir eu une granulométrie assez conforme aux exigences. Ce serait surtout en raison de la piètre qualité de la pierre, notamment de son nombre pétrographique élevé que le granulat aurait été jugé médiocre, c'est-à-dire, plus ou moins dégradable. Il nous semble donc normal d'assumer qu'après avoir été densifié et soumis à la circulation du matériel de construction, il ait eu une teneur en fines sur le côté élevé des exigences et peut-être même un peu à l'extérieur. Cette hypothèse est corroborée par les faits ou observations suivants:

- Même si, parmi les échantillons prélevés au moment des sondages d'avril dernier, il n'y en eut qu'un seul d'analysé pour sa granulométrie, ce dernier affichait néanmoins une teneur en fines de 8% et ce, malgré le fait qu'il était représentatif des deux couches de fondations et non seulement de la fondation supérieure qui, comme on le sait, est davan-

tage exposée que la fondation inférieure à avoir une teneur en fines élevée.

- La perméabilité mesurée en quatre sites différents s'est avérée faible, au niveau de la fondation supérieure, en trois endroits et principalement aux millages 204,8 et 209,0. La valeur plus élevée mesurée au quatrième site laisse croire à une variation locale de la granulométrie ou encore à l'extension jusqu'à cet endroit de la pierre concassée qui a été utilisée dans QC-30 au niveau de la fondation supérieure (voir fig. 2).
- En divers endroits et généralement dans l'ornière droite de la voie lourde (ou voie de circulation), on a observé ici et là des dépressions locales plus ou moins circulaires ou elliptiques (flaches) accompagnées de fissures polygonales (photo # 1). De tels phénomènes, spécialement sur les chaussées qui furent dimensionnées selon les normes existantes du Ministère, sont souvent attribuables à un ramollissement de la fondation supérieure à certaines périodes de l'année particulièrement au moment du dégel du printemps. Ce ramollissement est causé par la présence, à ce niveau, d'un matériau à teneur en fines assez élevée et qui, en plus d'être imperméable, est capillaire et donc plus ou moins gélif. C'est donc dire qu'il se dilate en hiver et que, lors du dégel du printemps, il est non seulement saturé d'eau mais aussi dans un état plus ou moins décompacté. Il en résulte une certaine instabilité qui serait cause de fluage horizontal sous l'effet du trafic lourd et de l'apparition d'ornières ou de dépressions plus ou moins localisées (flaches) en surface du revêtement.
- L'herbe observée en maints endroits dans les fissures en été serait aussi, selon certains, un autre indice de fondations imperméables et riches en fines (fig. 1 et photos # 2 et 3).

Malgré la présence - d'ailleurs assez sporadique, il faut le dire - des flaches mentionnées plus haut et de fissures transversales parfois très larges (photo # 4) mais en général assez distantes les unes des autres, on peut dire que le comportement de ce tronçon (QC-29) a été relativement bon. La meilleure preuve en est que sur 86% de sa longueur, la nécessité de le resurfacier ne s'est manifestée que 14 ans après sa mise en service et ce, uniquement sur la voie lourde. Il s'agit là d'un record de longévité pour tout le tronçon s'étendant de Charny à Montmagny.

b) QC-30 et QC-36 - Les couches de fondations de ces deux tronçons étaient cependant bien différentes de celles de QC-29. Au lieu d'être constituées d'un gravier friable, plutôt fin, assez imperméable et bien densifié, elles comportaient plutôt une pierre concassée très dure, à faible teneur en éléments fins et très difficile à densifier. Quatre-vingt-treize pourcent des essais de densité effectués au moment de la construction de QC-30 au niveau de la fondation supérieure ont en effet révélé des densités inférieures aux exigences. Dans QC-36, ce pourcentage a été de 97 pourcent.

Le comportement de ces deux tronçons jusqu'à leur premier resurfaçage survenu environ dix ans après leur mise en service a été partout sensiblement le même en dépit du fait que QC-36 ait comporté cinq centimètres de moins de béton bitumineux.

Pendant les premières années qui suivirent la mise en service de ces deux tronçons, les fissures longitudinales constituèrent de façon constante le type prédominant de dégradation. Il s'agit là tout de suite d'un comportement assez inusité au Québec. Ces fissures étaient en outre larges, assez courtes, d'orientations assez irrégulières et parfois disposées en échelon, l'une se terminant généralement à 50 ou 100 cm à droite ou à gauche du début de la suivante. Tout ceci faisait croire à un élargissement lent de la chaussée.

L'accroissement du nombre de fissures dans le temps, aussi bien dans le sens longitudinal que transversal, a ensuite donné lieu à un type de fissuration dit "en blocs" c'est-à-dire, à l'apparition de quadrilatères d'environ 60 X 100 cm à 100 X 130 cm (photo # 5). Parallèlement à ce phénomène sont apparus des bris d'accotement fréquents en bordure de la voie lourde, ce qui, finalement, a nécessité des resurfaçages au moment où l'ancien pavage avait un âge moyen de 10,6 ans, soit beaucoup plus tôt que dans QC-29 (13,7 ans).

Il faut donc conclure que fondations perméables ne signifient pas nécessairement bon comportement. L'expérience de la Transcanadienne tend au contraire à indiquer que même un granulat plutôt fin et imperméable et quelque peu dégradable peut, s'il est bien densifié, donner lieu à un comportement supérieur à un autre qui est sans doute perméable mais peu densifiable.

Mettons cependant au crédit de QC-30 et QC-36 le fait qu'ils aient donné lieu à une qualité de roulement peu sensible aux variations saisonnières et donc fort bonne en toute saison, du moins en ce qui concerne la voie lourde. Pour ce qui est de la voie rapide (gauche), la détérioration en hiver a paru plus accentuée, au moins dans certains secteurs. (photo #9). Nous touchons ici deux phénomènes maintes fois observés sur nos routes:

- Pour des raisons mal identifiées, plusieurs tronçons d'autoroutes et notamment ceux dont le trafic n'est pas très intense manifestent souvent une perte de qualité de roulement plus accentuée sur la voie rapide que sur la voie lourde.
- Une couche perméable reposant immédiatement sous le revêtement bitumineux, sans doute parce qu'elle a la propriété de dissiper horizontalement l'eau qui a pu s'infiltrer jusqu'à elle par les fissures du pavage, atténue du même coup les dangers de dénivellations en ces endroits pendant la saison

froide, dénivellations qui, à notre avis, résultent d'un gonflement plus prononcé par le gel près des fissures étant donné que les teneurs en eau y sont plus élevées.

3) Origine des fissures longitudinales

Nous avons vu plus haut, dans la première partie du présent document que Cedergren attachait une grande importance au fait que l'eau qui atteint la couche perméable doit pouvoir être évacuée hors de la chaussée en un temps très court et que pour cette raison, il préconise, soit l'emploi de drains latéraux souterrains reliés à la couche perméable, soit encore le prolongement de cette couche jusqu'à la pente du talus. Dans ce dernier cas, il déconseillera même la pose d'une couche de sol arable en cet endroit afin de ne pas ralentir l'évacuation de l'eau hors de la chaussée.

On se rappellera aussi qu'une couche perméable faite d'un matériau non enrobé risque fort d'avoir une faible capacité de support. Ce risque est évidemment plus grand si le matériau en question est saturé comme cela est susceptible de se produire dans les débuts du dégel alors que les eaux de fonte ne peuvent drainer vers le bas. Une telle saturation de la couche perméable, même pendant un temps relativement court, pourrait expliquer l'apparition hâtive et en grand nombre des fissures longitudinales qui ont affecté QC-30 et QC-36 et ce, malgré un trafic assez modeste pour une autoroute (10 000 véh./j) et malgré la forte épaisseur du revêtement bitumineux à laquelle on a eu recours, principalement dans QC-30 (17,5 cm).

Diverses observations nous ont justement fait croire à la présence d'eau sous le pavage à certaines périodes de l'année:

- Des bris sévères d'accotements sur une bande de quelque 50 à 60 cm de largeur, en bordure de la voie lourde, bris qui étaient assez semblables à ceux qui se produisent en bordure de certains pavages rigides reposant sur des fondations mal drainées (pompage).
- Présence d'eau dans certaines fissures et cavités du pavage sur la fin d'une journée très ensoleillée, pendant le dégel (millage 223, chaussée nord), alors que, selon nous, toute trace d'eau aurait dû être séchée depuis longtemps.

Faute de temps et de ressources, nous n'avons cependant pas pu vérifier cette hypothèse de fondation saturée. En effet, notre seul piézomètre utilisé a d'abord été placé à trop faible distance d'une vallée profonde (50 @ 75 m à l'est de la rivière Boyer) pour être représentatif des conditions moyennes de drainage d'un long tronçon. De plus, perforé uniquement à sa partie inférieure (sous la zone de gel), il n'était probablement pas d'un type approprié pour déceler des accumulations d'eau susceptibles de se produire de façon plus ou moins sporadique au-dessus de la zone gelée. Enfin, il faut ajouter qu'il n'a pas été relevé assez fréquemment pendant le dégel face justement à ces variations rapides de la nappe d'eau (fig. 3).

4) Caractéristiques des couches bitumineuses

Nous avons parlé jusqu'ici du comportement de la route en regard des propriétés des couches de fondations. Certaines défaillances notées sur la route 20 à l'est de Charny paraissent cependant davantage reliées aux caractéristiques du revêtement lui-même. Elles sont causes de coûts d'entretien importants et méritent donc que nous nous y arrêtions pour bien les situer, bien les comprendre et, ainsi peut-être, pouvoir leur apporter des remèdes appropriés.

Dans le secteur de Charny, la résistance à l'usure sous l'action des pneus à crampons a constitué un problème à partir de 1975 sur une longueur de quelque 12 ou 13 km (fig. 1, P.M. 197, 0 à 204,8) et a rendu nécessaire la pose d'une couche d'usure quelques années plus tôt qu'on ne l'aurait fait autrement. Déjà en 1975, on parlait d'usure complète de la couche de surface dans les traces de roues et ce, sur une grande partie du tronçon concerné. Ce type de dégradation est illustré à la photo # 6 laquelle ne fut toutefois pas prise sur la route 20. On y voit que, contrairement aux cas d'arrachement qui seront discutés plus bas, il s'agit vraiment ici d'usure de la couche de béton bitumineux. Cette usure est causée par les chocs et le frottement des crampons sur le pavage. Il est sûr que pour contrer ce phénomène, il serait recommandable d'avoir recours à un agrégat très résistant à l'usure lors de la confection du revêtement.

Dans d'autres cas plus communs sur la route 20, il ne s'agit cependant pas d'usure mais bien plutôt "d'arrachement" du gros granulat (photo # 7). Les crampons s'attaquent alors à la partie fine du béton bitumineux (sable et bitume) la désagrège par frottement de la surface et déchausse ainsi progressivement les plus gros granulats jusqu'à ce que ces derniers soient finalement évincés, avant même qu'ils ne soient usés. Le problème, dans ce cas, n'en est donc pas un de qualité du gros granulat d'abord mais de qualité de mortier et de qualité d'adhésion du bitume à l'agrégat.

Certains types d'agrégat, qui ont plus d'affinité pour l'eau que pour le bitume (ceux à forte teneur en quartz sont parfois de cette catégorie) donneraient facilement lieu à du désenrobage, et, par suite, à de l'arrachement. Les pavages posés tard en saison, ceux qui sont confectionnés à partir d'éléments assez fins de même que ceux qui sont en fréquent contact avec l'eau (fondations mal drainées, sels déglaçants en hiver, etc.) sont plus exposés à ce genre de dégradation.

L'arrachement constitue un phénomène assez fréquent sur la route 20. Nous l'avons noté dès 1978 (âge de six ans), principalement dans la région de La Pocatière où il a finalement obligé à des resurfaçages dès 1981 sur une longueur de quelque 14,5 km (9 milles). D'autres recouvrements ont également été requis pendant la même période, entre La Pocatière et Rivière-du-Loup, sur de courts secteurs qui étaient affectés du même genre de dégradation.

Ces resurfaçages n'auraient sans doute été nécessaires que cinq ou six ans plus tard, n'eût été de la dégradation superficielle dont nous venons de parler car, d'une part, la chaussée était peu fissurée et nullement gélive et, d'autre part, le trafic dans ces secteurs était peu dense.

On remarquera en outre que le processus d'arrachement que nous venons de décrire ne fait nulle référence à la résistance mécanique ou à la durabilité de la roche constituant le granulat. Il importe donc de bien le situer par rapport à l'usure proprement dite puisque les remèdes à appliquer dans l'un et l'autre cas sont différents.

Il ne faut toutefois pas conclure que la qualité ou la durabilité de l'agrégat soit toujours étrangère à l'arrachement. Bien au contraire, elle a certainement joué un rôle important, au cours des dernières années, dans la dégradation anormalement rapide de plusieurs revêtements du Bas-St-Laurent et de la Gaspésie. Ce que nous voulons souligner cependant c'est que l'on est peut-être porté à imputer trop rapidement l'arrachement à la présence dans le revêtement d'une trop forte proportion de granulats soit mous, soit schisteux et, de toute façon, peu résistants à l'intempérisme alors que ce phénomène a été observé même dans QC-30 et QC-36 qui ont pourtant été réalisés à partir de grès très durs, très résistants aux intempérismes et apparemment de très bonne qualité.

Il est donc permis de se demander si ce n'est pas un remède au désenrobage qu'il faut rechercher plutôt que des granulats de bonne qualité à tout prix mais coûteux (carrières, bancs éloignés, etc.) et qui demeurent toujours plus ou moins susceptibles de désenrobage et, par suite, d'arrachement sous l'effet des pneus à crampons.

Il paraît important de retenir ^{ici} afin que quel que soit le processus ou l'origine des dégradations qui se sont produites ces dernières années, à l'est de St-Roc-des-Aulnaies principalement, elles avaient déjà, dès l'automne 82, rendu nécessaire le resurfaçage de quelque 15 kilomètres sur chacune des chaussées nord et sud. Une visite dans cette région à la fin de l'hiver 82-83 nous a même convaincus que les besoins pour les deux ou trois années ultérieures seraient sans doute encore plus considérables. Qu'il suffise de mentionner un secteur d'au-delà de 12 kilomètres de longueur (millages 302,4 @ 310,2) situé surtout sur la chaussée nord, un peu à l'ouest de Rivière-du-Loup, qui avait paru se comporter assez normalement pendant plusieurs années mais qui s'est soudainement détérioré de façon dramatique au cours de l'hiver 1982-83.

Il semble qu'il ne s'agisse pas vraiment d'usure ni d'arrachement dans ce cas-ci car la surface de roulement est demeurée intacte pendant de nombreuses années. Nous croyons plutôt qu'il se serait d'abord formé des petites fissures en surface du revêtement (aidées ou non d'un certain désenrobage), que ces fissures se seraient lentement propagées en profondeur et qu'elles auraient finalement provoqué un décollement ou un écaillage de la surface par morceaux. Une fois en effet que cet écaillage a commencé en surface, il a progressé très rapidement en profondeur (photos 9 à 12).

Tous ces phénomènes de dégradation, qui paraissent reliés, tantôt à la qualité ou la durabilité du granulat, tantôt au niveau d'adhésivité du granulat pour le bitume, revêtent une très grande importance.

CONCLUSION

- 1) Les comportements de QC-29, QC-30 et QC-36 sont largement tributaires des caractéristiques structurales de leurs couches de fondations, les comportements les plus pauvres ayant été enregistrés là où la fondation se compose de pierre concassée déficiente en éléments fins, pierre qui, au moment de la construction, s'était avérée presque impossible à densifier.
- 2) Le comportement plus pauvre de QC-30 et QC-36 ressort des observations faites lors des relevés visuels effectués à divers âges de la chaussée de même que de la nécessité qu'a éprouvée le Ministère de resurfer ces deux tronçons à des âges beaucoup plus jeunes que QC-29, lequel renferme un granulat plus fin et mieux densifié.
- 3) Les résultats assez semblables obtenus à la poutre Benkelman dans QC-29, QC-30 et QC-36 ne paraissent pas en accord avec les comportements variables de ces trois tronçons. A notre avis, la raison de cet écart réside dans le fait que la poutre Benkelman ne mesure que le rebondissement après enlèvement d'une charge donnée et, ~~ce~~^{de ce} fait, est impuissante à mesurer la déformation permanente qui a pu se produire avant l'enlèvement de cette charge. Or, nous croyons justement que le comportement plus pauvre de QC-30 et QC-36 par rapport à QC-29 est attribuable à une déformation permanente trop prononcée au niveau de la fondation supérieure sous chaque passage de charge lourde par suite de l'emploi d'un matériau trop faible à ce niveau. Il se peut aussi que cette déformation excessive ne se produise presque uniquement au moment du dégel, suite à des saturations plus ou moins sporadiques ou temporaires de la couche de fondation.
- 4) La détérioration superficielle du pavage, spécialement à l'est de St-Roch-des-Aulnaies, a certainement des conséquences économiques plus néfastes que les anomalies mentionnées plus haut au sujet de QC-30 et QC-36.

Elle n'a cependant de lien, ni avec la capacité de support, ni avec la nature des couches sous-jacentes mais uniquement avec la qualité du granulat utilisé dans le mélange bitumineux et avec l'adhésivité du bitume au granulat. Nous nous demandons si ce problème a reçu toute l'attention qu'il mérite au niveau de la recherche. Si oui, il faudra sans doute admettre que l'usage des pneus à crampons coûte cher dans l'est de la province, car sans eux, il est bien douteux qu'une dégradation aussi étendue et aussi profonde des pavages eût pu se produire. D'autant plus qu'elle ne se limite pas à la route sous étude.*

Pierre De Montigny, ing., M.Sc.
Chef de la Division structure
de chaussées
Service des Sols et Chaussées

c.c. M. Jacques-L. Charland, ing., s.m.a.
M. Raymond-Marie Aubin, ing.,
M. Paul-A. Brochu, ing.

(*): De Montigny, Pierre: "Dégradation des revêtements sur les routes 20, 132 et 198", rapport interne daté 78-05-01.

Photo #1 : Surface plus ou moins circulaire ou elliptique, en dépression et carrelée (flache), dans ornière de la voie lourde. Photo prise le 6 mai 83 dans QC-29, sur la chaussée sud au point milliaire (P.M.) 207,0.

Photo #2 : Photo prise le 31 août 82 sur la chaussée sud au P.M. 206,9 (QC-29). On note la présence d'herbe dans les fissures de l'accotement droit, un phénomène souvent indicateur de drainage pauvre au niveau de la fondation.

Photo #3 : Grosse fissure transversale qui recoupe toute la chaussée sud dans QC-29. De telles fissures étaient généralement à environ 25 m les unes des autres peu avant la pose du resurfaçage de 1983. On remarque de nouveau la présence d'herbe dans la fissure de même qu'une dénivellation prononcée à son voisinage.

Photo #4 : Contrat QC-29, chaussée sud; fissure transversale majeure semblable à celle représentée à la photo #3 mais sans végétation. On note la réparation faite quelques années plus tôt afin de corriger la dénivellation au voisinage de la fissure. *Prise le 83-02-02.*



83-05-06

Negatif N° 6

JUIN 83

JUIN 83







Nég. 15A-16

Chaussée sud

83-02-04

Prise à 1,74 Km à l'est du viaduc de la route 279
pour St-Damien.





1. 33

JUNE 5



JUL 11 1953

JUL 11 1953



Photo #5 : Fissures polygonales, parfois dites "en blocs", qui étaient devenus assez fréquentes dans QC-30 et QC-36 environ six ou sept ans après la mise en service de la route. Photo prise le 21 février 78 sur la chaussée nord au voisinage du P.M. 224.

Photo #6 : Photo qui ne fut pas prise sur la route 20 mais qui illustre le phénomène d'usure par les pneus à crampons sur toute l'épaisseur de la couche de surface dans la trace de roue gauche. Ce type de dégradation s'est produit surtout dans le secteur de St-Romuald entre les P.M. 197,0 et 204,8.

Photo #7 : Photo qui, elle non plus, n'a pas été prise sur la route 20. Elle illustre l'aspect d'un pavage soumis au phénomène d'arrachement. On note l'aspect très rugueux de la surface, créé par l'abrasion de la matrice sous l'action abrasive des pneus à crampons et la ~~proéminence du granu-~~lat grossier, lequel a mieux résisté à l'abrasion. Phénomène fort commun à l'est de St-Roc-des-Aulnaies.

Photo #8 : Photo qui illustre le phénomène d'ondulations aux fissures en hiver spécialement sur la voie rapide. On notera qu'il s'agit ici d'un secteur en remblai élevé.

Les photos 9 à 12 inclusivement illustrent le genre de dégradation décrit à la p. 24 du présent document.

Photo #9 : Aspect quelque peu rugueux ou poreux et légèrement fissuré de la surface de roulement avant que ne débute l'écaillage profond apparaissant dans les traces de roues aux photos 10, 11 et 12. Photo prise le 2 février 83.

Photo #10: Prise le 14 janvier 83; elle montre en avant-plan et dans le lointain la présence de pièces de réparation sur la voie lourde, lesquelles avaient été mises en place l'été précédent (1982) pour remédier au type de dégradation observée sur les photos 10 et 11. L'absence de réparation dans le secteur où se trouve l'automobile peut s'expliquer par le fait qu'en 1982, l'écaillage y était sans doute absent. On peut donc constater la dégradation profonde qui s'y est produite pendant les premiers mois de l'hiver 82-83.

Photos 11

et 12 : Prises le 14 janvier 83; même phénomène.



JUL 11 1933

JUL 11 1933



ILL. 83

JU



33



AUTOROUTE 20 DIRECTION EST
ST-VALIER, COMITÉ DE BELLECHASSE
TUBE : B

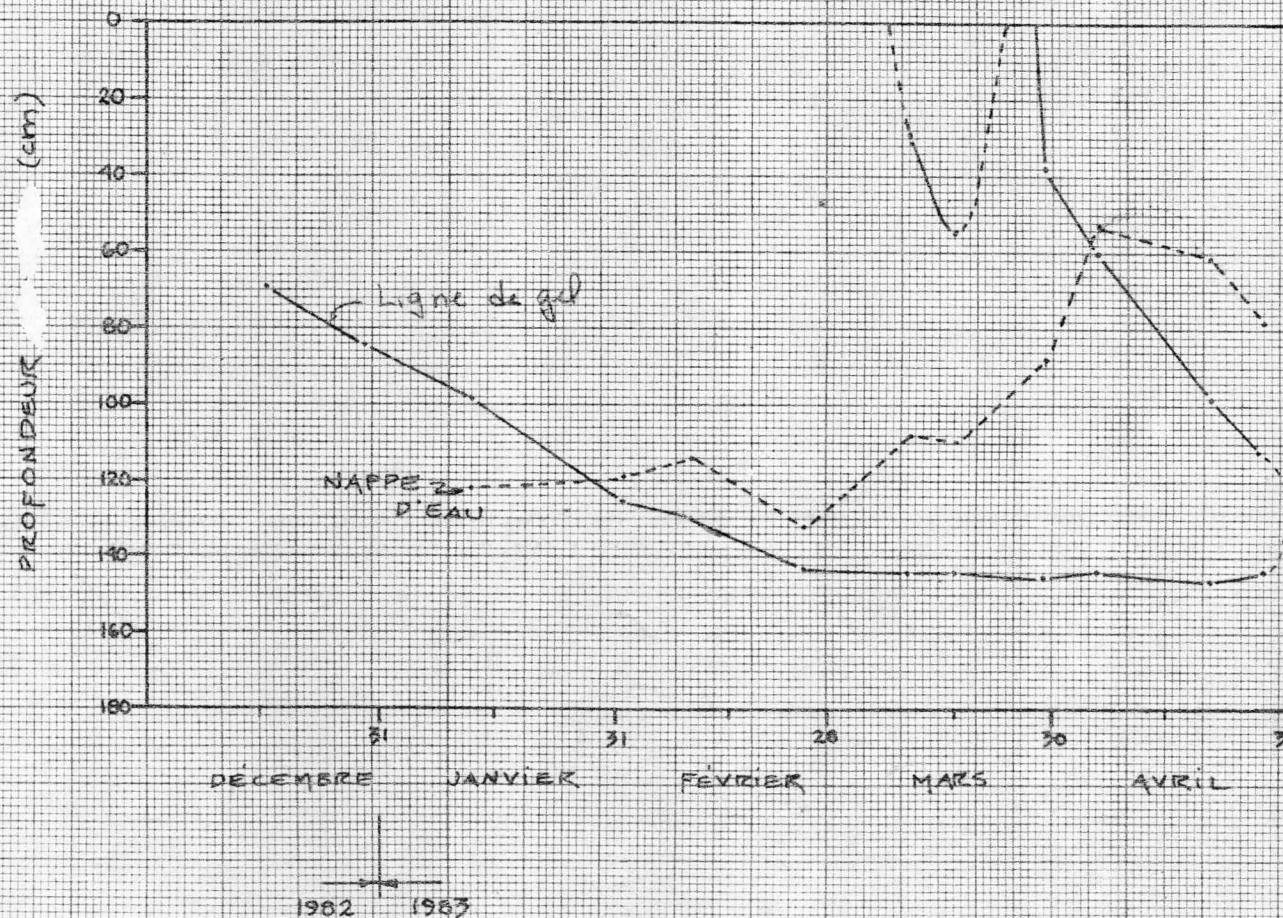
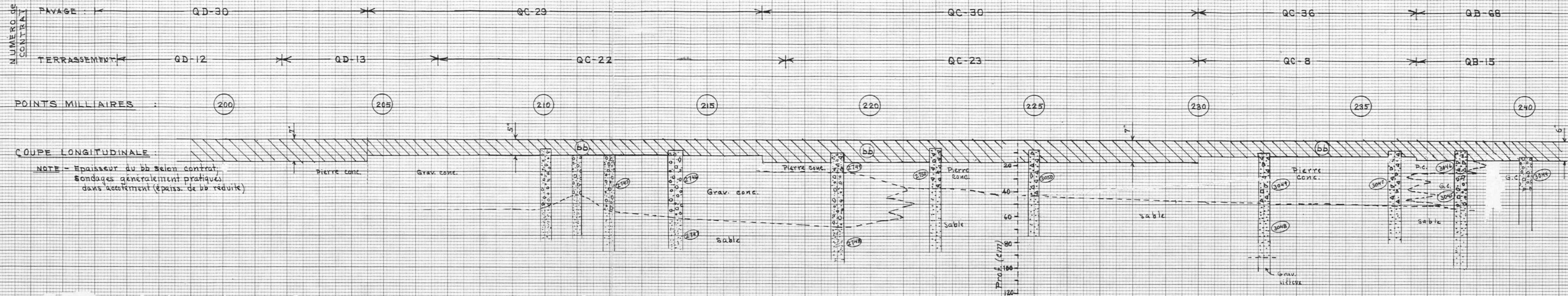


FIGURE 3.



AGE AU RECOUVREMENT : 1/3 à 10 ANS
2/3 à 1 ANS
MOY. 10,7 ANS

1/6 à 12 ANS
5/6 à 14 ANS
MOY. 13,7 ANS

2/3 à 12 ANS
1/4 à 9 ANS
1/12 à 8 ANS
MOY. 10,9 ANS

1/3 à 8 ANS
1/6 à 9 ANS
1/2 à 12 ANS
MOY. 10,2 ANS

COMPORTEMENT SELON RELIEF VISUEL :

PAUVRE, RELIÉ SURTOUT À MAUVAISE QUALITÉ DU B.B. (USURE ET PÉLAIRES) ET AUSSI À F.L. NOMBREUSES.

SATISFAISANT, F.L. PRESQUE ABSENTES, F.T. MOINS NOMBREUSES D'AILLEURS AUSSI, MALGRÉ CERTAINES FISS. TRÈS GROSSES ET DÉNIVELÉES.

PAUVRE À MÉDIOCRE, F.L. TRÈS NOMBREUSES, QUI, AVEC LES F.T. (COURTES, IRRÉGULIÈRES, ET NOMBREUSES AUSSI), PRODUISENT GROS CARRELAGE MAIS AFFECTENT PEU LE ROULEMENT; BRIS D'ACCOMMODÉMENT AUSSI.

PERMÉABILITÉ DES FONDATIONS

SITE :

RÉSULTATS (cm/sec.)

PROFONDEURS (cm en bas du bb)

SITE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RÉSULTATS (cm/sec.)	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²	10 ⁻² 10 ⁻² 10 ⁻²
PROFONDEURS (cm en bas du bb)	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10	0-10 0-10 0-10

SONDAGES ; AVRIL 1983

Ech. N°	Point milliaire	Prof. (cm)	Pourcentage passant les tamis										Nbre pétrog.	Description visuelle
			63mm	37,5	10	9,5	4,75	2,36	600µm	150µm	75µm			
2745	212	13-56												Grav. conc., sableux et terreux; 35% ± pierre (s:2m) plastique au toucher.
2746	214	8-61		100	92	67	54	46	29	13	8	156		Grav. conc.; 55% ± grès dur, 35% schiste et autre.
2747	214	61-182												Grav. conc. 0-20mm; 30% ± pierre (souvent schisteuse) 57% sable; 12-15% si. r. arg.
2748	219	0-91												Sable fin; env. 8% de fines; 8% dr. de accot. dr.
2749	219	10-25		100	92	47	29	23	15	8	5,5	100		Pierre conc.
2750	222	7-38	100	88	60	34	21	16	10	8,2	3,6	-		Pierre conc.
3050	225	8-48		100	92	39	21	16	10	6	4,3	-		Pierre conc.
3049	232	10-30	100	96	78	52	37	29	17	9	6,2	100		Grès dur conc.
3048	232	30-91	100	63	24	13	10	8	6	4	1,8	-		Pierre conc.
3047	236	8-51	100	92	56	29	18	14	8	4,6	3,2	100		Pierre conc.
3046	238	8-25	100	81	49	30	21	16	10	5	3,5	100		Grès conc. dur.
3045	238	25-122	100	98	79	59	47	39	22	7	6	144		Grav. conc. d'aspect un peu terreux; un peu de schiste.
3044	240	13-152		100	93	70	56	46	24	10	7,2	131		Grav. conc.

FIGURE 2

COMPORTEMENTS DE
QD-30, QC-29, QC-30 et QC-36
EN REGARD DE
LA NATURE ET LA PERMÉABILITÉ
DES COUCHES GRANULAIRES

Par: Pierre De Montigny
Pierre De Montigny, ing. Date: 83-10-25

SERVICE des SOLS et CHAUSSEES

