

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
200, RUE DORCHESTER SUD, 7e
QUÉBEC, QUÉBEC
G1K 5Z1

PLAN D'ACTION
CONCERNANT LA PROBLÉMATIQUE
DU COMPORTEMENT HIVERNAL ET STRUCTUREL
DES ENROBÉS DRAINANTS AU QUÉBEC

RECU
CENTRE DE DOCUMENTATION

CANQ
TR
GE
SM
106

Ministère des Transports
Direction des sols et matériaux
Service des sols et chaussées

290508

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

18

PLAN D'ACTION
CONCERNANT LA PROBLÉMATIQUE
DU COMPORTEMENT HIVERNAL ET STRUCTUREL
DES ENROBÉS DRAINANTS AU QUÉBEC



Par: Aziz Amiri, Dr. ing.

et

Pierre Lefrançois, t.t.p.

Ministère des Transports
Division des chaussées
Service des sols et chaussées



Le 28 janvier 1992.

CANQ
TR
GE
SM
106

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
I- INTRODUCTION	1
<u>PARTIE - A -</u>	
II- HISTORIQUE	1
III- TRAVAUX EFFECTUÉS	2
IV- QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES ET HYDRO-THERMIQUES DES ENROBÉS DRAINANTS (E.D.)	4
1) Les vides	4
2) Propriétés hydro-thermiques	5
3) Approche thermodynamique	5
4) Inertie thermique	6
5) Capacité d'absorption d'eau et de bruit	7
6) Équivalent structurel	7
7) L'antidérapance	7
8) Vieillissement par oxydation	8
V- LES POINTS SAILLANTS DE LA PROBLÉMATIQUE DES E.D. AU QUÉBEC	8
a) Premier bilan	8
b) Caractéristiques techniques et sommaires des enquêtes effectuées auprès des régions	9

TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
c) Comportement structurel	9
1) les fissures de réflexion	9
2) Pelade et arrachement	10
3) Ressuage et orniérage	10
4) Contrôle du pourcentage des vides et l'impact de ses variations	11
d) Un regard sur les conditions du verglas survenu entre les 21 et 23 décembre 1990	12
VI- CONCLUSION	13
<u>PARTIE - B -</u>	
VII- PLAN D'ACTION ET LES ÉLÉMENTS DE SOLUTIONS	14
A) Le but	14
B) Programme de suivi	14
C) Adaptation de la formule de mélange par l'optimisation des propriétés physiques et rhéologiques	15
1) Le vide	15
2) Le liant	16
D) Définir les limites d'application du procédé et les critères de sélection des axes routiers	16
E) Préparation de la plate-forme et la mise en oeuvre	18
F) Exploitation, entretien et recyclage	20
1) Entretien hivernal	20
2) Décolmatage	22
3) Rapiéçage	22
4) Recyclage	22
5) Coût et bénéfice, viabilité	23

TABLE DES MATIERES (SUITE)

ANNEXES: - Tableaux
- Graphiques
- Photos

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE A : Graphiques

ANNEXES B₁ à B₅ : Quelques articles

ANNEXE C : Quelques communiqués; Sûreté du Québec, les usagers

STATISTIQUES MÉTÉOROLOGIQUES

**PLAN D'ACTION CONCERNANT LA PROBLÉMATIQUE
DU COMPORTEMENT HIVERNAL ET STRUCTUREL
DES ENROBÉS DRAINANTS (E.D.) AU QUÉBEC**

I- INTRODUCTION

La présente étude fait suite à la demande du 7 novembre 1990 de Monsieur Jean-Marc Bard, F.C.A., s.m. et à la lettre du 15 août 1991 de Monsieur Alain Vallières, ing., s.m.a. au Génie, adressées à notre Service, relativement au sujet en titre.

Ce document a été présenté en deux parties:

PARTIE A - Consiste à décrire l'état actuel de la situation et certaines spécificités techniques du procédé reliées à la problématique québécoise des E.D..

PARTIE B - Traite du plan d'action, nos recommandations et les éléments de solutions.

Pour ce qui est des annexes, ils seront consacrées aux résultats des expériences d'origine extérieure.

PARTIE - A -

II- HISTORIQUE

En 1985 quand la D.G.O. a initié sa première planche expérimentale d'enrobé drainant (E.D.) au liant polymère au Québec, la France et l'Angleterre avaient déjà cumulé plus de 10 et 20 ans d'expérience respectivement dans ce domaine (9).

Par cette initiative, le service de la Conservation des chaussées du M.T.Q. avait visé les objectifs suivants (voir réf. 17, G. Roux, ing.):

1.2 Buts recherchés

A) Techniques

propriétés antidérapantes;
résistance à la réflexion des fissures;
résistance à l'usure;
résistance à la fatigue et à l'orniérage;
résistance à l'impact à basse température;
sécurité de roulement sur pavage mouillé.

B) Économiques

économie de matériaux;
coût réduit comparativement aux couches d'usure normales;
plus longue durée de service.

Le service de la Conservation des chaussées, dans sa lettre du 9 octobre 1985 mandatait alors notre Service d'effectuer une étude d'antidérapance, sur cette première planche expérimentale d'E.D., réalisée sur l'Auto-route 20 à Ste-Anne-du-Sault (réf. 24); glissance d'un enrobé additionné de polymère (A. Amiri).

Tel qu'il apparaît aux tableaux 1a à 1d, présentement plus de 60 km d'E.D. a été posé sur une dizaine de sites à travers le Québec et à notre connaissance aucun suivi de comportement pouvant fournir des données nécessaires pour la rédaction du présent mandat n'a été effectué sur ces sites.

III- TRAVAUX EFFECTUÉS

En l'absence de suivi structuré, il nous a paru indispensable de nous référer aux travaux suivants, afin de recueillir un minimum de renseignements nécessaires pour cerner l'état actuel de la situation.

- 1) Effectuer une recherche bibliographique;
- 2) Une conférence intitulée "Sécurité routière et l'antidérapance" - Colloque AQTR - Sécurité dans les transports. Transports Canada - Blainville, le 10 octobre 1991;
- 3) Une conférence intitulée "Éléments de solutions à la problématique des enrobés drainants au Québec". Conférence des chaussées en structures poreuses comme moyen de réduire le bruit de la circulation routière - Montréal, les 19-20 novembre 1991.
- 4) Examiner les dossiers et les fiches techniques du S.A.Q., préparés lors de la mise en oeuvre des E.D. sur les dix sites;
- 5) Prendre connaissance du compte rendu de la réunion organisée par le service des Opérations d'entretien avec la participation des représentants des districts concernés en date du 5 février 1991;
- 6) Effectuer des relevés visuels sur les dix sites, pour décrire le comportement global et les dégradations de surface;
- 7) Mesurer le coefficient de frottement transversal (C.F.T.) avec SCRIM et la texture de surface afin d'évaluer l'antidérapance et son évolution dans le temps sur certains sites;
- 8) Mesurer le pourcentage de vides avec le nucléo-densimètre Troxler 4640-B afin de déterminer, in situ, l'évolution des vides avec l'âge et sous l'impact du trafic;
- 9) Mesurer le débit de percolation d'eau avec le perméamètre M. Côté (Ministère d'Agriculture de Québec), visant à établir une corrélation entre le pourcentage de vides et la consommation en déglacant lors de l'entretien hivernal;

- 10) Mise à jour des enquêtes préparées auprès des districts concernés relativement à leur vécu sur les E.D..

Le sommaire des résultats de ces travaux et d'autres caractéristiques des sites sont compilés dans les tableaux 1a à 1d en vue d'analyse ultérieure des causes et effets.

IV- QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES ET HYDROTHERMIQUES DES ENROBÉS DRAINANTS (E.D.)

Les E.D. manifestent certains comportements qui sont parfois très différents des enrobés classiques. Ces différences qui sont reliées à des spécificités hydrothermiques et physico-mécaniques sont importantes à connaître pour bien maîtriser son exploitation et sa gestion et afin d'obtenir un niveau de service satisfaisant. Ces particularités sont les suivantes:

- 1) LES VIDES: Sa forte drainabilité, sa grande capacité d'absorption hydrique et acoustique sont les conséquences d'un pourcentage de vides pouvant atteindre dans certains enrobés de 25 à 27%. (Tableaux 1 et 3)

Ce vide élevé est la conséquence d'une granularité pierreuse, discontinue et une compacité faible d'environ 80 à 81%.

Ce pourcentage de vides peut être réduit avec l'âge; conséquence d'un post-compactage par le trafic ou par colmatage provoqué par les abrasifs.

L'ajout de sable ou de liant additionnel, de même que l'accroissement de l'énergie de compactage sont parmi les moyens d'optimisation des vides des E.D..

- 2) PROPRIÉTÉS HYDRO-THERMIQUES: La quantité élevée d'air et d'eau pouvant circuler dans les porosités communicantes, peuvent changer d'une façon brusque et considérable le bilan ou le régime thermique de la couche drainante. Ce changement brusque provoqué par la température ambiante peut être par contre très lent si les vides sont saturés d'eau ou glacés. Ceci en raison de la calorie spécifique et de la chaleur latente trop élevée de l'eau et de la glace interstitielle.

Par exemple, un enrobé classique avec 1% de vides saturé d'eau peut stocker plus de 4 fois l'énergie calorifique d'un enrobé sec. Un E.D. de 20% de porosité saturée d'eau a une chaleur latente 34 fois plus élevée que l'enrobé classique sec. Le stockage hydrothermique des E.D. pouvant retarder le déglacage de la surface de roulement en hiver ou de provoquer l'apparition prématurée de verglas quand la température est autour du point de congélation. Par ailleurs, une forte macrotexture de surface provoque une rétention élevée de la neige après le déneigement. Un épandage excessif de fondant peut provoquer de l'eau abondante en surface si l'eau interstitielle est déjà glacée. Dans un certain contexte, l'eau de surface peut se transformer brusquement en glace "béton de glace".

Il va sans dire que les phénomènes précités peuvent être accentués en fonction de l'épaisseur et du pourcentage de vides communiquant.

De cette façon on peut déduire qu'une couche d'E.D. peut agir comme un isolant thermique entre le corps de la chaussée et l'air ambiant entourant l'interface.

- 3) APPROCHE THERMODYNAMIQUE DU COMPORTEMENT HYDROTHERMIQUE: Basé sur la formule calorifique de JOULE, d'une façon simple, on peut comparer le régime thermique des deux types d'enrobé par la relation suivante:

$$\text{Cal}_D = m_D \times c_D (\Delta t)$$

$$\text{Cal}_C = m_C \times c_C (\Delta t)$$

- m_D, m_C = masse de l'enrobé drainant et classique;
 c_D, c_C = calorie spécifique d'E.D. et d'E.C.;
 Δt = variation de la température.
 $\text{cal}_D, \text{cal}_C$ = énergie calorifique nécessaire pour une variation de la température Δt .

Cette relation démontre que plus la masse x calorie spécifique est élevée (c'est-à-dire l'épaisseur, le vide rempli d'eau ou de glace) plus l'énergie calorifique pour une variation de Δt de la température sera élevée. Cette énergie sera plus élevée pour l'E.D. quand il sera question de changement d'état solide ou liquide de l'eau interstitielle (la contribution de la chaleur latente). Ceci explique par exemple, pourquoi la quantité de fondant nécessaire pour déglacer la surface d'un E.D. est plus élevée en rapport à un E.C.. Il explique aussi l'apparition prématurée de même que la persistance d'un verglas sur ce type d'enrobé, lorsqu'une pluie entre en contact avec la chaussée près de la température de congélation. D'où l'origine même de notre proposition d'optimiser les vides et minimiser le taux de pose. Par ces modifications, nous espérons atténuer l'"Inertie Thermique" du procédé.

- 4) INERTIE THERMIQUE: Un E.D. peut être plus isolant qu'un E.C., ceci en raison de son pourcentage de vides élevé. Sa température peut varier plus rapidement avec le changement de la température de l'air d'interface.

Par contre, si ce même enrobé est saturé d'eau, la calorie spécifique élevée de l'eau fait en sorte que la température de l'E.D. change beaucoup plus lentement qu'un enrobé dense. Si ce même enrobé saturé d'eau

sera glacé, la chaleur latente s'ajoutera à cette "inertie thermique" dont sa valeur est autant plus élevée que son pourcentage de vides communiquant de même que son épaisseur seront élevés. Conséquence, une fois glacé il nécessitera beaucoup plus d'énergie calorifique pour le déglacage qu'un enrobé dense.

- 5) CAPACITÉ D'ABSORPTION D'EAU ET DE BRUIT: La conductivité hydraulique des E.D. est à l'origine même des avantages tels que: drainage rapide des eaux de surface, l'élimination d'éclaboussement et de pulvérisation d'eau par le trafic, la réduction d'aquaplanage et de réverbération de la surface mouillée.

Amortissement de bruit par la forte texture uniforme de surface et par réfraction successive des ondes de bruit dans les porosités sont à l'origine même du stockage acoustique. Ce dernier augmente avec le pourcentage de vides et l'épaisseur de l'E.D. (figures 3 à 8).

- 6) ÉQUIVALENT STRUCTUREL: La réduction de contacts entre les composants de l'E.D. due à sa faible densité réduit son équivalent structurel. Un coefficient de 0,60 peut être attribué à des E.D. en les comparant avec des enrobés denses et ceci, malgré l'utilisation des liants modifiés (ayant une cohésion, une adhésion et une viscosité élevées). Les E.D. affichent donc une très faible résistance au cisaillement et aux contraintes tangentielles. Ces contraintes pouvant réduire le domaine d'application du procédé peuvent être palliées par l'utilisation des liants fortement modifiés (amiantés, caoutchoutés, polymérisés, etc.).

- 7) L'ANTIDÉRAPANCE: La discontinuité granulométrique favorise une forte macrotexture de surface et une antidérapance élevée et uniforme. Ces propriétés très recherchées sur les grandes routes à haute vitesse de circulation restent toujours satisfaisantes à long terme en présence de granulats haute performance en particulier (graphique 1).

- 8) VIEILLISSEMENT PAR OXYDATION: Une exposition intense des E.D. à l'air, à l'eau et aux effets corrosifs de déglacant peut expliquer la fatigue thermique et le vieillissement prématuré de ce type d'enrobé. Compte tenu des variations saisonnières excessives de la température (+40 à -40°C) et de la qualité extrême de fondant utilisé dans nos conditions climatiques, les phénomènes tels que fissuration, désenrobage, arrachement, effritement, épaufrure des lèvres des fissures, etc., peuvent se manifester plus rapidement et d'une façon plus remarquées. La prévention de tels inconvénients exige l'utilisation des liants performants, améliorés ou modifiés aux polymères, caoutchouc ou fibre (amiante, etc.), tels qu'ils apparaissent au tableau 3 (Annexe A).

V- LES POINTS SAILLANTS DE LA PROBLÉMATIQUE DES ENROBÉS DRAINANTS AU QUÉBEC

a) Premier bilan

Le 5 novembre 1991, cinq ans après la pose de la première planche expérimentale d'E.D., et à la suite d'un verglas survenu le 21 au 23 décembre 1990, une réunion avait eu lieu à la Direction de l'entretien avec la participation des Districts et Directions régionales. Selon le compte rendu, le but principal était la problématique du comportement hivernal (20).

Selon les intervenants, malgré les multiples avantages, la nouvelle technologie des E.D., s'est heurté à des problèmes dramatisés par des conditions climatiques assez exceptionnelles qui prévalaient en décembre 1990 selon Environnement Canada (voir alinéa V-d). En effet, le transfert du procédé manque d'une certaine adaptation de la conception et d'une stratégie d'entretien hivernal selon notre première constatation. Depuis cette rencontre, un moratoire au moins partiel a été instauré jusqu'à nouvel ordre.

b) Quelques caractéristiques techniques et sommaires des enquêtes effectuées auprès des régions

Le tableau 1 représente quelques caractéristiques de 60 km d'E.D. posé au Québec. Voici en résumé et en ordre d'importance les points saillants de ces sondages:

- Le verglas apparaît rapidement et prématurément sur les E.D., comparé à des enrobés denses;
- La surface des E.D. retient la neige lors du déneigement, mais l'adhérence demeure satisfaisante semble-t-il;
- Nécessite plus de déglacant et plus souvent;
- Le déglacant est actif ponctuellement et ne s'étend pas en pleine largeur de la chaussée;
- Perte de la saumure puis la surface regèle aussitôt;
- La méthode d'entretien d'hiver doit être adaptée;
- L'application d'un mélange sel-abrasif améliore la situation;
- L'utilisation des E.D. est plus économique que l'installation de murs acoustiques;
- L'utilisateur fait difficilement la distinction entre une chaussée humide et une chaussée glacée, etc..

c) Comportement structurel

Ces renseignements d'ordre structurel, jouent un rôle déterminant en ce qui a trait à la viabilité, le rendement et la sécurité routière. Ils peuvent expliquer certains problèmes reliés à l'entretien hivernal:

1) Les fissures de réflexion:

Le type et le patron de ces dégradations confirment assez bien qu'ils sont les conséquences de la réflexion de dégradations initiales de la plate-forme

(photos 1, 10 à 18). En effet, l'absence de scellement des fissures et d'une couche de liaison, retardateur de réflexion (chape d'étanchéité) de même que l'instabilité des fondations à l'endroit de ces dégradations peuvent être cités comme principales causes de ces dégradations.

Il est à souligner que l'aspect général, ouverture restreinte de ces dégradations sont attribuables à la performance rhéologique remarquable du liant polymère utilisé sur la totalité de ces planches.

Cependant, malgré les propriétés rhéologiques avantageuses du liant modifié au polymère. Ces fissures doivent être considérées comme une des principales causes de perte en déglacant lors de l'entretien hivernal.

2) Pelade et arrachement:

Ce phénomène peut être attribuable à l'absence de liant d'accrochage de même qu'à une surface malpropre de la plate-forme après planage. Dans ces conditions l'épaisseur très mince d'enrobé favorise la pelade. Lors de nos relevés de l'été dernier, nous avons aussi noté des corrélations entre le pourcentage de vides élevé de certaines planches et l'arrachement ou le départ massif du granulat.

Il est à souligner que l'apparition soudaine en 1990-91 et assez avancée de ces dégradations sur l'autoroute 20 à Ste-Anne-du-Sault, nous laissent croire à certains phénomènes d'oxydation et perte de flexibilité de ce type d'enrobé favorisé par un pourcentage de vides élevé (photos #14, 15 et 17).

3) Ressuage et orniérage:

Compte tenu d'une granularité pierreuse et des vides élevés, il nous a paru surprenant de noter une sorte de ressuage accompagné de luisance assez généralisée dans la trace des roues (photo #28).

A certains endroits, nous avons aussi noté la fermeture de la macrotecture dans les roulières provoquée par post-compactage due au trafic (photo #5).

La photo #29 démontre une sorte de ressuage intense. Ceci semble être la conséquence de la remontée du liant d'accrochage dans la trace des roues.

Pour ce qui est de l'orniérage, un phénomène assez étrange pour un enrobé drainant; nous en avons rencontré sur certains sites ayant une profondeur maximum de 7 mm et un faible rayon de courbure (fluage, photo #30). Ces ornières parfois multiples peuvent être la conséquence d'un transport lourd intense conjugué à une chaleur élevée qui prévalait durant l'été 1990 et 1991.

4) Contrôle du pourcentage des vides et l'impact de ses variations:

Tel qu'il apparaît au tableau 2, le vide visé variait entre 9 et 18%. Mais selon les mesures du S.A.Q., il se situe entre 7 et 27% selon le site. En effet, le S.A.Q. a eu certaines difficultés à déterminer ce paramètre avec précision.

Par ailleurs, lors de mesures in situ effectuées en octobre 1991 par le nucléo-densimètre TROXLER 4640-B du même Service, des différences significatives ont été notées entre nos résultats et les résultats obtenus lors des travaux de mise en oeuvre. La rapidité de fonctionnement de cet appareil nous laisse croire qu'il peut être considéré comme un outil prometteur pour le contrôle du pourcentage de vides des E.D. à faible épaisseur.

Lors de ces mêmes mesures, nous avons noté une réduction significative des vides dans les zones affectées par l'orniérage et le ressuage comparé aux endroits à faible sollicitation (voie gauche et entre les roulières par exemple).

D'une manière générale, ces mesures ont confirmé une corrélation significative entre le pourcentage de vides et la vitesse de percolation d'eau d'une part, et la consommation en déglacant déclarée par les districts d'autre part. A souligner que les secteurs à fort pourcentage de vides étaient affectés davantage par du désenrobage, des fissures et de l'orniérage.

A rappeler que, la réquisition du P.C.G. par le Laboratoire central doit permettre une bonne maîtrise de l'énergie de compactage et du pourcentage du liant afin de s'approcher à un vide réel optimum lors des prochaines mises en oeuvre.

d) Un regard sur les conditions du verglas survenu entre les 21 et 23 décembre 1990

Tout en conscientisant les personnes concernées aux particularités du comportement hivernal des E.D., il nous semble nécessaire de mettre plus de lumière sur le phénomène survenu en décembre 1990.

Si l'E.D. est saturé et glacé, celui-ci constitue alors un stock d'énergie (chaleur latente) important qui retarde le réchauffement de la surface. Si en même temps la température de l'air oscille autour de 1 à 2°C, il y aura risque de verglas. Ce risque est aussi élevé avec une pluie en surfusion, une neige mêlée à la pluie à 0°C, une neige, une humidité >95%, etc..

Le verglas est une des conditions les plus critiques de la viabilité hivernal d'un E.D. en terme d'entretien.

Selon Environnement Canada, tel qu'il apparaît au tableau 4a, l'occurrence des journées avec précipitation verglaçante varie entre 9 et 15 jours par année pour les grands bassins de population du Québec. Basé sur 30 ans de statistiques, la période critique se situe entre novembre à avril et le mois de décembre seul, peut favoriser jusqu'à 30% de risques d'un tel événement.

Pour ce qui est de l'événement de décembre 1990 (tableau 4b), entre le 21 et 23 décembre, il est tombé entre 46 à 48 mm de pluie verglaçante à Montréal, Sherbrooke et Québec. De plus, la température affichait une oscillation favorisant une des pires conditions et ce, pendant trois journées consécutives. A rappeler que le risque annuel de pluie verglaçante est de 2,5 à 4% et la possibilité d'un événement d'envergure similaire à ce qui est survenu en décembre 1990 est de plus en plus rare selon les statistiques.

VI- CONCLUSION

Dans un pays à forte hydraulicité comme le Québec, où la surface des chaussées est arrosée par une hauteur totale d'environ 1000 à 1500 mm de précipitations annuelles et en sachant que le nombre d'accidents peut s'accroître de 300 à 500% sur une chaussée mouillée selon les statistiques, le procédé des E.D. reste encore une solution valable et positive pour assurer la sécurité et le confort des contribuables selon nous.

A notre avis, après plus d'un quart de siècle d'étude et d'expérience Européennes, nous ne devons pas abandonner l'E.D. sans effectuer les efforts qu'il mérite à son adaptation aux conditions climatiques. Ceci parce que nos expériences sont très courtes et nos suivis très peu structurés.

Nous croyons qu'avant de mettre à l'oubli cette nouvelle technologie de resurfaçage, il reste encore des études, investigations et observations à faire sur cette technique, sa production et la stratégie d'entretien hivernal.

Pour ce faire, nous proposons le plan d'action suivant afin qu'il soit étudié et mise en application par des actions concertées par toutes les unités et personnes concernées.

PARTIE - B -

VII- PLAN D'ACTION ET LES ÉLÉMENTS DE SOLUTIONS

A) Le but:

Compte tenu de tout ce qui vient d'être dit, ce plan d'action doit avoir pour but:

- optimiser les vides;
- minimiser le taux de pose;
- rechercher un liant performant;
- définir les limites d'application et les critères de choix des sites;
- proposer un mode de préparation de la plate-forme et de mise en oeuvre;
- présenter une méthode d'exploitation, de gestion et d'entretien des E.D..

Les éléments d'un tel plan d'action peuvent s'organiser autour des thèmes suivants:

B) PROGRAMME DE SUIVI

A ce chapitre, toutes actions doivent passer par l'identification de la problématique du procédé dans des conditions québécoises. Un tel programme doit compléter les travaux énumérés à l'alinéa III du présent avis et aux tableaux 1a à 1d.

Il doit couvrir toutes les planches existantes. L'accent sera mis surtout sur la mesure de glissance hivernale et ses paramètres.

Ces travaux couvriront aussi l'état de la plate-forme des futurs sites expérimentaux avant la pose.

Cet élément du plan doit permettre de connaître en détail l'état de la situation et de fournir les données nécessaires à l'analyse des causes et effets et proposer au besoin des modifications appropriées aux autres éléments du plan.

C) ADAPTATION DE LA FORMULE DE MÉLANGE PAR L'OPTIMISATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET RHÉOLOGIQUES

1) LE VIDE

Le vide et sa modification se situent au centre de cet élément d'action.

Selon nous, entre 0 et 2 ou même 4% de vides visé habituellement pour les E.C. dans le C.C.D.G. et de 18 à 27% dans le cas des E.D., il peut y avoir un point optimum à rechercher (aux environs de 10%).

Nous sommes d'avis que tout en se servant d'une granularité 0/10 ou 0/12.5 avec une discontinuité 0/6 (figure 1). Cette optimisation peut être effectuée par:

- un ajustement de la granularité;
- un ajout de sable;
- une augmentation du liant (par l'addition de fibre d'amiante, par exemple);
- l'optimisation de l'énergie de compactage avec P.C.G. au laboratoire et son contrôle par nucléodensimètre 4640-B ou le banc de "Gamma".

Avec tous les avantages qu'il peut découler de la réduction de vides en terme de viabilité hivernale, performance mécanique et structurelle, etc., son impact doit être évalué sur sa capacité d'absorption acoustique en particulier.

2) LE LIANT

Toute modification granulométrique visant à augmenter le vide est synonyme de s'éloigner de la courbe de densité maximum donc déstabiliser le mélange bitumineux. Afin de palier cette déficience d'une part et de réduire l'oxydation d'autre part, nous proposons à ce chapitre, la recherche de liants à l'optimum de polymérisation ou addition de fibre au caoutchouc A.B.R. (Asphalt Rubber Bincter ou Ground rubber Powder). Ceci parce que ces produits contiennent des matières anti-oxydantes (tableau 3).

Voici entres autres certains essais que la mise au point de ces enrobés performants ou les liants fortement modifiés exigent à réaliser (voir aussi la réf. 21):

- 1) P.C.G. optimisation de compactage-vide-densité;
- 2) Cohésion du mouton-pendule;
- 3) Essais de traction;
- 4) Essais à l'orniérage;
- 5) Essais de fluage dynamique;
- 6) Essais de fatigue;
- 7) Stabilité Marshall;
- 8) Essais de force de ductilité.

A rappeler que l'utilisation des liants fortement modifiés sera de plus en plus nécessaires compte tenu du taux de pose minimum visé (45 à 55 kg/m²).

D) DÉFINIR LES LIMITES D'APPLICATION DU PROCÉDÉ ET LES CRITERES DE SÉLECTION DES AXES ROUTIERS

Conçu pour accroître la sécurité et le confort des usagers lors de pluie et de réduire la pollution sonore dans les milieux urbains. Ce procédé affiche de 50 à 60% d'équivalent structural des enrobés denses. Ce moyen de

resurfaçage ne doit pas être utilisé sur les chaussées ayant des déficiences structurales telles que: portance, fissurations intenses, déformations dues au sous-dimensionnement.

Comme critère de sélections, nous proposons donc une déflexion caractéristique maximum printanière de $x + 2\sigma \leq 0,75$ mm et un battement maximum des joints (ou fissures) de 0,020 mm pour la même saison.

Pour ce qui est du débit de circulation, il sera plus rentable sur les routes à grande circulation ayant un JMA d'au moins 20 000 à 36 000 et une vitesse supérieure à 90 km/h (sans tenir compte de la justification acoustique).

Sont à éviter: les fortes pentes, les régions rurales ou industrielles à fort risque de contamination, les zones fortement sollicitées par des forces tangentielles ou giratoires.

Les E.D. peuvent être posés sur les aéroports, chaussées larges, tunnel, zones à nuisance sonore et d'accidentogènes où l'adhérence fait défaut par temps pluvieux.

La section traitée par E.D. doit être homogène et d'une longueur suffisante pour justifier une intervention particulière du traitement. On évitera donc des secteurs isolés inférieurs à une certaine longueur.

Il faut éviter d'arrêter les sections drainantes dans une pente, dans un virage ou à un carrefour.

Dans des zones de transition, une modification graduelle de formule drainante doit être prévue afin d'éviter l'apparition brusque d'un brouillard d'eau.

Sur les ouvrages d'art, dans des points de raccordement avec des joints de dilatation pouvant être un point d'accumulation d'eau, des dispositifs d'évacuation d'eau doivent être prévus cas par cas.

En augmentant la teneur en sable et en bitume, les zones de transition doivent avoir une longueur de 200 à 300 mm.

E) PRÉPARATION DE LA PLATE-FORME ET LA MISE EN OEUVRE

La vitesse de percolation des E.D. peut varier de 0,30 à 0,36 cm/sec (30). Selon nos propres mesures in situ effectuées l'été dernier, cette vitesse varie de 1 à plusieurs cm/sec, c'est-à-dire une percolation équivalente à celle d'un sable uniforme très perméable (tableau 1a à 1d). Une telle conductivité hydraulique sera suffisante à transiter une pluie de 3.5 cm/hre d'intensité (averse habituelle au Québec) sans retard, aux couches sous-jacentes de la chaussée.

C'est dans un souci de contamination des fondations, perte de capacité de support ou la provocation de gel-dégel, etc., que la plate-forme doit être étanchéisée avant d'être recouverte. L'économie des fondants et l'accroissement de son rendement sont d'autres raisons qui justifient ces opérations préparatoires.

La surface de pose doit être exempte de toute déformation ou déformabilité pouvant devenir une zone d'accumulation d'eau.

Dans le cas de planage, la surface doit être nettoyée de toutes poussières et une émulsion de type élastomère de bonne qualité avec un dosage minimum de 400 g/m² doit être appliqué uniformément avant la pose. Un léger gravillonnage de la couche d'accrochage peut la rendre circulaire sur le chantier.

La pose d'une chape d'étanchéité ou couche de liaison de type mastic de sable-bitume, composé d'un enrobé aux fibres d'amiante (Bicompoflex, par exemple) à une épaisseur maximum de 20 mm, peut assurer l'étanchéité et retarder la réapparition des fissures sur les routes aux dégradations de surface intenses.

Tout colmatage anticipé et ressuage (photo 9) provoqués par l'interpénétration du liant d'accrochage ou de la chape d'étanchéité doivent être prévenus.

En absence de chape, toute irrégularité après planage doit être corrigée pour prévenir l'accumulation d'eau et la formation de lentilles de glace dans l'interface pouvant provoquer le décollement de l'E.D..

Pour faciliter l'écoulement latéral d'eau, on doit éviter l'encastrement latéral de l'E.D. sur les accotements par un planage partiel.

La thermorégération nous semble être une solution économique, rapide et efficace pour préparer la surface des chaussées affectées par le vieillissement ou les fissures de fatigue.

Concernant la production en centrale, il faut soigner le réglage des brûleurs afin d'éviter la surchauffe des granulats et le vieillissement prématuré de l'E.D., phénomène fréquent en raison de la faible quantité de sable que ce type de mélange contient.

Le stockage et le transport de ces enrobés entre l'usine et la pose ne doit pas durer plus de 90 minutes. Le camion doit être bâché, voir calorifugé. Il faut éviter les arrêts fréquents de finisseuse. A rappeler que ce type d'enrobé est très sensible aux intempéries météorologiques.

Un taux de pose de 45 à 55 kg/m² (20 à 30 mm) semble faciliter considérablement l'entretien hivernal en atténuant l'inertie thermique. Dans ce cas-ci, une augmentation de 1 à 2% de pente latérale peut compenser la réduction du stockage hydrique. A noter que l'élimination de l'écoulement vertical peut considérablement réduire la consommation des fondations.

F) EXPLOITATION, ENTRETIEN ET RECYCLAGE

1) Entretien hivernal

L'exploitation et l'entretien hivernal en particulier sont les points culminants de la problématique québécoise du procédé. En effet, la conscientisation des personnes concernées par les particularités des E.D. et le transfert d'une stratégie de gestion appropriée, pourrait être pensés au début, en fonction des exigences de cette méthode innovatrice dans nos conditions climatiques, environnementales et économiques.

Selon nous, des problèmes énumérés par les régions tels que:

- Difficulté d'éliminer la neige retenue par la texture de surface;
- Phénomène de "béton de glace";
- Apparition précoce du verglas;
- Accumulation de la pluie verglaçante en surface et le gommage de la texture, etc..

sont des contraintes souvent prévisibles au moyen d'instrumentation, formation-information du personnel, engagement de patrouille, utilisation des statistiques météorologiques et suivant d'un arbre de décision "préétabli".

Le tableau 5 démontre un exemple d'arbre de décision mis au point par les services de l'est de la France (31). Un tel outil peut être développé non seulement pour la stratégie d'intervention mais aussi pour le choix du déglacant et le dosage d'application de ce dernier selon les scénarios tels que:

- Verglas météorologique - conditions de surface:
 - a) E.D. sec et sa température $\rightarrow T < 0^{\circ}\text{C}$
 - b) E.D. saturé d'eau et sa température $\rightarrow < 0^{\circ}\text{C}$ glacée
- Pluie verglaçante - conditions de surface:
 - c) E.D. saturé d'eau et $\rightarrow T > 0^{\circ}\text{C}$
 - d) E.D. saturé d'eau et $\rightarrow < 0^{\circ}\text{C}$ glacée
- La neige - conditions de surface
 - e) E.D. sec et $\rightarrow T < 0^{\circ}\text{C}$
 - f) E.D. saturé d'eau $T \geq 0^{\circ}\text{C}$
 - g) E.D. saturé d'eau $T \ll 0^{\circ}\text{C}$ très glacée

Par exemple dans les cas a, c, e et f, il y aura un risque de perdre le déglacant si ce dernier est liquide (saumure, bouillie, etc.).

Dans les cas b, d et g, au contraire un déglacant liquide donnera plus de rendement.

Dans des cas d'intervention urgent à très basse température, un fondant solide à granularité appropriée combiné à des abrasifs seront plus efficace.

Cet élément du plan d'action non seulement doit être examiné pour les scénarios précités mais doit aussi se pencher sur le choix des équipements d'épandage et le mode appropriés de cette opération.

L'étude de la modalité d'information et la mise en garde des usagers par les enseignes spéciales et même au besoin, par le média régional ou local (pendant les périodes critiques), doivent être inclus parmi les objectifs de cette action. Le choix du dosage préventif et curatif des fondants est un autre aspect de l'entretien hivernal qui doit être conjugué avec les prévisions météorologiques d'heure en heure des période critiques.

Certains aspects de ces expériences peuvent être appuyées et validées au besoin par des essais de laboratoire.

2) Décolmatage

Compte tenu de la quantité de sel et d'abrasif exigée par l'entretien hivernal des E.D., un programme de nettoyage mécanisé sera nécessaire afin de préserver la capacité de stockage hydro-acoustique de l'enrobé et ce, malgré l'auto-nettoyage effectué par le transport lourd (aspiration par les pneus à haute vitesse).

3) Rapiécage

Afin de prévenir toute hétérogénéité de surface et l'anisotropie reliées à la porosité, conductivité hydrothermique et à l'antidérapance, il est indispensable d'envisager des modes de réparation appropriés, surtout si cette dernière est d'envergure.

4) Recyclage

Avant de passer du stade expérimental à l'étape industrielle, il faut prévoir les grandes lignes de modes de recyclage une fois l'E.D. est atteinte sa minimum de viabilité. Ceci afin de prévenir des hétérogénéités et anisotropies thermo-hydriques qui peuvent se produire suite à l'empilement de ce genre d'enrobé sur la structure à long terme.

Parmi les différentes méthodes, le recyclage à chaud en place, nous semble être un sujet qui peut être exploré en terme de faisabilité, normalisation et rapport coût-bénéfice.

Il est à remarquer que les premières planches posées en 1985 sont déjà visées par les programmes de réhabilitation de l'année 1993, selon les districts concernés. Il est donc temps de concrétiser dès que possible la modalité d'une telle intervention.

5) Coût et bénéfice, viabilité

Un calcul rationnel du coût et bénéfice est indispensable avant de passer à l'étape industrielle du procédé. Pour ce faire, il est non seulement indispensable à tenir compte de la viabilité du procédé dans notre contexte climatique, mais il faut aussi effectuer un bilan global du rendement, compte tenu des paramètres tels que: le confort, le nombre comparatif d'accidents, etc.. Une telle étude non seulement nécessitera une action concertée de la part de différentes unités impliquées mais aussi une collaboration étroite entre la S.Q., Environnement Canada et le Québec.

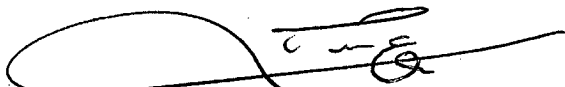
Pour ce qui est de la planche réalisée à Ste-Anne-du-Sault (A-20) on peut s'attendre à une viabilité (PSI) de 2 à 2,5 en 1993, après 7 à 8 ans de service, selon nous.

Nous sommes d'avis qu'avec l'application de certaines de ces recommandations telles que: le choix et le traitement de la plate-forme, l'amélioration du liant (alinéa III-D), une espérance de vie de 10 ans avec une viabilité minimum de 2,5 à 3 n'est pas inaccessible ou utopique malgré nos rigueurs climatiques.

Pour terminer, il est à propos de souligner que tel le mentionnait le service des Programmes du développement de la recherche (lettre de Mme Anne Delisle, du 1990-11-14), la réalisation d'une partie de ce plan, peut être confiée à des firmes privées ou à des institutions académiques compétentes. (Voir avis technique, A. Amiri et al [28]).



Pierre Lefrançois, t.t.p.



Aziz Amiri, Dr. ing.
Division des chaussées

PL/AA/hg

TABLEAU 1a COMPORTEMENT DES ENROBES DRAINANTS AU QUEBEC; ELEMENTS D'ANALYSE DES CAUSES ET EFFETS

REGION DISTRICT	CONTRAT ROUTE MUNIC. (km)	DATE DE POSE AGE	JMA % V.L.	LIANT %	% VIDE			TAUX DE POSE kg/m ²	PERCOLATION ml/sec./m ²	ANTIDE- RAPANCE C.F.T. H _s (mm)	PLATE-FORME AVANT POSE ETAT TRAVAUX AVANT POSE	ETAT ACTUEL PROBLEMATIQUE RESULTATS DES ENQUETES
					VISE	MESURE						
						INI- TIAL	1991 OCT.					
3-2 15	315-1126-4 132 St-Nicolas 3,0 km	1985-08 6 ans	13 000 à 19 000	Bitumar Superflex 300 5,0%	13,9	12,9 à 17,2		50.			Planage avant pose	- Pas d'accident vitesse 50 km/h - Retient la neige - Fissuration normale - Sèche pendant la pluie - Pas d'ornièrre
04 34	434-113-5 A-20 Ste-Anne- du-Sault 5,5 km	1985-10 6 ans		Bitumar Super 300 85-100 RSI 5,0%	14,0	7,7 à 12,1	5,4 14,5	46,7 à 51,0		1986 x̄ = 74 σ = 2 H _s = 1,04 à 1,51	- Planage - Surface malpropre avant pose - Liant d'accrochage insuf- fisant; arrache sous pneus - Accotement non recouvert (encastré)	- Déglaçant; + 200% (Sel + Abrasif) - Aucun accident grave - Orn. = 0 à 7 mm; ancien pavage fluait et ornièrait - Ressuage fréquent dans les roulières - Arrachement aux fissures entre les roulières - Réflexion complète des anciennes fissures - Fissuration multiple dans les roulières - Autoréparation des fissures dans les roulières
04 34	434-1109-7 A-20 St-Louis- de-Blandford 7,4 km Dir. Ouest	1987-09 4 ans	20 800	Bitumar styrelf 85-100 ou 120-150 liant SS1+ récupéré 5,0%	14,0	7,5 à 9,5		60.	0,19 à 29,0		- Planage - Surface malpropre avant pose - Manque de liant d'accro- chage par endroit	- Déglaçant + 200% sel + abrasif - Orn. double; 4 à 6 mm - Fissure multiple en dépression dans les roulières - Qualité roulement mauvaise voie de droite - Texture colmatée dans les roulières - F.T. en "V" dans voie de droite - Réflexion totale des fissures

TABLEAU 1b COMPORTEMENT DES ENROBES DRAINANTS AU QUEBEC; ELEMENTS D'ANALYSE DES CAUSES ET EFFETS

REGION DISTRICT	CONTRAT ROUTE MUNIC. (km)	DATE DE POSE AGE	JMA % V.L.	LIANT %	% VIDE			TAUX DE POSE kg/m ²	PERCOLATION ml/sec./m ²	ANTIDE- RAPANCE C.F.T. H _s (mm)	PLATE-FORME AVANT POSE ETAT TRAVAUX AVANT POSE	ETAT ACTUEL PROBLEMATIQUE RESULTATS DES ENQUETES
					VISE	MESURE						
						INI- TIAL	1991 OCT.					
6-5 62	645-662-1101-7 A-40 Repentigny 2,1 km	1987-10 6 ans	87 000	Biturflex liant SS1 5,0%	9,4	7,0 à 11,3		60. moyen 65.2		$\bar{x}$ = 83,2 σ = 4,9 H _s = 1,10 à 1,32 (mm)	- Planage sauf accotement - Accotement recouvert - Absence liant d'accote- ment par endroit - Surface malpropre avant pose - Surface détrempée avant pose (occasionnel) - Températrue basse (-5 à 10°C) - Un secteur repris en 1988	- Déglaçant + 30%, abrasif à l'occasion - Ornière 4 à 7 mm - Pas d'accident grave (malgré la courbe) - Pelade dans l'accotement - Réflexion des fissures - Autoréparation des fissures dans les roulières - Arrachement entre les roulières
6-2 53	653-1106-8 A-10 Ste-Brigide d'Iberville et St-Césaire 7,7 km Dir. Est	1988-09	19 000	Bitumar Styrelf 13 - 80 Biturflex 85 - 100 5,5%	11,5	8,8 à 13,0		65.			- Pose d'épaisseur réduite sur l'accotement - Fissures mal nettoyées; traitées avec scellant avant pose - Traitement avec silicone	- Pas d'accident grave - Déglaçant +25%, 2/3 sel + 1/3 abrasif - Peu de fissures

TABLEAU 1c COMPORTEMENT DES ENROBES DRAINANTS AU QUEBEC; ELEMENTS D'ANALYSE DES CAUSES ET EFFETS

REGION DISTRICT	CONTRAT ROUTE MUNIC. (km)	DATE DE POSE AGE	JMA % V.L.	LIANT %	% VIDE		TAUX DE POSE kg/m ²	PERCOLATION	ANTIDE- RAPANCE C.F.T. H _s (mm)	PLATE-FORME AVANT POSE ETAT TRAVAUX AVANT POSE	ETAT ACTUEL PROBLEMATIQUE RESULTATS DES ENQUETES
						MESURE					
						INI- TIAL					
3-2 28	328-1108-9 A-20 Laurier- Station 12,5 km	1989-07 2 ans	19 000 à 26 000	Styrelf Bituflex 85 - 100 Liant RS1 4,5%		12,6 à 16,3	12,4 à 20,9	65.	45,0 à 106,0	$\bar{x} = 77,8$ $\sigma = 2,7$ - Planage - Scellement des fissures avec "Bakelite" arraché par les pneus - Accotement non recouvert - Granulats classe 1B	- Déglaçants 200 à 300% sel + abrasif - Réflexion totale des fissures - Rapièçage intensif - Voie rapide fissures rapièçées - Ornières 0 à 4 mm, désenrobage - Arrachement fissures voie lente - Fissures multiples dans les roulières
3-2 28	328-1115-9 A-20 Laurier- Station 12,2 km	1989-08 2 ans	19 000	Styrelf Bituflex 85 - 100 liant RS-1 4,5%	15,1	13,5 à 16,5		65.	58,0 à 115,0	$\bar{x} = 79,4$ $\sigma = 2,7$ - Très fissurée - Planage - Pose de bouche-fissures, puis annulé - Accotement non recouvert - Granulats classe 1B	- Déglaçants; +2 à 300% + abrasifs - Accident non attribuable à l'enrobé (courbe) - Arrachement dans les fissures, voie droite - Rapièçage des fissures dans la voie rapide - Zones de désenrobage - Fissures multiples en dépression dans les roulières - Réflexion totale des fissures - Ornières à 3 mm

TABLEAU 1d COMPORTEMENT DES ENROBES DRAINANTS AU QUEBEC; ELEMENTS D'ANALYSE DES CAUSES ET EFFETS

REGION DISTRICT	CONTRAT ROUTE MUNIC. (km)	DATE DE POSE AGE	JMA % V.L.	LIANT %	% VIDE			TAUX DE POSE kg/m ²	PERCOLATION ml/sec./m ²	ANTIDE- RAPANCE C.F.T. H _s (mm)	PLATE-FORME AVANT POSE ETAT TRAVAUX AVANT POSE	ETAT ACTUEL PROBLEMATIQUE RESULTATS DES ENQUETES
					VISE	MESURE						
						INI- TIAL	1991 OCT.					
6-2 56	656-1109-8 A-20 St-Lambert 2,6 km	1989-08 2 ans	59 000	Styrelf Bituflex 85 - 100 5,5%	14,4	9,7 à 10,8		71,3 à 77,8	51.0 à 160.0	$\bar{x}$ = 72,4 σ = 2,8	- Planage - Devers perturbe le drain- nage - Pose sur surface détrempée - Accotement non recouvert - Objectif diminution du bruit	- Efficace au point de vue acoustique - Première année, abrasif et déglaçant - Moins de déglaçant après - Ornière voie centrale - Fissures plus prononcées en direction Ouest - Arrachement en bordure - Présence de pelade parfois rapiécé - Réflexion des fissures avec arrachement le long - Arrachement en dehors des roulières aussi
6-2 56	656-1111-01 132 Boucherville 6,4 km	1990-09 1 an	20 000	Styrelf Bituflex 85 - 100 Liant RS-1 Bituflex Chape 50-70 4,5%	18,2	13,3 à 27,0		65.	304.0 à 602.0	$\bar{x}$ = 88,1 σ = 3,5	- Couche de correction MB 12,5 à 20 kg/m² - Chape MB-10 30 kg/m²	- Déglaçant + 200% sel + abrasif - Réflexion partielle des fissures - Arrachement + réflexion où vide élevé (27%), zone à la texture ouverte - Peu d'arrachement en général



TABLAU 2 - Evolution des propriétés antidérapantes

DIRECTION	VOIE	KILOMETRAGE	LONGUEUR (km)	TYPE DE MELANGE	PROFONDEUR macro-texture H.S. en mm (1986)	C.F.T. OBTENUS EN 1985, 1986 et 1988										REMARQUES
						moyen x		min.		max.		ec. ty.		moyen x		
						1985	1986	1985	1986	1985	1986	1985	1986	1988		
EST	ROULEMENT	0+000 @ 1+030	1,080	plus ferme	trace de roues 1,17 entre les traces de roues 1,41	63	73	58	67	67	76	1,73	1,78	66	JMA = 19500	
		1+080 @ 3+680	2,600	3% polymère	trace de roues 1,32 entre les traces de roues 1,41	64	72	57	63	68	77	2,00	2,13	68		
		3+680 @ 5+260	1,580	4% polymère	trace de roues 1,41 entre les traces de roues 1,51	64	75	58	65	68	81	1,73	2,97	66		
	DEPASSEMENT	0+000 @ 1+080	1,080	plus ferme	—	60	67	56	62	64	72	1,73	2,98	62	JMA = 19500 granulométrie est différente comparée à (*) (Selon S.C.C.)	
		1+080 @ 3+680	2,600	3% polymère	—	57	68	52	64	64	72	1,73	1,47	68		
		3+680 @ 5+760	1,580	4% polymère	—	53	70	50	63	57	73	1,00	1,42	72		
OUEST	ROUL.	0+000 @ 5+640	5,640	3% polymère	trace de roues 1,41 " " " 1,24 ressuage 1,41 entre des tra- 1,51 ces de roues	70	75	66	71	75	81	1,41	2,00	66	JMA = 19500 (*)	
	DEPAS.	0+000 @ 5+640	5,640	3% polymère	—	71	72	63	68	84	79	2,33	2,00	65	JMA = 19500 (*)	

J.M.A. : trafic journalier moyen annuel

C.F.T. : coefficient de frottement transversal

éc. ty. : écart-type

H.S. : hauteur de sable (profondeur de la macro-texture)

MESURE DE GLISSANCE (SCRIM)

RTE.-TR.-SEC.: 020-005-060
 MUNICIPALITE: STE-ANNE-DU-SAULT
 COMTE: ARTHABASKA
 NO DOSSIER: 0020-05-060(22)85C
 TYPE DE REVETEMENT: B.B. TEMPERATURE('C): 15
 LONGUEUR (km): 5.50 FREQUENCE DES ESSAIS: 20 m.
 AGE DU REVETEMENT: 1 an DATE DES ESSAIS: 1986-06-13

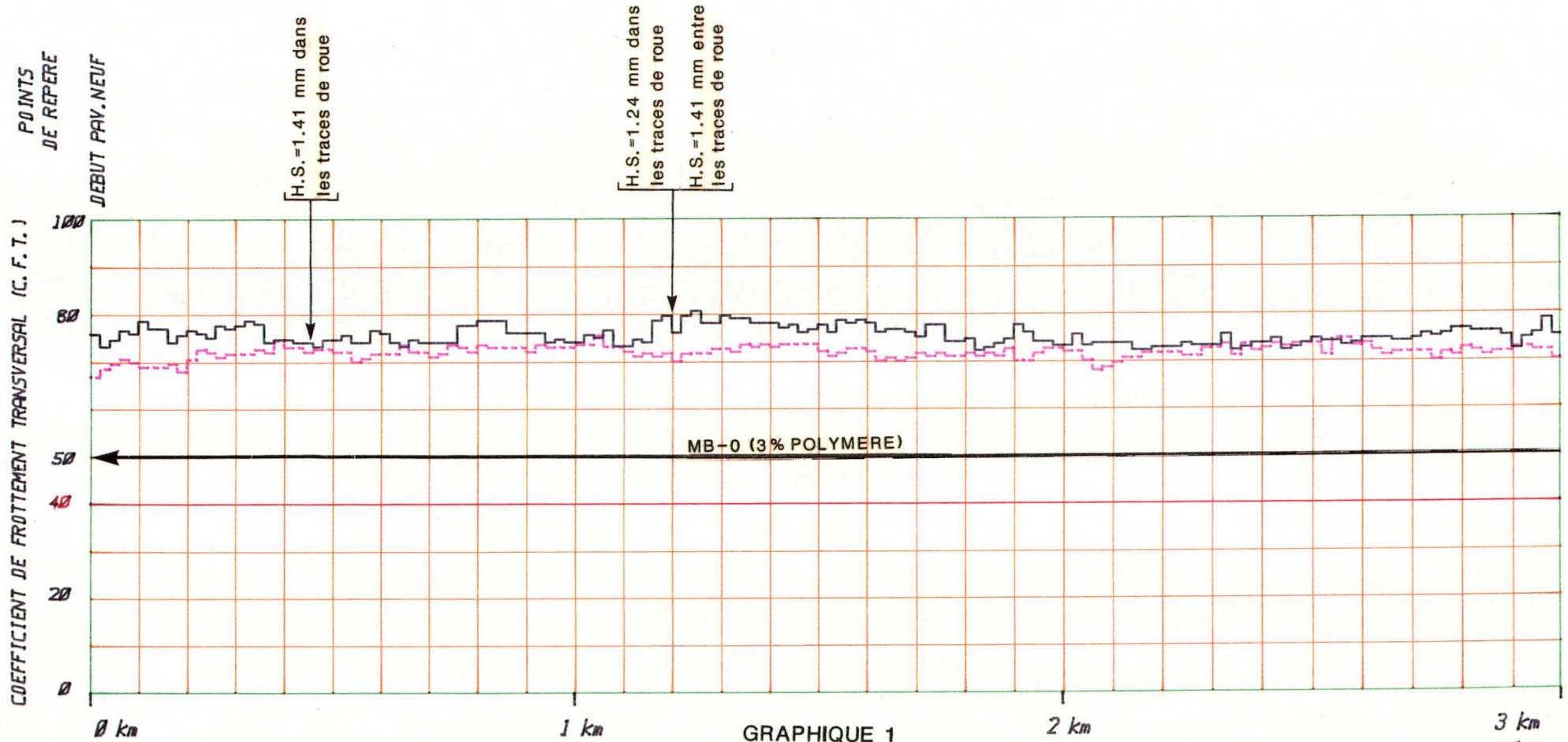
DIRECTION QUEST
 $\bar{X}$ = 75
 S = 2

DIRECTION QUEST
 $\bar{X}$ = 72
 S = 2

REMARQUES: VOIE DE ROULEMENT
VOIE DE DEPASSEMENT

$\bar{X}$ = C. F. T. MOYEN

S = ECART TYPE



MESURE DE GLISSANCE (SCRIM)

RTE.-TR.-SEC.: 020-005-060
 MUNICIPALITE: STE-ANNE-DU-SAULT
 COMTE: ARTHABASKA
 NO DOSSIER: 0020-05-060(22)85C
 TYPE DE REVETEMENT: B.B. TEMPERATURE('C): 15
 LONGUEUR (km): 1.1 A 2400 FREQUENCE DES ESSAIS: 20 m.
 AGE DU REVETEMENT: 1 an DATE DES ESSAIS: 1986-06-13

DIRECTION QUEST
 $\bar{X}$ = 75
 S = 2

DIRECTION QUEST
 $\bar{X}$ = 72
 S = 2

REMARQUES: VOIE DE ROULEMENT

VOIE DE DEPASSEMENT

$\bar{X}$ = C.F.T. MOYEN

S = ECART TYPE

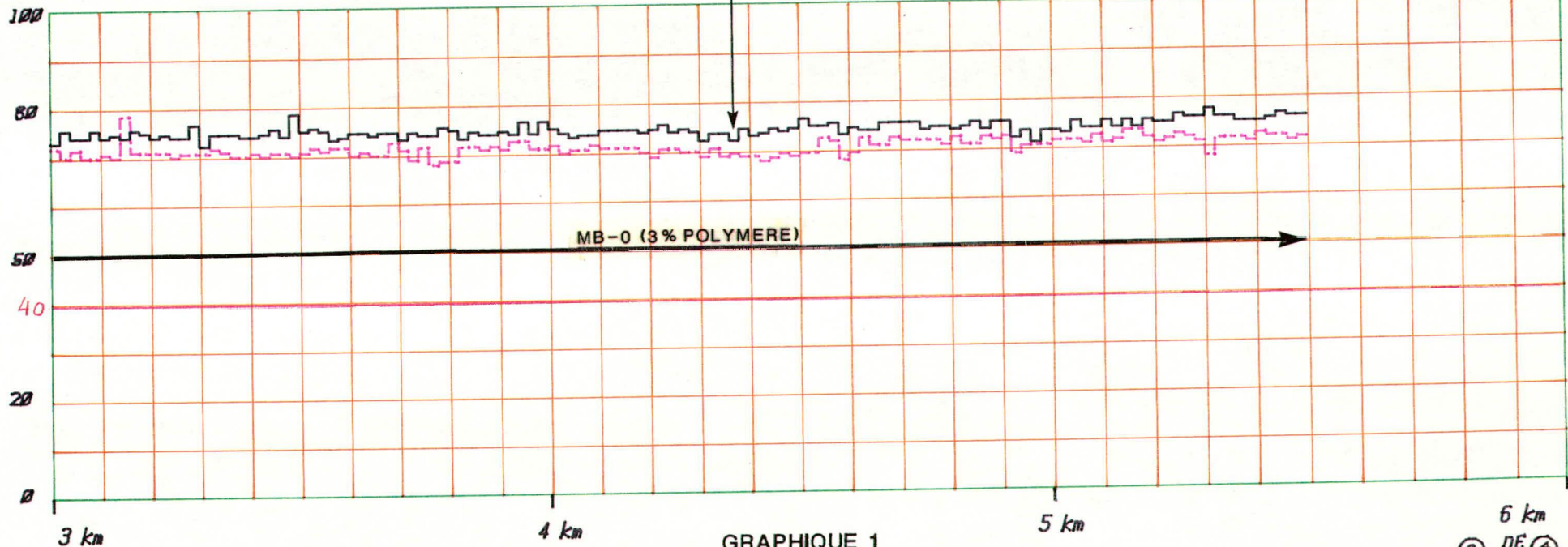
POINTS
DE REPERE

(ressuage local)
 H.S. = 1.04 mm dans
 les traces de roue
 H.S. = 1.51 mm entre
 les traces de roue

INTER. SORTIE 220

FIN PAV. NEUF

COEFFICIENT DE FROTTEMENT TRANSVERSAL (C.F.T.)



GRAPHIQUE 1

MESURE DE GLISSANCE (SCRIM)

RTE.-TR.-SEC.: 020-005-060
 MUNICIPALITE: ST-ANNE-DU-SAULT
 COMTE: ARTHABASKA
 NO DOSSIER: 0020-05-060(22)85A
 TYPE DE REVETEMENT: B.B. TEMPERATURE('C): 15
 LONGUEUR (km): 5.28 FREQUENCE DES ESSAIS: 20 m.
 AGE DU REVETEMENT: 1 an DATE DES ESSAIS: 1986-06-13

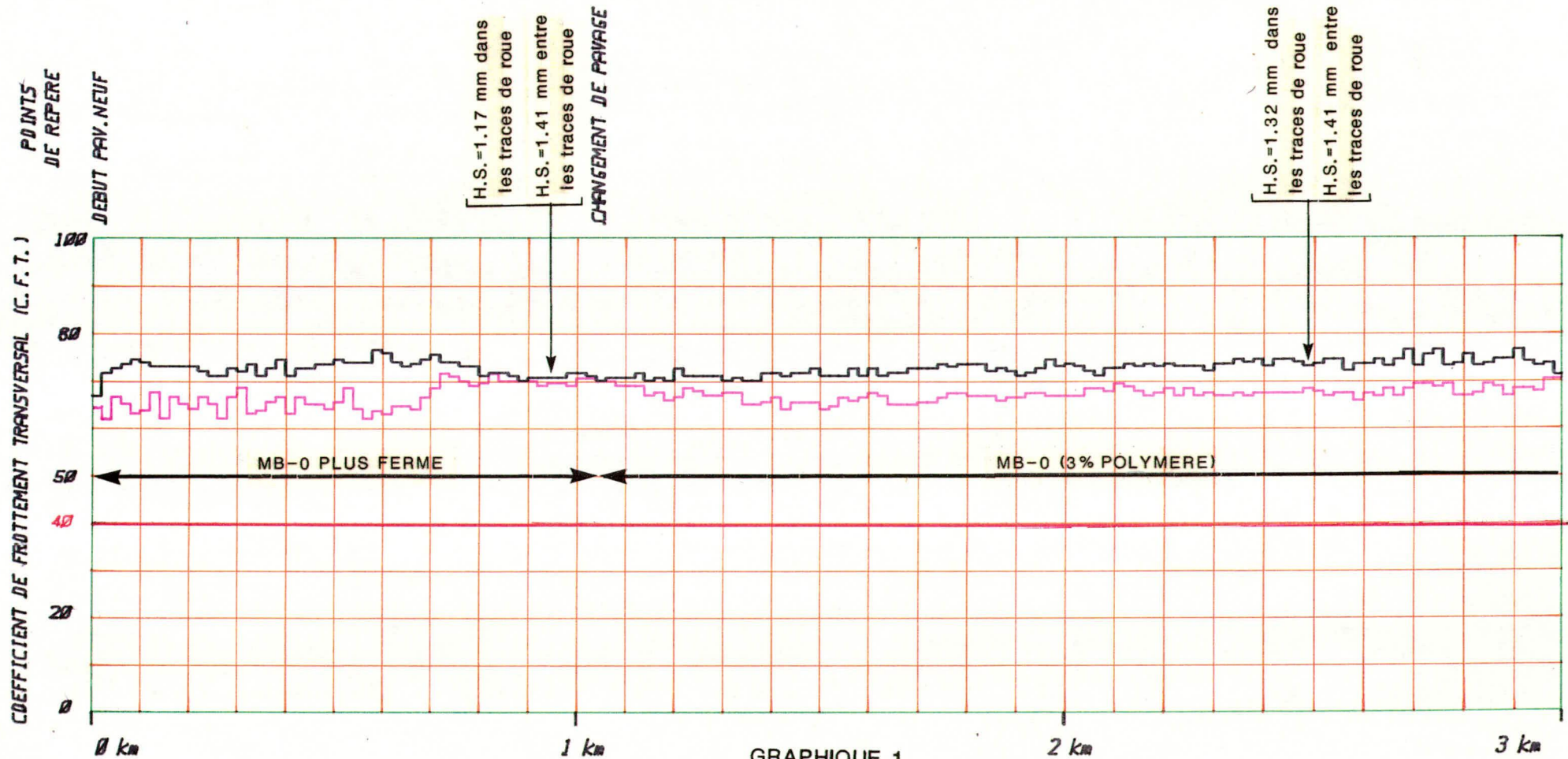
DIRECTION EST
 $\bar{X}$ = 73
 S = 3

DIRECTION EST
 $\bar{X}$ = 68
 S = 2

REMARQUES: VOIE DE ROULEMENT
VOIE DE DEPASSEMENT

$\bar{X}$ = C.F.T. MOYEN

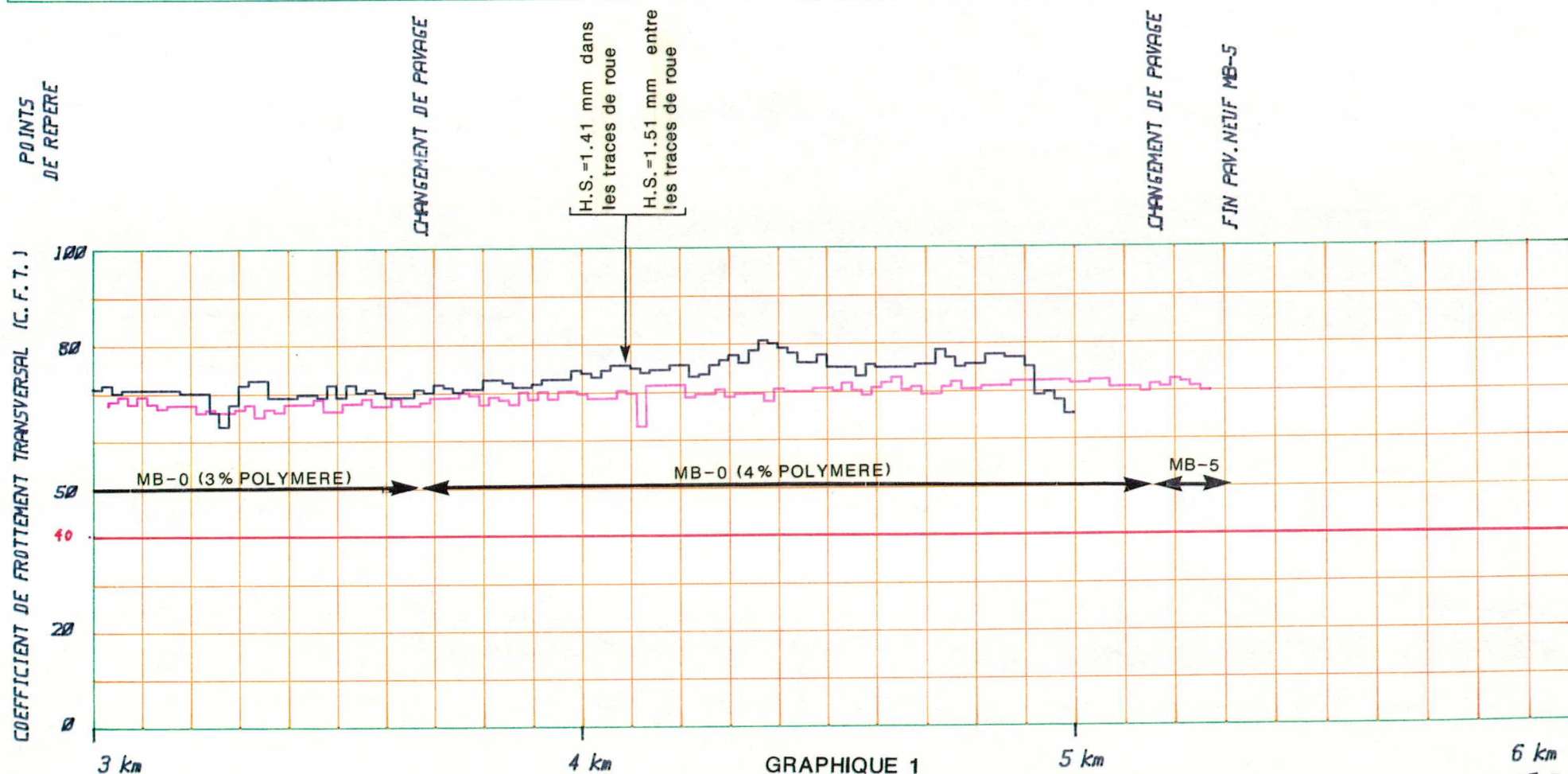
S = ECART TYPE



GRAPHIQUE 1

MESURE DE GLISSANCE (SCRIM)

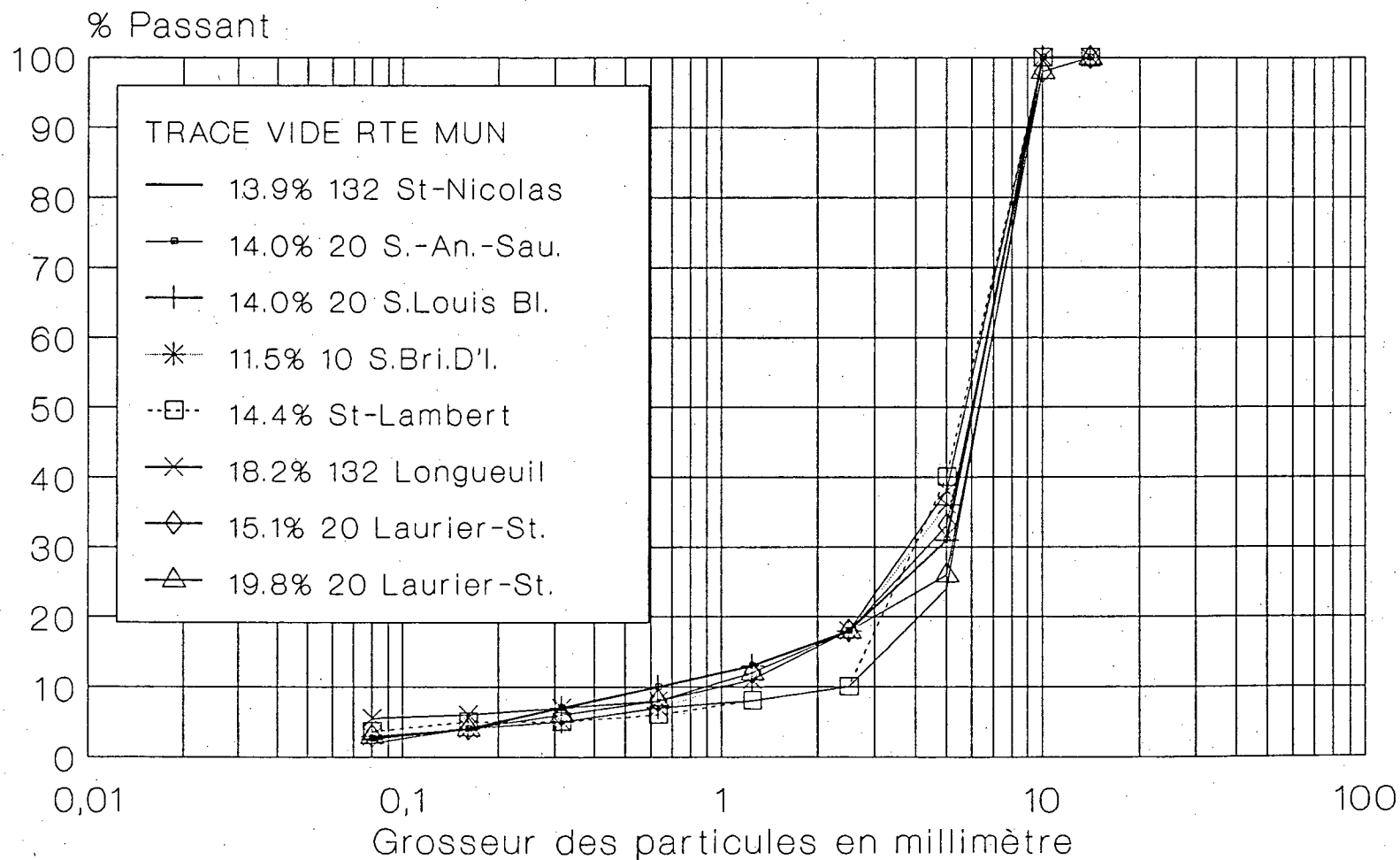
RTE.-TR.-SEC. : <u>020-005-060</u>		DIRECTION <u>EST</u>		DIRECTION <u>EST</u>	
MUNICIPALITE : <u>ST-ANNE-DU-SAULT</u>		$\bar{X} =$ <u>73</u>		$\bar{X} =$ <u>68</u>	
COMTE : <u>ARTHABASKA</u>		$S =$ <u>3</u>		$S =$ <u>2</u>	
NO DOSSIER : <u>0020-05-060(22)85A</u>		REMARQUES : <u> </u> VOIE DE ROULEMENT			
TYPE DE REVETEMENT : <u>B.B.</u> TEMPERATURE (°C) : <u>15</u>		<u> </u> VOIE DE DEPASSEMENT			
LONGUEUR (km) : <u>1.2400</u> FREQUENCE DES ESSAIS : <u>20 m.</u>		$\bar{X} =$ C.F.T. MOYEN			
AGE DU REVETEMENT : <u>1 an</u> DATE DES ESSAIS : <u>1986-06-13</u>		$S =$ ECART TYPE			



Courbe granulométrique

DIFFERENTES FORMULES DE DRAINANT

(1985 a 1989)



PLAN D'ACTION CONCERNANT LA PROBLEMATIQUE DU COMPORTEMENT HIVERNAL ET STRUCTURAL
DES E.D. AU QUEBEC

PRECIPITATIONS VERGLACANTES, ANALYSE DE CAUSES ET EFFETS
PHENOMENE DU 21 AU 23 DECEMBRE 1991

TABLEAU 4a - Occurrence mensuelle des journées de précipitations verglaçantes pour la période de 1951-1980.

REGION (station)	NOMBRE DE JOURS PAR MOIS												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Québec	3	2	2	1	0	0	0	0	*	*	3	4	15
Montréal	3	3	2	*	0	0	*	0	0	*	1	4	13
St-Hubert	3	2	2	*	0	0	0	0	0	0	1	4	12
Sherbrooke	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	9
MOYENNE	2.75	2.25	1.75	*	0	0	*	0	*	*	1.50	3.75	12.25

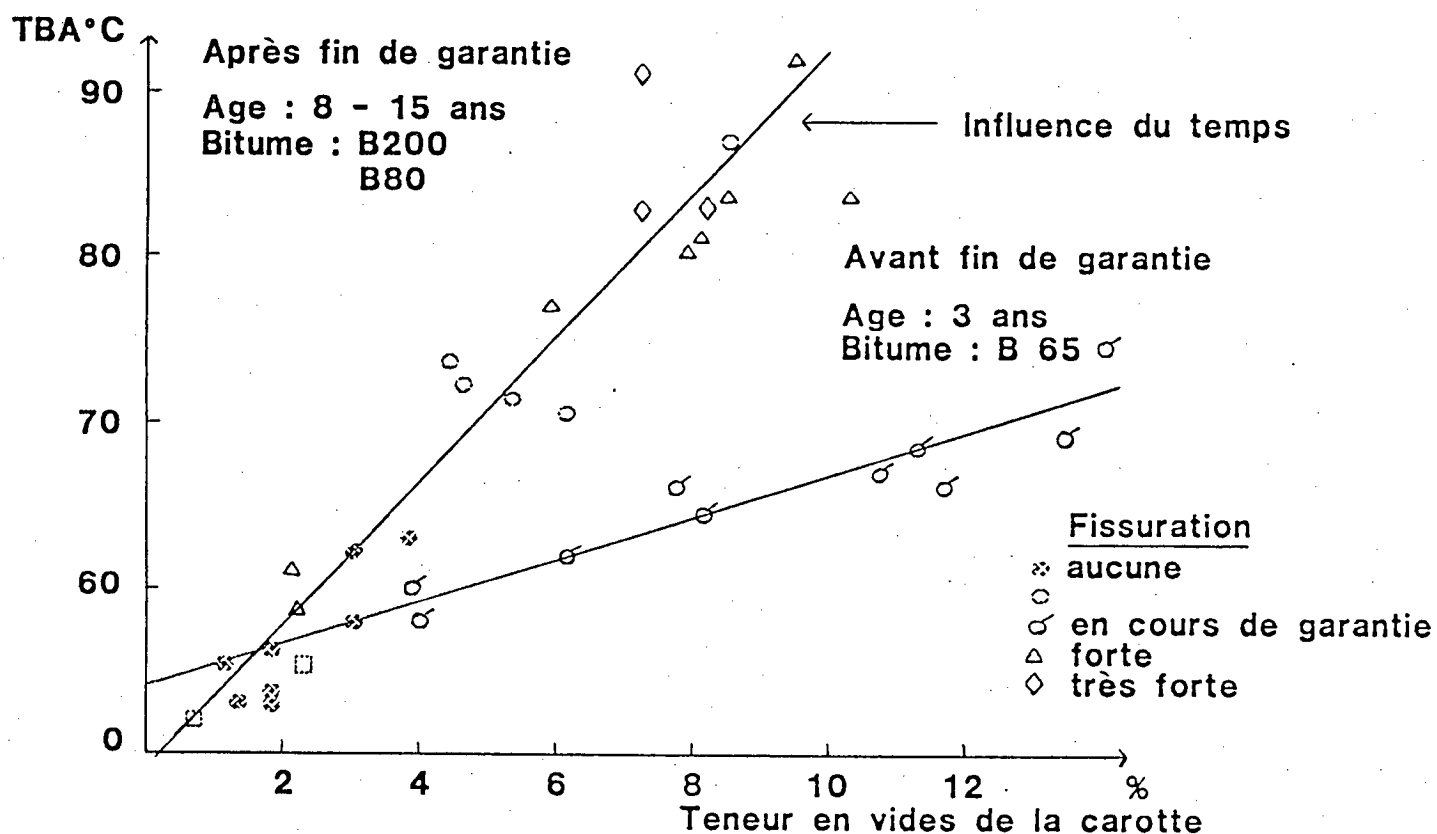
TABLEAU 4b - Température et précipitation entre le 21 et 23 décembre 1990.

PRECIPITATIONS (mm)				TEMPERATURE °C			
21	22	23	$\bar{X}$	21	22	23	$\bar{X}$
2,8	13,0	13,4	29,2	0,7 -16,4	0,5 -1,6	8,3 -1,8	3,2 max. -6,6 min.
3,8	2,0	28,2	41,0	0,2 -13,4	1,8 0,1	3,1 -0,3	1,7 max. -4,6 min.
7,3	12,2	28,8	48,3	3,6 -13,4	1,1 0,1	3,3 -0,3	2,7 max. -4,5 min.
4,6	11,2	20,6	36,4	4,4 -9,8	9,1 3,2	11,7 -0,2	8,4 max. -2,1 min.

(*) : Hauteur de précipitation comprise entre 0 et 1 mm.

($\bar{x}$) : Moyenne.

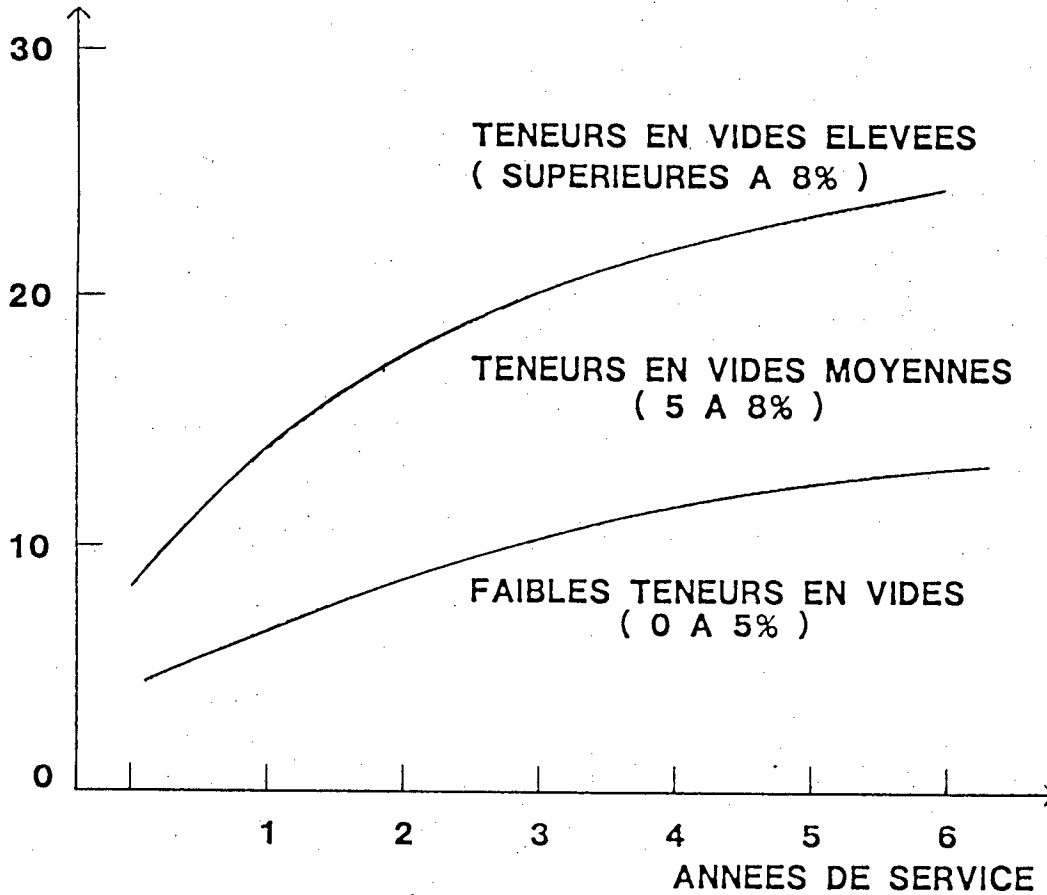
GRAPHIQUE 2



Résultats provenant des recherches sur les routes endommagées dans les années 1981 et 1982. Le bitume durcit et les fissures augmentent proportionnellement à la teneur en vides des éprouvettes Marschall et à l'âge de la couche de roulement. Dans le cas d'une très forte fissuration, des travaux d'entretien et de rénovation sont absolument indispensables.

GRAPHIQUE 3

VARIATION DU BILLE ET ANNEAU °C



Evolution de la température de ramollissement bille et anneau des bitumes sur la route en fonction du temps

TABLEAU 5 Arbre de décision - Enrobés drainants et verglas

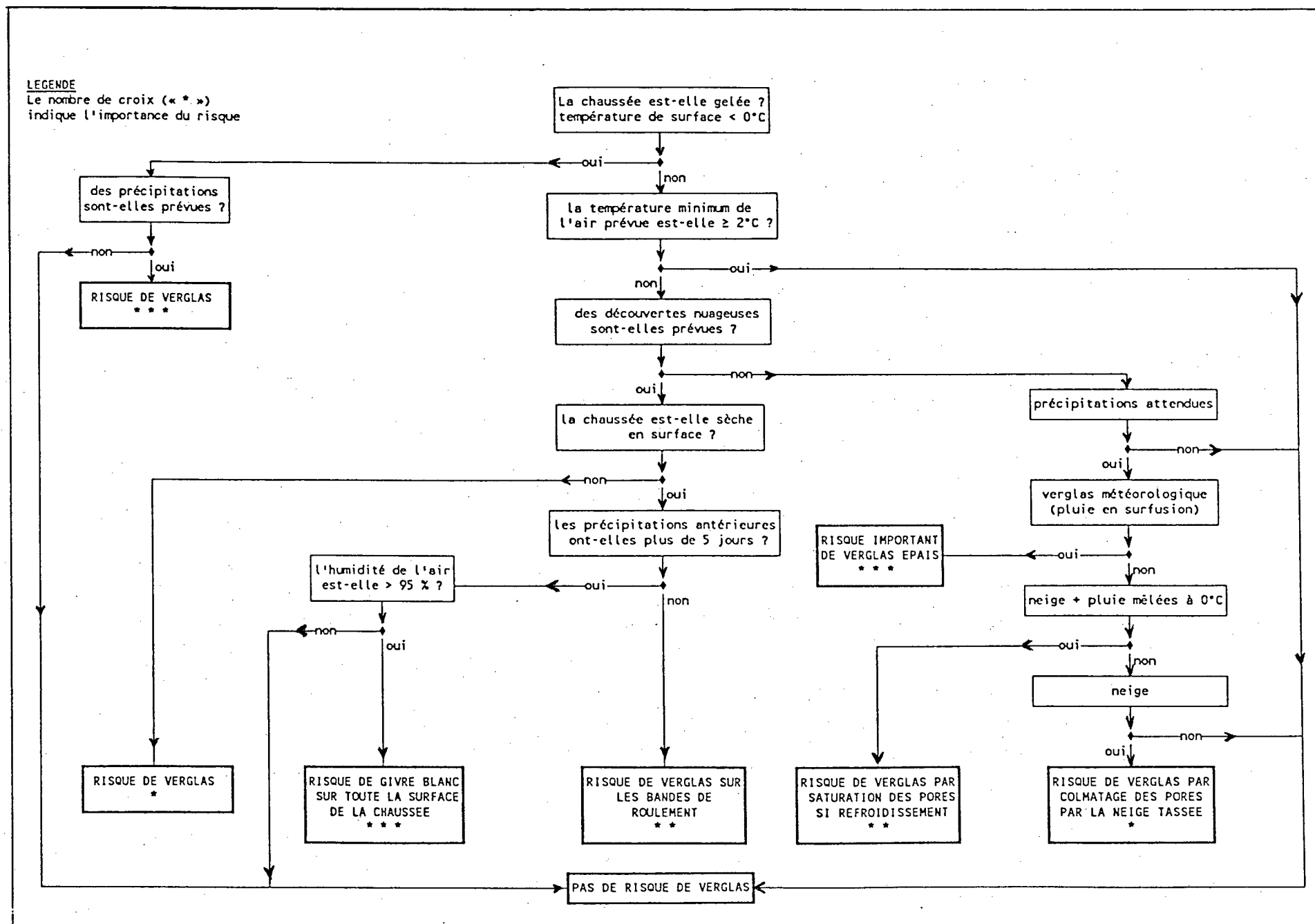


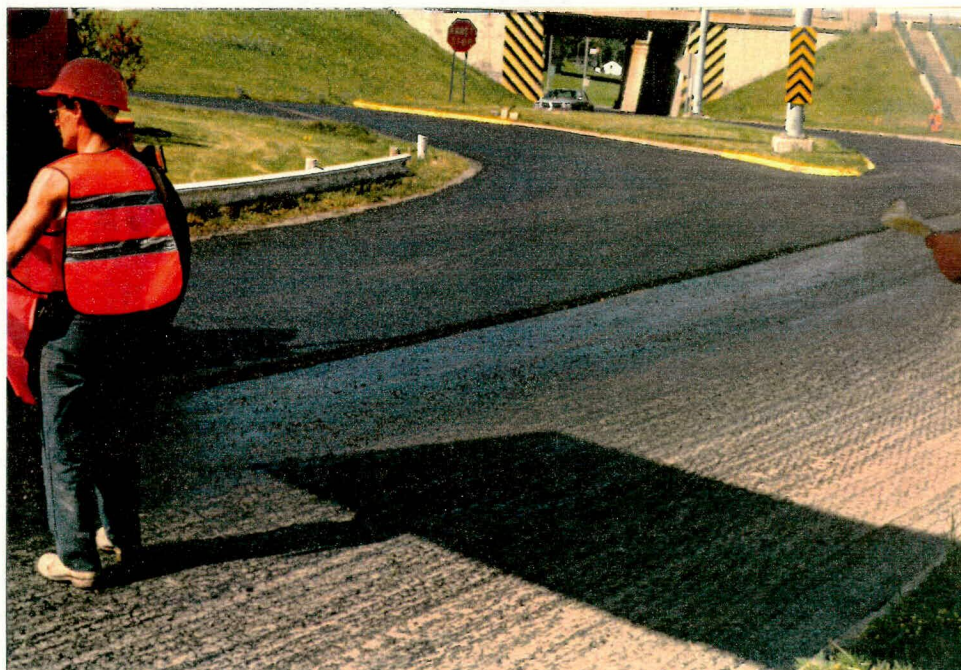
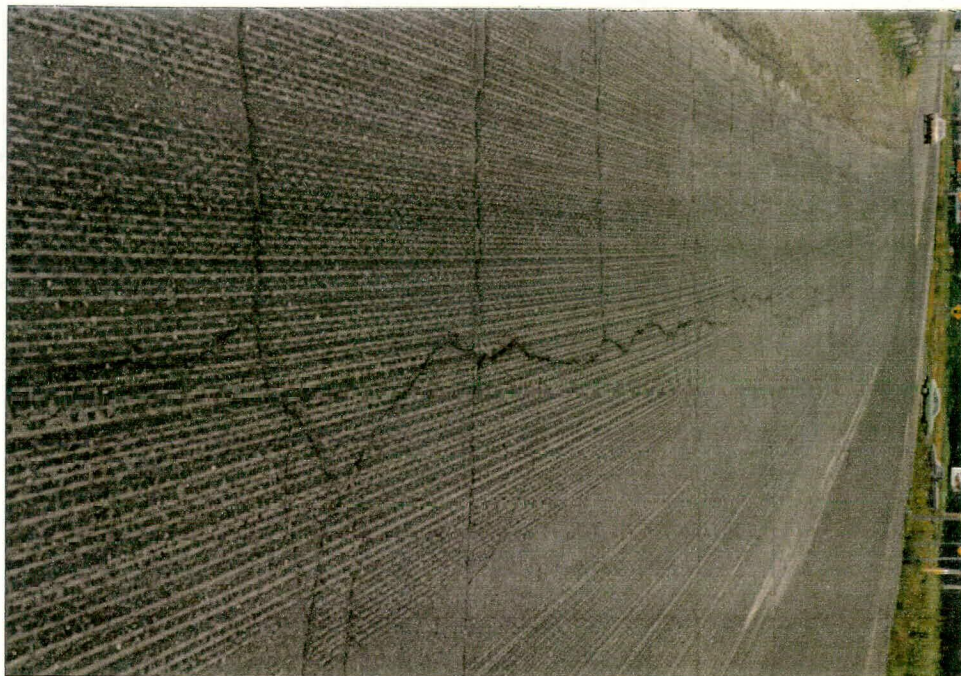
TABLEAU 6 Classification des enrobés drainants

Nature du liant	Granularité (1) Discontinuité (2)	Teneur en liant	Passant à 2 mm	% en fines
bitume pur	0/10 ou 0/10 D 2/6 ou 0/14 D 2/10 ou 0/14 D 4/10	4,2 à 4,8 %	13 à 15 %	4 à 5 %
bitume pur avec ajout de fibres minérales (3) - d'amiante (1,5 %) - de fibre de roche (0,3 à 0,5 %)	0/14 D 2/6 0/10 ou 0/14 discontinu	6 % 5 à 5,5 %	13 à 15 %	9 % 5 %
bitume polymère (SBS ou EVA)	0/10 ou 0/14 faiblement ou fortement discontinu	4,5 % à 5 %	de 10 % à 18 %	3,5 à 5 %
bitume caoutchouc	souvent 0/10 D 2/6	6,3 % environ	11 % environ	3,5 à 4 %

(1) Une planche expérimentale en enrobé drainant 0/6 a été réalisée sur le chantier expérimental de l'A63.

(2) D x/y : discontinuité dans la courbe granulométrique entre x et y mm.

(3) A signaler aussi l'emploi de fibres organiques, à titre expérimental.



PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
1	A-20 Ste-Anne- du-Sault	Etat de la surface et le patron de la fissuration après un planage partiel (dans les 2 voies seulement) d'environ 25 mm.
2	A-20 Ste-Anne- du-Sault	Application du liant d'accrochage avant la pose. Notez l'arrachement du liant par les camions.
3	Rte 132 St-Nicolas	Pose d'enrobé drainant. Remarquez la non-uniformité du liant d'accrochage.



4	5
6	

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

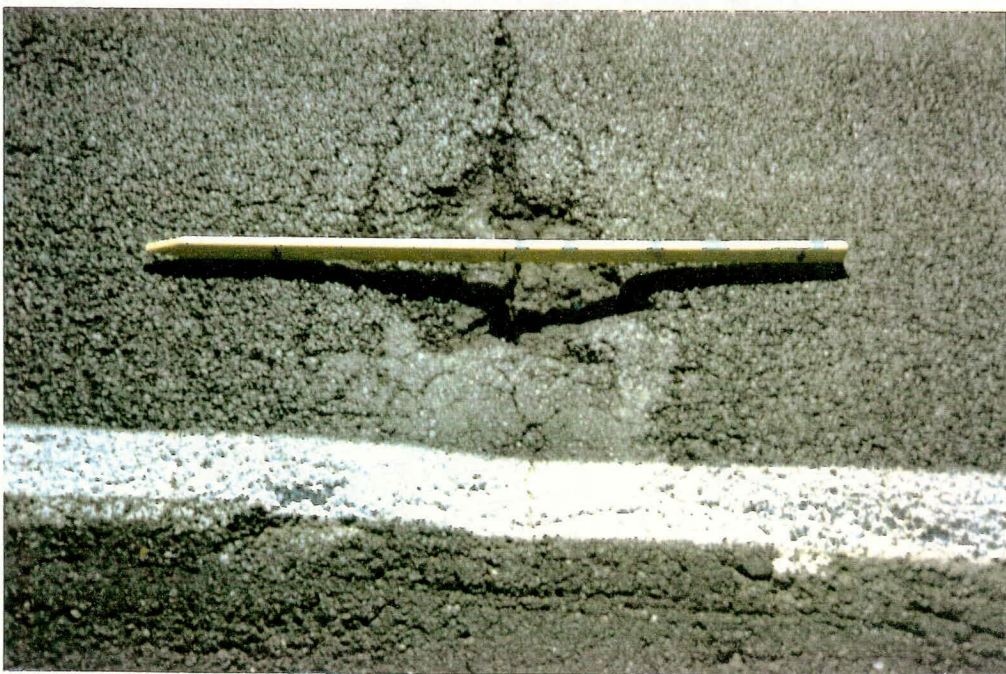
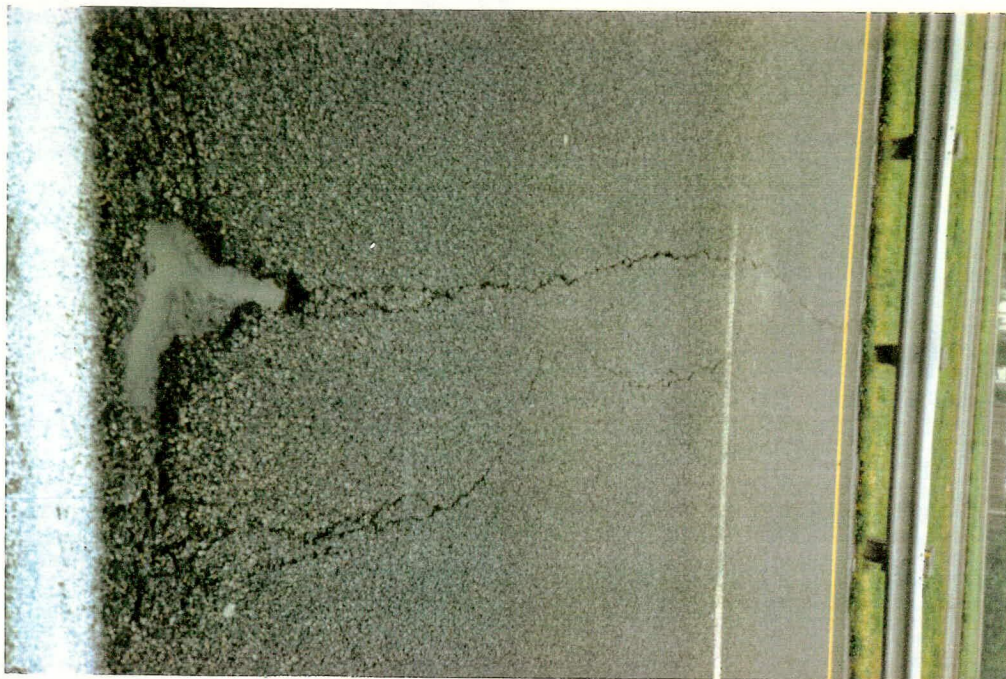
<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
4	A-20 Ste-Anne -du-Sault	Macrotexture forte ($H_s = 1,0$ à $1,5$ mm). Antidérapante très satisfaisante (CFT= 70 à 80) sur enrobé drainant neuf (1985).
5	A-20 Ste-Anne- du-Sault	Evolution de la texture dans les ornières après 6 ans de service.
6	A-20 Laurier- Station	Démontre la texture satisfaisante après 2 ans de service.



7	8
9	

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

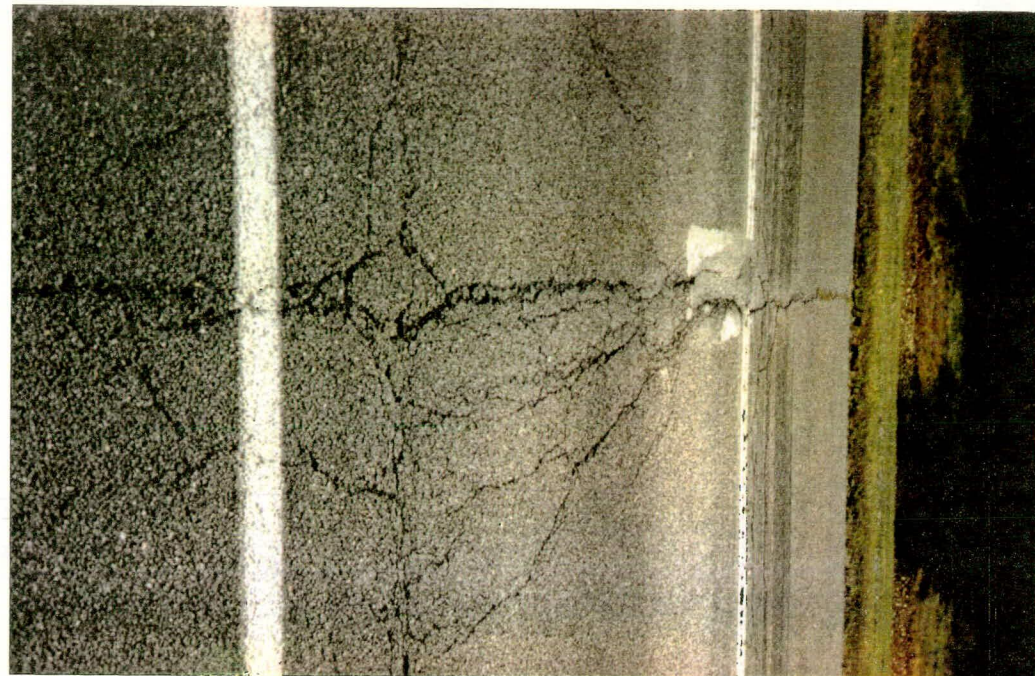
<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
7	A-20 St-Lambert	Aspect luisant de la surface d'un enrobé classique comparé à l'aspect d'un enrobé drainant en arrière-plan.
8	A-20 St-Lambert	Trace d'eau dans la voie rapide après le passage de SCRIM (Q= 0,5 lit/sec) sur un enrobé conventionnel.
9	A-20 St-Lambert	Démontre la disparition quasi instantanée de l'eau déversée par le SCRIM sur un enrobé drainant.



10	11
12	

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

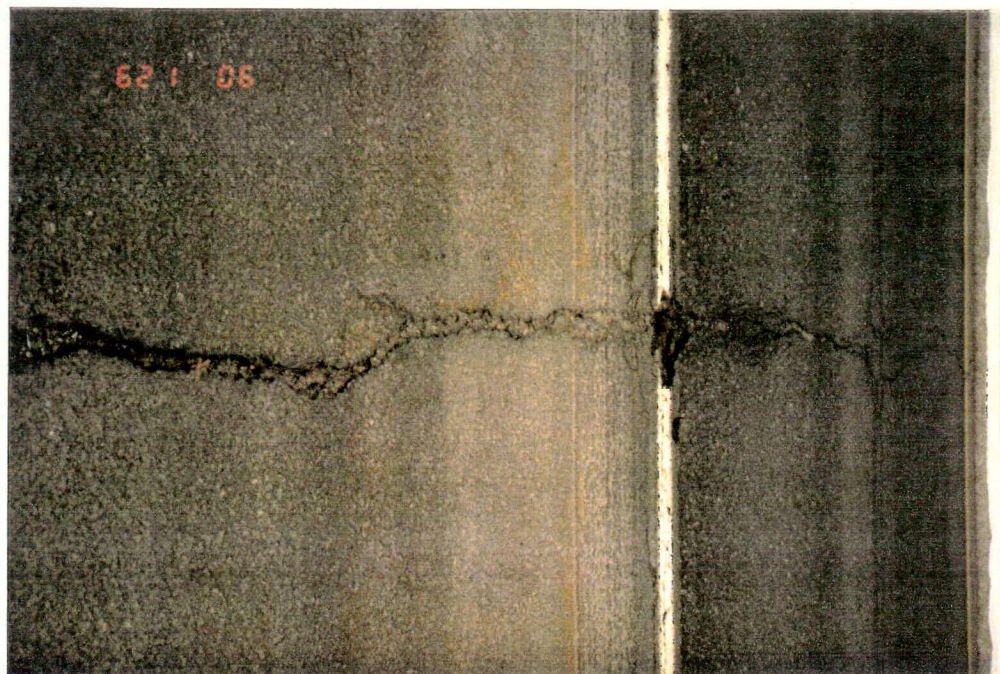
<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
10	A-40 Repentigny	Arrachement massif des lèvres de fissure, causé par le trafic en raison de la déficience structurale de la plate-forme et en absence d'un traitement adéquat.
11	A-20 St-Louis-de-Blandford	Idem à la photo #10.
12	A-20 Laurier-Station	Idem aux photos #10 et 11.



13 14
15

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
13	A-20 Lachine Dir. Ouest	Cisaillement d'enrobé drainant en présence de dalles de B.C..
14	A-20 Ste-Anne- du-Sault Dir. Est	Ramification d'une fissure trans- versale causée par la fatigue et instabilité de la plate-forme.
15	A-20 Laurier-Station Dir. Ouest	Idem à la photo #14.



16	17
18	

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
16	A-20 Ste-Anne- du-Sault Dir. Est	Réflexion de fissure transversale en absence de scellant et d'une chape d'étanchéité (retardateur de réflexion).
17	A-20 Ste-Anne- du-Sault Dir. Est	Idem à la photo #16; notez la ramification de fissure.
18	A-20 Laurier-Station Dir. Ouest	Réflexion de fissures polygonales en présence de dalles de béton.

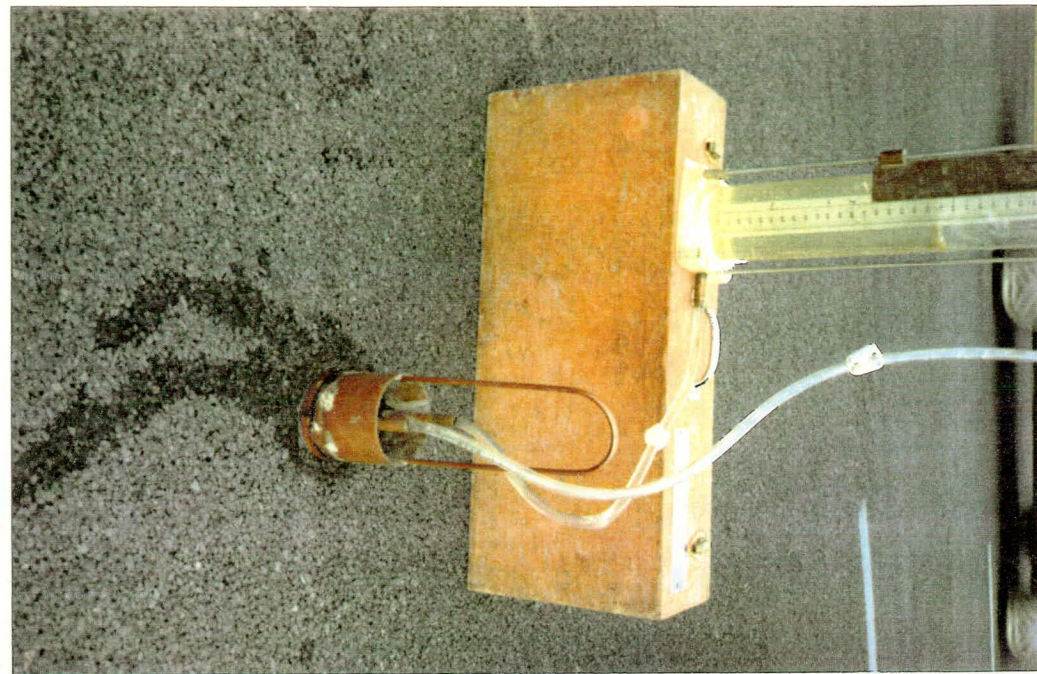
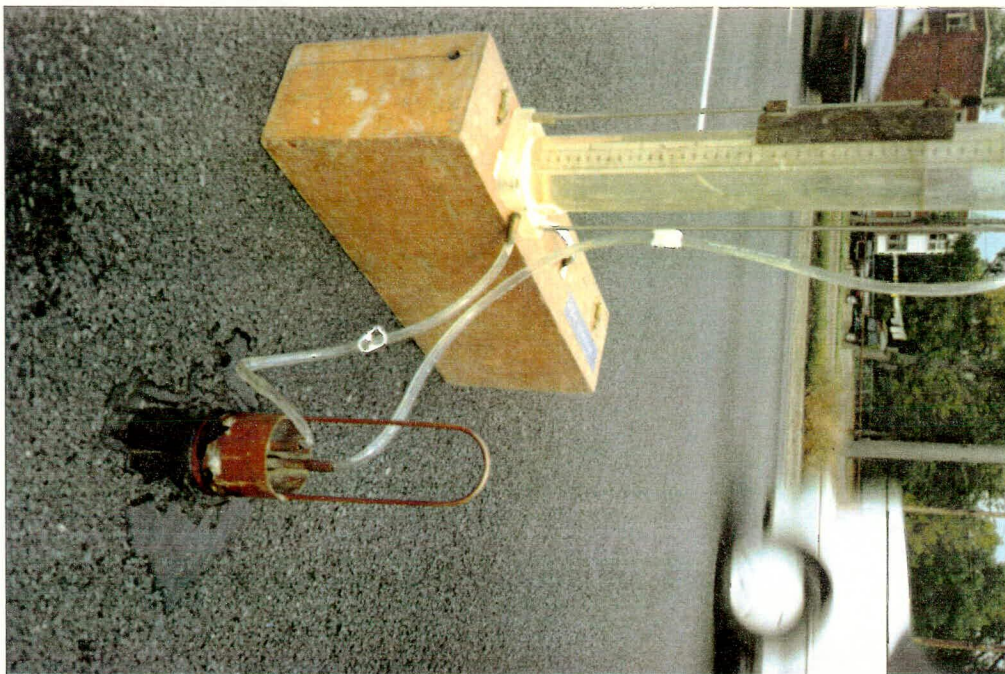


19 20
21

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
19	A-20 St-Lambert	Rapiéçage inapproprié d'enrobé drainant avec un enrobé conventionnel.
20	A-20 Laurier-Station	Idem à la photo #19.
21	A-20 St-Louis-de-Blandford	Idem aux photos #19 et 20.

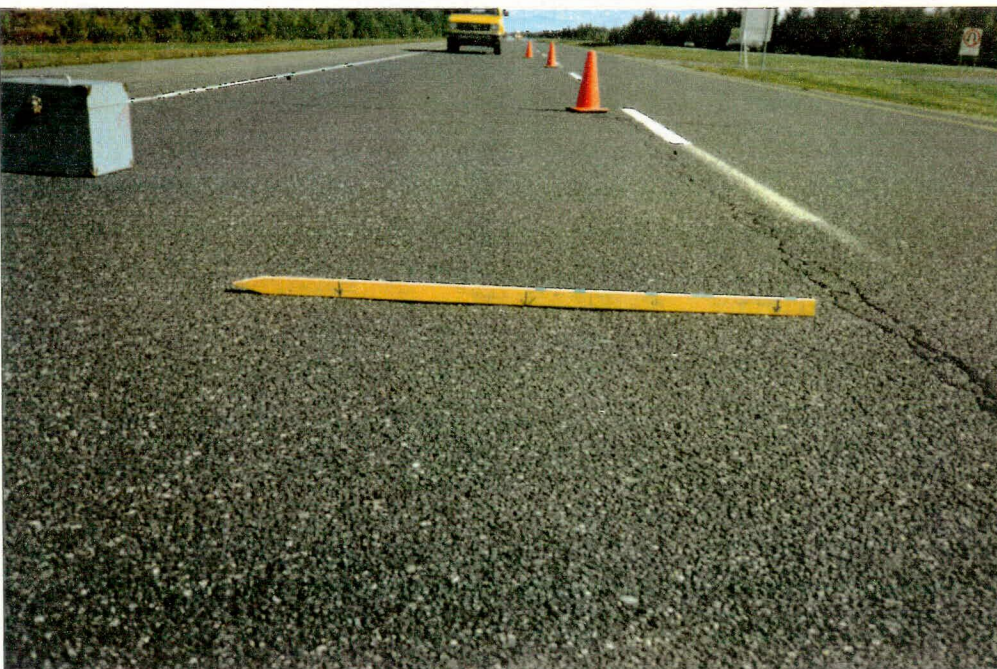
N.B.: Le type d'enrobé pour rapiéçage des enrobés drainants est un autre problème à solutionner.



22 23
24

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
22-23 St-Lambert Dir. Ouest	A-20	Mesure du débit et la vitesse de percolation d'eau par le perméamètre Michel Côté.
24	A-20 St-Louis-de-Blandford	Démontre l'implantation du perméamètre sur la chaussée et son étanchéisation.



25 26
27

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
25-26	A-20 Ste-Anne-du-Sault	Mesure en place du pourcentage de vide et ses variations sur le profil transversal, par balayage au rayon Gamma.
27	A-20 St-Louis-de-Blandford	Présence d'ornièrre double après 4 ans de service (6 mm).

Noter le nouveau nucléodensimètre 4640-B conçu pour la densimétrie des couches minces.



28	29
30	

PLAN D'ACTION DU M.T.Q.
A LA PROBLEMATIQUE DES ENROBES
DRAINANTS AU QUEBEC

<u>Photo no</u>	<u>Route</u>	<u>Description</u>
28	A-20 Ste-Anne- du-Sault Dir. Ouest	Obturation des textures de surface par le ressuage généralisé dans les traces de roues causé par le transport lourd.
29	A-20 Ste-Anne- du-Sault Dir. Ouest	La disparition des textures de surface par la remontée du liant d'accrochage ou par l'arrachement massif de granulats causé par le trafic.
30	A-20 St-Louis-de- Blandford, Dir. Ouest	Ornière multiple à faible rayon de courbure dans la voie de roulement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) I.R.B., 1990 - Parous Asphalt Pavements: An International Perspective - Pavement Design, Management and Performance - T.R.R., no: 1265.
- 2) Pipien, G. - Bar, P., 1990 - Chaussées poreuses de forte épaisseur comme moyen de réduction du bruit - International tire road noise conference, Gothenburg (SWEDEN).
- 3) Bar, P., 1991 - Les chaussées poreuses utilisées comme moyen de réduire le bruit de la circulation des véhicules routiers - CETUR, France.
- 4) Vivier, M., 1991 - Accroplast, Accrophone (enrobés drainants) l'expérience de l'entreprise Jean Lefebvre, France.
- 5) Paccoud, G., 1987 - Expériences d'enrobés drainants sur autoroutes concédées - SAPN, France.
- 6) De Clermont, L.R. - Ferraud, 1988 - Enrobés drainants - SETRA/CSTR, France.
- 7) Saindon, A., 1990 - Advantages of asphalt rubber binder for porous asphalt concrete - T.R.R., no: 1265.
- 8) Shuler, S. - Hanson, D.I., 1990 - Improving durability of open-graded friction courses - T.R.R., no: 1259.
- 9) Nard, C., 1989 - Le chantier expérimental d'enrobés drainants de A-63 - Routes et aérodromes, no: 667, France.
- 10) Abadie, R. & all., 1988 - Dix ans d'enrobés drainants "administration" dans l'ouest - Routes et aérodromes, no: 656, France.
- 11) Bréchelier, C. - Poirier, J.-C., 1989 - Chantier de planches expérimentales d'enrobés drainants RN 76 dans le Cher - Routes et aérodromes, no: 667, France.
- 12) Fauveau, B., 1989 - Trois grands chantiers d'enrobés drainants Draincoflex - Routes et aérodromes, no: 665, France.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (SUITE)

- 13) Spillemaecker, P.-M., 1988 - Étude des propriétés des enrobés drainants - Routes et aérodromes, no: 654, France.
- 14) Simoncelli, J.P., 1976 - Les enrobés drainants à usage routier, intérêts et limites du procédé - Routes et aérodromes, no: 522, France.
- 15) Beaumont, J., 1990 - Efficacité acoustique des enrobés drainants; la méthode franco-allemande de mesure de bruit de roulement - Routes et aérodromes, no: 677, France.
- 16) Amiri, A., 1987 - Glissance de la couche d'usure (drainante) expérimentale au bitume additionné de polymères - MTQ, Service des sols et chaussées, no/réf.: 0020-05-060(22)85.
- 17) Roux, G., 1985 - Expérience de couche d'usure mince (drainante) au bitume additionné de polymère - MTQ, D.G.O., Service de la conservation des chaussées.
- 18) Shulet, T.S. & all., 1985 - Polymer - modified asphalt properties related to asphalt concrete performance - ASTM - STP 941.
- 19) Beaumont, J., 1991 - Bilan et perspectives de la recherche acoustique sur les chaussées poreuses en France - Conférence sur les chaussées peu bruyantes, MTL.
- 20) Brown, M., 1991 - Comportement hivernal de l'enrobé drainant, compte rendu de réunion - Service des opérations d'entretien, D.G.O., MTQ.
- 21) Verschave, A. & all., 1981 - Enrobés au liant bitume SBS - Routes et aérodromes no: 579, France.
- 22) Livet, J. - Les enrobés drainants et la modification du régime thermohydrique de la surface des chaussées - LRPC de Naucy, France.
- 23) Faure, M., 1985 - Enrobés drainants, note d'information no: 10 - Laboratoire régional de Clermont Ferraut, France.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (SUITE)

- 24) Bouton, O. - Côté, D. - Trudelle, M., 1991 - Détermination au champ de la conductivité hydraulique saturée à l'aide de l'infiltromètre à charge constante de côté: théorie et approximations mathématiques. Canadian Journal of Soil Science.
- 25) De Blois, L.R./SETRA-CSTR, 1991 - Enrobés drainants - Le point en 1991 - Note d'information no: 70, France.
- 26) Amiri, A. & all., 1990 - Nouveaux mélanges bitumineux, Bilan du comportement structural - Direction des sols et matériaux, MTQ.
- 27) Amiri, A., 1990 - Compte rendu mission technique en France - Direction des sols et matériaux, MTQ.
- 28) Amiri, A. - Verret, D., 1991 - Avis technique concernant la politique du MTQ pour le scellement de fissures - Direction des sols et matériaux, MTQ.
- 29) Hiersche, E.-U. - Freund, H.-J., 1991 - Technology and in-situ trial of a noise absorbing pavement structure - 7th International Conference On Asphalt Pavements.
- 30) Le Marc M. et all., 1991 - L'enrobé drainant, une réalité - Routes et Aérodrômes, no 690, novembre 1991 - France.
- 31) Nancy, L.R./SETRA-CSTR, 1991 - Le comportement hivernal particulier de certaines surfaces routières - Note d'information - chaussées dépendances no 67 - France.
- 32) SETRA-CSTR/CETE, 1989 - Je sale moins, je sale mieux - Note d'information - chaussées dépendances no 53 - France.
- 33) CETE DE L'EST, 1989 - Les fondants chimiques: choisir un sel de déneigement - Note d'information - chaussées dépendances no 50 - France.

AUTRES RÉFÉRENCES

- Directive sur l'organisation et l'exécution du service hivernal (4 septembre 1978).
- Utilisation optimale des fondants chimiques en viabilité hivernale (C.R. des journées d'information de Grenoble - 23 et 24 avril 1980).
- Fichier support des réflexions sur le service hivernal (1984).
- Guide pour les actions de viabilité hivernale (juillet 1987).
- Note d'information SETRA: utilisation de la bouillie de sel en viabilité hivernale.

ANNEXE A

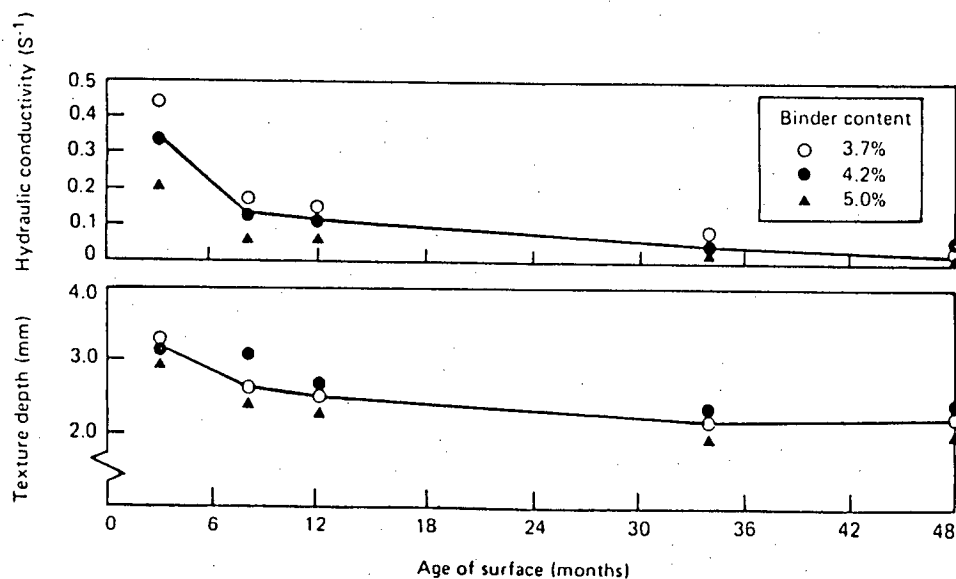


FIGURE 2 Variation of hydraulic conductivity and texture depth with age of the pervious surface.

Variation de la conductivité hydraulique et de la texture de surface avec l'âge.

TABLE 3 DETAILS OF THE PERVIOUS SURFACES PRIOR TO TRAFFICKING

Site No.	Binder Type	Binder Content Target (%)	Voids (%)	Texture Depth (mm)	Relative Hydraulic Conductivity
2	100-pen bitumen (4.5% limestone filler) ^a	3.7	22.4	5.84	0.72
3	Shell bitumen + epoxy resin ^a	3.7	25.4	3.11	0.5
4	100-pen bitumen Inorphil fibers (9% of binder) ^a	5.0	20.2	3.57	0.24
5	100-pen bitumen + 5% 18-150 EVA ^b	4.2	21.0	3.25	0.33
6	100-pen bitumen + 5% 18-150 EVA ^b	3.7	19.2	3.14	0.32
8	200-pen bitumen + 5% 18-150 EVA ^b	3.7	21.2	2.63	0.24
9	100-pen bitumen + ESSO modified EVA ^b	4.2	18.1	2.49	0.25
11	200-pen bitumen + SBS ^c	4.2	18.9	3.65	0.41
12	100-pen bitumen + synthetic rubber	5.0	17.1	3.42	0.19
14	100-pen bitumen + Pulvatex natural rubber (8.3% of binder)	5.0	16.8	2.67	0.17
15	100-pen bitumen	3.7	21.3	2.89	0.42

^aNo hydrated lime.

^bEthylene vinyl acetate, 18% vinyl acetate content, 150 melt flow index.

^cStyrene-butadiene-styrene block copolymer.

Les valeurs de quelques principaux paramètres des divers types d'enrobés drainants avant la mise en service.

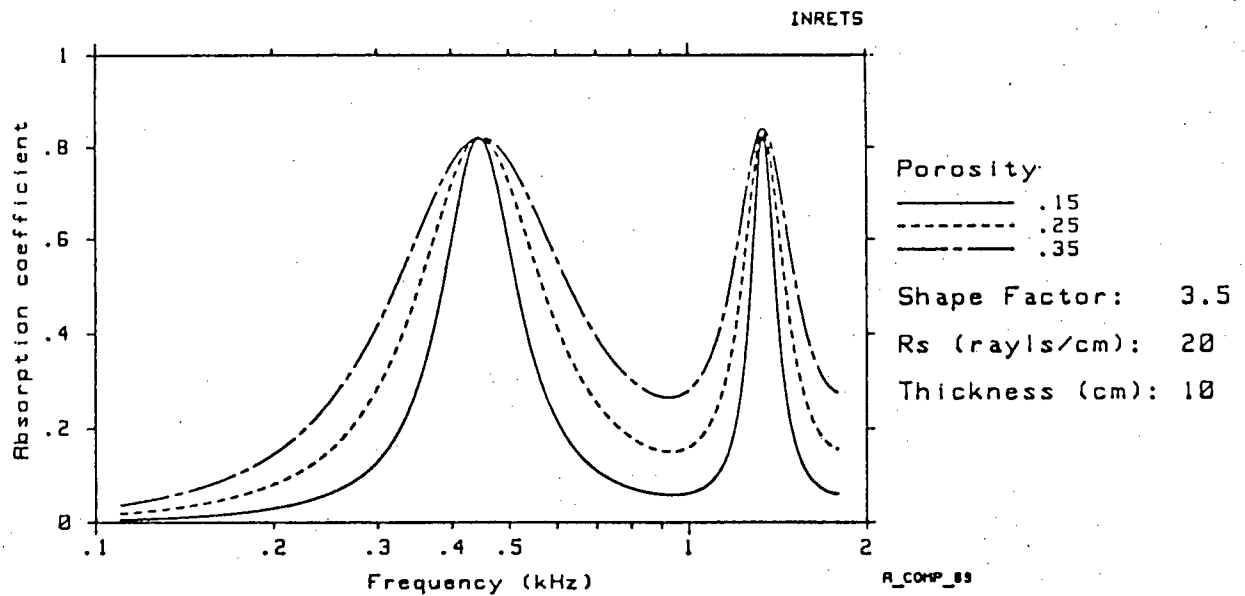


FIGURE 3 Influence of porosity on absorption with $R_T/2pc \approx 2.4$, that is, not too large.

Influence de la porosité sur le coefficient d'absorption de bruit du trafic.

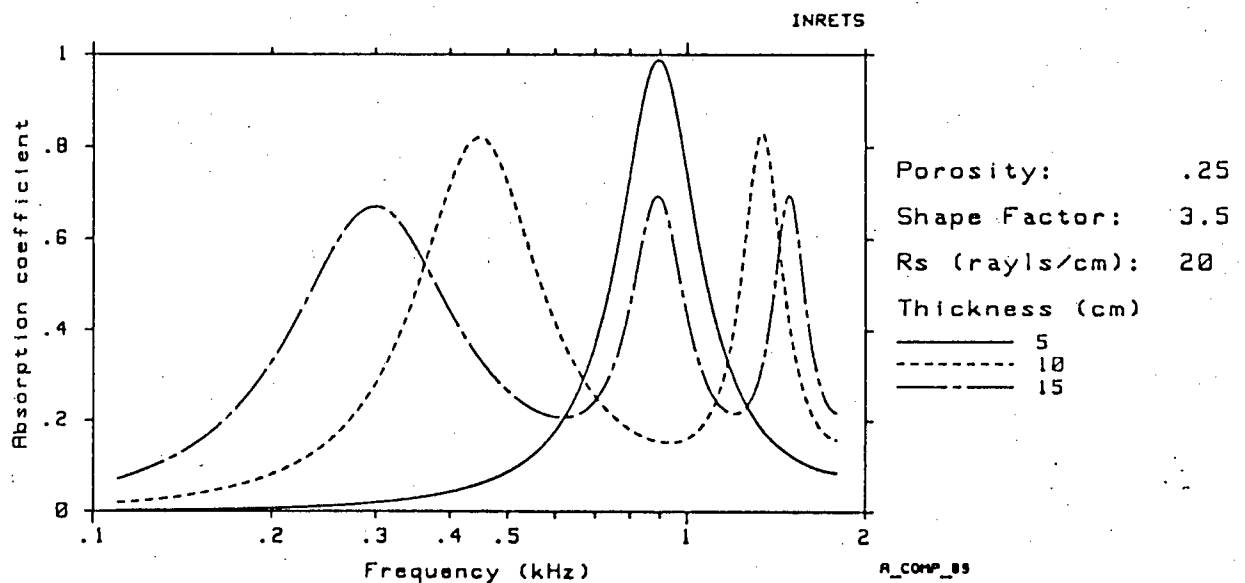


FIGURE 4 Influence of thickness on absorption.

Influence de l'épaisseur de l'enrobé sur le coefficient d'absorption de bruit du trafic.

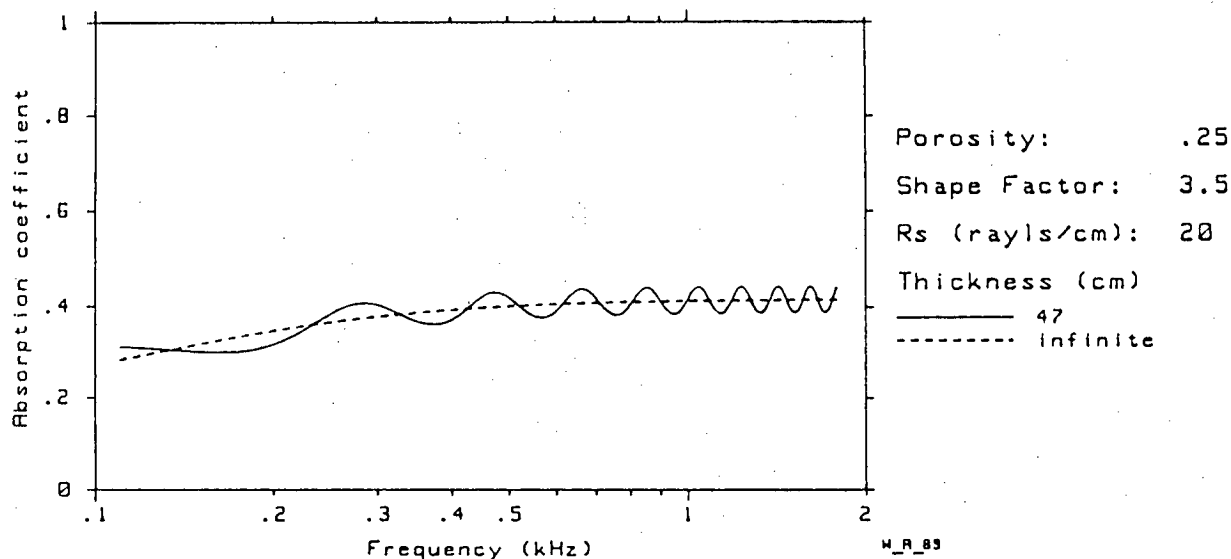


FIGURE 5 "Superthick" layer (47 cm) compared with an infinitely thick layer; absorption coefficient.

Comparaison de l'influence d'une couche d'enrobé drainant de forte épaisseur et d'une couche infiniment épaisse sur le coefficient d'absorption du bruit.

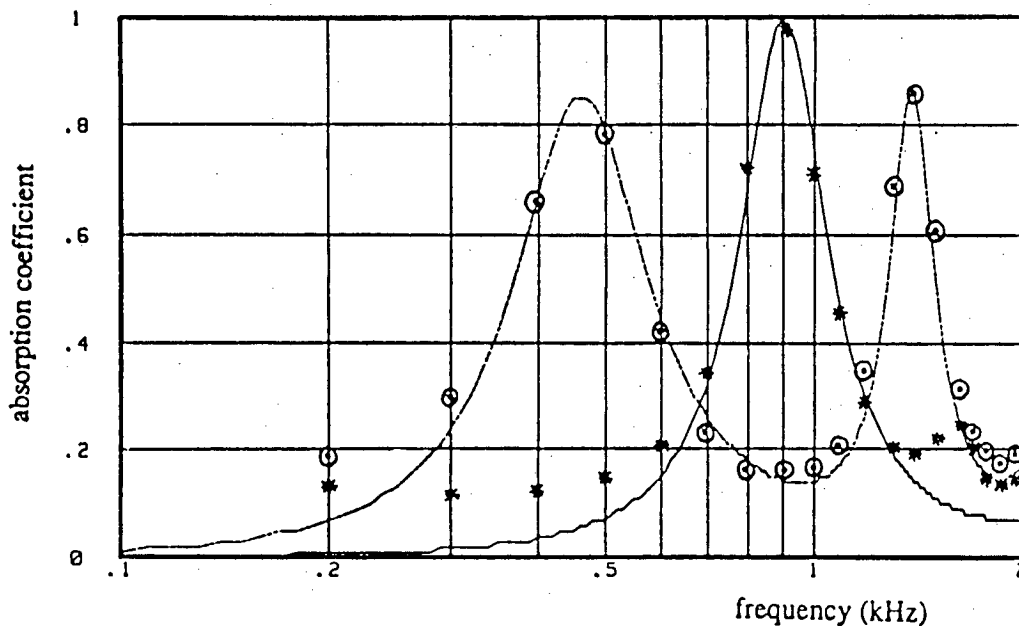


FIGURE 6 Influence of thickness. * —, $e = 5$ cm; $\odot$ ----, $e = 10$ cm. $R_s = 10$ rays/cm, $\Omega = 0.25$, $K = 3.5$.

Influence de différentes épaisseurs d'enrobé drainant sur le coefficient d'absorption de bruit du trafic.

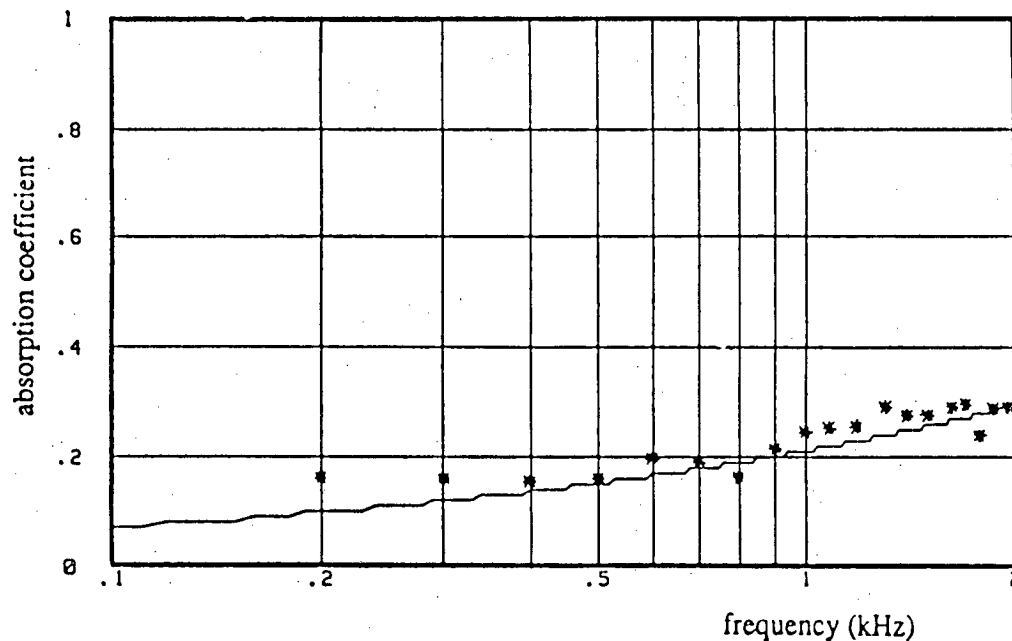


FIGURE 7 Superthickness effect. $e = 15$ cm, $R_s = 440$ rays/cm, $\Omega = 0.27$, $K = 2$.

Effet d'une couche d'enrobé drainant de forte épaisseur sur le coefficient d'absorption de bruit du trafic.

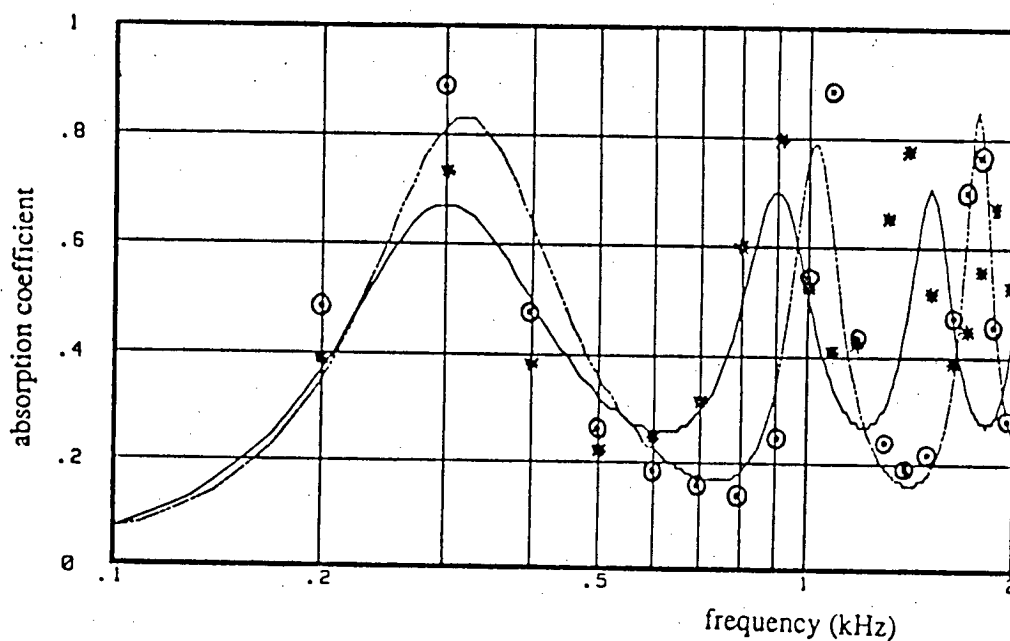


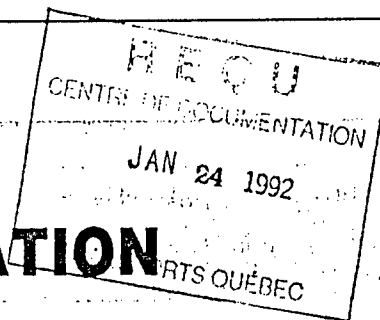
FIGURE 8 Double layer compared with single layer. * —, single layer [1/10]; O ----, double layer [0/10, 0/40]. Same overall thickness: 16.5 cm.

Comparaison de l'effet d'une double couche d'enrobé drainant et d'une couche unique à forte épaisseur sur le coefficient d'absorption de bruit du trafic.

ANNEXE B1



NOTE D'INFORMATION



CHAUSSÉES
DÉPENDANCES

67

Auteur: LR Nancy / SETRA-CSTR

Editeur: SETRA

LE COMPORTEMENT HIVERNAL PARTICULIER DE CERTAINES SURFACES ROUTIÈRES

Avril 1991

La présente note complète, en ce qui concerne la viabilité hivernale, la note d'information n° 40 sur les enrobés drainants. De plus, elle élargit le sujet traité à l'ensemble des nouveaux types de revêtements, que ce soit les bétons bitumineux très minces ou certains enduits macro-rugueux. Après avoir rappelé les caractéristiques propres de ces nouveaux revêtements, sont décrites les particularités de leur comportement hivernal et les recommandations qui en découlent en service hivernal.

Depuis environ cinq ans, on assiste en France au développement rapide de nouveaux types de revêtements de surface : bétons bitumineux très minces et enrobés drainants, et ceci, tant sur routes que sur autoroutes. De nouveaux enduits macro-rugueux, et bétons bitumineux ultra-minces, font également leur apparition. Tous ces revêtements se caractérisent par la recherche d'un niveau de service élevé. De plus, la possibilité qu'ils offrent d'améliorer les caractéristiques de surface indépendamment des problèmes de structures, les rend économiquement attractifs. Un nombre de plus en plus grand de gestionnaires routiers se trouve donc avoir à gérer une ou plusieurs sections ainsi revêtues.

Le réseau technique SETRA - LCPC - CETE suit un certain nombre de chantiers expérimentaux (en particulier enrobés drainants et BBTM) et développe ainsi la connaissance de ces nouveaux revêtements dans différents domaines comme l'adhérence, le bruit, la viabilité hivernale, ... C'est ce dernier point que nous allons développer.

Le comportement physique et thermique des nouveaux revêtements présente quelques spécificités qu'il est important de connaître pour bien maîtriser le service hivernal. Cependant, une prise en compte de ces particularités, par un mode d'intervention adapté, permet d'obtenir un niveau de service tout à fait satisfaisant, comme en témoigne l'utilisation maintenant courante de ces revêtements dans des régions à

climat rigoureux (Nord et Est de la France, Massif Central), mais aussi en Autriche, Suisse, Canada...

LES ECHANGES THERMIQUES A LA SURFACE D'UNE CHAUSSEE

La surface de roulement d'une chaussée se situe à l'interface entre deux milieux dont le comportement est totalement différent : l'atmosphère et la structure de chaussée qui échangent en permanence de l'énergie de façon diverse par leur surface de contact.

Toutes choses égales par ailleurs, le régime thermique et hydrique de la surface d'une chaussée dépend donc des caractéristiques des matériaux utilisés.

L'introduction récente de techniques nouvelles comme les enrobés drainants (E.D.), les bétons bitumineux très minces (BBTM), voire certains enduits macro-rugueux, a montré que le régime thermique et hydrique pouvait, dans certains cas, être la cause de comportements spécifiques de viabilité hivernale, telle par exemple l'apparition plus précoce de verglas.

Les échanges thermiques à la surface d'une chaussée dépendent entre autres de la **quantité d'eau retenue par la macro-texture du revêtement**.

A la suite d'une précipitation (sous forme liquide) et

après drainage, celle-ci peut être plus ou moins importante :

BB dense	BBTM	Enrobés drainants
de 200 à 300 g/m ²	de 500 à 800 g/m ² (cas extrême) (1)	de 300 g/m ² environ à quelques kg/m ² (2)

(1) La porosité non communicante des BBTM retient plus d'eau qu'un BB dense.

(2) Le drainage naturel d'un enrobé drainant dans l'épaisseur peut demander de 1 à 2 heures (celui d'un revêtement classique nécessite 5 ou 10 min.). Les valeurs relevées correspondent à l'évolution pendant ce temps, de la quantité d'eau piégée. 300 g/m² correspond au mouillage de la porosité interne du revêtement et à l'interception du ruissellement par la base de l'enrobé drainant.

La vitesse de séchage d'un revêtement dépend étroitement des quantités d'eau initiales interceptées, mais aussi de paramètres extérieurs comme la température, l'hygrométrie de l'air, le trafic, ...

D'observations faites *in situ*, en période de viabilité hivernale, par trafic important, il ressort que l'enrobé drainant met souvent plus longtemps à sécher. Notons toutefois que, dans certains cas, ce phénomène peut être inversé.

Examinons brièvement les spécificités de ces revêtements selon les divers types d'échanges d'énergie (convection, conduction, rayonnement, "précipitations et changements d'état").

► La conductivité thermique :

La conductivité thermique de la couche de roulement d'une chaussée dépend étroitement de la nature des granulats, de sa densité, de sa compacité, de sa teneur en eau.

Quelques valeurs de conductivité thermique (en W/mK) :

Matériaux de chaussée	et pour mémoire
BB dense : 2,0 ; GL : 1,4 GB : 1,9 ; Béton : 1,7	Air : 0,024 ; Eau : 0,6 Glacé : 2,2

Exemple

Pour des enrobés drainants de porosité comprise entre 18 et 24 %, des études ont montré que la conductivité thermique peut varier entre 40 et 70 % de celle d'un béton bitumineux dense.

Le cas des enrobés drainants :

L'E.D. est poreux par définition ; lorsque ce matériau est sec, sa conductivité thermique est bien plus faible que celle d'un BB dense, ce qui a pour conséquence de modifier le régime thermo-hydrigue de sa surface. Un fort rayonnement nocturne provoque un abaissement plus important et plus rapide de sa température de surface.

Lorsque l'E.D. est humide, sa conductivité thermique croît en fonction de la quantité d'eau retenue dans sa porosité, ce qui réduit l'amplitude des températures de surface susceptibles d'être observées.

Si l'E.D. est saturé en glace, celui-ci constitue alors un stock d'énergie (chaleur latente) important qui retarde le réchauffement de la surface.

Le cas des BBTM :

La particularité de la plupart des BBTM est de posséder une porosité de surface (non communicante) qui, en l'absence d'humidité, réduit sensiblement la conductivité thermique du revêtement du fait de l'air emprisonné.

La valeur de la conductivité thermique de ces revêtements secs est intermédiaire entre celles d'un E.D. et d'un BB 0/10.

Lorsque ces enrobés sont humides, la porosité de surface se sature d'eau et modifie favorablement leur conductivité thermique. Le gel de l'eau contenue dans les pores a un effet voisin de celui constaté sur un E.D.

Le cas des enduits macro-rugueux :

La conductivité thermique de ces revêtements ne semble pas avoir d'influence particulière.

► Les échanges thermiques par convection :

La quantité d'énergie échangée dépend étroitement de la surface spécifique en contact avec l'atmosphère et croît avec la macro-rugosité.

Les trois types de revêtements étudiés peuvent présenter de ce fait un équilibre thermique plus rapide entre leur température de surface et l'air ambiant. Ceci se traduit, en période hivernale, par une température de surface inférieure à celle d'un BB dense.

Pour les enrobés drainants, la mise en pression / dépression de l'air par les pneumatiques accentue ces échanges thermiques par convection.

► Les échanges thermiques par rayonnements :

Les facteurs importants dans ce type d'échange sont la surface spécifique et le facteur d'émissivité du revêtement. Un revêtement récent est plus sensible au refroidissement par rayonnement car il est plus noir, et par là plus sensible au dépôt de givre en période hivernale.

LA VIABILITE HIVERNALE

Les spécificités de viabilité hivernale de ces revêtements sont principalement dues :

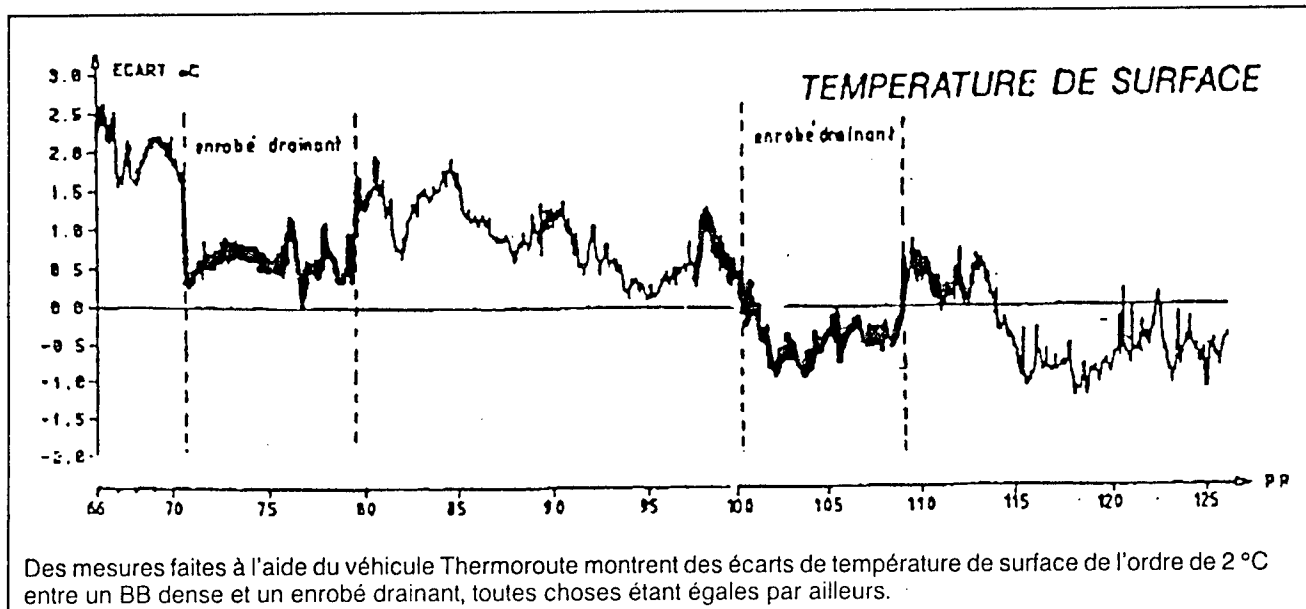
- au cycle particulier de l'eau sur et dans ces couches de roulement ; ce cycle est par ailleurs

modifié par l'emploi de fondants, lesquels sont hygroscopiques par nature,

- à la sensibilité thermique accrue de leur surface, en particulier à l'abaissement de température par rayonnement,

une faible longueur lorsque le niveau de service et la surveillance du réseau ne sont pas continus.

Au-delà de cette distance de 1 000 à 1 500 m, la zone d'enrobés drainants doit pouvoir être considérée comme une section homogène de traitement hivernal.



- aux mauvaises conditions de maintien dans le temps des fondants à leur surface.

L'expérience acquise à ce jour se résume ainsi :

► Dispositions constructives favorables à un meilleur service hivernal :

Tous ces revêtements sont d'autant plus valorisés et économiquement attractifs qu'ils sont implantés sur des itinéraires à haut niveau de service. Afin de faciliter leur gestion hivernale et de minimiser les contraintes induites de leurs spécificités de comportement, il est préférable que leur linéaire corresponde à une entité de surveillance et d'intervention.

En dessous de 1 000 à 1 500 m de long, il est peu efficace de réaliser un enrobé drainant ; sur de si courtes zones, les avantages que l'on peut apporter à l'usager sont fortement limités du fait de la création d'une discontinuité d'itinéraire particulièrement évidente par temps de pluie. En ce qui concerne la viabilité hivernale, on peut considérer que sur un réseau de niveau S1 ou assimilé, régulièrement surveillé et traité, et suffisamment circulé, il ne doit pas exister de graves problèmes de viabilité hivernale. Le trafic maintient en effet une protection généralement suffisante par entraînement des fondants chimiques de la section située en aval.

Ces zones doivent simplement être suivies et gérées comme des points singuliers froids (zones critiques). Elles peuvent être traitées préventivement si besoin est, ou nécessiter une surveillance accrue.

Il est dangereux de mettre un enrobé drainant sur

Il faut tenir compte de son comportement spécifique et des problèmes de transition pouvant intervenir à la jonction d'une section revêtue d'une couche de roulement plus traditionnelle. Ces problèmes sont dus en particulier :

- à l'absence d'entraînement des fondants chimiques par le trafic (ce problème se fait particulièrement sentir sur les premières centaines de mètres d'un revêtement classique faisant suite à une section en enrobés drainants),
- à la création d'une discontinuité thermo-hydrigue (de type de celle d'un ouvrage d'art) sur un itinéraire globalement homogène.

Pour tous compléments, on se reportera à la note d'information SETRA : "Les enrobés drainants" (n° 40, série Chaussées - Dépendances).

Il conviendra, cependant, d'éviter l'implantation de ces divers types de revêtements sur des itinéraires très tourmentés (nombreux changements de dévers, rampes, viaducs, traversées de forêts, ...) qui favorisent la rétention d'humidité locale en surface ou qui peuvent présenter des tendances à la résurgence.

► Adaptation des techniques hivernales à ces revêtements :

Les diverses études menées ces dernières années par le réseau technique ainsi que le suivi de chantiers expérimentaux ont permis d'améliorer les connaissances opérationnelles en ce qui concerne le suivi hivernal de ces divers types de revêtements.

La formation des personnels (de maîtrise et d'exécution) ainsi que la mise en œuvre de moyens de suivi

et de traitements adaptées sont des gages de réussite sur tous les réseaux. Ils le sont encore davantage sur ces revêtements où, en l'état actuel de nos connaissances, il convient d'apprendre à adapter nos méthodes à leurs spécificités.

A titre d'exemple, on peut citer l'arbre de décision mis au point par le réseau technique et certains services de l'Est de la France pour assurer le suivi de planches d'enrobés drainants (voir tableau n° 1).

Le tableau n° 2, pages 6 et 7, présente :

- d'une part la **sensibilité comparée des divers revêtements routiers pour les différents types de verglas et de neige,**
- d'autre part les **techniques de traitements conseillées, spécifiques à chaque type de surface routière.**

Dans la mesure du possible, on évitera, sur enrobés drainants, l'utilisation de sels à forte teneur en insolubles (certains fondants chimiques en comportent plus de 10 %) ou l'adjonction d'abrasifs (sables...) aux fondants. Ces matériaux peuvent nuire à plus ou moins long terme au caractère drainant de l'enrobé par colmatage des pores.

★ ★

En conclusion, on peut affirmer que la viabilité hivernale sur enrobés drainants ou sur certains bétons bitumineux très minces conduit à des

interventions qui peuvent être spécifiques (dosages et nombre d'interventions différents). Nous ne possédons pas à ce jour un recul suffisant (hivers trop peu nombreux et surtout très cléments) pour prétendre cerner un surcoût éventuel de la viabilité hivernale sur ces revêtements. Les chiffres parfois avancés correspondent souvent à des difficultés de viabilité hivernale généralement mal appréhendées par les services, et à des "surtraitements" de ces revêtements par méconnaissance de leurs spécificités de comportement hivernaux, voire par méfiance.

Le suivi de chantiers expérimentaux se poursuit durant l'hiver 1990-1991. Parallèlement, un certain nombre d'évolutions se dessinent :

- amélioration globale des caractéristiques des revêtements afin de minimiser l'impact de la viabilité hivernale (surface de ruissellement à la base des E.D., propriétés thermiques, etc.),
- meilleure appréhension des risques de verglas à l'aide des systèmes d'aide à la décision en matière de viabilité hivernale (capteurs routiers spécifiques, algorithmes d'analyse, prévisions météo-routières, etc.),
- amélioration des fondants et des méthodes d'épandage (granularité ; type de sel : NaCl, CaCl₂, MgCl₂ ; viscosité de la saumure, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

Notes d'information SETRA (série Chaussées - Dépendances) :

- Utilisation de la bouillie de sel en viabilité hivernale (N° 2, Mai 1984).
- Les fondants chimiques : choisir un sel de déneigement (N° 50, Juin 1989).
- Je sale moins, je sale mieux - Le pense-bête du parfait saleur (N° 53, Décembre 1989).
- Verglas, Mode d'Emploi ! (N° 64, Février 1991).
- Déneigement - Techniques de raclage et matériels (N° 66, Mars 1990).

TABLEAU 1

LEGENDE

Le nombre de croix (« * »)
indique l'importance du risque

ENROBES DRAINANTS ET VERGLAS
ARBRE DE DECISION

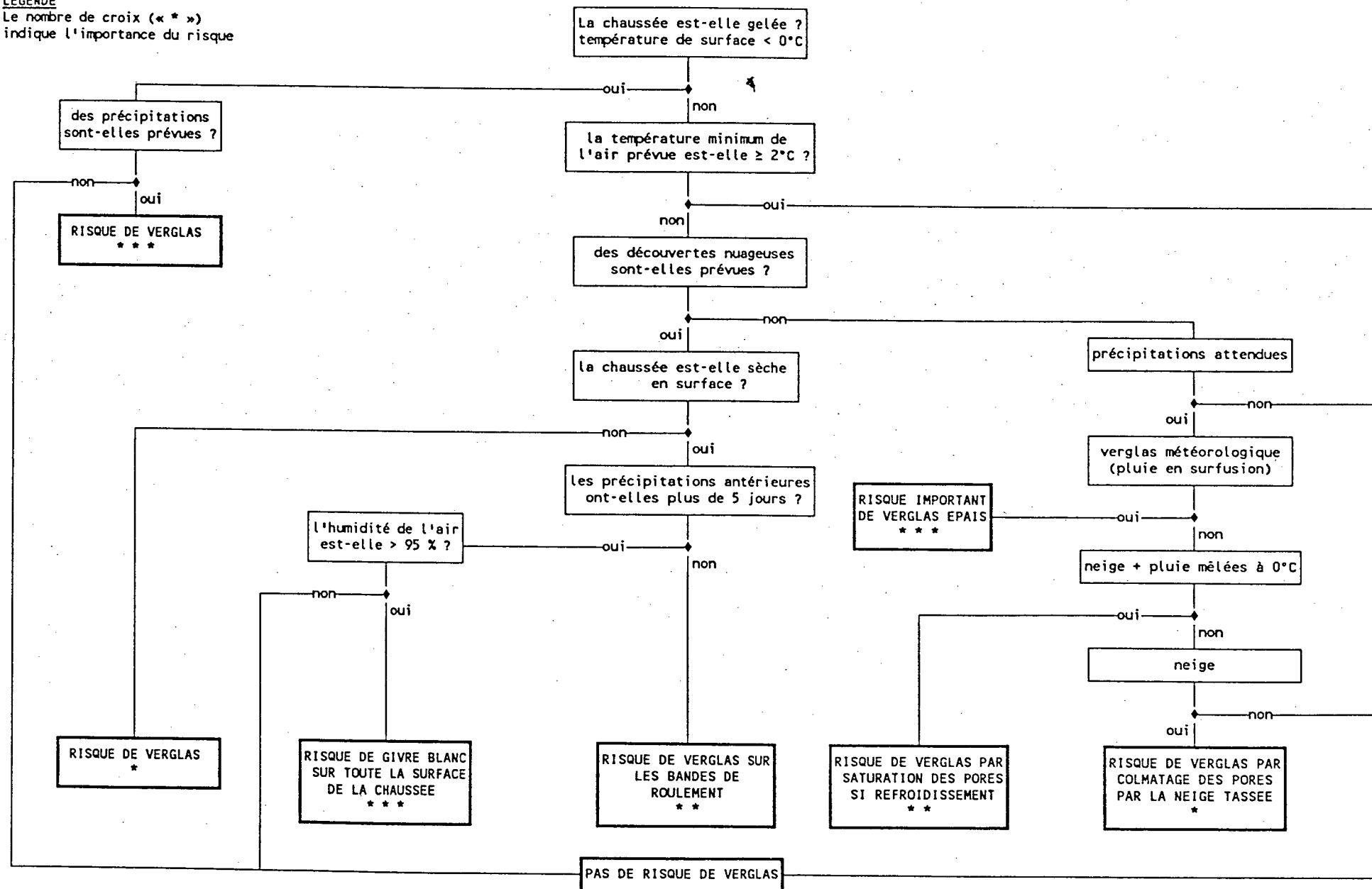


TABLEAU 2

SENSIBILITE AU PROBLEME HIVERNAL ET DIFFICULTES DE TRAITEMENT

LEGENDE

	sensibilité au problème hivernal	
difficultés de traitement	(1) sel fin (granulométrie < 1mm) (2) sel en grains (3) saumure de chlorure de sodium (4) bouillie de sel (5) traitements spéciaux (chlorure de calcium (CaCl ₂), chlorure de magnésium (MgCl ₂), "Migaine",...)	

► ► ► Echelle : +++/++/+/- (du plus au moins sensible)

► ► ► Echelle : +++/++/+/- (du plus au moins difficile)

TYPES DE PHENOMENES	GENERALITES COMMUNES à ces types de revêtements	ENROBES DRAINANTS	BETONS BITUMINEUX TRES MINCES	ENDUITS SUPERFICIELS MACRO-RUGUEUX	ENROBES DENSES BETONS BITUMINEUX 0/10
CONGELATION D'HUMIDITE PREEXISTANTE	Les quantités d'eau piégées par ces surfaces sont très différentes; le niveau de protection cryogénique pour un même traitement y est étroitement lié. On en tiendra compte dans les dosages en préventif et curatif.	(-) peu d'eau en surface (++) à la suite de précipitations récentes, si l'eau contenue dans la porosité est pompée par le trafic, il y a un risque de verglas dans les bandes de roulement.	(++) l'eau piégée dans la porosité de surface est aisément libérée par le trafic alors que ATTENTION la chaussée peut paraître sèche en surface.	(+) interception possible par le trafic de l'eau piégée dans les lacs intergranulaires.	(++)
		(+) traitement préventif (4) curatif (1 ou 2)	(++) le préventif tiendra compte de l'eau en quantité parfois importante contenue dans le revêtement. (1 ou 2) curatif (1 ou 2)	(+) préventif (2 ou 4) curatif (1, 2 ou 4)	
GIVRE	Un revêtement jeune (plus noir) est plus sensible aux abaissements radiatifs de température, donc au givrage (condensation solide). Les quantités d'eau condensée étant très faibles, les dosages seront eux-mêmes très faibles : < 10 g/m².	(++) la température de surface est plus faible que celle d'un BB dense (l'écart peut atteindre parfois 3°C) car sa conductivité thermique est plus faible.	(+) la température de surface est plus faible que celle d'un BB dense à cause de sa conductivité plus faible (porosité non communicante)	(+) le sommet des granulats est plus exposé au refroidissement et au givrage.	(-)
		(+) préventif et curatif (3 ou 4)	(+) préventif (2 ou 4) curatif (2 ou 4)	(+) prév. (3 ou 4) curatif (2 ou 4)	
PLUIE VERGLACANTE OU EN SURFUSION	En l'absence de traitement préventif, la vitesse de formation et la durée de maintien au sol de ce phénomène, dépendent en partie de la température initiale du revêtement et de sa capacité de "réchauffement géothermique". le traitement préventif est destiné à éviter l'adhésion de la glace sur le revêtement; un traitement curatif de soutien est obligatoire.	(++++) à cause de la surface plus froide et de la difficulté de maintien en surface d'une salinité suffisante.	(++++) surface froide et eau éventuellement piégée dans la porosité ouverte.	(+++)	
		(++++) préventif à effet limité car difficile à maintenir en surface (4) curatif très délicat car la saumure produite s'échappe par la porosité (1 ou 5).	(+++) préventif (1,2 ou 4) curatif (1,2 ou 5)	(+++) préventif (2 ou 4) curatif (1, 2 ou 5)	(+++) préventif (3 ou 4) curatif (1, 2 ou 5)

PLUIE SUR SOL GELE	La durée du verglas est proportionnelle à la température négative de la chaussée mais inversement proportionnelle à la quantité d'eau précipitée et à sa température. Un traitement préventif est généralement suffisant pour neutraliser les risques de verglas.	(+++) revêtement plus sensible dans un premier temps, mais dont la température atteint plus vite celle des précipitations (faible inertie + fonction échangeur) ATTENTION au cas de pluie et neige mêlée à 0 °C.	(+++)	(++)
		(+++) préventif à effet limité (4) (dilution) curatif (1, 2, ou 4)	(++) préventif (2 ou 4) curatif (2)	
BROUILLARD GIVRANT	Le brouillard givrant n'affecte la surface routière que si: - il est très dense et dépose gravitairement (cas très rare) - la chaussée est plus froide que le brouillard (condensation solide) - la chaussée est salée (différence de tension de vapeur d'eau entre la saumure et l'atmosphère).	(++)		
		(++) préventif (4); en cas de salage antérieur, ne traiter que s'il y a un risque de dilution. curatif (1, 2 ou 4)		
NEIGE POUDREUSE	Plus la macrorugosité de la surface est prononcée, plus elle aura tendance à "fixer" la neige en donnant un aspect blanc à la surface. Eviter de traiter cette neige qui est froide et n'adhère pas au revêtement; l'éliminer par raclage.	(++) il y a colmatage de la porosité par le trafic et les outils de déneigement; l'équivalent en eau piégée est important.	(+)	(++)
		(++) ne pas traiter, sauf si des traitements antérieurs fixent la neige au revêtement; dans ce cas (4 ou 5) selon les valeurs de l'humidité relative et de la température de l'air.		
NEIGE HUMIDE	Cette neige est rapidement compactée par le trafic et adhère au revêtement. Elle est rapidement glissante. Eliminer la neige et traiter la pellicule restant à la surface. En l'absence de trafic, le résultat sera décevant car le malaxage de la neige fondante ne se fait pas.	(++) il y a colmatage de la porosité par le trafic et les outils de déneigement; quantité d'eau piégée très importante.	(+)	
		(++) préventif (2 ou 4) curatif (2) après déneigement; Le travail de la neige par le trafic est très réduit; il n'y a pas de projections.	(+) préventif (2 ou 4) curatif (2) après déneigement Le travail de la neige est fait par le trafic.	
NEIGE MOUILLEE (ou bouillie grise)	Cette neige est le résultat d'une précipitation de pluie et neige mêlées ou d'une neige traitée au fondant et travaillée par le trafic. Elle doit être éliminée au rabot si le trafic n'y parvient pas. Elle est glissante. L'adhésion de la glace sur le revêtement, rend obligatoire un traitement curatif de soutien.	(+) sauf colmatage par congélation de l'eau dans les pores, cette neige mouillée s'évacue bien. ATTENTION en cas d'abaissement de la température car la température de surface de la chaussée est voisine de 0°C.	(+)	
		(+) curatif (2) après rabot ATTENTION: la salinité résiduelle est faible ou inexistante après ce phénomène.	(+) curatif (2) après rabot	

**NOTES D'INFORMATION ÉDITÉES PAR LE S.E.T.R.A.
DANS LA SÉRIE "CHAUSSÉES-DÉPENDANCES"
DEPUIS LE 1^{er} JANVIER 1990**

- N° 54 Remblais ultra-légers sur sols compressibles
(DTCA-CETE Nord-Picardie)
- N° 55 Règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques
(SETRA-CSTR/LPC)
- N° 56 Limites et intérêts du colmatage des fissures de retrait des chaussées semi-rigides
(SETRA-CSTR/LPC)
- N° 57 Techniques pour limiter la remontée des fissures à la surface des chaussées semi-rigides à couche de base traitée aux liants hydrauliques
(SETRA-CSTR/LPC).
- N° 58 Renouvellement des matériels d'entretien routier (éléments d'appréciation)
(SETRA-CSTR).
- N° 59 Traitement des sols à la chaux et (ou) aux ciments - Présentation synthétique des aspects : technique, économique
(DTCES-CETE Sud-Ouest).
- N° 60 Choix des bitumes pour travaux sur routes à fort trafic
(Groupe "Qualité des bitumes").
- N° 61 Organisation de l'entretien routier courant - état des réflexions en DDE
(SETRA-CSTR)
- N° 62 "ERASMUS" un système expert pour l'entretien routier
(CETE-Méditerranée).
- N° 63 Résistance des bordures et caniveaux en béton aux effets du gel
(Groupe de travail)
- N° 64 Verglas, Mode d'Emploi !
(SETRA-CSTR)
- N° 65 Normalisation française dans le domaine des granulats
(SETRA-CSTR/LCPC)
- N° 66 Déneigement - Techniques de raclage et matériels
(CETE de l'Est)

Cette note a été rédigée par :

J. LIVET - Laboratoire Régional de Nancy
71, rue de la Grande-Haie - BP 8 - 54510 TOMBLAINE - ☎ (16) 83.21.52.09
F. ROSE
Centre de la Sécurité et des Techniques Routières (C.S.T.R.)
Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.)

S.E.T.R.A., 46, Avenue Aristide-Briand, 92223 BAGNEUX - France
☎ (1) 42.31.31.31 - Télex : 260763 SETRA BAGNX
Renseignements techniques : D. BOUEY - S.E.T.R.A. - C.S.T.R. - ☎ (1) 42.31.34.10
Bureau de vente : ☎ (1) 42.31.31.55 - (1) 42.31.31.53 - Référence du document : **D 9123**
Classification thématique au catalogue des publications du SETRA : **D05**

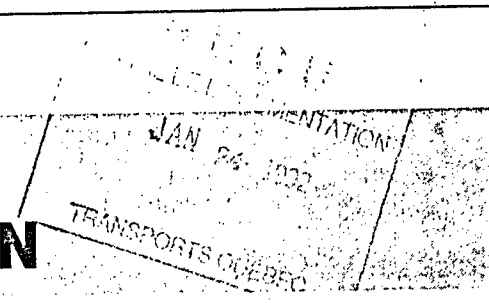
AVERTISSEMENT :

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son auteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.



NOTE D'INFORMATION



CHAUSSÉES
DÉPENDANCES

70

ENROBÉS DRAINANTS Le point en 1991

Auteurs : LR de Blois/SETRA - CSTR

Editeur : SETRA

Octobre 1991

La présente note d'information fait le point sur la connaissance et l'expérience acquises depuis trois ans en matière d'enrobé drainant dans les domaines suivants : perméabilité, adhérence, distances d'arrêt, bruit de roulement, uni, orniérage, durabilité, comportement mécanique, comportement structurel, viabilité hivernale, domaine d'emploi, dispositions constructives, fabrication et mise en œuvre, entretien ultérieur...

Elle complète la note d'information n° 40 "Enrobés drainants" de mars 1988.

INTRODUCTION

En 1987, le Directeur du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes a créé un groupe de travail "Enrobés drainants/passage au stade industriel" composé de maîtres d'ouvrage, de maîtres d'œuvre, et présidé par Françoise Combelles, Directeur d'exploitation de la SANEF à Senlis.

Dans la lettre de mission adressée aux différents membres du groupe, on peut lire :

"Du point de vue technique, bien que les enrobés drainants soient jugés opérationnels pour leur application, un travail important reste à faire quant à leur optimisation et à leur connaissance pour offrir une meilleure réponse aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage.

Les principaux domaines à étudier sont :

1) La viabilité hivernale qui est un point critique quant à l'utilisation de la technique.

2) L'évaluation objective des qualités intrinsèques de ce matériau, ce qui nécessite par exemple des enquêtes accidents, mais aussi la mise au point d'appareils de mesures et d'essais spécifiques (exemple : l'évaluation de la réduction ou suppression des projections d'eau, type de porosité optimale vis-à-vis des réductions de bruit de roulement...).

3) A partir de ceci, l'optimisation des produits vis-à-vis des qualités recherchées et de leur conservation dans le temps (par exemple pour le bruit : conservation de la porosité dans le temps - épaisseur optimale...).

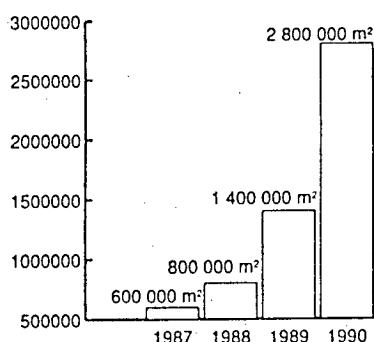
4) Les comportements et entretiens des enrobés drainants en tant que tels, et des chaussées revêtues par un enrobé drainant."

Ce sont précisément ces différents points qui sont développés un à un dans la présente note d'information, juste après le paragraphe "Développement des enrobés drainants - classification".

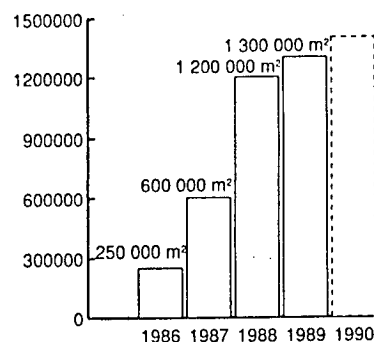
DEVELOPPEMENT DES ENROBES DRAINANTS - CLASSIFICATION

► Le développement des enrobés drainants

Autoroutes concédées
(construction neuve et entretien)



Routes nationales et autoroutes non concédées
(inscrites à l'entretien préventif)



	1990
m² enrobés drainants utilisés en construction neuve ou entretien	27 %
m² enrobés ≤ 4 cm utilisés en construction neuve ou entretien	

	1987	1988	1989
m² enrobé drainant	3,6 %	5,9 %	12,5 %
m² enrobé entretien ≤ 4 cm			

Cette évolution rapide s'explique par les qualités reconnues aux enrobés drainants :

- confort et sécurité de conduite par temps de pluie,

- réduction des bruits de roulement,
- adhérence à forte vitesse,
- comportement excellent sous fort trafic.

► Classification des enrobés drainants

La famille des enrobés drainants comprend une large gamme de produits qui diffèrent les uns des autres par leur granularité, leur discontinuité, leur

teneur en liant, leur nature de liant, leur type d'additif.

La teneur en vides initiale visée doit être au moins de 20 %.

Nature du liant	Granularité (1) Discontinuité (2)	Teneur en liant	Passant à 2 mm	% en fines
bitume pur	0/10 ou 0/10 D 2/6 ou 0/14 D 2/10 ou 0/14 D 4/10	4,2 à 4,8 %	13 à 15 %	4 à 5 %
bitume pur avec ajout de fibres minérales (3) - d'amiante (1,5 %) - de fibre de roche (0,3 à 0,5 %)	0/14 D 2/6 0/10 ou 0/14 discontinu	6 % 5 à 5,5 %	13 à 15 %	9 % 5 %
bitume polymère (SBS ou EVA)	0/10 ou 0/14 faiblement ou fortement discontinu	4,5 % à 5 %	de 10 % à 18 %	3,5 à 5 %
bitume caoutchouc	souvent 0/10 D 2/6	6,3 % environ	11 % environ	3,5 à 4 %

(1) Une planche expérimentale en enrobé drainant 0/6 a été réalisée sur le chantier expérimental de l'A63.

(2) D x/y : discontinuité dans la courbe granulométrique entre x et y mm.

(3) A signaler aussi l'emploi de fibres organiques, à titre expérimental.

Remarques concernant l'épaisseur :

- Les enrobés drainants en 4 cm d'épaisseur sont les plus couramment utilisés.
- Les enrobés drainants d'épaisseur inférieure à 4 cm présentent une faible capacité à stocker l'eau par temps de pluie, et une faible capacité acoustique.
- Les enrobés drainants en très forte épaisseur (pouvant aller jusqu'à 50 cm en couche de base et de fondation) sont utilisés comme écrêteurs de pluie. Ils sont par ailleurs testés pour atténuer le bruit (expérimentation en cours).

COMPORTEMENT DES ENROBES DRAINANTS ET PERFORMANCES

Pour mémoire, les enrobés drainants se caractérisent par :

- leur pourcentage de vides (initial) élevé
- leur perméabilité et leur aptitude à réduire les projections d'eau
- leur adhérence, leur texture
- leur efficacité acoustique
- leur résistance mécanique (orniérage, durabilité...) sous trafic
- leurs propriétés photométriques.

Pour suivre l'évolution des caractéristiques des enrobés drainants citées ci-dessus, et pour mieux connaître les relations qu'il peut y avoir entre la formulation des enrobés, les performances mécaniques et les caractéristiques de surface attendues, le Réseau Technique (LCPC/SETRA/CETE) a réalisé en 1988 deux importants chantiers expérimentaux d'enrobés drainants (un sur l'autoroute A63, un sur la RN 76) et a mis en place un programme de suivi très complet, avec la participation de l'industrie automobile et du pneumatique.

Les performances des enrobés drainants, détaillées ci-après, sont connues grâce aux résultats de différentes mesures effectuées chaque année sur les planches expérimentales de l'A63 et de la RN 76, mais aussi grâce à l'expérience acquise par les sociétés d'autoroutes et par les villes.

► Perméabilité

Les constatations à ce sujet ont montré que :

- a) Pour que la perméabilité ait de grandes chances de se conserver dans le temps, il est nécessaire qu'au moins les trois conditions suivantes soient remplies :
- pourcentage de vides initial élevé, en tout cas supérieur à 20 %
 - voie rapide et supportant des forts trafics
 - environnement et trafic non polluants.
- Ainsi, sur l'autoroute A1, la perméabilité à 6 ans des enrobés drainants sur chaussée circulée reste tout à fait correcte : même si à la longue, le caractère drainant dans la masse s'estompe, la réduction des projections d'eau est maintenue à un niveau tout à fait efficace.

Par contre, on a constaté que les bandes d'arrêt d'urgence sont colmatées au bout de cinq ans : cela provoque une résurgence d'eau au droit de la BAU et de la voie lente, des phénomènes de projections d'eau par temps de pluie apparaissent sur certaines voies lentes d'autoroutes.

En ville, la perméabilité se dégrade très rapidement (en moins d'un an) sur des voies où la vitesse pratiquée est relativement faible, et où l'environnement est particulièrement salissant (proximité du marché, zone de stationnement...).

b) Les enrobés drainants à granularité 0/6 se colmatent très facilement en raison de la faible taille de leurs vides communicants.

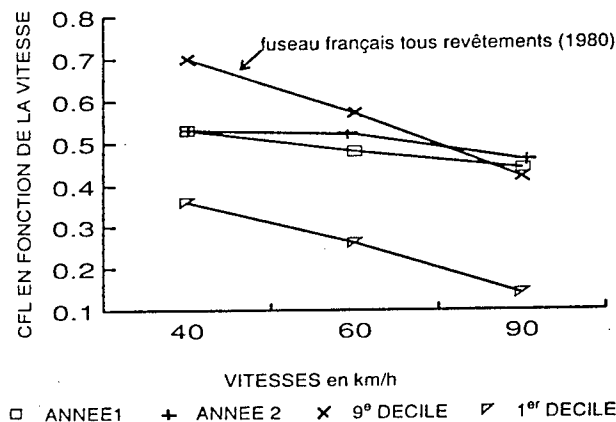
► Adhérence

Les résultats qui suivent ont été obtenus après élimination du film de mastic sur les granulats par le trafic.

Le tableau ci-après donne les fourchettes des valeurs de CFL (coefficient de frottement longitudinal) à 1 an et à 2 ans constatées sur les chantiers expérimentaux de l'A63 et de la RN 76, et celles obtenues sur l'autoroute A 1 au bout de six ans.

	40 km/h	60 km/h	90 km/h	120 km/h
A63 et RN 76 : Toutes planches confondues à 1 an	0,46 à 0,61	0,46 à 0,51	0,41 à 0,46	0,39 à 0,44
A63 et RN 76 : Toutes planches confondues à 2 ans	0,49 à 0,59	0,47 à 0,54	0,42 à 0,48	0,39 à 0,46
A1 : CFL à 6 ans (valeur moyenne sur 5 mesures)	0,46	-	0,32	0,33

Courbe CFL d'un enrobé drainant
au bitume pur - trafic To - granularité 0/14



Les différentes constatations concernant l'adhérence des enrobés drainants montrent que :

- quelles que soient les vitesses de mesures de CFL choisies, le CFL est pratiquement le même. L'adhérence sur enrobés drainants diminue beaucoup moins avec la vitesse que sur revêtements traditionnels.

- Les CFL sont bien positionnés par rapport au fuseau national "tous revêtements".

Adhérence et granularité

Les meilleurs résultats sont obtenus sur les enrobés drainants 0/10 discontinus 2/6 et sur les enrobés drainants 0/6, mais la perméabilité de ces derniers ne se maintient pas dans le temps.

► Macrotexture

Elle reste très forte dans le temps (hauteur au sable supérieure à 1,5 au bout de 2 ans).

► Distances d'arrêt

Un important programme de recherche, en collaboration avec un manufacturier de pneumatiques et un constructeur automobile, a débuté en 1989.

En 1990, des mesures de distance d'arrêt ont eu lieu sur l'une des planches d'enrobé drainant du chantier expérimental de la RN 76 (enrobé drainant 0/10 discontinu 2/6 bitume modifié année 1988) et ont été comparées à celles réalisées sur un enrobé mince de la RN 20 (enrobé 0/10 discontinu 2/6 qui a le même trafic, les mêmes granulats, la même année de réalisation que l'enrobé drainant).

Les résultats montrent qu'à deux ans, il n'y a pas d'écart significatif entre les distances d'arrêt sur enrobé drainant et sur enrobé classique, que ce soit sur chaussée sèche ou sur chaussée humidifiée. A noter que ces distances ont été mesurées après décapage du film de mastic sur les granulats.

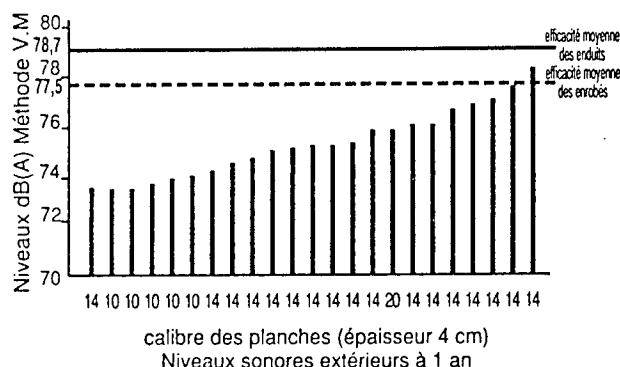
► Le bruit de roulement

Sur les planches de l'A 63 et de la RN 76, on a constaté une variation importante des niveaux de bruit maximum au passage d'un véhicule isolé. Les enrobés drainants n'ont pas tous la même efficacité acoustique initiale. Elle dépend entre autres de la granularité, de l'épaisseur, et probablement de la porosité.

De plus, l'efficacité acoustique des enrobés drainants peut diminuer de façon très variable dans le temps.

Bruit et granularité

L'exploitation des résultats des chantiers expérimentaux montre de façon certaine que les meilleurs résultats sont obtenus avec des enrobés drainants 0/10 discontinus 2/6.



nants est un facteur explicatif de leur performance acoustique.

La recherche sur l'optimisation acoustique des enrobés drainants continue.

► Etat de surface

Quels que soient leur âge et le trafic qu'ils supportent, les enrobés drainants offrent un excellent état de surface, dès lors qu'ils sont mis en place sur des chaussées correctement dimensionnées et présentant un uni satisfaisant.

Uni

L'uni observé est très bon, comparable à celui obtenu avec des enrobés minces.

Orniérage

Sous trafic lourd, on constate une très bonne résistance à l'orniérage.

► Durabilité - Vieillesse des enrobés drainants

On ne connaît pas très bien la durée de vie des enrobés drainants "formule actuelle" (à plus de 20 % de vides).

On peut s'attendre à ce que la durée de vie des enrobés drainants à très forte teneur en liant modifié soit plus longue que celles des enrobés classiques, dont la teneur en liant est moins élevée.

► Comportement mécanique

Les enrobés drainants sont très sensibles au cisaillement, ils supportent mal les sollicitations tangentielles (zones de freinage, virages serrés, carrefours giratoires) trop élevées.

► Comportement structurel

Les enrobés drainants ont été inclus dans l'actualisation d'avril 1988 du catalogue des structures.

Compte tenu du fait qu'ils ont un pouvoir structurel inférieur à celui des enrobés traditionnels, on retiendra, pour le dimensionnement, l'équivalence suivante :

4 cm d'enrobé drainant équivalent à 2,5 cm d'enrobé classique.

Dans le cadre des structures drainantes épaisses, il y a lieu de se rapprocher, pour le dimensionnement, des services du réseau technique.

► Propriétés photométriques

Elles sont favorables par temps sec et par temps de pluie, après décapage du film de mastic.

► Viabilité hivernale

Le comportement hivernal des enrobés drainants fait à l'heure actuelle l'objet de plusieurs études (étude

sur les méthodes de traitement, mise en place d'un arbre de décision...).

Les maîtres d'œuvre doivent prendre quelques précautions de base :

- la section traitée en enrobé drainant doit être homogène et d'une longueur suffisante pour justifier une intervention particulière de traitement, si besoin est. On évitera par exemple des sections isolées inférieures à 1 km,
- une adaptation des consignes de traitement est indispensable.

Une note d'information sur "le comportement hivernal particulier de certaines surfaces routières", dont les enrobés drainants, est publiée sous le numéro 67.

DOMAINES D'EMPLOI - DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES. FABRICATION - MISE EN ŒUVRE : RECOMMANDATIONS

Des commandements pratiques, accompagnés de commentaires, illustrent ce paragraphe.

► Domaines d'emploi - Dispositions constructives

"Sur le site, tu te rendras, tu observeras, et ensuite tu décideras"

- Eviter d'utiliser la technique des enrobés drainants sur des chaussées où le risque de colmatage est élevé : routes rurales où s'opèrent d'importants transits agricoles avec transport de terre, de récoltes..., voirie urbaine à fortes salissures, proximité de marchés, de zone de stationnement et à trafic lent...
- Eviter d'utiliser les enrobés drainants sur des chaussées où les efforts de cisaillement sont importants (carrefours, zones de freinage, virages serrés).
- Des précautions particulières ayant trait aux problèmes d'évacuation d'eau, d'exutoires... sont à prendre lorsqu'on applique des enrobés drainants dans de fortes rampes.
- A l'exception des zones à dévers faible ou nul (où le risque d'aquaplanage est important), proscrire les enrobés drainants sur de courtes sections, et en des points singuliers de tracé et de profil en long (virages, zones sinueuses...).

"Le support déformé, tu traiteras"

Les enrobés drainants ne doivent pas être appliqués sur un support déformé qui favorise la formation de pièges à eau à l'interface assise/enrobé drainant. Dans le cas de déformations ponctuelles, il est nécessaire de programmer un profilage soigné en béton bitumineux, avant que le chantier ne soit réalisé.

"Sur un support déformable, tu t'abstiendras"

Les enrobés drainants de 4 cm d'épaisseur, par leur faible apport structurel, ne conviennent pas sur des supports déformables.

"Au transit de l'eau, tu veilleras"

Avant de réaliser des enrobés drainants, il faut bien étudier le problème d'évacuation de l'eau, ce qui implique de respecter certaines dispositions constructives, décrites ci-après :

• Etanchéité du support

Les enrobés drainants sont par définition perméables. Ils doivent donc reposer sur un support étanche, pour que l'eau ne puisse pas s'infiltrer dans la chaussée.

Dans le cas où le support présente des fissures, il convient selon les cas de les traiter (par pontage) ou de procéder à une couche d'imperméabilisation (enduit monocouche 4/6 ou couche d'accrochage à fort dosage).

• Les exutoires

– Bandes d'arrêt d'urgence - accotements - bords d'ilots :

Ce point a été traité dans le § v-2. Dispositions constructives de la note d'information n° 40.

– Points bas et zones à devers nul :

A titre expérimental, des drains transversaux, comblés par des matériaux poreux, ont été construits sous des sections en enrobés drainants de l'A 7 pour permettre l'évacuation de l'eau à l'extérieur de la chaussée.

– Sur ouvrages d'art :

Le raccordement des enrobés drainants avec les joints de dilatation des ouvrages d'art peut être un point d'accumulation d'eau. Des dispositifs d'évacuation d'eau doivent être prévus et déterminés au cas par cas.

"Aux zones de transition, tu penseras"

Lors du passage d'une zone d'enrobé drainant à une zone d'enrobé traditionnel, on pourra réaliser une zone de transition, pour éviter par temps de pluie l'apparition brusque d'un brouillard d'eau. Pour cela, on modifie progressivement la formule de l'enrobé drainant (en augmentant la teneur en sable et en bitume). A noter aussi que, sur route nationale, des zones de transition ont été réalisées en enduit.

La zone de transition doit avoir une longueur de 200 m à 300 m.

Il faut éviter d'arrêter les sections en enrobés drainants dans une pente, dans un virage ou sur un carrefour.

► Fabrication – Mise en œuvre

"A la fabrication des enrobés, tu veilleras"

La centrale d'enrobage doit être implantée à moins

d'une heure de transport du lieu de mise en œuvre pour éviter tout phénomène d'égouttage.

En ce qui concerne la fabrication proprement dite des enrobés drainants, il faut s'affranchir des problèmes de surchauffe des granulats (due à la faible teneur en sable des enrobés drainants par rapport aux enrobés traditionnels) qui provoquent des phénomènes de vieillissement prématuré de liant ou d'égouttage. C'est pourquoi le réglage des brûleurs doit être soigné et impérativement adapté à la fabrication des enrobés très pauvres en sable.

"Le stockage prolongé, tu éviteras"

Il n'est pas du tout recommandé de stocker pendant plus d'une heure trente (transport compris) les enrobés drainants si l'on veut s'affranchir des problèmes d'égouttage et de vieillissement du liant.

"Au transport, tu veilleras"

Le transport des enrobés drainants doit se faire par camion bâché, voire calorifugé.

"Une couche d'accrochage, tu imposeras"

- L'entreprise doit utiliser un matériel pouvant répandre une couche d'accrochage à un dosage minimum de 400 g/m² de liant résiduel.
- L'émulsion élastomère favorise un bon accrochage au support et sa bonne tenue dans le temps.
- Un léger gravillonnage de la couche d'accrochage la rend circulaire.

"Des précautions à la mise en œuvre, tu prendras"

Sur une route ordinaire de 7 m de large, il est préconisé de travailler en joint "tiède" (1/2 largeur de chaussée le matin, l'autre 1/2 largeur l'après-midi).

Sur une route à deux fois deux voies ou sur une route à trois voies, il peut être intéressant d'utiliser un finisseur grande largeur ou des finisseurs couplés (distants de moins de 25 m) pour éviter d'avoir à réaliser des joints à froid.

A noter cependant que la SANEF pratique depuis quelque temps la technique du "joint à froid" qui semble donner satisfaction pour le moment.

Il est conseillé de limiter au maximum les arrêts du finisseur pendant la mise en œuvre.

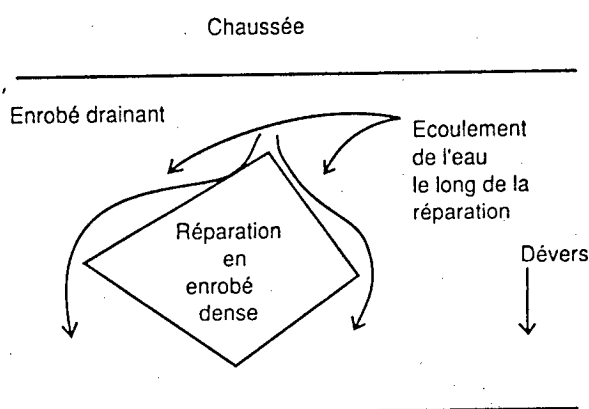
Les enrobés drainants sont plus sensibles que les autres revêtements aux conditions météorologiques, lors de la mise en œuvre.

ENTRETIEN DES ENROBES DRAINANTS

Trois cas sont à envisager.

► Entretien des dégradations localisées

Outre les solutions apportées dans la note d'information n° 40 à propos de l'entretien des dégradations localisées, on peut mentionner une expérience britannique intéressante sur la réparation ponctuelle d'un enrobé drainant avec de l'enrobé dense.



► Entretien pendant la vie de l'enrobé drainant

Des expériences sont tentées pour nettoyer l'enrobé drainant pendant sa durée de vie, à un âge où il n'est pas encore trop colmaté.

Le nettoyage s'effectue avec une machine qui injecte de l'eau sous très forte pression. L'eau et les

produits de colmatage sont aspirés et stockés dans la benne de la machine.

Aujourd'hui, il est encore difficile de pouvoir porter un jugement sur un tel procédé et sur la fréquence nécessaire de nettoyage.

► Entretien au terme de la durée de vie de l'enrobé drainant

Depuis la note d'information n° 40 (§ 6-2), de nouvelles techniques d'entretien des enrobés drainants ont été testées et ont donné des résultats encourageants. Il s'agit, par exemple, du recyclage à chaud en place des enrobés drainants (dont deux expériences ont eu lieu sur le réseau de la SANEF) qui restituent au matériau recyclé en place une bonne perméabilité et une forte teneur en vides. Des mesures régulières seront réalisées pour suivre l'évolution de ces paramètres dans le temps.

CONCLUSION

Même si la connaissance des enrobés drainants a bien progressé, certains points méritent encore d'être approfondis pour qu'on puisse mieux optimiser ces revêtements et leur utilisation.

La poursuite de la recherche par des moyens importants, tant financiers que techniques, le suivi régulier des chantiers expérimentaux, mais aussi votre expérience concrète acquise sur le terrain (pour cela, n'hésitez pas à contacter V. Goyon, Secrétaire du groupe de travail "Enrobés drainants - passage au stade industriel", 46 avenue Aristide Briand, BP 100, 92223 BAGNEUX, tél. (1) 42.31.32.19), sont autant d'éléments qui permettront de mieux connaître les enrobés drainants.

BIBLIOGRAPHIE

- RGRA "enrobés drainants" printemps 1990 :
 - Table ronde sur les enrobés drainants - Paris - 9 février 1990.
 - L'expérience française.
 - Le recyclage en place des enrobés drainants.
 - Propriétés acoustiques des revêtements poreux - Aspect théorique et expérimental.
 - Qualités et performances des enrobés drainants et leur évolution.
- Notes d'information SETRA, série Chaussées Dépendances :
 - n° 40 : "Enrobés drainants" - Mars 1988
 - n° 67 : "Le comportement hivernal particulier de certaines surfaces routières" - Avril 1991.

LISTE DU GROUPE DE TRAVAIL **"ENROBES DRAINANTS - PASSAGE AU STADE INDUSTRIEL"**

Présidence : F. COMBELLES

SANEF

Secrétariat : V. GOYON

SETRA

Membres du groupe :

M. BAR	CETUR
M. BERIER	ASF
M. BONNOT	LCPC
M. BOURREL	SETRA
M. BROSSEAUD	LCPC Nantes
M. CAROFF	SCETAUTOROUTE
M. CELTON	DDE Ille et Vilaine
M. CHARGROS	SETRA
M. DOMECCQ	Ville de Montpellier
M. DELANNE	LCPC Nantes
M. DUPRESSOIR	DDE Calvados
M. LAVAUD	CETE Bordeaux
M. LE BOZEC	DDE Côtes d'Armor
M. PIPIEN	DDE Rhône
M. POIRIER	LR Blois
M. RAUCH	Ville de Paris
M. VAGNER	Service Technique des Charentes

Cette note a été rédigée par :

- J.C. POIRIER - Laboratoire Régional de Blois, 11, rue Laplace, B.P. 929, 41009 BLOIS CEDEX - ☎ (16) 54.74.29.50
- V. GOYON - ☎ (1) 42.31.32.19
Centre de la Sécurité des Techniques Routières (CSTR)
Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)

S.E.T.R.A., 46, Avenue Aristide-Briand, 92223 BAGNEUX - France
 ☎ (1) 42.31.31.31 - Télex : 260763 SETRA BAGNX

Renseignements techniques : V. GOYON - S.E.T.R.A.-C.S.T.R. - ☎ (1) 42.31.32.19

Bureau de vente : ☎ (1) 42.31.31.55 - (1) 42.31.31.53 - Référence du document : **D 9147**

Classification thématique au catalogue des publications du SETRA : **D05**

AVERTISSEMENT :

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son auteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.

Ce document a été édité par le SETRA, il ne pourra être utilisé ou reproduit même partiellement sans son autorisation.

ANNEXE B2

LES ENROBES DRAINANTS ET LA MODIFICATION DU REGIME THERMO-HYDRIQUE DE LA SURFACE DES CHAUSSEES

*Par J. LIVET Laboratoire Régional
des Ponts et Chaussées de NANCY.*

Cette note a pour objet de faire le point sur le comportement particulier des enrobés drainants, durant la période hivernale.

La surface de roulement d'une chaussée a la particularité de se situer à l'interface entre deux milieux de comportement totalement différents : l'atmosphère et la chaussée ou le sol. L'équilibre thermique de cette surface est lié à de nombreux paramètres, qui, pour certains, peuvent varier très rapidement dans le temps.

Si, jusqu'à ces dernières années, la viabilité hivernale du réseau a pu être assurée par les gestionnaires sans trop de difficultés dans le cadre de la directive "Organisation et exécution du service hivernal", c'est que l'équation à résoudre, se réduisait dans la majorité des cas à prévoir (dans la mesure du possible) la température de surface de la chaussée (ou le risque de congélation).

L'apparition des enrobés drainants, outre qu'elle entraîne une modification très sensible de l'équilibre thermique de la surface de la chaussée, met les services gestionnaires devant une nouvelle équation à résoudre qui associe en permanence température et hygrométrie de l'air (tant dans l'atmosphère que la porosité interne du revêtement).

La particularité de ce revêtement est que ses caractéristiques thermo-hydriques varient dans le temps en fonction des conditions climatiques. L'eau et l'air y circulent, modifient en permanence le régime thermique de toute l'épaisseur du drainant ce qui n'est pas le cas du BB dense.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES COMPAREES ENTRE ENROBES DRAINANTS ET BB DENSES

Conductivité thermique

L'enrobé drainant est par définition poreux, lorsque ce matériau est sec, sa conductivité thermique est bien plus faible que celle d'un BB dense. Sa valeur pourrait être déterminée avec précision, on peut l'estimer à 1 W/mK.

Pour mémoire :

- air = 0,024 W/mK
- eau = 0,60 W/mK
- glace = 2,25 W/mK
- (1) BB dense "Type" bitume 5,5 % n = 0,06
 - s granulat 2,7
 - s bitume 1,0.

	W = 0	W = 1 %	W = W sat
non gelé	2,36	2,47	2,82
gelé	2,36	2,54	3,13

Cette conductivité thermique plus faible a pour conséquence de modifier le régime thermique de la surface du revêtement.

Un fort rayonnement nocturne provoque un abaissement plus important et plus rapide de la température de surface de la chaussée. (Des mesures faites à l'aide de "thermoroute" montrent des écarts de l'ordre de 2° C par rapport à un BB dense, toutes choses égales par ailleurs).

Un fort rayonnement solaire devrait conduire à une température plus élevée de cette surface pendant la période estivale.

(1) Application du modèle de Mickley
Conductivité thermique des sols et des assises traitées LCPC. L. CANIARD
(données utilisées pour catalogues des structures neuves 1977).

(2) Véhicule de mesure :

- des températures, atmosphériques et de surface de chaussée,
- de l'hygrométrie de l'air ; développé par le LR de Clermont-Ferrand.

Lorsque ce matériau est humide, sa conductivité va croître en fonction de la quantité d'eau susceptible d'y séjourner plus ou moins longtemps ce qui réduira l'amplitude des températures de surface susceptibles d'être observées. Le changement d'état de l'eau contenue dans l'enrobé drainant, modifie considérablement la conductivité thermique de celui-ci et la ramène à une valeur voisine de celle du BB dense. Ce changement d'état modifie aussi la quantité d'énergie du milieu (voir effet de stockage hydrique).

Fonction échange avec le milieu atmosphérique

Forte Macro texture :

Les échanges thermiques avec l'atmosphère sont plus importants du fait de la plus forte rugosité de la surface et d'une surface d'échange (développée) plus importante en regard de l'atmosphère que celle d'un BB dense.

Perméabilité de la couche :

Sous précipitations : l'enrobé drainant se comporte comme un échangeur de chaleur. L'eau qui y circule, porte rapidement l'épaisseur de la couche de roulement à la température des précipitations.

Ces échanges thermiques qui se font par convection sont bien meilleurs que ceux qui s'effectuent par convection à la surface de roulement.

Sans précipitations : la porosité interne du drainant est le siège d'échanges thermiques par convection naturelle.

Effet du trafic : les pneumatiques provoquent des phénomènes de mise en pression-dépression. Cela se traduit par une accentuation des échanges thermiques.

Stockage hydrique = stockage thermique

L'enrobé drainant peut temporairement retenir dans sa structure une certaine quantité d'eau, c'est ce que l'on appellera effet de stockage.

Durant la période hivernale, cela peut conduire à quelques inconvénients tels que le risque de congélation ou recongélation de l'eau ou saumure transitant dans l'enrobé, alors que celui-ci serait à une température voisine de 0° C.

Si, il y a congélation de la solution aqueuse contenue dans l'enrobé, celui-ci ne se comporte plus uniquement comme un stockage en chaleur sensible mais en plus comme un stockage en chaleur latente, ce qui a pour effet de décupler la quantité d'énergie stockée.

Il faut noter que dans ce dernier cas, le revêtement perd toutes ses propriétés thermiques "isolantes" qui deviennent proches de celles d'un enrobé conventionnel.

L'exemple suivant illustre ce phénomène : un béton bitumineux classique (à base de granulats siliceux) de masse volumique 2.340 kg/m^3 présente approximativement une capacité thermique volumique de $2.054 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$.

En admettant que cet enrobé soit à une teneur en eau de 1 % (volumique), la hauteur latente volumique est alors de 7.800 kJ/m^3 . Dans le cas d'un enrobé poreux, avec une porosité de 20 %, totalement saturé en eau, la chaleur latente est alors voisine de 70.000 kJ/m^3 .

Toutefois, son comportement thermique en dynamique est modifié au point de différer dans le temps son passage à une température positive.

ENROBES DRAINANTS ET VIABILITE HIVERNALE

Les caractéristiques thermo-hydriques des enrobés drainants engendrent des phénomènes hivernaux très différents de ceux généralement observés sur BB denses.

Refroidissement plus rapide et plus important de la surface de la chaussée

Ce refroidissement est généralement observé par nuit claire, où le rayonnement thermique de la surface de la chaussée est très prononcé. Il s'observe lors des conditions anticycloniques mais aussi à l'arrière des perturbations dans le temps de traîne où le ciel est alternativement couvert (précipitations sporadiques) et dégagé.

Au voisinage de 0° C ce phénomène de rayonnement peut conduire l'enrobé drainant à une température négative alors que le BB dense restera à une température positive.

La chaussée est humide

Le verglas qui peut se former apparaît plus tôt sur les enrobés drainants que sur les BB denses.

Un avantage toutefois pour les enrobés drainants, l'épaisseur de la lame d'eau susceptible de congeler est plus faible que sur enrobés denses. Par contre le phénomène de pompage dû aux pneumatiques peut conduire à des formations de verglas en bande de roulement dans le cas des BB drainants alors que l'enrobé dense est en voie de séchage.

La chaussée est sèche

Si l'hygrométrie de l'air est élevée, ($>95\%$), des phénomènes de condensation solide (givre-gelée blanche) peuvent apparaître. Ces phénomènes sont conditionnés par les paramètres $T^{\circ}\text{C}$ de l'air, HR de l'air et $T^{\circ}\text{C}$ de surface de chaussée (régi par le diagramme de l'air humide).

Si l'hygrométrie de l'air est plus faible, mais que l'enrobé drainant a été mouillé récemment, sa porosité est remplie d'humidité saturée. Sous l'effet du trafic, cet air est expulsé et la condensation solide se produit dans la bande de roulement. (Autre hypothèse pour ce verglas : détente adiabatique de l'air).

Difficultés de traitement des phénomènes hivernaux à l'aide de fondants chimiques

Rappels : (de façon très simpliste)

La viabilité hivernale est assurée par épandage de fondants chimiques (principalement NaCl) sur les chaussées, soit de façon préventive (environ 15 g/m^2), soit de façon curative (environ 30 à 40 g/m^2). Dans le cas de la neige, celle-ci est chassée avant traitement.

Les fondants chimiques sont utilisés sous diverses formes:

- solide, en grains $0,6/4\text{ mm}$
ou fin séché $0,2/0,8\text{ mm}$,
- liquide, en saumure saturée,
- bouillie : combinaison saumure + grains en proportions variables.

La difficulté essentielle dans le traitement des enrobés drainants est de maintenir une salinité suffisante de leur surface tant en préventif qu'en curatif.

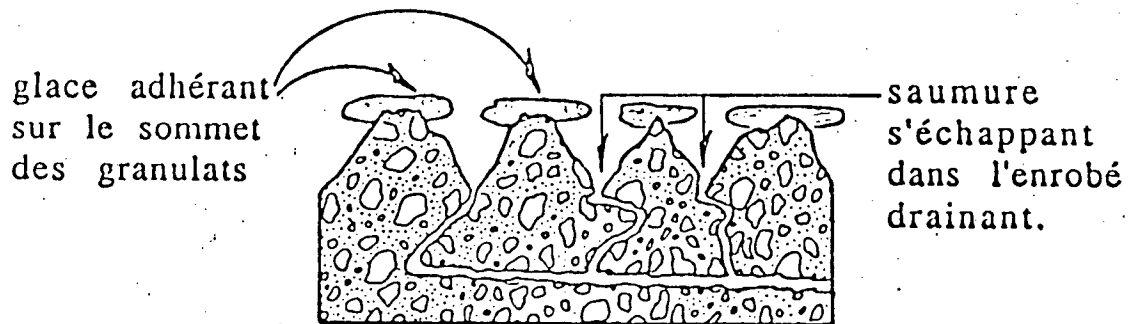
La saumure épandue ou produite, par mise en solution des grains s'échappe par la porosité du revêtement réduisant de ce fait l'efficacité du traitement.

Le cas de la pluie verglaçante (eau sur sol gelé) ou verglas météo (eau en surfusion)

Ce type de verglas produit des épaisseurs de glace parfois importantes qui gommant la macrotexture du revêtement.

Si l'enrobé drainant a été traité préventivement, la saumure produite est lessivée rapidement et drainée par le revêtement.

Quand le verglas est présent, la saumure formée (fondant + fusion du verglas) se rassemble dans les points bas de la surface du revêtement et s'échappe par sa porosité interne. Ce mécanisme peut, dans certains cas, laisser subsister sur le sommet des granulats des petits "chapeaux de glace" qui sont très difficiles à éliminer.



Le cas de la neige

La neige, suivant sa température ou sa teneur en eau libre, comble plus ou moins vite la macrotexture du revêtement. Le compactage de la neige par le trafic, la mise en pression dans la porosité du revêtement par les engins de déneigement, donnent à la chaussée un aspect bien plus blanc que celui d'un BB dense. L'adhérence offerte à l'utilisateur reste de bon niveau car les sommets des granulats restent bien souvent libres de glace.

Les difficultés de traitement sont les suivantes :

- épaisseur de neige subsistant sur la chaussée après l'engin de déneigement généralement plus importante ce qui entraîne une augmentation des consommations de sel,
- un malaxage plus réduit de la neige par le trafic en présence ou non de fondants chimiques (réduction des projections et de l'épaisseur de la lame de saumure à la surface de la chaussée). En dehors des bandes de roulement la neige séjourne plus longtemps sur la chaussée,
- l'emploi de fondants chimiques NaCl sous forme solide, sur la neige, à des dosages importants, peut conduire dans certaines conditions de température à des phénomènes de béton de glace. Ce mécanisme est provoqué par la mise en solution de NaCl (réaction endothermique) et par la déconcentration de la saumure formée consécutive à la fusion de la neige. L'enrobé drainant étant "plus isolant" il a déjà été observé des phénomènes dit "de sorbetière".

Salinité résiduelle sur enrobés drainants

Il est admis que le trafic entraîne les fondants chimiques sur des distances pouvant varier de 500 à 1.500 m, sans que cette quantité ait pu être clairement évaluée.

En traitant un enrobé drainant à l'identique d'un BB dense, certains auteurs notent l'existence d'une variation de la quantité de sel résiduel sur l'itinéraire. Cette quantité serait de même ordre de grandeur que le BB dense en extrémité de planche puis décroîtrait progressivement ; elle serait quasiment nulle sur le BB dense à l'autre extrémité de la planche. Cette zone constituerait un point critique dangereux.

SOLUTIONS

La viabilité hivernale sur enrobés drainants n'a pas à ce jour rencontré en FRANCE de difficultés insurmontables qui justifieraient l'abandon d'une telle technique, présentant par ailleurs de nombreux avantages.

Le surcoût de gestion de la viabilité hivernale n'a pu à ce jour être cerné en FRANCE.

Les pays étrangers BELGIQUE, HOLLANDE, ALLEMAGNE, AUTRICHE ou SUISSE avouent être amenés à intervenir plus souvent avec des dosages en fondants chimiques plus élevés, sans toutefois avancer des coûts de viabilité hivernale rédhibitoires.

Amélioration des caractéristiques thermiques des enrobés drainants

Cette amélioration pourrait passer par :

- le choix de granulats de conductivité thermique élevée à fort pourcentage de quartz ($q = 7 \text{ W/mK}$),
- la réduction de la porosité inactive ou non communicante du revêtement,
- la réduction de l'épaisseur du revêtement drainant afin de limiter la barrière thermique qu'il constitue (plutôt 2 cm que 4 cm).

Des techniques particulières font l'objet d'une attention : le procédé, SELFIX, (expérimentation en FRANCE) la saturation de la porosité de l'enrobé drainant par du sel (évoqué par les Autrichiens).

Amélioration des moyens de traitement en fondants chimiques

Adapter la forme et le dosage en fondants chimiques au phénomène climatique rencontré, par exemple :

- le givre qui mobilise de très petites quantités d'eau peut être combattu avec une saumure correctement dosée,
- le verglas météo est activement combattu au sel fin qui offre une surface spécifique importante.... etc...

Améliorer les outils d'aide à la décision et la surveillance

- L'instrumentation des zones d'enrobés drainants à l'aide de détecteurs prévisionnels de verglas ou de stations météo permettrait de mieux suivre les paramètres thermohydriques de la surface de la chaussée.
- Un suivi particulier à l'aide de patrouilles.
- Etablissement d'un arbre de décision V.H spécifique aux enrobés drainants.

REMARQUES

Le choix d'une solution en enrobés drainants, sur un itinéraire, doit s'accompagner d'un ensemble de réponses aux questions suivantes :

- la longueur de la planche correspond-t-elle à un circuit de traitement ?
- distance de la planche au centre d'intervention et délais d'intervention,
- type et forme des fondants chimiques à disposition, matériels d'épendage,
- moyens de suivi localisés (système automatique, patrouille.... etc).

Remarque : Hors période hivernale, problème des matières dangereuses sur drainants.

ANNEXE B3



Ministère de l'Équipement,
du Logement, de l'Aménagement
du Territoire et des Transports
DR - DSCR

NOTE D'INFORMATION

CHAUSSÉES
DÉPENDANCES

40

Auteurs : LR de Clermont-Ferrand
SETRA / CSTR

Editeur : SETRA / CSTR

ENROBÉS DRAINANTS

Mars 1988

Une première note d'information sur les enrobés drainants est parue en avril 1985 [1]. Elle faisait le bilan de chantiers expérimentaux réalisés en nombre limité depuis 1977-1978 tant sous les aspects formulation, réalisation que comportements mécanique et hivernal. Compte tenu des bons résultats et des avantages spécifiques de cette technique (adhérence à haute vitesse, réduction du bruit de roulement et des projections d'eau), son utilisation à plus grande échelle était proposée en fournissant des indications quant à la formulation, la fabrication et la mise en œuvre. Fin 1987, environ 1,2 millions de m² auront été appliqués, se répartissant approximativement pour moitié sur route nationale et pour l'autre moitié sur autoroute.

Le bilan est positif et montre que l'enrobé drainant est un progrès sensible dans le domaine des couches de roulement du point de vue de la sécurité et de l'environnement. La viabilité hivernale doit faire l'objet d'une attention particulière.

La présente note d'information, en faisant le bilan des deux dernières années d'application (1985 et 1986) et des suivis réalisés pendant cette même période, actualise et remplace la précédente note d'information.

I — INTRODUCTION

Depuis la parution de la note d'information n° 10 [1], grâce à l'expérience acquise par les maîtres d'œuvre français et étrangers, aux indications retirées de bibliographies récentes et aux résultats des premières expérimentations, nos connaissances ont progressé.

Deux types d'enrobés peuvent être distingués :

- les enrobés drainants de 40 mm d'épaisseur (teneur en vides recherchée : 20 %) utilisés en Europe : ils sont employés en raison de leur capacité à drainer et à stocker l'eau qui assure une bonne sécurité à l'usager (adhérence à haute vitesse, limitation de la projection d'eau, moindre réverbération des phares). Leurs propriétés acoustiques (réduction du bruit de roulement, voire absorption des bruits extérieurs) limitent la gêne des riverains et améliorent le confort de conduite,
- les enrobés « drainants » très minces de 20 mm d'épaisseur utilisés aux États-Unis et appelés aussi enrobés ouverts, ce qui correspond mieux à la réalité : ils

sont surtout utilisés pour accroître la sécurité en évitant la formation d'un film d'eau en surface grâce à leur macrotexture. Mais leurs qualités acoustiques sont moindres. Compte tenu de leur coût plus faible, ils vont faire l'objet d'expérimentations et d'une évaluation en France en 1987 et 1988.

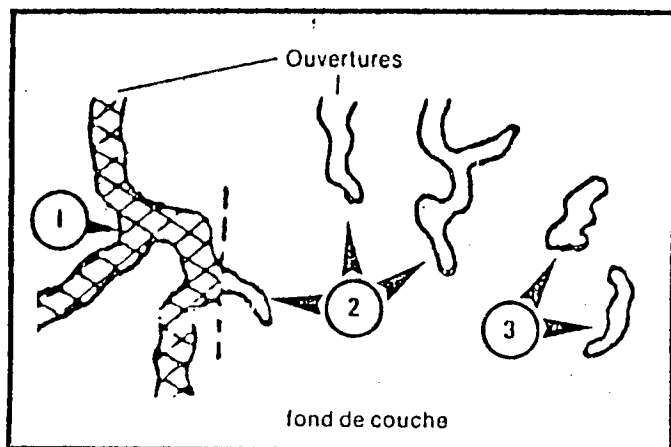
Les enrobés drainants européens (épaisseur 4 cm) recouvrent une large gamme de produits qui se différencient par leur granularité (0/10, 0/14, voire 0/20 en Grande-Bretagne), leur courbe granulométrique plus ou moins discontinue, leurs teneurs en sable et en fines, le type de liant (bitume pur ou modifié) et son dosage, l'ajout éventuel d'additifs. En conséquence, leur pourcentage de vides varie, ainsi que leur caractère drainant.

Le caractère drainant est défini, soit à partir d'une mesure directe de la drainabilité selon un mode opératoire (pas encore arrêté en France), soit à défaut à partir d'une échelle de la teneur en vides (15, 20 et 25 %).

La principale difficulté actuelle est la conservation dans le temps de la teneur en vides recherchée (cf.

figure 1). L'évolution montrée par le tableau 1 conduit à privilégier des mélanges encore plus maigres en sable dans le but de maintenir plus longtemps une teneur en vides élevée (teneur en vides initiale entre 20 et 25 %). Mais ces formulations plus performantes sur le plan de la drainabilité rendent le risque d'écoulement du liant en fond de benne lors du transport de l'enrobé plus important. Un essai spécifique de formulation pour éviter ce phénomène est en cours d'étude.

Cependant, même si à la longue le caractère drainant s'estompe, les caractéristiques antidérapantes et, dans une certaine mesure, la réduction des projections d'eau sont maintenues à un niveau satisfaisant.



- 1 : pores efficaces : ils permettent le stockage et le drainage de l'eau,
- 2 : pores semi-efficaces : ils n'ont qu'une fonction : permettre le stockage de l'eau (si le diamètre des vides est suffisant),
- 3 : pores inefficaces (inclusions) : ils ne communiquent pas.

Figure 1 : Principe de fonctionnement d'un enrobé drainant

Teneur en vides initiale	19,1 %
— à 10 mois	16,5 %
— à 23 mois	15,3 %
— à 28 mois	15,8 %

Tableau 1 : Évolution de la teneur en vides sur une autoroute à très fort trafic.

II — COMPORTEMENT DES CHANTIERS (antérieurs à 1987)

Les chantiers d'enrobé drainant suivis sont essentiellement des chantiers d'entretien de surface. Exceptionnellement, il s'agit d'une couche de surface sur un renforcement en grave bitume (en 1987 plusieurs chantiers de ce type ont été réalisés). Les trafics varient de 150 à 1 000 poids lourds par jour et par sens, hormis sur l'autoroute du Nord (3 000 poids lourds par jour sur la voie la plus chargée) où un enrobé d'entreprise de famille b.2 (voir IV 2) a été utilisé (applications 1984-1985).

1. Comportement de l'enrobé

- comportement mécanique : pas de problème à noter,

- évolution de la teneur en vides* : on constate sur les chantiers les plus anciens (expérimentaux), une perte en teneur de vides de 5 à 10 % sur des périodes variant de trois à dix ans. Il semble que la teneur en vides se stabilise vers 10-12 % et qu'il n'y a plus perméabilité à partir de 15-16 %. On ne peut distinguer la part post-compactage de l'enrobé de la part colmatage,

- macrotexture : elle reste très forte (hauteur au sable mesurée supérieure à 1,2 mm),

- orniérage : pas d'orniérage significatif observé,

- vieillissement du liant : sur des bitumes purs, malgré un film de liant plus épais que celui des enrobés denses, la teneur en vides induit un vieillissement supérieur à celui des liants d'enrobés compacts. Il n'a pas été fait de constatations sur bitume modifié,

- adhérence : excellente à haute vitesse (coefficient de frottement longitudinal CFL à 100 km/h : 0,30 à 0,40), moyenne à faible vitesse (CFL à 40 km/h : 0,40 à 0,60), elle se conserve dans le temps,

- bruit de roulement : on constate, en notant que le nombre de mesures est très faible :

- son affaiblissement par rapport à celui d'un enrobé classique, si la teneur en vides est forte
- son augmentation si la teneur en vides diminue de façon excessive ; on a alors en fait l'effet d'un enrobé macro-rugueux.

* Pour l'instant, faute d'un essai adéquat de perméabilité, on mesure une teneur en vides. La mise au point d'un perméamètre adapté est en cours.

Site	Age de l'enrobé	Porosité	CFL 100 km/h	Niveau de bruit dB(A) (*)
A1	1 an	20 %	41	69
CD8	1 an	>20 %		71-72
RN47	5 ans	11,5 %	35	77
RN157	3 ans	—	40	76

(*) Niveau moyen d'un enrobé traditionnel : 74-75 dB(A)

Tableau 2 : Mesures de bruit de roulement sur revêtements d'âge et de porosité différentes.

- absorption des bruits : l'enrobé drainant semble posséder un pouvoir d'absorption des bruits du véhicule ou extérieurs à la chaussée. Des mesures sont en cours à ce sujet,

- projection d'eau : les enrobés drainants, en réduisant considérablement les projections d'eau au passage des véhicules, concourent fortement à la sécurité. Cet effet est conservé en partie lorsque la porosité diminue (effet de la macrorugosité comme pour les enduits superficiels),

- réverbération des phares sur chaussée mouillée : elle est très réduite sur enrobé drainant. Il a également été constaté une meilleure efficacité de la signalisation horizontale par temps de pluie.

Cet aspect mérite un développement particulier car ce fut souvent un argument avancé pour ne pas retenir cette technique. Des constatations faites en France et à l'étranger, on ne peut conclure de façon absolue. Voici quelques éléments :

— les enrobés drainants peuvent présenter des comportements thermo-hydrauliques de leur surface différents de ceux des enrobés traditionnels, et ceci pour les raisons suivantes :

- leur conductivité thermique plus faible est la cause dans certaines conditions climatiques d'un abaissement plus rapide et plus important de leur température de surface
- leur porosité emprisonne une humidité quasi permanente durant l'hiver, qui peut dans certaines situations

revêtement ;

- leur porosité ne permet pas un maintien en surface des fondants chimiques épandus préventivement sur le revêtement.

C'est la méconnaissance du caractère spécifique de ce type d'enrobés qui peut être source de risque.

Le tableau 3 présente la sensibilité des enrobés drainants aux problèmes hivernaux et les niveaux de difficultés de traitement. Sont indiqués pour comparaison les mêmes éléments pour les enrobés denses.

On constate qu'il existe des situations météorologiques plus favorables pour les enrobés drainants et d'autres pour les enrobés denses.

En règle générale, plus le trafic est intense, moindres sont les difficultés de traitement.

Problèmes hivernaux	Sensibilité au problème hivernal		Difficulté pour le traiter (traitement conseillé)	
	Enrobé dense	Enrobé drainant	Enrobé dense	Enrobé drainant
congélation d'humidité préexistante	xx	x	x (2 ou 4)	x (4)
glace	x	xx	x (3)	x (3 ou 4)
pluie sur sol gelé	xx	xxx	xx (2)	xxx (1 ou 4)
pluie en surfusion (verglage)	xxx	xxx	xxx (1 ou 5)	xxx (1 ou 5)
brouillard givrant	x	xx	x (2 ou 4)	xx (4)
neige poudreuse	x	x	xx	xx
neige humide	xx	xx	x (4)	xx (4)
neige mouillée (en « bouillie »-grise)	xx	x	x	x

Tableau 3 : Sensibilité aux problèmes hivernaux des enrobés denses et des enrobés drainants.

Légende : x faible
 xx moyenne
 xxx forte
 (1) sel fin (< 1 mm)
 (2) sel en grains
 (3) saumure de chlorure (NaCl)
 (4) bouillie de chlorure
 (5) traitements spéciaux (chlorure de calcium (Ca₂Cl), chlorure de magnésium (MgCl), "migaine", etc.).

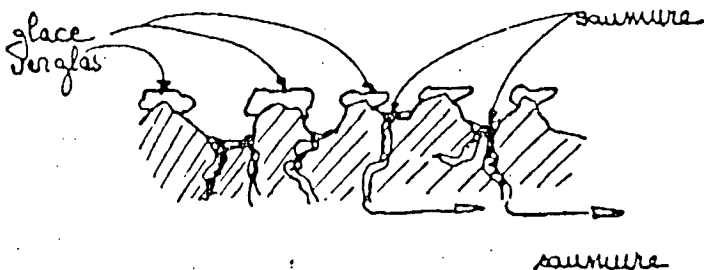
— la démarche du gestionnaire en période hivernale doit également tenir compte de la longueur de la zone. Il semble qu'il existe un linéaire critique sur le plan de la viabilité hivernale :

- en deçà de 1 000 à 1 500 m, on peut considérer que sur un réseau régulièrement salé et suffisamment circulé (niveau de service de viabilité S1*), il ne devrait pas exister de graves problèmes car le trafic maintient, par entraînement des fondants chimiques, une protection généralement suffisante. En l'absence de traitement de l'ensemble de la section, cette zone doit être suivie et gérée comme un point singulier froid et être traitée préventivement si nécessaire,

* Les niveaux de service S1, S2, S3 et les zones climatiques H1 à H4 sont définis dans la Directive pour l'organisation et l'exécution du service hivernal du 4 septembre 1978 des Ministères de l'Intérieur et des Transports.

- de 1 000 à 10 000 m, des difficultés peuvent apparaître si un traitement spécifique n'est pas réalisé, et ce pour deux raisons :
 - le non réapprovisionnement en fondants chimiques par le trafic
 - la création d'une discontinuité thermo-hydrlique (du type de celle d'un ouvrage d'art) sur un itinéraire globalement homogène ;
- au-delà de cette distance, la zone d'enrobés drainants doit être considérée comme une section homogène de traitement hivernal, en tenant compte du bon comportement spécifique ;

— il est nécessaire de sensibiliser les équipes de viabilité hivernale sur le risque de formation de verglas parfois épais par temps de brouillard givrant, de chute de pluie sur chaussée froide et de pluie en surfusion. En effet, le verglas est difficilement éliminé car la saumure n'est pas en contact avec lui ;



— sous précipitations neigeuses, le raclage semble moins efficace car la surface conserve un aspect blanc, la neige comblant la macro rugosité. Par contre, l'adhérence procurée par les têtes de granulats est convenable,

— l'utilisation de sels à forte teneur en insolubles (certains fondants chimiques en comportent plus de 10 %) ou d'abrasifs (sable...) éventuellement ajoutés aux fondants nuisent à plus ou moins long terme au caractère drainant de l'enrobé par colmatage des pores.

— pour tenir compte de la spécificité de ces enrobés, il

convient dans les régions à problèmes hivernaux fréquents (zones climatiques H3, H4*) de viser à réaliser des zones d'enrobés drainants correspondant à une section de traitement hivernal. Ceci permettra de moduler les interventions (surveillance, fondants chimiques, matériels) de façon à maintenir la meilleure homogénéité possible de l'itinéraire.

Nota : pour les questions liées à la viabilité hivernale, peuvent être plus précisément contactés :

MM. DUFOUR - ASF - Tél. 75.56.14.50
 FONTANILLE - SANEF - Tél. 44.60.00.67
 LIVET - Laboratoire Régional de l'Équipement de Nancy - Tél. 83.21.52.09
 ROUSSEL - Division Terrassements Chaussées du CETE de l'Est - Tél. 87.74.46.45

III — DOMAINE D'EMPLOI CONDITIONS ET DOMAINES D'APPLICATION

Au préalable, indiquons les caractéristiques mécaniques d'un enrobé drainant au bitume pur par rapport à celles d'un béton bitumineux dense :

- module : moitié moindre,
- résistance à la fatigue : équivalente,

d'où une équivalence mécanique de 2 cm d'enrobé dense pour 4 cm d'enrobé drainant quant à la capacité à réduire les contraintes dans les couches inférieures de la chaussée.

Les limites d'emploi sont donc :

- cette faible capacité de réduction des contraintes qui doit être prise en compte,
- le support, qui doit être imperméable ou préalablement imperméabilisé,
- les zones à fort problème de viabilité hivernale (cf. II.2) en se rappelant que plus le trafic est élevé, plus la difficulté de traitement est atténuée.

Il en découle les domaines d'emploi suivants :

— travaux d'entretien de surface (adhérence essentiellement) : il peut être nécessaire de sceller les fissures, de réaliser une couche d'accrochage à fort dosage (minimum : 400 grammes de bitume résiduel/m²), voire de réaliser un enduit. Dans le cas de fissures dont l'état de dégradations est avancé, il existe peu de solutions empêchant leur remontée rapide,

— travaux neufs et de renforcement avec couche de base en grave bitume ou d'entretien de structure avec une épaisseur d'enrobés supérieure à 4 cm :

- l'enrobé support doit présenter une compacité au moins égale à 90 %,
- le dimensionnement des couches inférieures doit prendre en compte l'utilisation de l'enrobé drainant.

— travaux neufs ou de renforcement avec couche de base en grave traitée au liant hydraulique : ce cas est en cours d'expérimentation. L'enrobé de surface de 8 cm a été scindé en :

- un enrobé fortement chargé en mastic de 5 cm d'épaisseur ayant pour rôle de s'opposer à la remontée des fissures de la couche de base,

- l'enrobé drainant.

Le dimensionnement doit prendre en compte l'utilisation de l'enrobé drainant.

— travaux d'entretien par 4 cm de béton bitumineux dense : il s'agit rarement d'un problème de surface. De plus, les 4 cm ont un effet structurel pris en compte dans le dimensionnement initial de la structure (prise en compte de l'entretien à réaliser). Si l'enrobé drainant est retenu en simple substitution, l'entretien ultérieur risque d'être un peu plus épais.

— en zone urbanisée, l'enrobé drainant est souvent choisi pour la réduction du bruit de roulement, la limitation des projections d'eau, voire son pouvoir d'absorption des bruits extérieurs (en cours d'évaluation). S'il s'agit de traiter un problème d'adhérence, il convient de rappeler que pour les vitesses inférieures à environ 60 km/h, l'adhérence de l'enrobé drainant est moyenne, ce qui conduit à être très vigilant vis-à-vis du respect du CPA (Coefficient de Polissage Accélééré) des granulats.

Dans tous les cas, on réalisera des sections d'enrobé drainant les plus longues possibles, de préférence de façon continue pour éviter des changements de texture sur la section (sauf traitement ponctuel de zones insuffisamment déversées).

IV — FORMULATION DE L'ENROBÉ DRAINANT

1. Granulats

La bonne adhérence à haute vitesse des enrobés drainants est due à la macrotexture. L'adhérence à vitesse faible est davantage en relation avec la microrugosité. La surface de contact étant faible, les granulats sont soumis à une action de polissage intense. Ils doivent donc présenter une bonne résistance au polissage (caractérisé par le coefficient de polissage accéléré C.P.A.). Dans tous les cas, les granulats doivent strictement respecter les spécifications de la Directive Granulats [2].

2. Composition

Il convient de distinguer les formules au bitume pur et les formules entreprises. Il est recherché une teneur en vides en place supérieure à 20 % (entre 20 et 25 %).

2.1. Formules au bitume pur

— sans additif minéral

- granularité : les formulations sont le plus généralement des 0/14 mm fortement discontinues (pas d'éléments entre 2 et 10 ou 4 et 10 mm) avec un passant à 2 mm variant de 12 à 18 %. Actuellement, on vise entre 13 et 15 %. Mais des formules faiblement discontinues et continues sont également utilisées en 0/10 et 0/14 mm. La teneur en fines est de l'ordre de 4 à 5 %.

- liant : il faut retenir un bitume 80/100 ou 60/70, dopé dans la masse, à une teneur de 4,5 à 5 % (pour une masse volumique des granulats de 2,65) que l'on cherche à maximiser. Toutefois, il peut être opportun d'utiliser un bitume 40/50 compte tenu de l'expérience locale.

Ces formules sont caractérisées par un fort pourcentage de fines (environ 12 %) et une teneur en liant de l'ordre de 6,5 %. Ce sont le plus généralement des 0/14 mm moyennement discontinues avec un pourcentage à 2 mm voisin de 13 %.

2.2. Formules à liant modifié

Deux familles peuvent être distinguées en fonction de la nature du liant :

— bitume polymère, le plus généralement élastomère : les granularités sont soit des 0/10 mm, soit des 0/14 mm moyennement ou fortement discontinues avec des teneurs en sables 0/2 variant entre 10 et 20 %. La teneur en liant est généralement comprise entre 4,5 et 5,0 %.

— bitume caoutchouc : la granularité la plus courante est le 0/10 mm discontinue 2-6 mm avec une teneur en sable 0/2 voisine de 10 à 11 %. La forte viscosité du liant utilisée autorise des dosages beaucoup plus importants de l'ordre de 6,5 %.

3. Que choisir

Dans l'état actuel de nos connaissances (recul important uniquement sur enrobés au bitume pur), d'après les constatations sur le terrain, l'intérêt de l'utilisation d'un liant ou mastic modifié n'a pas été explicitement mis en évidence. Les suivis en cours permettront de répondre plus précisément à cette question. Mais il est vrai, en théorie et cela est aussi démontré par certains essais de laboratoire, que l'utilisation de ces liants modifiés ne peut aller que dans le sens d'une certaine sécurité quant à la conservation de la teneur en vides et, pour les formules à forte teneur en liant, à une durabilité plus grande quant au risque de plumage et de désenrobage. En conséquence, on retiendra en général, pour les trafics supérieurs à 1 000 poids lourds par jour et par sens, une formule à liant modifié en s'assurant de ses performances quant à sa porosité. On pourra pour cela et pour disposer de plus d'informations sur les types d'application, le recul disponible, etc., se reporter à l'avis technique du produit concerné s'il existe ou se rapprocher des CETE (Centres d'Etudes Techniques de l'Équipement).

4. Étude de formulation

L'essai le plus adapté est l'essai de presse à cisaillement giratoire (PCG). Il faut viser une compacité à 40 girations de l'ordre de 75-77 %.

L'étude Duriez est faite uniquement pour vérifier la bonne tenue au désenrobage (rapport Immersion / compression $r/R > 0,75$) particulièrement nécessaire à un enrobé drainant dans lequel l'eau circule.

La teneur en liant maximale peut être évaluée à partir d'un essai spécifique en cours d'étude.

V — APPLICATION

1. Réalisation

— préparation du support (couche d'accrochage) : le support doit être en bon état structurel, ne pas présenter

de flache supérieure à 1 cm risquant d'être une zone d'accumulation d'eau et être imperméable. Pour ce dernier point, on se reportera au Chapitre III « Domaine d'emploi ». La couche d'accrochage doit être dosée à au moins 400 g/m² de bitume résiduel ;

— **fabrication (bitume pur) :** la fabrication des enrobés drainants au bitume pur ne pose pas de problèmes particuliers. Les températures sont celles préconisées pour les enrobés traditionnels, en tenant compte de la faible teneur en sable. Il faut donc éviter les problèmes de surchauffe des granulats et ainsi limiter les risques de chocs thermiques sur le liant. De même, il faut être très attentif au respect de la composition du squelette minéral ;

— **précautions à la mise en œuvre (bitume pur) :** en cas de longue distance de transport, il convient de vérifier qu'il n'y a pas de risque d'égouttage.

Le respect de l'épaisseur constitue, comme pour les enrobés d'entretien, l'impératif essentiel. Une épaisseur trop faible ne permet pas d'obtenir des caractéristiques mécaniques suffisantes et de résister aux arrachements. Une épaisseur trop forte risque, par contre, de conduire à des compacités trop élevées et donc d'atténuer, voire même supprimer le caractère drainant recherché.

Le compactage doit être aussi poussé que sur des enrobés classiques pour que l'évolution ultérieure inévitables des compacités soit la plus faible possible. La drainabilité ne doit pas être obtenue par un sous compactage. En général, on utilise des compacteurs à jante lisse. L'utilisation de compacteurs à pneus nécessite souvent l'emploi de produit anticollage pour pallier aux phénomènes de collage en début de compactage.

Pour les enrobés d'entreprise, à ces précautions, il faut ajouter celles spécifiques à chaque produit.

2. Dispositions constructives

— **raccordement aux accotements en rase campagne :** il doit être conçu de façon à assurer l'évacuation de l'eau à l'extérieur de la chaussée, évitant ainsi que l'enrobé baigne constamment dans l'eau et que l'eau pénètre dans le corps de la chaussée.

Par ailleurs, pour des raisons de sécurité, il faut éviter au mieux un décalage entre l'enrobé drainant épais de 4 cm et l'accotement.

• dans le cas d'accotement revêtu et suffisamment stable, la meilleure solution est le prolongement de l'enrobé drainant sur ces accotements ; mais cette solution peut être relativement coûteuse. Des essais sont en cours pour trouver des solutions moins onéreuses telles que celle présentée par la figure 2. D'autres sont à l'étude telle la réalisation d'une tranchée drainante peu profonde ;

• pour les chaussées à accotements non revêtus (la plupart des routes nationales bidirectionnelles par exemple), il n'existe pas de solutions peu coûteuses. Au minimum, l'épaisseur de l'enrobé drainant sera ramenée progressivement de 4 cm à environ 2 cm sur 20 à 30 cm en bord de couche, par exemple en équipant le finisseur d'un volet ; on imperméabilisera l'accotement s'il est stabilisé (figure 3). Ne pas chanfreiner en compactant pour conserver une forte porosité en rive.

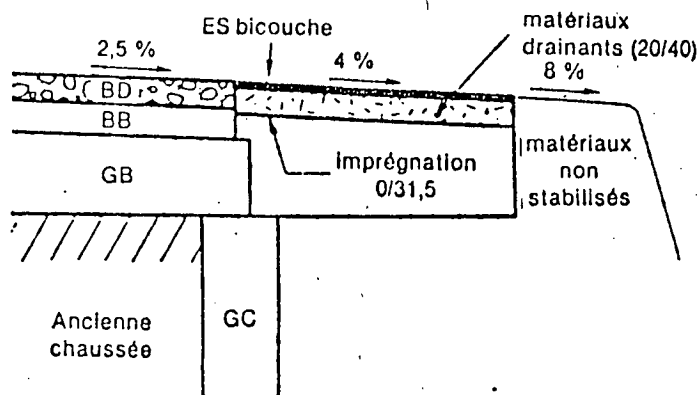


Figure 2 : Accotement drainant

Définition des travaux :

- 1 Arasement de l'accotement existant au niveau de la chaussée existante sur la largeur à stabiliser.
- 2 Fourniture, mise en œuvre et compactage de matériaux type 0/31,5 secondaire jusqu'au niveau de l'interface BB/BD (— 1 ou 2 cm).
- 3 Imprégnation à l'émulsion de bitume de ce 0,31/5.
- 4 Fourniture, mise en œuvre et compactage sur 4 cm de matériaux creux (type 20/40).
- 5 Exécution d'un enduit bicouche (après fermeture de la surface par repandage d'une grille à sec de gravillons 10/14 ?).

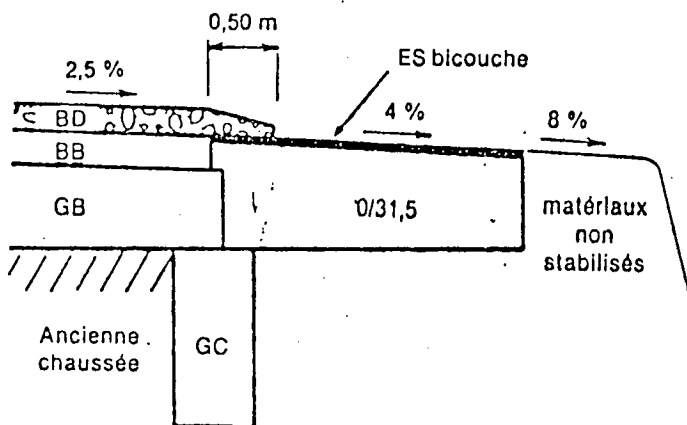
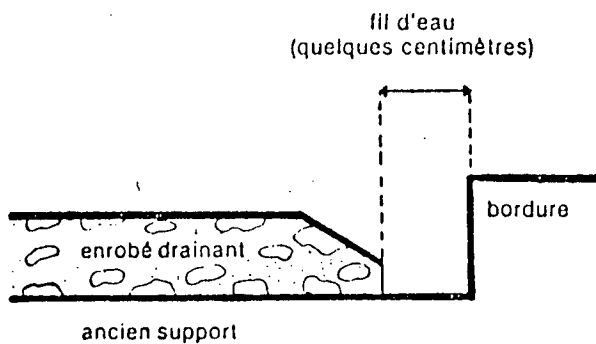


Figure 3 : Ecoulement libre en rive

Définition des travaux :

- 1 Arasement de l'accotement existant au niveau de la chaussée existante sur la largeur à stabiliser.
- 2 Dès la fin du repandage du BB, fourniture, mise en œuvre et compactage de matériaux type 0/31,5 secondaire jusqu'au niveau du BB déjà repandu.
- 3 Exécution d'un enduit bicouche.
- 4 Repandage de l'enrobé drainant avec une surlargeur d'environ 0,50 m de chaque côté avec exécution d'un chanfrein sur cette surlargeur.

— dans le cas de chaussée entre bordures (chaussées urbaines, traverses), une solution est l'arrêt de l'enrobé à quelques centimètres de la bordure pour créer un fil d'eau. Mais apparaît le problème du nettoyage de cette rigole. Pour y pallier, des essais de comblement partiel de la rigole avec de l'asphalte coulé ont été faits. Mais cette solution ne permet pas un écoulement total de l'eau vers les exutoires.



L'enrobé, arrêté à quelques centimètres du bord vertical de la bordure, est chanfreiné éventuellement par un volet. Les quelques centimètres laissés libres servent de fil d'eau sans être un risque pour les usagers.

— **zones de transition** : lors du passage d'une zone d'enrobé drainant à une zone d'enrobé dense, il peut être réalisé une transition, pour éviter par temps de pluie l'apparition brusque d'un brouillard d'eau. Pour cela, on fait varier progressivement (sur au moins 100 m) la formule de l'enrobé drainant en augmentant la teneur en sable et la teneur en liant. Ceci nécessite une excellente coordination entre la fabrication et la mise en œuvre.

— **joint longitudinal** : dans le cas de chaussées unidirectionnelles où l'on travaille en deux passes de finisseur, à joint tiède ou froid, se pose la question du traitement du joint longitudinal pour assurer à la fois un bon collage et la continuité du drainage transversal (fréquemment on badigeonne avec de l'émulsion le bord de la première bande). Les quelques informations disponibles tendent à montrer qu'il n'y a pas de problème. Des expérimentations sont en cours pour confirmer ce point et tenter de trouver d'autres solutions.

— **pentcs longitudinales** : il faut éviter d'arrêter l'enrobé drainant dans une pente longitudinale car il y a alors, risque de résurgence en pleine chaussée de l'eau infiltrée.

VI — ENTRETIEN

Deux cas sont à envisager :

1. Entretien des dégradations localisées

- dans le cas de défaut ou de dégradation très localisée, on peut réparer avec de l'enrobé à chaud sans problème particulier et sans remettre en cause le caractère globalement drainant du revêtement,
- par contre, lorsque le défaut à traiter est plus important (par exemple quelques dizaines de mètres carrés), le problème est difficile :
 - si l'on utilise de l'enrobé drainant, celui-ci, une fois en place, est très hétérogène, avec un comportement aléatoire aux joints,
 - si l'on utilise de l'enrobé dense, il n'y a plus continuité du caractère drainant.

Selon les cas, on retiendra l'une ou l'autre solution.

L'entretien normal devrait consister à réaliser une couche de roulement (enrobé, dense ou drainant, enduit). Ceci pose la question de l'effet sur le comportement de la structure, de la présence d'une couche peut-être encore drainante (risque de présence d'humidité, voire de circulation d'eau, imperméabilité de la structure, etc).

L'expérience française est très limitée :

- quelques courtes sections recouvertes il y a plusieurs années avec un enrobé dense ne posent aucun problème,
- deux sections recouvertes en 1987 avec un enduit épais puis un nouvel enrobé drainant sont trop récentes pour tirer une conclusion.

Des investigations sont en cours sur ces chantiers.

L'expérience étrangère fait encore peu état des options retenues.

VII — PRIX

1. Prix des enrobés drainants

Dans le cas des formules au bitume pur, du fait de la teneur en liant réduite par rapport à celle d'un enrobé dense d'entretien de 4 cm d'épaisseur, le prix à la tonne est inférieur à celui de ce dernier. Si l'on compare le prix au mètre carré, sans préparation particulière du support, l'écart s'accroît puisque le tonnage d'enrobé au mètre carré est moindre (environ 80 kg contre 95 kg). L'ordre de grandeur de l'écart est alors de 15 %.

Les enrobés d'entreprises à liant ou mastic modifiés sont plus coûteux, de par leur liant, mais souvent aussi de par le dosage en liant ou en fines plus élevé. Ce surcoût peut varier très largement (+ 20 % à 60 % par rapport à la tonne d'enrobé drainant au bitume pur).

2. Prise en compte de l'utilisation d'un enrobé drainant dans l'économie d'un projet

L'enrobé drainant apporte un surcroît de sécurité pour l'usager, une réduction de niveau de bruit (tant que la porosité reste suffisante) et globalement un meilleur confort pour l'automobiliste et le riverain.

Ces avantages sont à prendre en compte dans l'étude technico-économique. Cela peut être relativement facile si, par exemple, l'utilisation d'un enrobé drainant permet de réduire l'importance d'un mur antibruit ou si l'on est certain que nombre d'accidents sera réduit (cf. zone à dévers insuffisant). Par contre, cela est plus délicat lorsqu'il s'agit du confort de conduite (visibilité par temps de pluie, bruit de roulement en rase campagne), par exemple lorsqu'on le compare à l'utilisation d'un enduit superficiel.

Il ne faut pas oublier si nécessaire l'effet mécanique (prise en compte des surépaisseurs nécessaires sur les autres couches) et les dispositions constructives particulières éventuelles.

VIII — AVIS DE MAÎTRES D'ŒUVRE

Mme COMBELLE, Directeur d'Exploitation de la SANEF à Senlis (tél. : 44.53.69.11) - Autoroutes A1 et A2 :

« Les usagers de nos autoroutes qui les ont pratiqués auraient du mal à y renoncer : c'est en cela que les enrobés drainants constituent un progrès perceptible de la technique routière ».

M. D'ABBADIE, Chef du Service des Infrastructures dans le Département des Landes (tél. : 58.75.84.25) - Routes nationales 10 et 124 :

« Les sections en enrobé drainant apportent une grande sécurité, notamment par la limitation ou la suppression des projections d'eau. Sur route nationale sans accotement stabilisé, une solution économique au problème de l'évacuation latérale de l'eau infiltrée sans création d'une "marche" trop importante reste à trouver ».

M. BOUGERIE, conducteur principal des TPE, Chef du Centre d'exploitation de Châteaugiron (tél. : 99.36.09.95) - Route Nationale 157 :

« La mise en œuvre qui s'est faite en grande largeur n'a pas posé de problème particulier. La difficulté majeure est liée au traitement des bandes d'arrêt d'urgence. La mise à niveau des accotements étant exclue pour l'écoulement des eaux il subsiste une marche de 4 cm en bordure de tapis. Est-ce acceptable pour la sécurité ? Au niveau de l'exploitation aucun inconvénient n'est venu à ce jour atténuer les avantages indéniables par temps de pluie ».

M. LEBRET, Ingénieur des Services Techniques de la Ville de Paris (tél. : (1) 42.76.48.59) :

« En ville, l'utilisation des enrobés drainants est particulièrement intéressante dans le cadre de la lutte contre le bruit. En effet, dans les centres urbains, une réduction du bruit ne peut le plus souvent s'envisager qu'avec un changement de revêtement de chaussée ».

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Note d'Information SETRA - Enrobés drainants - N° 10 de la série "Chaussées-Dépendances" - Avril 1985
 - [2] Directive- Spécifications relatives aux granulats pour chaussée - Avril 1984
- Une expérience d'enrobés drainants sur A1, G. BORDONADO - Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 265 - Décembre 1985
- Chaussées d'autoroutes - INFOS, n° 6 - Mars 1987 - SCETAURROUTE
- Les aspects techniques des enrobés drainants au bitume caoutchouc Flexochape - Procédé Drainochape - A. SAINTON - Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 618 - avril 1985
- Enrobés drainants au bitume caoutchouc rue Solférino à Lille - C. ROUSSEL - C. DELEURENCE - Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 618 - avril 1985
- Une expérience d'enrobés drainants en Provence sur l'autoroute A51 - C. BARRIU - M. DAUZATS - A. SAINTON - Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 642 - juin 1987
- Bruit et voirie urbaine - R. LEBRET - Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 642 - juin 1987
- Bruit routier et revêtements de chaussées - Y. DELANNE - Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 636 - janvier 1987
- Les recherches sur le bruit de contact pneumatique - P. BAR - J. BEAUMONT - J.-M. GERNEZ - Revue Générale des Routes et Aérodrômes, n° 636 - janvier 1987

Cette note a été rédigée par :

Bernard FAURE,
Laboratoire Régional de Clermont-Ferrand
8-10, rue B-Palissy - 63014 CLERMONT-FERRAND - Tél. 73.91.22.70
François VERHEE
Centre de la Sécurité et des Techniques Routières (C.S.T.R.)
Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.)

S.E.T.R.A., 46, Avenue Aristide Briand, 92223 BAGNEUX - France
Tél. (1) 42.31.31.31 - Télex : 260763 SETRA BAGNX

Renseignements techniques : François VERHEE - C.S.T.R. - Tél. : 16 (1) 42.31.33.87
Bureau de Vente : Tél. (1) 42.31.31.55 - (1) 42.31.31.53 - Référence du document : D 8817
Classification thématique au catalogue des publications du SETRA : D05

AVERTISSEMENT :

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son auteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.

ANNEXE B4

Enrobés au liant bitume SBS

Adrien VERSCHAVE
Ingénieur au Service bitumes
CdR Total - France

Jean MARVILLET
Chef du Service bitumes - paraffines
CdR Total - France

Jacques DUVAL
Directeur technique
Société Chimique de la Route

Sommaire

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1. Introduction | 4. Conclusions |
| 2. Étude de laboratoire | 5. Bibliographie |
| 3. Réalisations routières | |

1. Introduction

Les copolymères séquencés (styrène - butadiène - styrène) ou SBS commencent à être bien connus dans le domaine des liants pour utilisation routière. En effet, à la fois thermoplastiques et élastomères, les SBS s'incorporent avec une relative facilité au bitume et sont, sans doute, de par leurs qualités intrinsèques, parmi les polymères les plus intéressants pour l'obtention de liants bitumineux améliorés. En particulier, l'intérêt des liants bitume SBS pour la technique enduit superficiel a été largement démontré [1, 2].

Si, il y a encore quelques années, le domaine d'emploi des enrobés spéciaux à liant amélioré paraissait assez réduit, les préoccupations actuelles d'économie pourraient bien, paradoxalement, étendre ce domaine. L'utilisation de tels enrobés spéciaux ne peut-elle en effet dans certains cas permettre des réductions d'épaisseur par rapport à des enrobés classiques ? La réponse à cette question suppose en premier lieu de bien connaître les caractéristiques mécaniques de ces enrobés spéciaux et en second lieu de vérifier, avec un recul suffisant, les résultats des premières réalisations routières. C'est la raison pour laquelle Total et Société Chimique de la Route ont jugé intéressant d'apporter par la présente communication leur contribution à la connaissance du comportement d'enrobés à liant bitume SBS. Ce dossier technique est constitué

- des essais mécaniques de laboratoire,
- des constatations réalisées après quelques années de service sur route.

2. Étude de laboratoire

2.1. Liant bitume SBS utilisé

La qualité d'un liant bitume SBS dépend de plusieurs paramètres :

- nature du SBS (variable suivant le type radial ou linéaire, la teneur en styrène, le poids moléculaire),
- teneur en SBS,
- nature du bitume,
- efficacité de l'opération de mélange.

Nous ne reviendrons pas sur l'influence de ces paramètres que nous avons développée dans une précédente communication [1].

Nous avons retenu, à titre d'exemple, une formulation à 5 % poids de SBS réalisant à notre sens un bon compromis entre l'amélioration des caractéristiques d'une part et une viscosité compatible avec les possibilités de mise en œuvre (enrobage et compactage) d'autre part. Le tableau 1 présente les caractéristiques de ce liant et celles d'un bitume de même niveau de pénétration à 25 °C. La comparaison est indéniablement favorable au liant bitume SBS qui a, par rapport au 40/50 :

- une susceptibilité thermique nettement moindre,
- une souplesse à basse température beaucoup plus grande, comme l'indiquent les résultats de Fraass et encore davantage les essais de traction (cf. graphique 2),
- une adhésivité supérieure,

- une cohésivité au mouton-pendule Vialit (méthode Total 575) bien supérieure dans un large domaine de température, comme on peut en juger d'après les courbes cohésivité/température du graphique 1.

La suite de l'étude doit montrer comment se traduit au niveau des enrobés cette supériorité d'un liant bitume SBS type vis-à-vis d'un bitume classique.

2.2. Enrobés étudiés

Deux types d'enrobés avec granulats diorite (carrière de La Meilleraie) ont été étudiés :

- 0/10 semi-grenu (cf. Directive SETRA-LCPC, septembre 1969),
- 0/14 discontinu correspondant de par sa courbe granulométrique et sa teneur en liant à un enrobé 0/14 type 2 de la note technique SETRA-LCPC concernant les enrobés minces d'entretien [3].

Le graphique 3 présente leurs courbes granulométriques. Pour chaque type d'enrobé, nous avons comparé une formulation avec liant bitume SBS (S_1 ou S_2) et une formulation avec bitume 40/50 (N_1 ou N_2). La composition de ces formulations est donnée dans le tableau 2.

La fabrication et le compactage en laboratoire des enrobés bitume SBS ne posent pas de problème particulier. L'enrobage doit s'effectuer à une température supérieure de 15 °C à celle d'un enrobé 40/50. Il en est de même pour le compactage comme le montrent les résultats d'essais de presse à cisaillement giratoire (PCG) effectués à 160 °C dans le cas de N_1 et N_2 , et à 175 °C dans le cas de S_1 et S_2 (voir graphique 4). Notons au passage que les caractéristiques PCG de N_2 et S_2 sont conformes aux recommandations de la note technique SETRA-LCPC mentionnée précédemment :

- compacité à 10 girations $C_{10} < 91 \%$,
- compacité à 40 girations C_{40} mini 93 %, maxi 96 %

2.3. Caractéristiques mécaniques des enrobés étudiés (cf. tableau 2)

2.3.1. Essais normalisés

Les essais de résistance en compression LCPC effectués à 0, 18 et 40 °C mettent en évidence la moindre susceptibilité à la température des enrobés au liant bitume SBS. Le graphique 5 illustre bien ce fait : à 0 °C, la rigidité de l'enrobé bitume SBS S_2 est au niveau de celle d'un enrobé analogue N_2 au bitume 80/100 alors qu'à 40 °C la rigidité de S_2 est supérieure à celle de N_2 avec bitume 40/50.

Les essais d'immersion-compression n'ont pas donné de résultats significativement différents ; cela tient sans doute à la bonne affinité avec le bitume des granulats diorite utilisés dans les enrobés.

La stabilité Marshall à 60 °C des enrobés bitume SBS est d'environ 30 % supérieure à celle des enrobés correspondants au 40/50. Cela confirme, si besoin était, les résultats précédents de résistance LCPC à 40 °C.

2.3.2. Essais de comportement vis-à-vis de l'orniérage

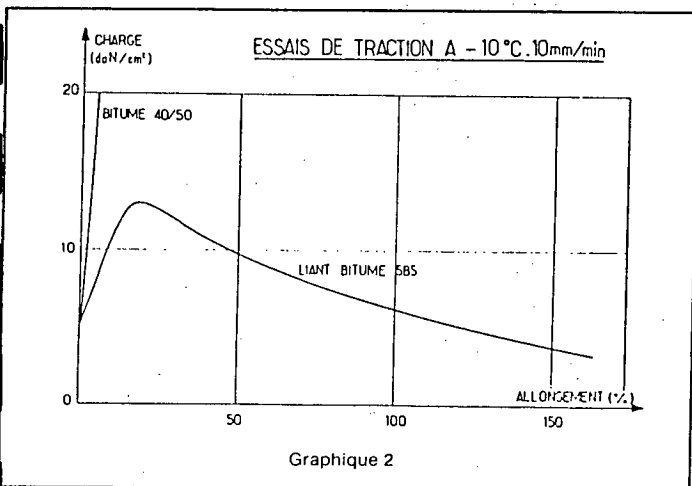
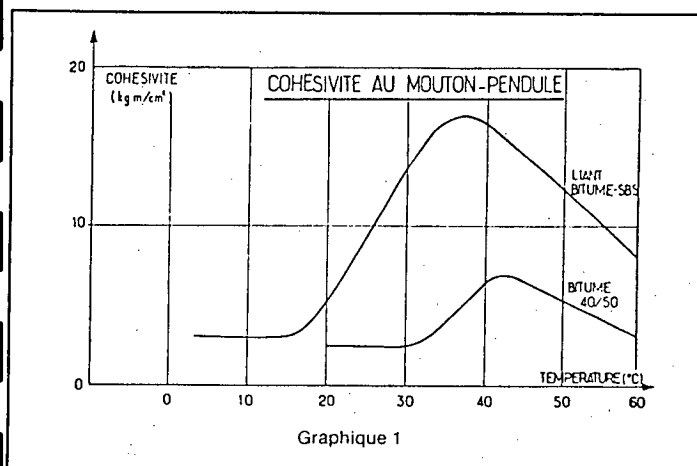
Essais d'orniérage

Des essais ont été effectués avec l'orniéreur LCPC à 40 et 60 °C selon la méthode du centre de recherches Total [4] dont nous rappelons ci-après les conditions :

- éprouvette de 5 cm d'épaisseur,
- charge 500 daN,
- pression du pneu : 5 bar,
- nombre de cycles : 150 000,
- par enrobé, quatre éprouvettes de compacités différentes sont préparées à la table de compactage LCPC ; on peut ainsi tracer par enrobé, après essais, la courbe d'évolution de l'orniérage en fonction de la compacité.

Tableau 1. Caractéristiques du liant bitume SBS utilisé

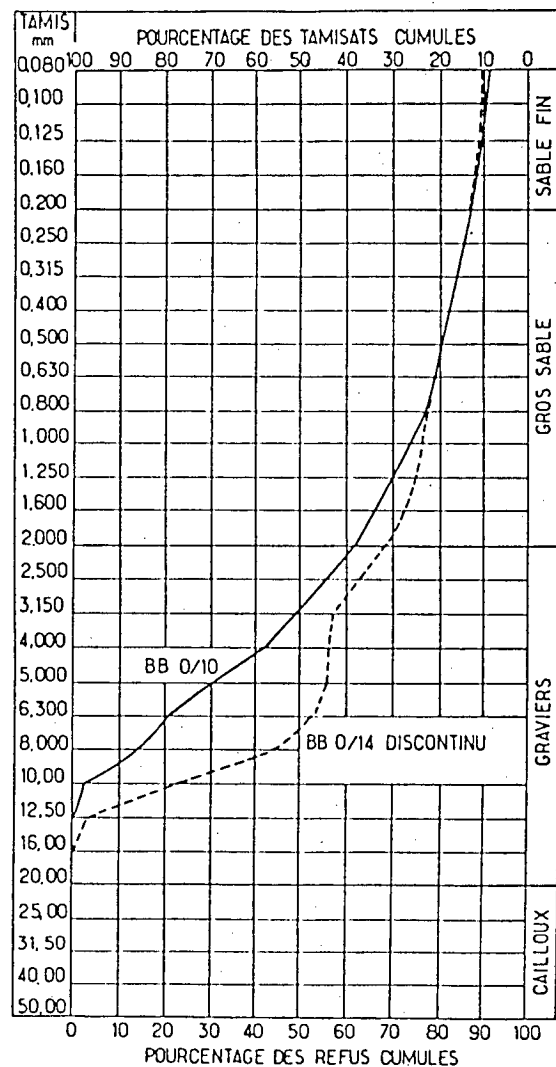
LIANTS		BITUME 40/50	LIANT BITUME-SBS
CARACTÉRISTIQUES CLASSIQUES	Pénétration à 25°C (1/10 mm)	45	50
	Température bille-anneau (°C)	54	74
	Température d'écailage Freess (°C)	- 13	- 25
	Intervalle de plasticité (°C)	67	99
	Indice IP PFEIFFER	- 0,5	+ 3,5
CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES	<u>ADHESIVITE L.C.P.C. à 60°C (Méthode RLA₁)</u> Pourcentage de surface enrobée après essai		
	sur diorite	90	100
	sur quartzite	75	90
	<u>COHESIVITE AU MOUTON-PENDULE</u>		
	cohésivité maximale C_M (kgm/cm ²)	7	17
	température T_M (°C) correspondant à C_M	42	36
	<u>ESSAIS DE TRACTION A BASSE TEMPERATURE</u>		
	a) A - 10°C et 10 mm/min		
	charge au seuil (daN/cm ²)	20	13
	allongement à la rupture (%)	5	>250
	b) A - 20°C et 10 mm/min		
	charge au seuil (daN/cm ²)	-	23
	allongement à la rupture (%)	-	200



Des résultats obtenus nous en avons déduit l'ornièrre totale (ornièrre maximale + bourrelet maximum) pour les compacités PCG

- C_{40} dans le cas des enrobés discontinus,
- C_{80} dans le cas des enrobés 0/10 semi-grenus.

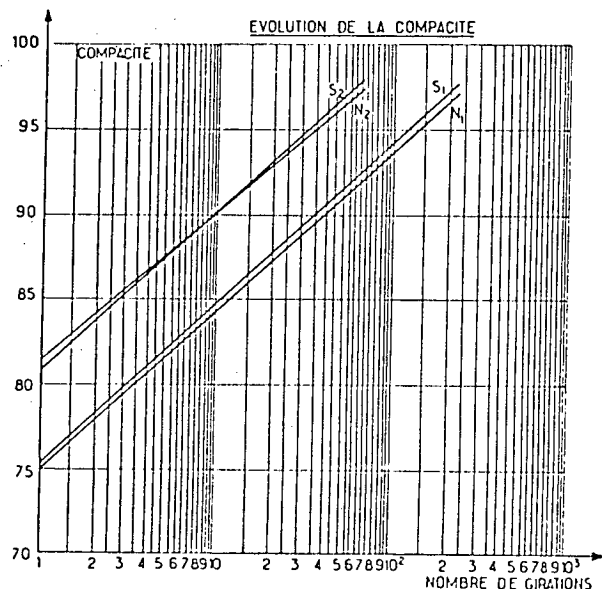
La supériorité des enrobés bitume SBS sur le plan de la résistance à l'ornièrage est manifeste puisque leur ornièrre totale est en moyenne deux fois moins importante.



Graphique 3. Courbes granulométriques des enrobés étudiés

Graphique 4. Presse à cisaillement giratoire

FORMULE	K	C_1	C_{40}	C_{60}	C_{80}	C_{200}
B.B. 0/10 N_1	4,08	75,0		91,7	92,8	96,7
B.B. 0/10 S_1	4,09	75,3		92,2	93,3	97,2
B.B. 0/14 DISCONTINU N_2	3,82	81,5	95,6			
B.B. 0/14 DISCONTINU S_2	4,10	80,9	96,0			



Essais de fluage dynamique à 40 °C

Les échantillons (éprouvettes cylindriques : $\varnothing = 110$ mm et $h = 130$ mm de type Duriez dilatées) sont soumis à une contrainte de compression sinusoïdale 0,5,5 bar de fréquence 10 Hz. L'essai est terminé lorsque le fluage (diminution de hauteur de l'échantillon) est de 6 %. Cette valeur est atteinte dès 135 000 cycles dans le cas de l'enrobé N_2 alors qu'à 1 000 000 de cycles S_2 n'a subi que 0,7 % de fluage.

Ces résultats confirment le très bon comportement aux températures de service élevées des enrobés bitume SBS.

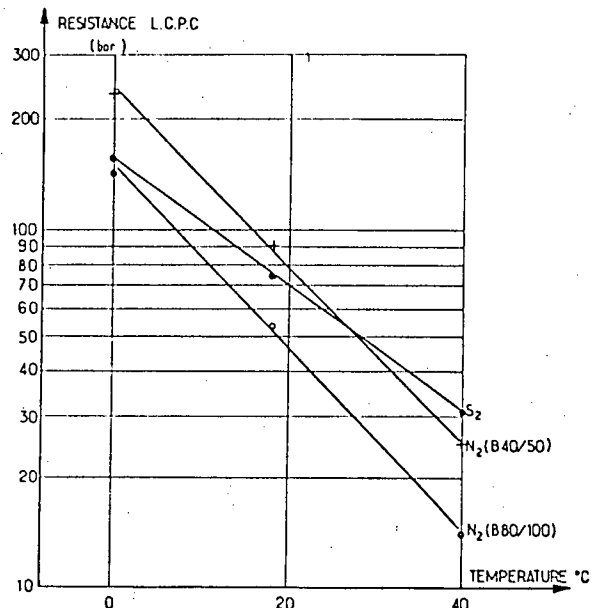
2.3.3. Essais de comportement vis-à-vis de la fatigue

Fatigue au simulateur de trafic (orniéristeur LCPC)

Une éprouvette d'enrobé, type éprouvette d'orniérage ($50 \times 18 \times 5$ cm), préparée à la table de compactage LCPC, est collée sur une plaque métallique flexible, à l'aide de liant bitume SBS. L'ensemble éprouvette - plaque d'acier ne repose pas directement sur le support rigide de l'orniéristeur mais est placé sur deux cales d'épaisseur (voir graphique 6). A chaque passage de la charge roulante, l'enrobé subit une déflexion sous un rayon de courbure donné et l'essai est arrêté lors de l'apparition d'une fissure transversale dans l'éprouvette.

Tableau 2. Composition et caractéristiques mécaniques des enrobés étudiés

COMPOSITION	FORMULATION	BB 0/10		BB 0/14 DIS-CONTINU	
		N_1	S_1	N_2	S_2
COMPOSITION	10/14 Meilleraie (% poids)			26	
	6/10 - -		22	30	
	4/6 - -		21	0	
	2/4 - -		18	0	
	0/2 - -		36	40	
	Filler Picketty -		3	4	
	Bitume 40/50 (ppc)	6,0		5,7	
	Liant Bitume-SBS -		6,0		5,7
CARACTERISTIQUES MECANQUES	ESSAI LCPC				
	. Compacité (%)	90,7	90,8	95,0	95,2
	. Résistance à la compression - A 0°C (bar)	250	155	235	159
	- A 18°C	84	70	90	75
	- A 40°C	22	28	25	31
	. Tenue à l'eau à 18°C . I/C (immersion 7 jours)	0,99	1,00	0,94	0,99
	ESSAI MARSHALL				
	. Compacité (%)	94,1	93,0	96	96,5
	. Stabilité à 60°C (daN)	960	1250	1050	1360
	ESSAI D'ORNIERAGE (150 000 CYCLES)				
	. A 40°C - ornière totale pour la compacité P.C.G. C_{40} (mm)			5,4	3,3
	- ornière totale pour la compacité P.C.G. C_{80} (mm)	2,3	1,2		
	. A 60°C - ornière totale pour la compacité P.C.G. C_{80} (mm)	4,2	2,1		
	ESSAI DE FLUAGE DYNAMIQUE A 40°C				
	Nombre de cycles pour 6 % de fluage (charge : 0,5,5 bars - fréquence : 10 Hz)			135000	$> 10^6$
					fluage 0,7 % pr 10^6
	MODULE DYNAMIQUE A 5°C - 10 Hz (10^4 bars)	11,7	7,1	12,0	7,0
	FATIGUE A DEFORMATION IMPOSEE				
	A 5°C - 10 Hz				
	Déformation admissible pour une durée de vie de 10^6 cycles ($10^4 \frac{\Delta l}{l}$)	0,86	1,50	0,84	1,42
	FATIGUE AU SIMULATEUR DE TRAFIC				
	A 20°C				
	Durée de vie (nombre de cycles)	8000	23000	7000	26000



Graphique 5. Évolution de la résistance à la compression en fonction de la température. BB 0/14 discontinu

Le centre de recherches Total utilise (ainsi que d'autres laboratoires [5, 6]) cet essai simple permettant d'obtenir une appréciation rapide comparative entre différents types d'enrobés, avant de procéder aux essais classiques de fatigue plus longs et donc plus onéreux.

Les conditions opératoires ont été choisies afin de limiter la durée des essais :

- déflexion : 1,5 mm
- portée : 30 cm
- charge : 500 daN
- température régulée : 20 °C
- fréquence de passage : 2 Hz

Les résultats obtenus (tableau 2) indiquent pour les enrobés bitume SBS une espérance de vie (suivant cet essai) trois à quatre fois supérieure à celle des enrobés classiques au bitume 40/50.

Fatigue à déformation constante

Les essais ont été réalisés en traction - compression de part et d'autre du zéro sur des éprouvettes cylindriques du type « Duriez dilatée », à la température de 5 °C et avec une sollicitation sinusoïdale de fréquence 10 Hz. On appelle durée de vie de l'échantillon le nombre de cycles pour lequel l'amplitude de la contrainte appliquée s'établit à la moitié de sa valeur initiale.

Les droites de fatigue (graphique 7) des différents enrobés N_1 , N_2 , S_1 et S_2 ont été établies à partir des résultats d'essais effectués à plusieurs niveaux de déformation.

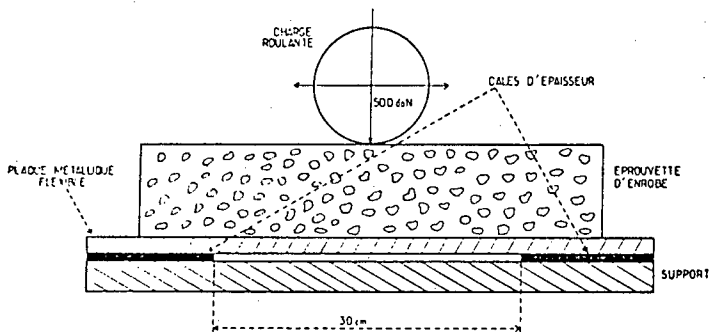


Figure 6. Essai de fatigue au simulateur de trafic

On peut constater :

- a) que, par type de liant, 40/50 ou bitume SBS, les droites de fatigue sont quasiment identiques que l'enrobé soit 0/10 semi-grenu ou 0/14

discontinu. Cela peut s'expliquer par le fait que dans la loi de fatigue des enrobés,

$$\log N = a - b \log \epsilon$$

avec

N : durée de vie,

ϵ : déformation relative,

a : facteur de fonction,

b, facteur le plus important, ne varie qu'avec la nature du liant et sa teneur. Signalons pour information les valeurs obtenues :

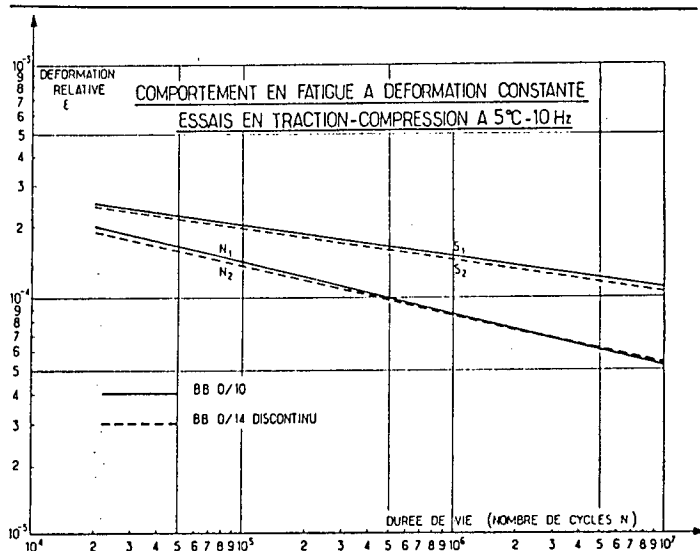
- $b_{N1} = 4,6$ - $b_{N2} = 4,8$: valeurs habituelles pour des enrobés au bitume 40/50,

- $b_{S1} = 7,5$ - $b_{S2} = 7,6$;

b) que les enrobés bitume SBS ont une résistance à la fatigue supérieure à celle d'enrobés analogues au bitume 40/50. Le facteur multiplicatif pour la durée de vie est, par exemple, de l'ordre de 20 pour une déformation relative de 10^{-4} :

$N = \simeq 5.10^5$ cycles pour enrobés 40/50,

$N = \simeq 1.10^7$ cycles pour enrobés bitume SBS.



Graphique 7

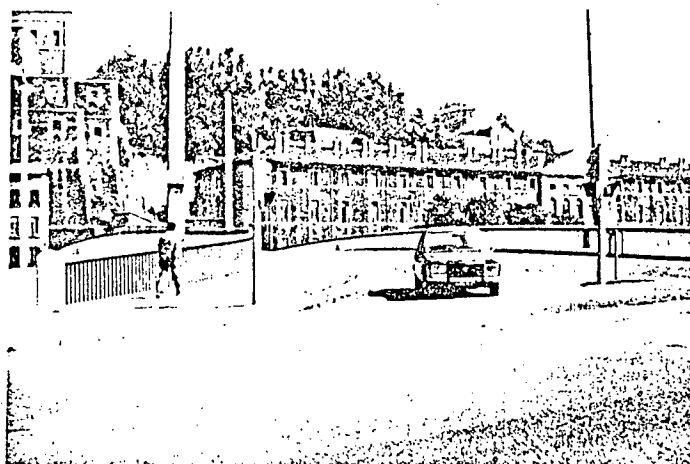


Photo 1. Enrobé au bitume SBS (Tapiprène 0/10 type 1) sur tablier d'ouvrage métallique, région lyonnaise. Etat de surface après quatre ans de trafic canalisé (voies de trolleybus)



Photo 2. RN 10. Traversée de Saint-Cyr-l'Ecole en enrobés au bitume SBS (Tapiprène 0/10 type 1)

La différence entre les deux types d'enrobés peut également s'exprimer en termes de déformation admissible pour atteindre une durée de vie donnée :

Enrobés	N_1	S_1	N_2	S_2
- Déformation relative admissible pour une durée de vie de 10^6 cycles $(10^{-4} \frac{\Delta I}{I})$	0,86	1,50	0,84	1,42
- Déformation relative admissible pour une durée de vie de 10^7 cycles $(10^{-4} \frac{\Delta I}{I})$	0,52	1,10	0,54	1,05

Ces valeurs soulignent la plus grande aptitude des enrobés bitume SBS à supporter des déformations, aptitude résultant du module plus faible de ces enrobés (cf. tableau 2) et bien entendu de l'élasticité apportée au liant par le SBS (cf. paragraphe 2.1.).

En résumé, concernant la résistance à la fatigue, les deux types d'essais (simulateur de trafic et déformation constante) mettent bien en évidence l'intérêt des enrobés bitume SBS, intérêt constaté également par d'autres auteurs [8].

3. Réalisations routières

Se basant sur les résultats de laboratoire précédents, des enrobés à liant bitume SBS sont fabriqués et mis en œuvre, depuis plusieurs années, sous le nom de Tapiprène par la Société Chimique de la Route.

Actuellement, des revêtements Tapiprène sont en place :

- sur des tabliers d'ouvrage d'art où des déformations élastiques im-

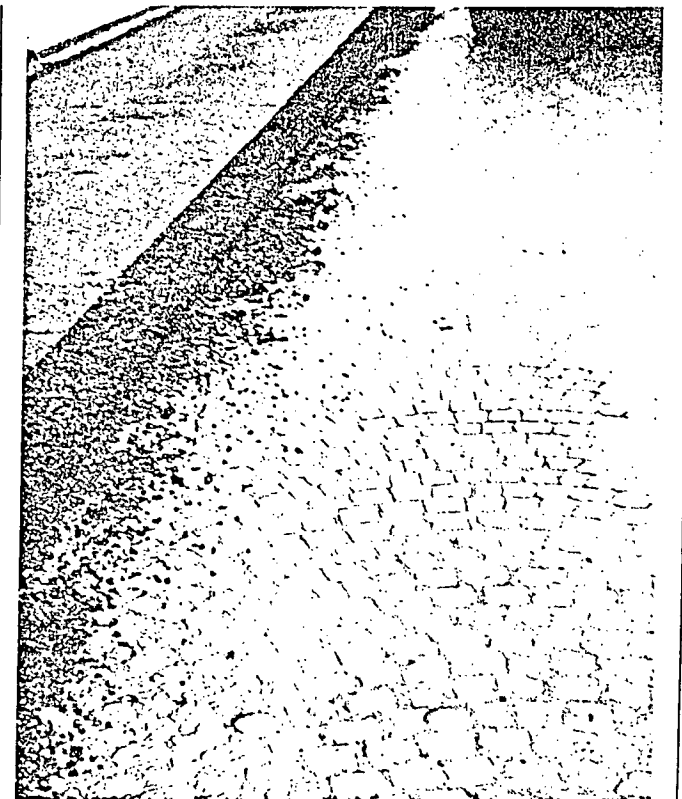


Photo 3. Route de la Reine à Boulogne-Billancourt (chantier de Tapiprène 0/10 type 1). Détail montrant le support

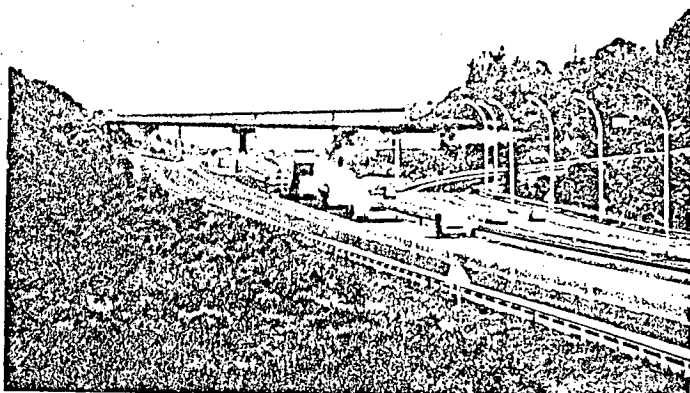


Photo 4. Chantier de thermorégénération de A 10 avec emploi d'enrobé au bitume SBS (Tapiprène 0/10 type 1)

portantes posaient des problèmes de tenue des couches de roulement,

- dans des traverses d'agglomération où la présence de contraintes de niveau et l'importance du trafic nécessitaient un tapis mince performant ; en particulier du Tapiprène 0/10 a été utilisé sur support chaussée pavée,

- sur routes et autoroutes
- en tapis d'entretien en couche mince là où le niveau du trafic et des déflexions le justifiait,
- en apports très minces destinés aux améliorations de surface dans certains procédés de régénération où les moyens adaptés permettaient l'application d'une couche d'environ 2 cm de Tapiprène.

Ces réalisations routières, qui toutes ont un comportement satisfaisant (après quatre années de service pour certaines), ont montré que la fabrication et l'application des enrobés bitume SBS ne posaient pas de difficulté particulière.

4. Conclusions

L'addition de SBS dans un bitume diminue la susceptibilité thermique, augmente la cohésivité et l'adhésivité et donne au liant obtenu une certaine élasticité. C'est pourquoi, un liant bitume SBS bien formulé confère aux enrobés une faible rigidité à basse température associée à une très bonne stabilité aux températures de service élevées. Il en résulte que les enrobés (bitume SBS) sont bien supérieurs aux enrobés classiques sur les plans

- de la résistance à l'ornièrage,
- de la résistance à la fatigue.

Cela rend intéressant l'emploi de ces enrobés dans trois types de cas :

- les cas difficiles tout d'abord : revêtements d'ouvrages d'art, traverses d'agglomération à trafic important et canalisé (autobus), couches de roulement soumises à de très fortes sollicitations à l'ornièrage,
- les enrobés en couche mince auxquels on demande des allongements admissibles en fatigue élevés. On doit pouvoir, avec des enrobés bitume SBS
- soit, à déflexion équivalente, admettre le gain d'une classe de trafic,
- soit, à trafic identique, admettre le gain d'un niveau de déflexion du support.

Les réalisations routières actuelles de Tapiprène appartiennent à ces deux types de cas. Le recul peut être jugé encore insuffisant, mais le bon comportement de ces réalisations, en confirmant les résultats de laboratoire, constitue un encouragement sérieux ;

- les cas de couches de roulement de chaussées neuves ou de rechargements pour lesquels les calculs de dimensionnement indiquent que le critère le plus contraignant est la déformation admissible en traction à la base du tapis d'enrobé (plutôt que la déformation admissible en compression à la surface du sol). Dans ces cas, la résistance à la fatigue supérieure des enrobés bitume SBS ainsi que leur rigidité plus forte aux températures de service élevées peuvent permettre un gain appréciable d'épaisseur [7].

Enfin, il nous paraît souhaitable à l'avenir d'expérimenter les enrobés bitume SBS pour l'entretien des chaussées à base de grave hydraulique. En effet, l'aptitude de ces enrobés à supporter les déformations devrait leur permettre de mieux résister à la remontée des fissures.

5. Bibliographie

- [1] J. MARVILLET, A. VERSCHAVE, J. DUVAL. Communication Total - Société Chimique de la Route, Eurobitume, Londres, novembre 1978.
- [2] J.H. DENNING. High performance surface dressing. Transport and Road Research Laboratory. Report 314.
- [3] Réalisation des enrobés en couche mince pour l'entretien des chaussées renforcées et des chaussées neuves. Note technique SETRA - LCPC, décembre 1979.
- [4] M. KENNEL. Communication Total au VII^e Congrès mondial IRF, Munich, 1973 : « Contribution à l'étude de l'ornièrage des bétons bitumineux ».
- [5] S. SOLIMAN. Rapport de recherches LCPC n° 58 (1976).
- [6] R. SMADJA, J. RIVOIRE. Les bétons bitumineux à hautes performances « Bétonplast ». *Revue générale des routes et des aérodromes*, n° 551, mars 1979.
- [7] F. GUAY. Rapport interne Total.
- [8] J. UDRON, L. TIRET, J.N. LEMAIRE. Les bitumes polymères dans les enrobés routiers. Application aux bitumes Cariflex TR. *Revue générale des routes et des aérodromes*, n° 572, février 1981.

Nos collections de formation permanente

- Guide pratique de construction routière, année 1981

(11 fascicules) livraison groupée décembre 1981
livraison mensuelle dès parution
Année 1979 ou 1980

FF 135 France, zone franc, Tunisie - FF 160 Étranger
FF 165 France, zone franc, Tunisie - FF 195 Étranger
FF 125 France, zone franc, Tunisie - FF 150 Étranger

- Technique routière (1977-1978)

(7 fascicules)

FF 90 France, zone franc, Tunisie - FF 110 Étranger

- L'entreprise routière face à ses problèmes de gestion (1976-1977) (17 fascicules)

FF 180 France, zone franc, Tunisie - FF 200 Étranger

- Collections annuelles (1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976)

(11 fascicules)

FF 117 France, zone franc, Tunisie - FF 138 Étranger

ANNEXE B5

ENROBES DRAINANTS

AVRIL 1985

RESUME

Les enrobés drainants sont des enrobés de 4 cm d'épaisseur à forte teneur en vides (environ 20 %) permettant un drainage vertical puis horizontal de l'eau dans la chaussée.

Ils offrent de bonnes caractéristiques antidérapantes et réduisent voire suppriment les projections d'eau tout en offrant un bruit de roulement comparable à celui des enrobés classiques. Leur porosité engendre un comportement notamment thermique qui peut amener à adapter pour ce type de produit les modalités du service hivernal.

PREAMBULE

Dans le difficile compromis durabilité, sécurité et confort des enrobés pour couches de surface tout en tenant compte du coût, les enrobés drainants constituent une solution très prometteuse pour améliorer la sécurité des usagers par temps de pluie. En effet, ils offrent de bonnes caractéristiques anti-dérapantes tout en permettant de réduire voire de supprimer dans certains cas les projections de brouillards d'eau dans le sillage des véhicules.

Après quelques essais à la fin des années 1960, de nouvelles réalisations en enrobés drainants ont été éprouvées depuis 1977 dans des conditions extrêmement variables de site et de climat.

Leur comportement différent des enrobés classiques en période hivernale fait que le verglas peut se former dans des conditions où il ne se forme pas sur les revêtements courants et l'enlèvement de la neige tassée est très difficile. Ce point a sans aucun

doute freiné le développement de cette technique y compris dans les zones tempérées.

Par contre, il est maintenant bien établi que les enrobés drainants offrent une texture rugueuse sans être bruyants.

DESCRIPTION DU PROCEDE

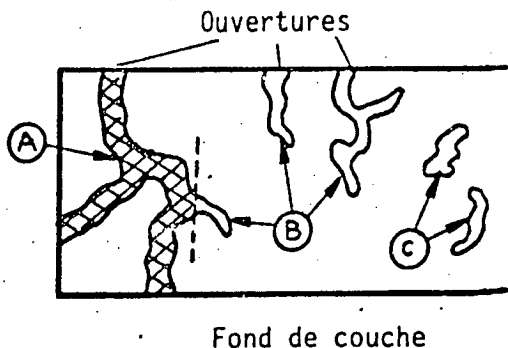
1. - DESCRIPTION GENERALE

Les enrobés drainants sont des enrobés bitumineux poreux dont les vides communiquent, destinés à régénérer les caractéristiques de surface des chaussées du point de vue de la sécurité et du confort.

Le rôle de l'enrobé drainant est double :

- il empêche mieux que l'enduit superficiel la formation d'un film d'eau continu sur la chaussée et diminue ainsi fortement les risques d'aquaplanage et les projections d'eau tout en améliorant l'adhérence.

- il absorbe lors de précipitations plus ou moins fortes par les vides qu'il contient les eaux de ruissellement qui sont ensuite évacuées latéralement. La capacité de stockage est bien entendu liée à l'épaisseur du revêtement et à sa porosité (4 à 5 mm d'eau pour une épaisseur d'enrobé de 4 cm).



- A) pores efficaces :
Ils permettent le stockage de l'eau et le drainage de l'eau.
- B) pores semi-efficaces :
Ils n'ont qu'une fonction : permettre le stockage de l'eau (si le diamètre des vides est suffisant).
- C) pores inefficaces (inclusions) : (puisque'ils ne communiquent pas).

Actuellement, sont appelés enrobés drainants deux familles :

- les enrobés en couche mince de 4 cm d'épaisseur et offrant un drainage vertical et horizontal,
- les enrobés en couche très mince de 2 à 2,5 cm d'épaisseur. Ces enrobés, compte-tenu de leur faible épaisseur, ne procurent qu'un drainage horizontal à la surface de la chaussée.

SEULE LA PREMIERE FAMILLE FAIT L'OBJET DE LA PRESENTE NOTE.

2. - COMPOSITION DES PRODUITS

a) granularité

On distingue :

- les formules 0/10 et 0/14 continues,
- les formules 0/10 et 0/14 discontinues (2/6),
- les formules 0/14 fortement discontinues (2/10).

L'expérience acquise montre que les formules discontinues permettent d'obtenir plus facilement la formation de canaux communicants (vides efficaces).

La teneur en fines est de l'ordre de 4 à 5 %, la teneur en sable 0/2 de l'ordre de 15 à 20 % selon le type de formule.

b) liant

Pour les enrobés à base de bitume pur, la teneur en liant est entre 4,5 et 5 % de bitume 80/100 ou 60/70 dopé ou non. Avec de tels dosages, le film de liant peut être considéré comme relativement épais compte tenu du peu de fines dans les mélanges.

Pour les enrobés à base de bitume modifié, la plage des teneurs en liant varie de 4,5 à 7 %. Les fortes teneurs sont préconisées par certaines entreprises pour améliorer la durabilité. Mais ceci peut conduire dans certains cas à réduire le caractère drainant.

Sont à noter les enrobés au bitume caoutchouc, se caractérisant par une teneur en liant élevée, de l'ordre de 7 %.

3. - CONDITIONS D'EMPLOI, PRECAUTIONS A LA MISE EN OEUVRE

Ces enrobés seront à utiliser quand ne se posent que des problèmes de sécurité et de confort pour lesquels la solution enduits superficiels s'avère parfois inadaptée (risques de poinçonnement sous trafic lourd important, légères déformations du profil transversal, chaussées ressuantes, niveau sonore).

a) état du support :

Les enrobés drainants ne doivent pas être utilisés sur des supports présentant des déformations permanentes trop importantes. La profondeur d'ornière sous une règle de 3 m doit être inférieure à 1 cm. Dans le cas contraire, on effectuera une préparation du support par fraisage à froid de préférence au reprofilage. En effet, pour permettre l'évacuation de l'eau vers les bords, il est évident que le support ne doit pas présenter de défauts susceptibles de piéger l'eau. Par ailleurs, le support devra présenter une déformabilité dont les valeurs limites liées au trafic seront celles habituellement admises pour les enrobés d'entretien en couche mince.

b) imperméabilité du support :

Bien entendu, l'eau stockée dans les enrobés drainants doit s'évacuer sans pénétrer dans les couches inférieures. Le support doit donc être imperméable ou imperméabilisé si besoin est.

c) drainage latéral :

Il faut assurer la continuité de l'écoulement latéral en apportant un grand soin à la réalisation des accotements qui ne doivent pas entraver l'évacuation de l'eau. En milieu urbain on maintiendra une "rigole" de quelques centimètres de largeur entre le bord du tapis d'enrobé et la bordure.

d) précautions à la fabrication :

La fabrication des enrobés drainants au bitume pur ne pose pas de problèmes particuliers. Les craintes concernant les risques de migration du liant ou de ségrégation granulométrique n'ont jamais été vérifiées. Les températures sont celles préconisées pour les enrobés traditionnels. Toutefois, il faut être plus vigilant sur le respect de la température en évitant les problèmes de surchauffe des granulats et ainsi limiter les risques de chocs thermiques sur le liant. De même, il faut être très attentif au respect de la composition du squelette minéral.

e) précautions à la mise en oeuvre :

Il convient d'utiliser ces enrobés en continu en évitant les travaux en "pointillés", pour éviter des changements de texture trop fréquents.

Il faut prescrire une couche d'accrochage à raison d'environ 200 à 300 g/m² de bitume résiduel. Le respect de l'épaisseur constitue, comme pour les enrobés d'entretien, l'impératif essentiel. Une épaisseur trop faible ne permet pas d'obtenir des caractéristiques mécaniques suffisantes et de résister aux arrachements. Une épaisseur trop forte par contre risque de conduire à des compacités trop élevées et donc d'atténuer, voire même de supprimer le caractère drainant recherché.

Le compactage doit être aussi poussé que sur des enrobés classiques pour que l'évolution ultérieure inéluctable des compacités soit la plus faible possible. La drainabilité ne doit pas être obtenue par un sous compactage.

L'utilisation de compacteurs à pneus n'entraîne pas de problèmes particuliers sous réserve d'utiliser des produits anticollage pour éviter les phénomènes de collage en début de compactage.

4. - PROPRIETES

L'étude du produit visera à garantir la durabilité, les propriétés antidérapantes, la drainabilité dans le temps et la tenue à l'orniérage.

a) durabilité :

Une compacité en place de 80 % apparaît actuellement comme le meilleur compromis entre la bonne tenue mécanique des enrobés et le caractère drainant. Une compacité plus faible augmente les risques de dégradations de surface par déchaussement des gravillons. Une compacité plus forte que 85 % réduit notablement le caractère drainant recherché.

Par ailleurs, le rôle des granulats est très important vis-à-vis du liant par ses caractéristiques d'adhésion et vis-à-vis de la circulation et des intempéries par les qualités assurant l'adhérence.

b) drainabilité - propriétés antidérapantes :

L'influence du pourcentage de vides sur les caractéristiques anti-dérapantes par temps de pluie est évidemment élevée.

Les études déjà réalisées sur les enrobés drainants en 4 cm d'épaisseur ont permis de mettre en évidence la bonne corrélation entre la compacité déterminée à la presse de cisaillement giratoire et celles obtenues sur chantiers. Comme pour les enrobés d'entretien c'est la compacité à 40 girations qui est prise comme référence.

A titre d'exemple les niveaux d'adhérence de l'enrobé drainant de la RN 147 l'année de réalisation et cinq ans après sont donnés par la figure page 4.

c) tenue à l'orniérage :

Les essais réalisés à l'orniéreur ont permis de vérifier la bonne résistance à l'orniérage de telles formules, la stabilité des enrobés drainants étant assurée par l'angle de frottement des éléments du squelette minéral.

5. - BILAN DES CHANTIERS REALISES

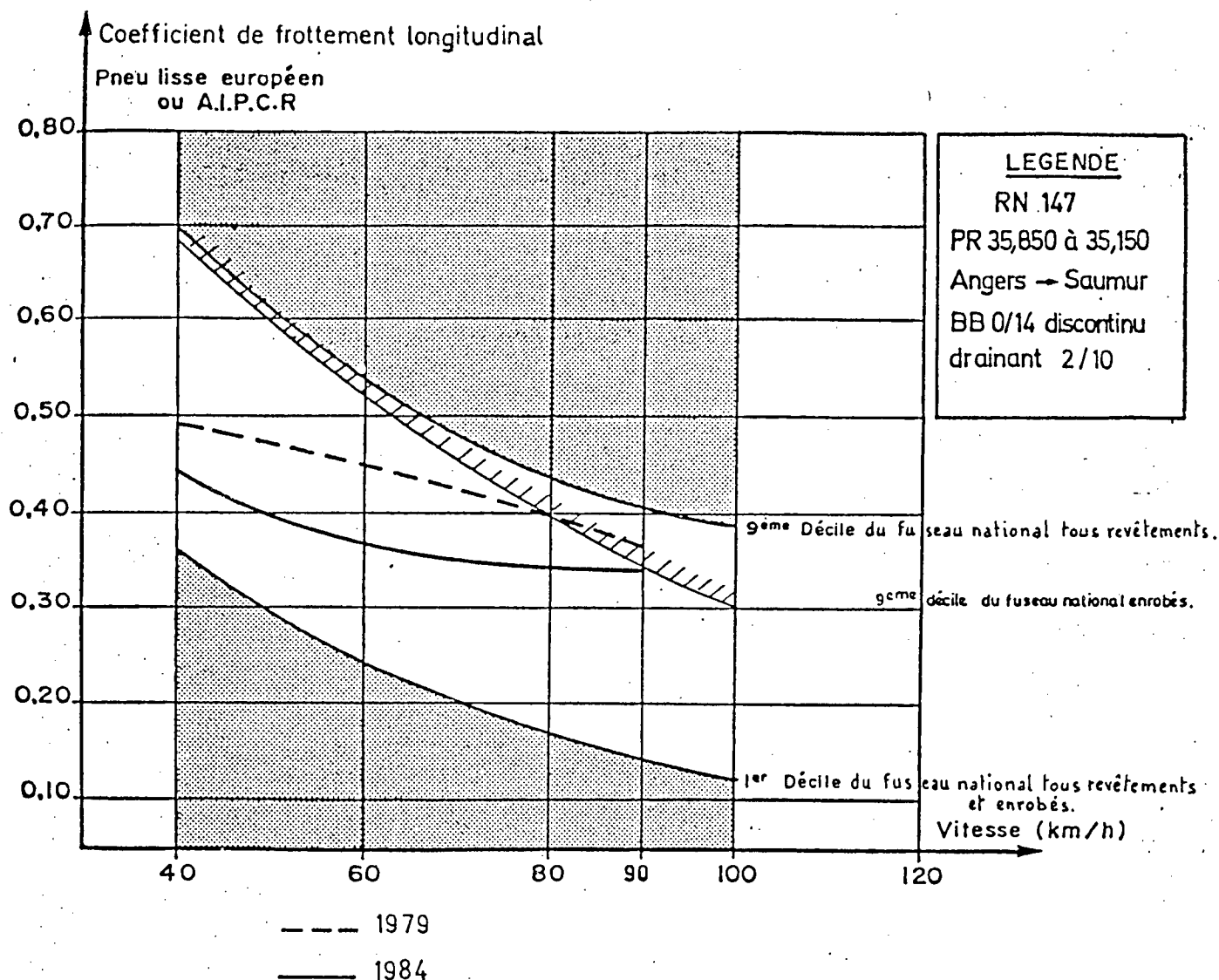
Au travers des rapports de suivi de réalisations françaises et étrangères, les enrobés drainants présentent les inconvénients et les avantages suivants :

a) inconvénients

- entretien hivernal différent de celui des enrobés classiques ou des enduits
- chute des propriétés drainantes dans le temps.

b) avantages

- moins de projections d'eau;
- moins d'eau sur la chaussée, surtout dans les zones de changements de dévers,



- très bonne adhérence,
- peu éblouissant,
- bonne résistance à l'orniérage,
- par rapport aux enduits :
 - . résistance au roulement faible, plus faible consommation,
 - . favorable au point de vue bruit de roulement.

c) aspect hivernal

Il faut convenir qu'en matière de viabilité hivernale bien des incertitudes demeurent. Citons quelques aspects spécifiques.

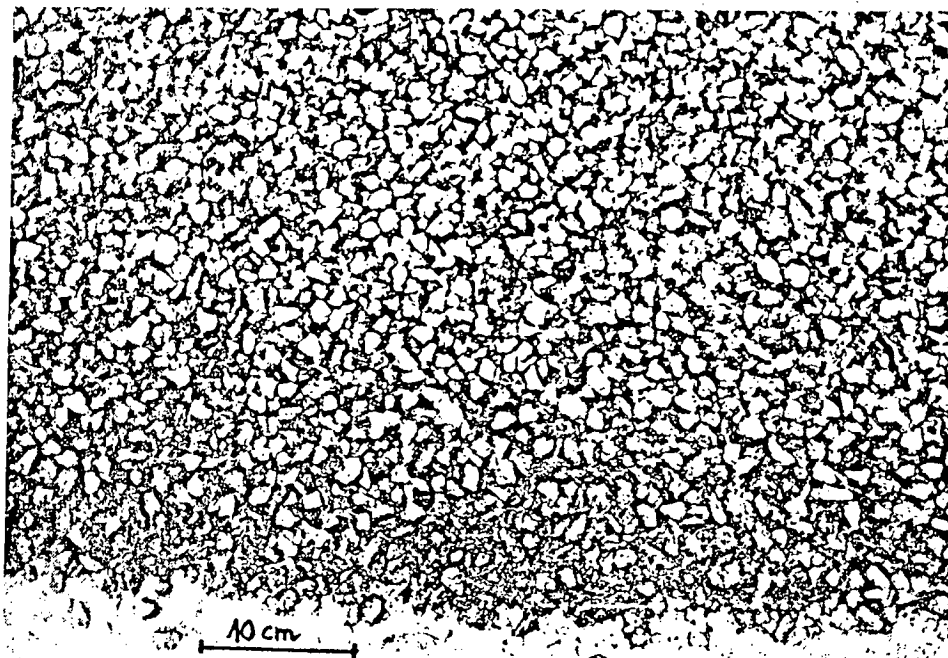
On sait que la température superficielle d'un revêtement varie de manière complexe et que ces variations résultent notamment de la température de l'air, de la présence d'eau, du rayonnement (temps dégagé ou couvert) de la transmission de la chaleur dans les revêtements (caractéristiques thermiques).

Par exemple l'air contenu dans l'enrobé drainant a pour effet d'augmenter le caractère isolant de celui-ci. En cas de baisse subite de la température de l'air ambiant, la surface du revêtement se trouve isolée du sous-sol plus chaud et se refroidit donc plus vite. Dans ce cas le verglas risque d'apparaître plus fréquemment et plus tôt que sur les enrobés classiques.

D'autre part, la neige est aussi très difficile à éliminer car elle vient combler les pores.

On cherche à éviter les inconvénients cités plus haut en procédant à des traitements particuliers (surdosage, nature solide des produits, fréquence de salage).

Sur des sections très courtes (longueur < 200 mètres) où des problèmes de ruissellement d'eau se posaient (raccordement de dévers), on n'a pas constaté l'apparition différenciée de verglas. Dans ce cas il ne paraît pas nécessaire de prévoir un traitement spécifique.



En conclusion, on peut simplement indiquer que l'apparition de verglas peut se produire à un moment différent de celui constaté sur enrobés ou enduits et donc peut nécessiter une intervention spécifique.

DONNEES ECONOMIQUES

L'application en faible épaisseur, la faible teneur en liant et la faible densité font que les enrobés drainants à base de bitume courant constituent un revêtement économique.

En considérant que les coûts de fabrication et de mise en oeuvre sont comparables à ceux des enrobés en couche mince, on obtient des coûts à la tonne de 300 à 350 T.T.C. pour des chantiers de 20 000 m². Les coûts au m² en retenant des dosages de 80 kg/m² sont de 24 F T.T.C. à 28 F T.T.C./m² plus la couche d'accrochage.

Pour les enrobés à base de liants modifiés les coûts à la tonne varient de 375 à 550 F T.T.C. (valeur février 1985).

ASPECTS CONCURRENTIELS

Il existe sur le marché, outre les formulations administration, de nombreux produits appelés "enrobés drainants". Parmi ceux-ci une partie correspond à la définition donnée à la Description Générale page 2 (épaisseur 4 cm - drainage vertical et horizontal), l'autre partie aux enrobés en très faible épaisseur drainant pratiquement seulement horizontalement. La limite entre ces deux familles n'est pas aujourd'hui évidente. Il peut aussi arriver qu'un même nom de produit couvre plusieurs formulations pouvant se répartir dans l'une ou l'autre catégorie.

Aussi, dans la liste non exhaustive qui suit, les deux familles ne seront pas différenciées pour l'instant :

- 1) Enrobé drainants au bitume pur :
 - . 0/10 ou 0/14 continu ou discontinu au bitume 60/70 ou 80/100 dopé ou non.

2) Enrobés à liant ou mastic (liant + fines) modifié

- . RUGOSIT P : 0/14 discontinu 2/10 - bitume $\simeq$ 4,8 % additif CARYFLEX - commercialisé par SACER
 - . PAREDRAI LM 10 I : 0/10 continu - liant CARYPHALT : 4,3 % - commercialisé par SNPR
 - . ACCROPLAST : 0/10 continu - liant MOBILPLAST : 6 % - commercialisé par Entreprise Jean Lefebvre
 - . DRAINASPHALT TMX : 0/10 discontinu 2/6 - liant COLFLEX : $\simeq$ 6,4 % - commercialisé par COLAS
 - . PERMASPHALT TMX : 2/10 - liant COLFLEX 6,4 % - commercialisé par COLAS
 - . DRAINOCHAPE : 0/10 discontinu 2-6 - bitume caoutchouc : 7 % - commercialisé par BEUGNET
 - . RUGOFLEX : 0/10 ou 0/14 discontinu bitume ($\simeq$ 6 %) + fibres d'amiantes - commercialisé par SCREG
 - . ACCORUG : 0/10 ou 0/14 discontinu liant-bitume - brai 281 $\simeq$ 5,9 % - commercialisé par COCHERY
 - . DRAINOVIA : 0/10 ou 0/14 continu liant VIAFLEX $\simeq$ 5,2 % - commercialisé par VIAFRANCE
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FAURE Michel :
Réalisation d'un chantier expérimental d'enrobé ouvert drainant sur la RN 521 B en Savoie, Juillet 1978.
- BELLANGER J. :
Les enrobés drainants, étude bibliographique, 31 Juillet 1979.
- VAN GREVENYNGHE, FEVRE A. :
Suivi d'une couche de béton bitumineux drainant ouvert appliqué sur un point noir glissant RN 31, Mai 1980.
- BELLANGER J. :
Compte-rendu de la réunion internationale sur les enrobés drainants de BRUINISSE, Septembre 1981.
- BONNOT J., PLAUT J.F. :
Compte-rendu de la mission sur les enrobés drainants en Belgique et aux Pays-Bas, Octobre 1984.

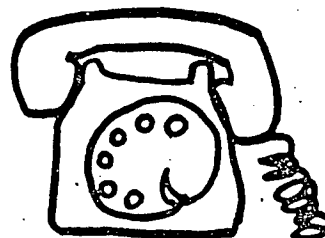


Personnes à contacter

Cette note d'information a été rédigée par M. FAURE, Laboratoire Régional de Clermont Ferrand - 8-10 rue B. Palissy B.P. 11 - 63104 CLERMONT-FERRAND - Tél : 73.91.22.70

Tous les Laboratoires Régionaux de l'Équipement et les Divisions Terrassements-Chaussées ainsi que le SETRA et le LCPC peuvent aussi fournir de plus amples informations.

17) 664 14 77



ANNEXE C



DISTRICT DE MONTRÉAL

Case postale 1400
Succursale "C"
1701, rue Parthenais
Montréal, Québec
H2L 4K7

Votre dossier

Notre dossier

Sainte-Julie, le 12 décembre 1991

Ministère des Transports
Att.: Monsieur Aziz Amire, ingénieur
Département Sol et Chaussée
200 Dorchester Sud
Québec (Québec)
J1K 5Z1

Monsieur,

Suite à notre conversation téléphonique le 10 décembre 1991, alors que vous me faisiez part de vos recherches et vos analyses concernant le pavage drainant, je vous sou mets les statistiques d'accidents, tel que demandé, qui sont survenus entre le 1er janvier 1991 au 30 novembre 1991.

Saint-Lambert	Zone: 132	Ilot: 56580
Accidents mortels:	3	
Accidents blessés:	5	
Accidents matériels		
+\$500:	17	
Accidents matériels		
-\$500:	7	
Boucherville	Zone: 132	Ilot: 56750
Accident morte:	1	
Accidents blessés:	3	
Accidents matériels		
\$500:	18	
Accidents matériels		
-\$500:	4	

Il est à noter que le mois de décembre est le mois où nous déplorons le plus d'accidents.

.../2

2.

Espérant que ces statistiques vous aidera à poursuivre vos recherches.



Agent Claude Beaulieu
Responsable Intérim
Sécurité Routière
S.Q. Ste-Julie
(514)649-1555

DISTRICT DE MONTRÉAL

Case postale 1400

Succursale "C"

1701, rue Parthenais

Montréal, Québec

H2L 4K7



Depuis 1870

Sainte-Julie, le 2 avril 1991

Ministère des Transports
Att.: Monsieur Jean Croisetière
Ingénieur, District 56
1 Mortagne
Boucherville (Québec)
J4B 5K5

OBJET: Revêtement route 132 hauteur St-Lambert et Boucherville

Monsieur,

Pour faire suite à votre demande concernant le sujet en titre, je vous transmet les statistiques routières en matière d'accident survenu sur la Route 132 dans les zones de St-Lambert et de Boucherville.

Comme vous le savez déjà, en date du 21 décembre 1990, suite à une pluie verglassante, nous constatons à ces endroits une concentration d'accidents, à savoir vingt(20) accidents impliquant trente-deux(32) véhicules et ce, en moins de deux(2) heures.

A la suite de notre entretien, j'ai relevé des statistiques pour connaître l'impact de cette nouvelle chaussée, si cette dernière influence ou non les accidents dans ces secteurs en comparant avec des périodes égales soit avant et après sa construction.

Tel qu'entendu, je ne suis pas en mesure de vous soumettre pour le secteur de Boucherville, une statistique comparative d'un(1) an avant et après la construction de ce revêtement étant donné que la date de construction est le 1er août 1990.

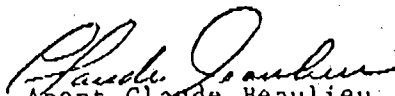
le 2 avril 1991

Tant qu'à celle du secteur de St-Lambert, je ne dispose que de six(6) mois avant la date de construction étant donné que ces statistiques furent informatisées qu'à partir du 1er avril 1989, pour cette raison, cette statistique n'est fait que sur une période de six(6) mois avant le 1er août 1989, et suivant cette date, vous trouverez ci-joint à la présente un tableau comparatif.

Il est à noter que ces statistiques sont globales et ne tiennent pas compte des facteurs climatiques.

Il n'en demeure pas moins que cette surface est très fonctionnelle, en ce qui a trait à l'élimination de l'eau en période d'été, mais par pluie verglassante, les résultats attendus sont différents à savoir que cette chaussée est plus difficile en ce qui a trait à son déglacage.

Espérant que ces données, sauront répondre à vos attentes et vous aideront à l'analyse de ce revêtement.


Agent Claude Beaulieu
Responsable (intérim)
Sécurité Routière
S.Q. Ste-Julie
648-1555

/hd

ETUDE SUR 4 MOIS

St-Lambert

Légende:

510: accident mortel
521: accident avec blessé
522: accident matériel + \$500.
523: accident matériel -\$500.

(Avant) période du 1er avril 89 au 1er août 89

D510	1
D521	12
D522	28
D523	5

(Après) période du 1er août 89 au 1er décembre 89

D510	2
D521	5
D522	33
D523	-

Période comparable (avec nouveau revêtement même période)

Période du 1er avril 90 au 1er août 90

D510	1
D521	3
D522	25
D523	2

Période du 1er août 90 au 1er décembre 90

D510	1
D521	5
D522	13
D523	2

ETUDE SUR 6 MOIS

BOUCHERVILLE

Période du 1er janvier 90 au 1er août 90

D510	-
D521	13
D522	32
D523	1

Période du 1er août 90 au 1er mars 91

D510	2
D521	7
D522	15
D523	2

Période comparable

Aucune statistique Période en cours.

/hd



Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
District 34

ON VA DE L'AVANT

DATE : 1991-11-14

A : M. Aziz Amiri, service des sols et chaussées

DE : Mario Bergeron, ing., chef de division entretien

OBJET : Enrobé drainant
Autoroute 20
N/Contrats : 434-1113-5
434-1109-7

Pour faire suite à votre demande, je vous confirme, après discussion avec le contremaître responsable de l'entretien d'hiver de l'Autoroute 20, que ce type d'enrobé nécessitait environ deux fois plus de sel déglacant qu'un enrobé conventionnel le premier hiver après sa mise en place. Toutefois, ce besoin additionnel semble s'atténuer d'année en année pour en arriver à environ 1,5 fois de plus après 5 ans.

Bien entendu, comme je vous l'indiquais lors de notre conversation téléphonique, ces données n'ont jamais été vérifiées rigoureusement et ne sont en fait qu'un estimé fait à partir de l'expérience du contremaître.

Mario Bergeron

Mario Bergeron, ing.

MB/cm

Copie
J.L. Simard
D. Waltz
2/4 D

Ministère du Transport
201 Place Charles Lemoine
5^{ème} étage
Longueuil, (Qué)
J4K 2T5

Brossard, le 7 novembre 1989

C.E. Thiodore Lina S.M.A.

Roger Fortin
Paul Biland
Pierre André Dugas
Marc L'Allier

A qui de droit,

Je suis un fréquent utilisateur de l'autoroute 132. J'ai eu le plaisir de rouler à maintes occasions sur la section située à l'est du pont Victoria dont la surface fut nouvellement refaite.

Je dois vous faire part de ma très grande satisfaction de rouler sur une surface de ce genre. Cette surface est très efficace le soir par temps de pluie car elle ne reflète pas les lumières et donne une excellente adhérence aux pneus.

Bravo à toute l'équipe.

Pierre Gosselin
Pierre Gosselin
1195 Tuochette
Brossard, (Qué)
J4W 2N3

*Copie L.A. par SM
Y Dureau S.M.A.
N.B. = par d'un milieu drainant
T.J.*

*C'est la première fois
pour moi, que le M.T.Q.
(local) reçoit pour un
projet au moins 5 féli-
citations individuelles
téléphones et lettres.
Je me joins aux autres
pour dire MERCI à
ceux qui ont permis
le pose "expérimentale"
de l'asphalte drainant.*

REÇU
TRANSPORTS
NOV 23 1989
DIR. SOLS & MATÉRIAUX

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
BUREAU DU SOUS-MINISTRE
ADJOINT
NOV 14 1989
DIRECTION GÉNÉRALE
DES OPÉRATIONS

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
BUREAU DU SOUS-MINISTRE
ADJOINT
NOV 15 1989
DIRECTION GÉNÉRALE
DU GENIE

STATISTIQUES MÉTÉOROLOGIQUES
(30 ANS)

TABLE 1

MEANS OF TEMPERATURE, PRECIPITATION, HUMIDITY, PRESSURE, WIND AND SUNSHINE
MOYENNES DE TEMPERATURE, PRECIPITATIONS, HUMIDITE, PRESSION, VENT ET INSOLATION

TABLEAU 1

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
TEMPERATURE (C)														TEMPERATURE (C)
MAXIMUM	-7.5	-6.0	0.0	7.9	16.8	22.3	24.9	23.1	17.9	11.1	3.2	-5.0	9.1	MAXIMALE
MINIMUM	-16.6	-15.6	-9.1	-1.5	4.8	10.4	13.2	11.9	7.2	2.1	-3.6	-13.1	-0.8	MINIMALE
MEAN	-12.1	-10.8	-4.5	3.3	10.8	16.4	19.1	17.5	12.6	6.6	-0.2	-9.0	4.1	MOYENNE
EXTREME MAXIMUM	10.0	11.7	17.8	26.7	33.0	33.9	35.6	34.4	33.9	28.3	20.0	13.9	35.6	MAXIMALE EXTREME
EXTREME MINIMUM	-35.0	-36.1	-30.0	-18.9	-7.8	-0.6	3.9	2.2	-4.8	-10.0	-24.0	-32.2	-36.1	MINIMALE EXTREME
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
RAINFALL (MM)	17.2	11.2	26.1	55.1	85.9	109.9	116.6	117.1	119.4	86.4	62.9	28.6	836.4	CHUTES DE PLUIE (MM)
EXTREME	34.2	33.0	56.9	55.4	43.2	78.0	59.9	55.4	81.2	56.9	45.5	43.4	81.2	EXTREME
SNOWFALL (CM)	77.5	70.2	54.2	16.2	0.9	T	0.0	0.0	T	4.4	33.9	86.1	343.4	CHUTES DE NEIGE (CM)
EXTREME	32.3	29.2	43.9	33.0	7.1	0.3	0.0	0.0	T	17.3	30.5	35.6	43.9	EXTREME
TOTAL (MM)	89.8	78.1	82.0	72.8	86.9	109.9	116.6	117.1	119.4	90.7	97.1	113.6	1174.0	TOTAL (MM)
EXTREME	41.0	39.6	63.5	55.4	43.2	78.0	59.9	55.4	81.2	56.9	45.7	47.8	81.2	EXTREME
HUMIDITY														HUMIDITE
VAPOUR PRESSURE (KPA)	0.23	0.24	0.35	0.53	0.83	1.31	1.59	1.50	1.15	0.77	0.52	0.29	0.78	PRESSION DE VAPEUR (KPA)
DEW POINT (C)	-15.3	-14.6	-8.8	-2.8	3.3	10.3	13.4	12.5	8.2	2.3	-3.4	-12.1	-0.6	POINT DE ROSEE (C)
RELATIVE HUMIDITY (%)	75	72	71	67	64	70	72	74	77	75	79	77	73	HUMIDITE REL (%)
PRESSURE														PRESSION
SEA LEVEL (KPA)	101.5	101.5	101.4	101.4	101.4	101.3	101.3	101.4	101.6	101.6	101.5	101.6	101.5	NIV MER (KPA)
WIND														VENT
PREVAILING DIRECTION	WSW	WSW	ENE	ENE	ENE	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	DIR DOMINANTE
SPEED (KM/H)	18.9	18.9	18.1	16.6	16.5	14.5	12.8	12.9	13.4	15.0	16.2	17.7	15.9	VITESSE (KM/H)
PEAK WIND (KM/H)	109	113	111	101	116	177	137	98	137	111	113	113	177	VITESSE MAX (KM/H)
SUNSHINE														INSOLATION
BRIGHT SUNSHINE (H)	96.6	113.4	140.0	171.8	219.9	224.2	247.5	219.0	153.0	116.3	74.3	75.7	1851.7	INSOL EFFECTIVE (H)
% OF POSSIBLE	34.6	39.1	38.0	42.3	47.3	47.3	51.6	49.7	40.5	34.3	26.2	28.3	41.4	FRACTION D'INSOL (%)

TABLE 2

MEAN NUMBER OF DAYS WITH OCCURRENCE OF
NOMBRE MOYEN DE JOURS D'OCCURRENCE DES PHENOMENES

TABLEAU 2

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
TEMPERATURE (MAX)														TEMPERATURE (MAX)
> 0 C	4	4	16	29	31	30	31	31	30	31	22	7	266	> 0 C
> 18 C	0	0	0	1	12	24	30	28	14	3	*	0	112	> 18 C
> 30 C	0	0	0	0	1	1	2	1	*	0	0	0	5	> 30 C
> 35 C	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	*	> 35 C
TEMPERATURE (MIN)														TEMPERATURE (MIN)
= OR < 0 C	31	28	30	20	4	*	0	0	2	11	24	30	180	= OU < 0 C
> 0 C	*	*	1	10	27	30	31	31	29	20	7	1	187	> 0 C
< -2 C	30	28	26	12	1	0	0	0	*	5	18	29	149	< -2 C
< -20 C	11	8	1	0	0	0	0	0	0	0	*	6	26	< -20 C
< -35 C	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	< -35 C
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
(RAIN)														(PLUIE)
= OR > 0.2 MM	3	2	4	10	13	14	14	14	14	13	10	4	115	= OU > 0.2 MM
(SNOW)														(NEIGE)
= OR > 0.2 CM	17	14	11	4	*	*	0	0	0	1	9	17	73	= OU > 0.2 CM
= OR > 1 CM	12	11	8	3	*	0	0	0	0	1	6	14	55	= OU > 1 CM
= OR > 10 CM	2	2	2	*	0	0	0	0	0	*	1	3	10	= OU > 10 CM
(TOTAL)														(TOTAL)
= OR > 0.2 MM	18	15	13	12	13	14	14	14	14	13	16	19	175	= OU > 0.2 MM
> 10 MM	3	2	3	2	3	4	4	4	4	3	3	4	39	> 10 MM
> 12 MM	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	30	> 12 MM
> 25 MM	*	*	*	*	1	1	1	1	1	1	1	1	8	> 25 MM
THUNDERSTORMS	*	0	*	1	2	5	7	5	3	1	*	*	24	ORAGE
HAUL														GRELE
FREEZING PCPN	3	2	2	1	0	0	0	0	*	*	3	4	15	PREC VERGLACANTES
SMOKE OR HAZE														FUMEE OU BRUME
BLOWING SNOW														CHASSE-NEIGE ELEVEE
FOG														BROUILLARD

TABLE 3

DEGREE DAYS
DEGRES-JOURS

TABLEAU 3

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
REFERENCE														SEUIL
< 18 C	931	815	698	442	227	72	23	48	169	352	546	838	5165	< 18 C
< 16 C	869	758	636	382	170	38	7	20	118	290	486	776	4554	< 16 C
< 15 C	838	730	605	352	143	26	3	11	95	259	456	745	4268	< 15 C
< 10 C	683	589	450	204	40	1	0	0	17	121	307	590	3005	< 10 C
< 5 C	528	447	295	77	3	0	0	0	28	165	435	1983	1983	< 5 C
< 0 C	374	307	154	15	0	0	0	0	0	2	59	284	1198	< 0 C
< -5 C	232	179	59	2	0	0	0	0	0	0	12	157	642	< -5 C
> 24 C	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	> 24 C
> 18 C	0	0	0	0	4	23	56	33	5	0	0	0	122	> 18 C
> 15 C	0	0	0	0	13	67	130	89	21	0	0	0	322	> 15 C
> 10 C	0	0	0	2	64	192	281	232	94	17	0	0	885	> 10 C
> 5 C	0	0	0	24	183	340	436	387	226	79	9	0	1689	> 5 C
> 0 C	0	0	13	112	334	490	591	542	376	208	53	4	2730	> 0 C
> -5 C	12	14	22	248	440	640	746	697	526	361	155	32	4001	> -5 C

MEANS OF TEMPERATURE, PRECIPITATION, HUMIDITY, PRESSURE, WIND AND SUNSHINE
MOYENNES DE TEMPERATURE, PRECIPITATIONS, HUMIDITE, PRESSION, VENT ET INSOLATION

TABLEAU 1

	JAN JANY	FEB FEVR	MAR MARS	APR AVR	MAY MAI	JUN JUIN	JUL JUIL	AUG AOUT	SEP SEPT	OCT OCT	NOV NOV	DEC DEC	ANN ANN	
TEMPERATURE(C)														TEMPERATURE(C)
MAXIMUM	-5.2	-3.8	1.8	9.6	17.5	22.5	24.6	23.2	18.9	12.5	4.8	-3.0	10.3	MAXIMALE
MINIMUM	-18.0	-17.8	-10.4	-2.4	3.5	8.3	11.0	9.8	5.2	0.4	-4.4	-13.5	-2.4	MINIMALE
MEAN	-11.7	-10.9	-4.3	3.6	10.6	15.5	17.8	16.5	12.1	6.6	0.4	-8.2	4.0	MOYENNE
EXTREME MAXIMUM	12.8	11.7	23.0	30.0	31.6	32.2	33.3	32.8	31.1	27.8	21.1	17.8	33.3	MAXIMALE EXTREME
EXTREME MINIMUM	-38.3	-40.0	-32.8	-21.1	-6.7	-2.2	0.6	-1.7	-7.4	-13.3	-25.5	-37.8	-40.0	MINIMALE EXTREME
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
RAINFALL(MM)	13.7	13.1	25.9	55.5	85.1	108.6	116.9	120.6	100.1	81.1	59.5	29.2	809.3	CHUTES DE PLUIE(MM)
EXTREME IN 24HR	19.7	25.9	39.6	33.8	42.0	55.6	54.9	98.0	58.7	54.1	30.2	48.8	98.0	EXTREME SUR 24H
SNOWFALL(CM)	62.2	56.3	53.2	23.4	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	36.8	75.2	322.6	CHUTES DE NEIGE(CM)
EXTREME IN 24HR	40.3	31.2	33.0	27.7	16.3	7	0.0	0.0	7	24.4	37.8	34.8	40.3	EXTREME SUR 24H
TOTAL(MM)	71.1	61.7	73.2	74.3	86.8	98.7	117.4	121.1	101.8	87.1	90.2	91.7	1075.1	TOTAL(MM)
EXTREME IN 24HR	32.8	32.5	39.6	33.8	42.0	55.6	54.9	98.0	58.7	54.1	40.6	48.8	98.0	EXTREME SUR 24H
HUMIDITY														HUMIDITE
VAPOUR PRESSURE(KPA)	0.25	0.24	0.37	0.54	0.88	1.36	1.61	1.54	1.18	0.78	0.53	0.31	0.80	PRESSION DE VAPEUR(KPA)
DEW POINT(C)	-14.6	-15.1	-8.5	-3.0	4.1	10.9	13.6	13.0	8.5	2.4	-3.0	-11.3	-0.3	POINT DE ROSEE(C)
RELATIVE HUMIDITY(%)	75	71	69	66	66	74	76	80	81	77	81	78	75	HUMIDITE REL(%)
PRESSURE														PRESSION
SEA LEVEL(KPA)	101.5	101.4	101.4	101.4	101.4	101.3	101.4	101.5	101.7	101.6	101.5	101.6	101.5	NIV MER(KPA)
WIND														VENT
PREVAILING DIRECTION	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	DIR DOMINANTE
SPEED(KM/H)	11.5	12.0	12.4	11.8	10.6	9.2	8.2	7.9	8.5	9.9	10.3	10.6	10.2	VITESSE(KM/H)
PEAK WIND(KM/H)	117	89	98	93	90	89	78	72	72	74	77	101	117	VITESSE MAX(KM/H)
SUNSHINE														INSOLATION
BRIGHT SUNSHINE(H)														INSOL EFFECTIVE (H)
% OF POSSIBLE														FRACTION D'INSOL (%)

TABLE 2

MEAN NUMBER OF DAYS WITH OCCURRENCE OF
NOMBRE MOYEN DE JOURS D'OCCURRENCE DES PHENOMENES

TABLEAU 2

	JAN JANY	FEB FEVR	MAR MARS	APR AVR	MAY MAI	JUN JUIN	JUL JUIL	AUG AOUT	SEP SEPT	OCT OCT	NOV NOV	DEC DEC	ANN ANN	
TEMPERATURE(MAX)														TEMPERATURE(MAX)
> 0 C	7	8	19	29	31	30	31	31	30	31	23	9	279	> 0 C
> 18 C	0	0	0	3	14	25	30	28	17	6	1	0	124	> 18 C
> 30 C	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	3	> 30 C
> 35 C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	> 35 C
TEMPERATURE(MIN)														TEMPERATURE(MIN)
= OR < 0 C	30	28	29	22	8	1	0	0	6	16	24	29	193	= OU < 0 C
< 0 C	1	0	2	8	23	29	31	31	24	15	6	2	172	< 0 C
< -2 C	30	27	27	16	3	0	0	0	2	11	19	28	163	< -2 C
< -20 C	12	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	7	34	< -20 C
< -35 C	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	< -35 C
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
(RAIN)														(PLUIE)
= OR > 0.2 MM	3	3	5	9	13	14	14	14	13	12	12	5	117	= OU > 0.2 MM
(SNOW)														(NEIGE)
= OR > 0.2 CM	16	13	11	4	1	0	0	0	0	2	9	16	72	= OU > 0.2 CM
= OR > 1 CM	12	10	8	3	0	0	0	0	0	1	6	12	52	= OU > 1 CM
= OR > 10 CM	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	6	= OU > 10 CM
(TOTAL)														(TOTAL)
= OR > 0.2 MM	19	16	16	14	14	14	15	14	14	14	17	20	187	= OU > 0.2 MM
> 10 MM	2	2	2	2	3	3	4	5	4	3	3	3	36	> 10 MM
> 12 MM	1	1	2	2	2	3	4	3	3	2	2	2	27	> 12 MM
> 25 MM	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	7	> 25 MM
THUNDERSTORMS	0	0	0	1	2	5	7	5	2	1	0	0	23	ORAGE
HAIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	GRELE
FREEZING PCPN	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	9	PREC VERGLACANTES
SMOKE OR HAZE	2	3	2	1	2	7	9	8	4	2	1	2	43	FUMEE OU BRUHE
BLOWING SNOW	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	CHASSE-NEIGE ELEVEE
FOG	1	1	2	2	1	3	3	5	4	3	3	2	30	BROUILLARD

TABLE 3

DEGREE-DAYS
DEGRES-JOURS

TABLEAU 3

REFERENCE	JAN JANY	FEB FEVR	MAR MARS	APR AVR	MAY MAI	JUN JUIN	JUL JUIL	AUG AOUT	SEP SEPT	OCT OCT	NOV NOV	DEC DEC	ANN ANN	SEUIL
< 18 C	921	800	690	437	235	95	44	73	183	356	529	805	5173	< 18 C
< 16 C	859	751	625	369	175	56	18	38	134	295	473	756	4555	< 16 C
< 15 C	828	722	594	340	149	41	9	26	111	265	443	725	4259	< 15 C
< 10 C	673	581	439	197	47	3	0	0	26	131	295	570	2967	< 10 C
< 5 C	518	440	287	76	5	0	0	0	1	38	159	417	1946	< 5 C
< 0 C	367	300	154	16	0	0	0	0	0	3	60	272	1175	< 0 C
< -5 C	233	179	62	2	0	0	0	0	0	0	13	152	643	< -5 C
> 24 C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	> 24 C
> 18 C	0	0	0	0	4	18	37	26	6	0	0	0	94	> 18 C
> 15 C	0	0	0	1	16	55	96	71	22	1	0	0	264	> 15 C
> 10 C	0	0	0	7	67	169	237	204	85	20	1	0	794	> 10 C
> 5 C	0	0	3	38	181	311	396	354	212	85	16	2	1602	> 5 C

TABLE 1 MEANS OF TEMPERATURE, PRECIPITATION, HUMIDITY, PRESSURE, WIND AND SUNSHINE
MOYENNES DE TEMPERATURE, PRECIPITATIONS, HUMIDITE, PRESSION, VENT ET INSOLATION

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
TEMPERATURE(C)														TEMPERATURE(C)
MAXIMUM	-5.5	-4.3	1.9	10.9	18.9	24.1	26.4	24.9	19.9	13.3	5.5	-2.8	11.1	MAXIMALE
MINIMUM	-14.7	-13.6	-6.7	0.5	6.7	12.2	14.9	13.5	8.7	3.4	-1.9	-11.1	1.0	MINIMALE
MEAN	-10.1	-9.0	-2.4	5.7	12.8	18.2	20.7	19.2	14.4	8.4	1.8	-7.0	6.1	MOYENNE
EXTREME MAXIMUM	12.2	9.4	23.7	30.6	33.3	35.0	35.6	32.8	29.4	22.8	15.0		35.6	MAXIMALE EXTREME
EXTREME MINIMUM	-36.1	-37.2	-36.1	-15.0	-4.4	2.2	5.6	1.7	-4.9	-8.9	-22.8	-37.2	-37.2	MINIMALE EXTREME
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
RAINFALL(MM)	29.1	16.7	41.4	64.2	71.3	85.5	97.0	96.5	90.2	75.4	64.5	35.7	767.5	CHUTES DE PLUIE(MM)
EXTREME	34.3	33.0	39.6	45.7	49.0	77.7	73.4	74.4	73.6	67.3	46.2	47.0	77.7	EXTREME
SNOWFALL(CM)	56.6	56.1	38.0	10.3	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	24.0	65.7	254.0	CHUTES DE NEIGE(CM)
EXTREME	37.8	29.0	51.1	35.6	10.7	1	0.0	0.0	0.5	17.8	32.8	46.7	51.1	EXTREME
TOTAL(MM)	83.3	72.3	79.6	74.9	72.8	85.5	97.0	96.5	90.2	77.2	88.9	99.9	1018.1	TOTAL(MM)
EXTREME	37.3	33.0	52.3	45.7	49.0	77.7	73.4	74.4	73.6	67.3	46.2	58.7	77.7	EXTREME
HUMIDITY														HUMIDITE
VAPOUR PRESSURE(KPA)	0.27	0.28	0.41	0.62	0.97	1.45	1.69	1.64	1.29	0.87	0.59	0.34	0.87	PRESSION DE VAPEUR(KPA)
DEW POINT(C)	-13.3	-12.3	-6.7	-0.8	5.5	11.8	14.4	13.9	10.0	4.0	-1.5	-9.7	1.3	POINT DE ROSEE(C)
RELATIVE HUMIDITY(%)	76	75	72	66	63	69	69	73	76	74	79	79	73	HUMIDITE REL(%)
PRESSURE														PRESSION
SEA LEVEL(KPA)	101.6	101.5	101.5	101.4	101.4	101.3	101.3	101.4	101.6	101.7	101.6	101.7	101.5	NIV MER(KPA)
WIND														VENT
PREVAILING DIRECTION	W	M	W	MSH	MSH	MSH	SH	SH	S	M	M	H	M	DIR DOMINANTE
SPEED(KM/H)	18.7	18.3	18.4	17.8	16.6	15.9	14.3	13.5	14.5	16.3	17.6	17.5	16.6	VITESSE(KM/H)
PEAK WIND(KM/H)	111	117	122	117	113	105	113	109	100	105	130	113	130	VITESSE MAX(KM/H)
SUNSHINE														INSOLATION
BRIGHT SUNSHINE(H)														INSOL EFFECTIVE (H)
% OF POSSIBLE														FRACTION D'INSOL (%)

TABLE 2 MEAN NUMBER OF DAYS WITH OCCURRENCE OF
NOMBRE MOYEN DE JOURS D'OCCURRENCE DES PHENOMENES

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
TEMPERATURE(MAX)														TEMPERATURE(MAX)
> 0 C	7	8	20	30	31	30	31	31	30	31	25	11	285	> 0 C
> 18 C	0	0	0	4	17	27	31	30	19	6	0	0	134	> 18 C
> 30 C	0	0	0	0	1	2	5	2	1	0	0	0	11	> 30 C
> 35 C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	> 35 C
TEMPERATURE(MIN)														TEMPERATURE(MIN)
= OR < 0 C	30	28	28	14	2	0	0	0	1	9	20	29	161	= OU < 0 C
< 0 C	1	0	3	16	29	30	31	31	29	22	10	2	204	< 0 C
< -2 C	30	27	24	7	0	0	0	0	0	4	14	27	133	< -2 C
< -20 C	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	17	< -20 C
< -35 C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< -35 C
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
(RAIN)														(PLUIE)
= OR > 0.2 MM	4	3	6	11	12	12	12	11	12	12	11	6	112	= OU > 0.2 MM
(SNOW)														(NEIGE)
= OR > 0.2 CM	15	12	9	2	0	0	0	0	0	1	4	15	60	= OU > 0.2 CM
= OR > 1 CM	11	9	6	2	0	0	0	0	0	0	0	11	43	= OU > 1 CM
= OR > 10 CM	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	7	= OU > 10 CM
(TOTAL)														(TOTAL)
= OR > 0.2 MM	17	14	12	12	12	12	12	11	12	12	15	18	159	= OU > 0.2 MM
> 10 MM	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	31	> 10 MM
> 12 MM	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	26	> 12 MM
> 25 MM	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	7	> 25 MM
THUNDERSTORMS	0	0	0	1	3	5	7	7	3	1	0	0	27	ORAGE
HAIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	GRELE
FREEZING PCPN	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	12	PREC VERGLACANTES
SMOKE OR HAZE														FUMEE OU BRUME
BLOWING SNOW														CHASSE-NEIGE ELEVÉE
FOG														BROUILLARD

TABLE 3 DEGREE DAYS
DEGRES-JOURS

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
REFERENCE														SEUIL
< 18 C	872	761	631	369	170	41	9	26	126	299	486	773	4567	< 18 C
< 16 C	810	704	569	309	119	19	1	9	82	240	426	711	4004	< 16 C
< 15 C	779	676	538	280	97	12	0	4	63	211	396	680	3741	< 15 C
< 10 C	624	535	384	141	21	0	0	0	9	88	249	525	2579	< 10 C
< 5 C	469	394	232	41	1	0	0	0	0	18	119	371	1649	< 5 C
< 0 C	318	255	105	6	0	0	0	0	0	0	36	228	951	< 0 C
< -5 C	185	138	32	0	0	0	0	0	0	0	5	116	477	< -5 C
> 24 C	0	0	0	0	0	2	6	3	0	0	0	0	13	> 24 C
> 18 C	0	0	0	0	9	47	92	63	17	0	0	0	230	> 18 C
> 15 C	0	0	0	1	29	107	176	134	44	5	0	0	500	> 15 C
> 10 C	0	0	0	12	108	245	331	285	140	37	3	0	1164	> 10 C
> 5 C	0	0	3	62	243	395	486	440	281	122	23	1	2060	> 5 C
> 0 C	3	2	32	177	397	545	641	595	431	260	90	13	2189	> 0 C

TABLE 1

MEANS OF TEMPERATURE, PRECIPITATION, HUMIDITY, PRESSURE, WIND AND SUNSHINE
MOYENNES DE TEMPERATURE, PRECIPITATIONS, HUMIDITE, PRESSION, VENT ET INSOLATION

TABLEAU 1

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
TEMPERATURE(C)														TEMPERATURE(C)
MAXIMUM	-5.7	-4.4	1.6	10.6	18.5	23.6	26.1	24.8	19.9	13.3	5.4	-3.0	10.9	MAXIMALE
MINIMUM	-14.6	-13.5	-6.7	0.8	7.4	12.9	15.6	14.3	9.6	4.1	-1.5	-10.8	1.5	MINIMALE
MEAN	-10.2	-9.0	-2.5	5.7	13.0	18.3	20.9	19.6	14.8	8.7	2.0	-6.9	6.2	MOYENNE
EXTREME MAXIMUM	13.9	12.2	25.6	28.4	33.9	35.0	35.6	37.8	32.8	28.3	21.7	16.7	37.8	MAXIMALE EXTREME
EXTREME MINIMUM	-37.8	-33.9	-29.4	-15.0	-4.4	1.1	7.0	3.3	-2.2	-7.2	-19.4	-32.4	-37.8	MINIMALE EXTREME
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
RAINFALL(MM)	23.7	14.9	36.8	63.5	63.9	82.2	90.0	91.9	88.4	73.8	61.2	32.6	722.9	CHUTES DE PLUIE(MM)
EXTREME	31.0	31.5	32.0	34.5	37.6	54.1	55.4	68.8	81.9	54.9	55.1	42.9	81.9	EXTREME
SNOWFALL(CM)	52.7	53.6	35.7	9.7	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	21.2	58.8	235.1	CHUTES DE NEIGE(CM)
EXTREME	32.8	39.4	43.2	25.7	21.8	0.0	0.0	0.0	6.1	14.2	30.5	37.8	43.2	EXTREME
TOTAL(MM)	72.0	65.2	73.6	74.1	65.6	82.2	90.0	91.9	88.4	75.5	81.0	86.7	946.2	TOTAL(MM)
EXTREME	32.1	39.4	37.6	34.5	37.6	54.1	55.4	68.8	81.9	54.9	55.1	50.8	81.9	EXTREME
HUMIDITY														HUMIDITE
VAPOUR PRESSURE(KPA)	0.26	0.27	0.40	0.62	0.98	1.46	1.72	1.66	1.30	0.87	0.59	0.33	0.87	PRESSION DE VAPEUR(KPA)
DEW POINT(C)	-13.7	-12.8	-7.1	-0.8	5.7	12.0	14.7	14.1	10.0	4.0	-1.6	-10.2	1.2	POINT DE ROSEE(C)
RELATIVE HUMIDITY(%)	75	74	71	67	64	69	70	72	75	74	77	78	72	HUMIDITE REL(%)
PRESSURE														PRESSION
SEA LEVEL(KPA)	101.6	101.5	101.5	101.4	101.4	101.3	101.3	101.4	101.6	101.6	101.6	101.6	101.5	NIV MER(KPA)
WIND														VENT
PREVAILING DIRECTION	MSH	MSH	MSH	M	SW	SW	SW	SW	SW	H	H	H	MSH	DIR DOMINANTE
SPEED(KM/H)	18.3	17.9	17.9	16.9	15.3	14.5	13.1	12.2	13.1	14.8	16.6	16.8	15.6	VITESSE(KM/H)
PEAK WIND(KM/H)	117	109	161	106	101	111	126	105	90	117	109	103	161	VITESSE MAX(KM/H)
SUNSHINE														INSOLATION
BRIGHT SUNSHINE(H)	106.0	128.4	155.2	188.9	241.5	249.0	274.5	239.6	168.9	136.6	85.8	79.6	2054.0	INSOL EFFECTIVE (H)
% OF POSSIBLE	37.4	43.9	42.1	46.7	52.4	53.2	57.9	54.8	44.7	40.1	29.9	29.2	46.0	FRACTION D'INSOL (%)

BLT 2

MEAN NUMBER OF DAYS WITH OCCURRENCE OF
NOMBRE MOYEN DE JOURS D'OCCURRENCE DES PHENOMENES

TABLEAU 2

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
TEMPERATURE(MAX)														TEMPERATURE(MAX)
> 0 C	7	8	19	30	31	30	31	31	30	31	25	10	283	> 0 C
> 18 C	0	0	0	3	16	27	31	30	19	6	0	0	132	> 18 C
> 30 C	0	0	0	0	1	2	4	2	1	0	0	0	10	> 30 C
> 35 C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	> 35 C
TEMPERATURE(MIN)														TEMPERATURE(MIN)
< 0 C	31	28	28	13	1	0	0	0	0	7	18	29	155	< 0 C
< -2 C	1	0	3	17	30	30	31	31	30	24	12	2	211	< -2 C
< -20 C	30	27	23	7	0	0	0	0	0	3	14	27	131	< -20 C
< -35 C	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	15	< -35 C
PRECIPITATION														PRECIPITATIONS
(RAIN)														(PLUIE)
> 0.2 MM	4	4	6	11	12	12	12	12	12	12	11	6	114	> 0.2 MM
(SNOW)														(NEIGE)
> 0.2 CM	16	12	9	3	0	0	0	0	0	1	6	15	62	> 0.2 CM
> 1 CM	10	9	6	2	0	0	0	0	0	0	4	10	41	> 1 CM
> 10 CM	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	6	> 10 CM
(TOTAL)														(TOTAL)
> 0.2 MM	17	14	13	12	12	12	12	12	12	13	15	18	162	> 0.2 MM
> 10 MM	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	2	30	> 10 MM
> 12 MM	1	1	2	2	1	2	2	3	2	2	2	2	22	> 12 MM
> 25 MM	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	4	> 25 MM
THUNDERSTORMS	0	0	0	1	2	5	7	6	3	1	0	0	25	ORAGE
HAZEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	GRELE
FREEZING PCPN	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	13	PREC VERGLACANTES
SMOKE OR HAZE														FUMEE OU BRUME
BLODING SNOW														CHASSE-NEIGE ELEVÉE
FOG														BROUILLARD

TABLE 3

DEGREE DAYS
DEGRES-JOURS

TABLEAU 3

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN	
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANN	
REFERENCE														SEUIL
< 18 C	874	762	636	368	165	40	8	23	116	289	481	771	4537	< 18 C
< 16 C	812	705	574	309	115	18	1	7	73	230	421	709	3980	< 16 C
< 15 C	781	677	543	279	94	12	0	3	56	201	391	678	3720	< 15 C
< 10 C	626	536	388	142	20	0	0	0	7	81	243	523	2571	< 10 C
< 5 C	471	395	237	42	1	0	0	0	0	16	116	370	1650	< 5 C
< 0 C	319	256	110	6	0	0	0	0	0	0	35	227	956	< 0 C
< -5 C	185	139	35	0	0	0	0	0	0	0	5	114	481	< -5 C
> 24 C	0	0	0	0	0	2	7	3	1	0	0	0	15	> 24 C
> 18 C	0	0	0	0	10	49	98	71	18	0	0	0	250	> 18 C
> 15 C	0	0	0	1	31	111	184	145	49	6	0	0	529	> 15 C
> 10 C	0	0	0	13	113	249	338	296	150	41	2	0	1207	> 10 C
> 5 C	0	0	4	64	249	399	493	451	292	131	25	1	2112	> 5 C
> 0 C	3	2	32	178	402	549	648	606	442	270	94	13	3244	> 0 C
> -5 C	24	27	111	322	557	699	803	761	592	424	214	56	4596	> -5 C



Environnement
Canada

Service
de l'environnement
atmosphérique

Environment
Canada

Atmospheric
Environment
Service

SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY

Aéroport de Québec
Québec City Airport

DECEMBRE 1990
DECEMBER 1990

LAT.: 46° 48' N			LONG.: 71° 23' W			ALTITUDE ELEVATION: 72,8			MÈTRES (MMH) METRES (ASL)			HEURE NORMALE UTILISÉE: STANDARD TIME USED:			DE L'EST EASTERN			
DATE	TEMPÉRATURE TEMPERATURE			DEGRÉS-JOURS DEGREE-DAYS			HUMIDITÉ REL. REL. HUMIDITY		ORAGE THUNDERSTORM	PRÉCIPITATIONS PRECIPITATION			NEIGE AU SOL SNOW ON GROUND	VENT WIND			ISOLATION EFFECTIVE BRIGHT DARKNESS	
	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM	MOYENNE MEAN	DE CHAUFFE HEATING	DE CROISSANCE SPRINGING	DE RÉFRIGÉRATION COOLING	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM		PLUIE (HAUTEUR) RAIN (FALL)	NEIGE (HAUTEUR) SNOW (FALL)	PRÉCIP. TOTALES TOTAL PRECIP.		VITESSE MOYENNE AVERAGE SPEED	DIRECTION DOMINANTE PREVAILING DIRECTION	VITESSE MOYENNE MAX. EN 2 MIN. S. DIRECTION MAX. 2 MIN. MEAN SPEED & DIRECTION		
																		°C
1	4,8	-5,4	-0,3	18,3			84	48					TR	3,4	WSW	WSW	26	5,0
2	4,7	-6,6	-1,0	19,0			90	42		0,2		0,2	TR	13,8	W	W	31	6,2
3	-3,9	-10,1	-7,0	23,0			92	53				0,2	TR	16,2	E	E	41	3,6
4	-0,6	-6,4	-3,5	21,5			99	81		0,6	21,8	26,4	14	29,2	ESE	ESE	46	0,0
5	-0,6	-11,1	-5,9	23,9			93	78			1,0	1,0	23	24,0	WSW	WSW	39	0,0
6	-3,1	-13,2	-8,2	26,2			94	60			2,6	2,4	23	9,9	WSW	WSW	22	0,0
7	-2,0	-14,5	-8,3	26,3			90	70		TR		TR	24	5,5	W	WSW	15	2,8
8	1,2	-13,7	-1,3	17,8			96	77					24	4,0	NE	E	11	3,0
9	0,4	-6,9	-3,3	21,3			100	81					23	5,6	SW	SW	17	4,8
10	1,8	-11,0	-4,6	22,6			94	58			TR	TR	23	20,1	WSW	W	31	2,3
11	-10,2	-13,4	-12,8	30,8			80	55			TR	TR	23	22,6	WSW	WSW	33	7,6
12	-5,0	-12,5	-9,3	27,3			82	66			0,2	0,2	23	14,7	W	W	28	5,2
13	3,9	-10,4	-3,3	21,3			100	58		3,4	1,8	7,0	24	18,2	ESE	WSW	31	1,0
14	-10,2	-19,0	-14,6	32,6			70	45					24	13,0	W	WSW	22	8,0
15	-5,0	-16,5	-10,8	28,8			86	67					23	5,0	NNE	ESE	19	3,1
16	-1,8	-5,1	-3,5	21,5			98	65			2,2	1,6	22	20,1	ESE	ESE	33	0,0
17	-2,5	-8,2	-3,4	23,4			97	82			TR	TR	23	14,5	WSW	WSW	26	5,5
18	-0,4	-4,9	-2,3	20,3			100	86		8,6	5,4	14,6	23	7,9	ESE	ESE	24	0,0
19	0,2	-16,8	-8,3	26,3			96	52			0,2	0,2	27	17,5	WSW	WSW	28	5,2
20	-13,5	-20,4	-17,0	33,0			77	61			TR	TR	27	5,9	W	W	15	7,8
21	0,7	-16,4	-7,9	25,9			100	69			2,8	2,8	27	3,1	NNE	NNE	9	0,0
22	0,5	-1,6	-0,6	18,6			100	95			13,0	13,0	27	12,5	E	ESE	22	0,0
23	8,3	-1,8	3,3	14,7			100	58			12,4	12,4	23	10,4	W	WSW	26	0,0
24	-1,8	-15,7	-8,8	26,8			95	59			14,0	12,8	28	17,9	W	E	33	0,0
25	-9,5	-18,1	-13,8	31,8			90	60			TR	TR	37	6,2	W	WSW	17	2,1
26	-2,8	-22,3	-13,1	31,1			91	47			0,8	0,8	38	19,3	W	SW	37	5,0
27	-12,7	-23,1	-18,9	36,9			76	56					38	10,0	WSW	WSW	20	7,8
28	-6,3	-20,6	-13,5	31,5			96	66		0,2	1,0	1,2	38	11,6	NNE	ESE	22	1,4
29	3,1	-6,5	-1,7	19,7			100	93		6,0	5,6	12,2	38	5,7	NE	ESE	15	0,0
30	4,2	-11,5	-3,7	21,7			100	76		9,2	3,2	12,0	38	12,0	WSW	NNW	24	0,0
31	-11,4	-21,8	-16,6	34,6			79	39			1,8	1,4	40	18,6	N	N	28	4,3
	MOY. MEAN	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY. MEAN	MOY. MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL		MOY. MEAN	DOMINANTE PREVAILING	MAJORITAIRE E	TOTAL	
	-2,2	-12,3	-7,3	784,0	0,0	0,0	92	65	0	57,4	70,2	131,4		12,9	WSW	ESE	46	92,7
NORMALE NORMAL	-3,0	-13,1	-9,0	838,0	0,3	0,0			0	28,6	86,1	113,6		17,7	WSW			75,7
SOMMAIRE DE DEGRÉS-JOURS/DEGREE-DAY SUMMARY																		
AL-DÉBOUR DE 1°C BELOW 1°C	ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	AL-DÉBOUR DE 1°C ABOVE 1°C	ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	JOURS AVEC PRÉCIPITATION TOTALE: DAYS WITH TOTAL PRECIPITATION										
TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH	784,0	1092,1	838,0	TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH	0,0	0,0	0,3	0,2 OR MORE	1,0 OR MORE	2,5 OR MORE	5,0 OR MORE	7,5 OR MORE	10,0 OR MORE	12,5 OR MORE	15,0 OR MORE	17,5 OR MORE	20,0 OR MORE	
OURS DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET ACCUMULATED SINCE JULY 1	1878,2	2229,2	1977,3	CUMULÉ DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET ACCUMULATED SINCE JULY 1	1753,8	1835,0	1689,2	19	15	11	7	0	15	12	8	2	0	

UOC 501.506.1 (

PRIX: \$2,75 unité, \$27,30 annuel. Sujet à changement sans préavis.
PRICES: \$2,75 issue, \$27.30 annual. Subject to change without notice.

1. Journée climatologique/Climatological Day
2. Normale/Normal 1961-1990
3. TR - Trace
4. M - Manquant/Missing
5. Pas de valeur/No entry - Pas d'événement/No occurrence
6. * Indique la première de plusieurs des directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale en 2 minutes (voir page 4)/Indicates first or more than one prevailing direction and/or maximum 2 minutes mean speed (see page 4).
7. C - Célum/Calm

Canada



Environnement
Canada
Service
de l'environnement
atmosphérique

Environment
Canada
Atmospheric
Environment
Service

SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY

AÉROPORT DE SHERBROOKE
SHERBROOKE AIRPORT

DECEMBRE 1990
DECEMBER 1990

LAT: 45° 26' N		LONG: 71° 41' W		ALTITUDE: 241.0		MÈTRES (MM) METRES (ASL)		HEURE NORMALE UTILISÉE: DE L'EST (HKE) STANDARD TIME USED: EASTERN (EST)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
DATE	TEMPÉRATURE TEMPERATURE			DEGRÉS-JOURS DEGREE-DAYS			HUMIDITÉ REL. REL. HUMIDITY		CLOUDS THICKNESS	PRÉCIPITATIONS PRECIPITATION			NEIGE AU SOL SNOW ON GROUND	VENT WIND			NEIGE EFFECTIVE EFFECTIVE SNOW DEPTH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	MAXIMUM MAXIMUM	MINIMUM MINIMUM	MOYENNE MEAN	DE CHAUFFE HEATING	DE CHAUFFAGE HEATING	DE RECHÂLEUR COOLING	MAXIMUM MAXIMUM	MINIMUM MINIMUM		PLUIE (HAUTEUR) RAINFALL	NEIGE (HAUTEUR) SNOWFALL	PRÉCIP. TOTALES TOTAL PRECIP		VITESSE MOYENNE AVERAGE SPEED	DIRECTION DOMINANTE PREVAILING DIRECTION	VITESSE MOYENNE MAX. EN 2 MIN. A DIRECTION MAX. 2 MIN. MEAN SPEED & DIRECTION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
																		°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°

UDC 851.808.1 (714.66)

* orage en ville / Thunder in city

AVIS/NOTE

1. Journée climatologique/Climatological Day

2. Normale Normal 1961-1990

3. TR - Trace

4. M - Manquant/Missing

5. Pas de valeur/No entry - Pas d'événement/No occurrence

6. * Indique la première de plusieurs directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale en 2 minutes (voir page 4) Indicate first or more than one prevailing direction and/or maximum 2 minutes mean speed (see page 4).

7. C - Calme/Calm

Canada



Environnement
Canada
Service
de l'environnement
atmosphérique

Environment
Canada
Atmospheric
Environment
Service

SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY

St-Hubert A

Décembre 1990
December 1990

LAT.: 45° 31' N		LONG.: 73° 25'		ALTITUDE ELEVATION		MÈTRES (MM) METRES (ASL)		HEURE NORMALE UTILISÉE: STANDARD TIME USED:		H.N.E. E.S.T.									
DATE	TEMPÉRATURE TEMPERATURE			DEGRÉS-JOURS DEGREE-DAYS			HUMIDITÉ REL. REL. HUMIDITY		ORAGE THUNDERSTORM	PRÉCIPITATIONS PRECIPITATION			NEIGE AU SOL SNOW ON GROUND	VENT WIND			INSOLATION EFFECTIVE BRIGHT SUNSHINE		
	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM	MOYENNE MEAN	DE CHAUFFE HEATING	DE CROISSANCE GROWING	DE RÉFRAIGÉRATION COOLING	MAXIMALE MAXIMUM	MINIMALE MINIMUM		PLUIE (HAUTEUR) RAINFALL	NEIGE (HAUTEUR) SNOWFALL	PRÉCIP. TOTALES TOTAL PRECIP.		VITESSE MOYENNE AVERAGE SPEED	DIRECTION DOMINANTE PREVAILING DIRECTION	VITESSE MOYENNE MAX. EN 2 MIN. MAX. 2 MIN. MEAN SPEED & DIRECTION			
	°C	°C	°C	BASE 18.0 C	BASE 5.0 C	BASE 18.0 C	°	°		mm	cm	mm		km/h		km/h	HOURS		
1	6,5	0,8	3,7	14,3			72	54						20,8	S	S # 26	4,3		
2	7,3	-6,9	0,2	17,8			74	44						18,2	W	W # 26	6,0		
3	-2,6	-9,3	-6,0	24,0			90	48		TR	19,4	25,6		18,9	E	E # 33	0,1		
4	1,9	-2,6	-0,4	18,4			95	74		14,2	6,2	23,4	20	17,2	ENE #	WSW	33	0,0	
5	0,4	-8,6	-4,1	22,1			79	65			0,2	0,2	20	30,3	W	W # 41	0,8		
6	2,6	-9,1	-3,3	21,3			89	58		TR	0,6	0,6	20	18,8	S	NW	28	0,0	
7	3,5	-5,1	-0,8	18,8			85	55					12	10,9	S	SW	24	2,9	
8	4,9	-5,0	-0,1	18,1			92	59					4	4,5	SE	SSW	22	4,4	
9	4,8	-5,1	-0,2	18,2			91	71					3	9,3	WSW	WSW	24	3,3	
10	4,6	-9,7	-2,6	20,6			76	47			TR	TR	3	27,1	W	NW	41	1,7	
11	-7,6	-11,6	-9,6	27,6			70	53					3	21,6	WNW	W	30	6,4	
12	3,0	-8,6	-2,8	20,8			78	56					3	9,6	NE	ENE #	22	2,3	
13	6,0	-7,9	-1,0	19,0			85	53		3,0	TR	3,0	2	27,3	S	WNW	37	2,5	
14	-7,6	-11,6	-9,6	27,6			68	52					1	14,6	NW	NW	30	8,2	
15	-1,9	-11,5	-6,7	24,7			82	60					1	10,8	NE	NNE #	30	2,0	
16	-1,4	-5,4	-3,4	21,4			90	67			9,9	9,9	3	20,0	NE #	NE #	31	0,0	
17	-2,2	-10,4	-6,3	24,3			90	70					10	10,0	WSW	WSW	22	7,3	
18	3,6	-4,0	-0,2	18,2			94	75		13,2	TR	13,2	9	19,3	S	S	37	0,0	
19	1,6	-13,1	-5,8	23,8			89	69			TR	TR	2	19,2	W	W # 24	24	0,0	
20	-10,4	-15,5	-13,0	31,0			84	58					2	14,0	NE	NNE	24	8,0	
21	3,6	-13,4	-4,9	22,9			98	80		7,3		7,3	2	9,3	N	N	19	0,3	
22	1,1	0,1	0,6	17,4			99	97		12,2		12,2	1	7,5	N	NNE	17	0,0	
23	3,3	-0,3	1,5	16,5			100	85		28,8	TR	28,8	TR	10,5	W	W	20	0,0	
24	-0,3	-9,2	-4,8	22,8			91	72			14,0	13,6	8	22,6	W	NNE	41	1,3	
25	-4,5	-15,4	-10,0	28,0			87	59					11	17,7	SSW	S # 30	30	4,1	
26	-3,0	-14,7	-8,9	26,9			77	41			0,4	0,4	11	23,3	W	SW	41	5,9	
27	-8,4	-15,5	-12,0	30,0			84	51			TR	TR	11	9,0	SW	SW	15	7,3	
28	0,8	-13,4	-6,3	24,3			87	73		TR	0,8	0,8	11	13,2	ENE	S	31	0,0	
29	5,0	0,4	2,7	15,3			96	78		18,0	TR	18,0	10	25,5	S	S	37	0,0	
30	4,7	-10,7	-3,0	21,0			97	80		17,0	3,4	20,2	1	9,8	NNE	NNE # 28	28	0,0	
31	-10,7	-16,9	-13,8	31,8			81	44			0,8	0,8	5	15,2	N	N # 33	33	6,1	
	MOY MEAN	MOY MEAN	MOY MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	MOY MEAN	MOY MEAN	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL		MOY MEAN	DOMINANTE PREVAILING	MAXIMALE W # 41	TOTAL 85,2		
	-0,3	-8,7	-4,2	688,9			86 MEAN	63 MEAN		113,7	55,7	178,0		16,3 MEAN	W				
NORMALE NORMAL	-2,8	-11,1	-7,0	773,1					0	35,7	65,7	99,9		17,5	W				
SOMMAIRE DE DEGRÉS-JOURS/DEGREE-DAY SUMMARY										JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS TOTALES DAYS WITH TOTAL PRECIPITATION					JOURS AVEC CHUTES DE NEIGE DAYS WITH SNOWFALL				
AU-DESSOUS DE 18°C BELOW 18°C		ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	AU-DESSUS DE 5°C ABOVE 5°C		ANNÉE EN COURS THIS YEAR	ANNÉE PRÉCÉDENTE PREVIOUS YEAR	NORMALE NORMAL	0,2 OU PLUS OR MORE	1,0 OU PLUS OR MORE	2,0 OU PLUS OR MORE	10,0 OU PLUS OR MORE	50,0 OU PLUS OR MORE	0,2 OU PLUS OR MORE	1,0 OU PLUS OR MORE	2,0 OU PLUS OR MORE	10,0 OU PLUS OR MORE	50,0 OU PLUS OR MORE
TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH		688,9	1043,8	773,1	TOTAL DU MOIS TOTAL FOR MONTH														
CUMUL DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET ACCUMULATED SINCE JULY 1		1630,6	2009,2	1720,4	CUMUL DEPUIS LE 1 ^{er} AVRIL ACCUMULATED SINCE APRIL 1		2025,6	2134,6		16	11	11	8	0	10	5	5	2	0

UDC 551.506.1 ()

Avis/Note

- Journal climatologique/Climatological Day
- Normal/Normal 1951-1980
- TR - Trace
- M - Manquant Missing
- Pas de valeur/No entry - Pas d'événement/No occurrence
- * Indique la préférence de plusieurs des directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale en 2 minutes (voir page 4)/Indicate first or more then one prevailing direction and/or maximum 2 minutes mean speed (see page 4).
- C - Calme/Calm

Canada



MONTHLY METEOROLOGICAL SUMMARY SOMMAIRE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUEL

MONTH/MOIS

DECEMBER / DÉCEMBRE

1990

AT/A

MONTREAL INTERNATIONAL AIRPORT (DORVAL)

AÉROPORT INTERNATIONAL DE MONTREAL (DORVAL)

LAT	45° 28' N			LONG	73° 45' W			ELEVATION ALTITUDE	31.1		METRES (ASL) MÈTRES (NM)	STANDARD TIME USED HEURE NORMALE UTILISÉE		EASTERN DE L'EST									
DATE	TEMPERATURE TEMPÉRATURE			DEGREE-DAYS DEGRÉS-JOURS			REL HUMIDITY HUMIDITÉ REL		PRECIPITATION PRÉCIPITATIONS			SNOW ON GROUND NEIGE AU SOL	WIND VENT			BRIGHT SUNSHINE INSOLATION EFFECTIVE HEURES HEURES							
	MAXIMUM MAXIMALE	MINIMUM MINIMALE	MEAN MOYENNE	HEATING DE CHAUFFÉE	GROWING DE CROISSANCE	COOLING DE RÉFÉRIERATION	MAXIMUM MAXIMALE	MINIMUM MINIMALE	THUNDERSTORM ORAGE	3 PLUIE (HAUTEUR)	3 NEIGE (HAUTEUR)		3 TOTAL PRECIP PRÉCIP TOTALE	3 AVERAGE SPEED VITESSE MOYENNE	3 PREVAILING DIRECTION DOMINANTE		3 MAX 2 MIN MEAN SPEED & DIRECTION VITESSE MOYENNE MAX SUR 2 MIN & DIRECTION						
																		°C	°C	BASE 5°C	BASE 10°C	%	%
1	7.7	-1.3	3.2	14.8			69	42						14.9	SSE	SW	24	4.4					
2	7.3	-4.8	1.4	18.8			75	44						14.8	WSW	WNW	22	5.9					
3	-2.1	-5.8	-4.0	22.0			80	39						21.4	ENE	ENE	37	0.2					
4	1.7	-2.2	-0.3	18.3			86	89		18.8		13.9	15.5	16.4	NE	SW	33	0.0					
5	0.1	-9.2	-4.6	22.8			74	57			4.0	TR	TR	29.5	WSW	WSW	41	0.6					
6	2.1	-9.3	-3.6	21.6			86	58		0.2	0.4	0.7	13	16.3	SW	SW	26	0.0					
7	2.9	-3.8	-0.5	18.6			74	62					12	11.0	S	SSW	20	1.7					
8	5.1	-5.5	-0.2	18.2			88	66					12	5.5	SE	SE	15	3.8					
9	5.0	-3.6	0.7	17.3			88	64		TR		TR	10	9.0	SW	SW	26	5.0					
10	4.6	-10.1	-2.8	20.8			75	42			TR	TR	9	24.0	W	W	33	0.3					
11	-7.8	-12.3	-10.1	28.1			82	48					8	17.8	WSW	W	24	6.6					
12	0.5	-8.1	-3.8	21.8			69	58					9	10.3	NNE	NE	22	1.3					
13	6.3	-8.3	-1.0	19.0			87	49		2.0	TR	2.0	9	20.0	SW	WNW	35	3.3					
14	-7.7	-12.3	-10.0	28.0			62	48					7	13.0	WNW	WNW	22	8.2					
15	-2.8	-10.1	-6.5	24.6			68	57			TR	TR	6	12.0	NE	NE	26	2.4					
16	-1.7	-5.2	-3.5	21.6			80	58			3.8	4.2	7	17.2	NNE	NE	32	0.0					
17	-2.3	-7.6	-5.0	23.0			74	63					10	9.9	W	W	22	8.1					
18	2.9	-2.3	0.3	17.7			87	89		14.2	0.2	14.4	10	9.9	E	SSE	20	0.0					
19	1.1	-12.1	-5.5	23.6			80	58		TR		TR	5	18.3	W	W	24	0.0					
20	-10.1	-14.9	-12.6	30.6			86	51					5	14.4	NE	ENE	20	7.9					
21	0.2	-13.4	-6.6	24.6			100	62		3.8		3.8	5	11.4	NNE	NE	20	0.1					
22	1.8	0.1	1.0	17.0			100	93		9.0		9.0	3	9.5	NE	NE	20	0.0					
23	3.1	-0.3	1.4	18.8			100	80		28.2	TR	28.2	2	10.5	W	W	19	0.0					
24	-0.1	-10.8	-5.5	23.6			93	72			11.4	10.2	8	20.5	W	NNE	32	0.8					
25	-2.1	-16.7	-8.4	27.4			92	58			TR	TR	12	13.1	W	WSW	20	2.1					
26	-2.2	-15.3	-8.8	28.8			88	51			TR	TR	11	21.1	W	WSW	41	3.4					
27	-7.8	-15.9	-11.9	29.9			85	61			TR	TR	11	8.0	W	W	15	7.5					
28	0.3	-12.8	-6.2	24.2			93	67		TR	0.8	0.8	10	13.8	ENE	NE	20	0.0					
29	7.0	0.2	3.8	14.4			100	80		18.0	TR	18.0	10	13.1	SSE	SSE	22	0.0					
30	5.4	-10.4	-2.5	20.5			100	86		16.5	5.4	21.9	3	9.3	WNW	NE	22	0.0					
31	-10.3	-18.8	-14.6	32.6			85	39			1.0	0.6	9	11.1	W	N	22	4.8					
MEAN MOYENNE	0.3	-8.6	-4.1	686.8	TOTAL	TOTAL	83	59	TOT	106.5	TOTAL	147.9		14.4	PREVAILING DOMINANTE	W	41	78.4					
NORMAL NORMALE	-3.0	-10.8	-6.9	771.8						32.6	68.8	88.7		16.8	W			78.6					
DEGREE-DAY SUMMARY/SOMMAIRE DE DEGRÉS JOURS														DAYS WITH TOTAL PRECIPITATION JOURS AVEC PRÉCIPITATIONS TOTALES					DAYS WITH SNOWFALL JOURS AVEC CHUTE DE NEIGE				
BELOW 18°C AU-DESSOUS DE 18°C	THIS YEAR ANNÉE EN COURS	PREVIOUS YEAR ANNÉE PRÉCÉDENTE	NORMAL	ABOVE 5°C AU-DESSUS DE 5°C	THIS YEAR ANNÉE EN COURS	PREVIOUS YEAR ANNÉE PRÉCÉDENTE	NORMAL	02 OR MORE OU PLUS	10 OR MORE OU PLUS	20 OR MORE OU PLUS	100 OR MORE OU PLUS	500 OR MORE OU PLUS	1000 OR MORE OU PLUS	10000 OR MORE OU PLUS	100000 OR MORE OU PLUS	1000000 OR MORE OU PLUS	10000000 OR MORE OU PLUS	100000000 OR MORE OU PLUS	1000000000 OR MORE OU PLUS	10000000000 OR MORE OU PLUS			
TOTAL FOR MONTH TOTAL DU MOIS	686.8	1040.1	771.8	TOTAL FOR MONTH TOTAL DU MOIS				14	11	11	6	9	6	5	2								
ACCUMULATED SINCE JULY 1 DEPUIS LE 1 ^{er} JUILLET	1580.9	1987.7	1689.6	ACCUMULATED SINCE APRIL 1 DEPUIS LE 1 ^{er} AVRIL																			

UQC 551 808 1 714.28 Note/Avia

- Climatological Day/Journee climatologique 01 01 F A T - 01 00 E S T
- Normal/Normale 1951-1980
- TR = Trace
- M = Missing/Maquant
- No entry/Pas de valeur = No occurrence/Pas d'événement
- * Indicates first of more than one prevailing direction and/or maximum 2 minute mean speed (see page 4) Indique la première de plus, cours des directions dominantes et/ou la vitesse moyenne maximale sur 2 minutes (voir page 4)
- C = Calm/Calm

01 2 1 91

Bibliothèque du Ministère des Transports



QTR A 030 328