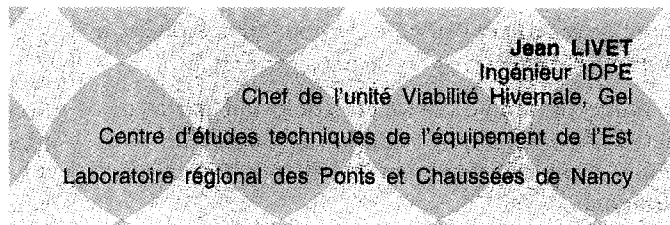


Évaluation des bétons bitumineux drainants en termes d'exploitation hivernale d'un réseau routier



RÉSUMÉ

Après un bref rappel des problèmes posés par l'exploitation hivernale des réseaux routiers revêtus de bétons bitumineux drainants, l'article décrit la démarche suivie pour étudier leur comportement spécifique :

- enquêtes auprès des exploitants de réseaux routiers,
- étude détaillée des propriétés physiques des bétons bitumineux drainants,
- expérimentations sur trois sites autoroutiers français.

Les résultats obtenus montrent que la température de surface de ces revêtements est inférieure de 1 à 2 °C et que l'état humide de surface s'y maintient pendant 15 % du temps en plus par rapport aux techniques traditionnelles.

Une approche technico-économique compare les coûts d'entretien hivernal des réseaux revêtus de bétons bitumineux drainants et de bétons bitumineux semi-grenus. Elle distingue la part attribuable à l'accroissement des dosages en fondants répandus, de celle du redimensionnement de l'atelier de traitement et de déneigement.

Diverses mesures d'amélioration de l'exploitation hivernale sont décrites.

MOTS CLÉS : 31-62 - Enrobé drainant - Service hivernal - Comportement - Conductivité (chal.) - Coût - Hiver - Contrôle - Continu - Expérimentation - Autoroute - Sel de déverglaçage.

Introduction

En période hivernale, un certain nombre de phénomènes météorologiques et routiers dégradent, de façon importante et souvent durable, les conditions de circulation routière, avec en particulier des effets sur la sécurité et la régularité des trajets.

Les réponses pour assurer une bonne viabilité hivernale sont apportées :

- directement par les usagers, dans leur manière d'aborder la route (adaptation de la conduite, changement d'itinéraire, montage d'équipements adaptés, ...);
- par les services d'exploitation sous forme de suivi météorologique, de surveillance routière et de traitements hivernaux (salage, raclage de la neige, etc.);
- par les services de gestion de la route qui doivent mettre en place les moyens nécessaires et organiser l'ensemble d'une manière cohérente, mais aussi faire prendre en compte les problèmes hivernaux dès la conception des ouvrages;
- par les maîtres d'ouvrage qui doivent être en mesure d'apporter les moyens humains et financiers nécessaires pour que le service réponde aux besoins des usagers de la route.

Les traitements hivernaux par épandage de fondants sont mis en œuvre dès que la température de la surface du revêtement de la chaussée devient négative. Cette température dépend du bilan thermique entre la surface de roulement et l'atmosphère, qui dépend lui-même des propriétés thermiques et radiatives du revêtement.

Les procédures de prévision à court et moyen terme de l'état du réseau routier s'appuient sur l'observation continue des conditions météorologiques et routières, en déduisent les actions à mener par anticipation pour éviter les variations d'adhérence provoquées par le verglas ou la neige. Ces méthodes de prévision sont calées sur l'observation du comportement des chaussées au cours du temps. L'apparition de nouveaux revêtements modifie les repères usuels utilisés pour cette prévision et oblige à de nouvelles stratégies d'exploitation.

L'étude présentée dans cet article fait partie des actions à mener pour établir une nouvelle stratégie d'exploitation pour les bétons bitumineux drainants.

Le comportement hivernal spécifique des bétons bitumineux drainants

Rappelons que les bétons bitumineux drainants sont des matériaux utilisés en couche de roulement. La teneur en vides communicants de leur squelette facilite le drainage et l'évacuation des eaux de précipitation. Ils possèdent des propriétés physiques particulières qui modifient le régime thermo-hygrométrique et hydraulique de leur surface et rendent plus difficile et délicate la prévision de leur viabilité hivernale.

Les difficultés d'exploitation hivernale des bétons bitumineux drainants (ou de leurs ancêtres) sont apparues rapidement avec cette technique. Il suffit de se rappeler des problèmes importants rencontrés en France durant l'hiver 1978, qui conduisirent certains gestionnaires à remplacer la couche de roulement incriminée.

Les études menées en France pour améliorer l'exploitation hivernale des bétons bitumineux drainants ont comporté cinq parties :

- recueil et analyse des difficultés rencontrées ;
- analyse théorique du problème ;
- expérimentations comparatives sur autoroutes ;
- définition d'une stratégie d'exploitation hivernale ;
- évaluation des coûts d'exploitation hivernale spécifique.

Recueil et analyse des difficultés rencontrées

Premières difficultés d'exploitation (1978)

Les premières difficultés d'exploitation furent observées sur autoroute en 1978, sur un revêtement à porosité prononcée de la surface. Des pains de glace transversaux, d'épaisseur centi-

métrique, dus apparemment au pompage de l'eau piégée dans la macrotecture par les pneumatiques, apparurent sur la chaussée, la rendant impraticable pendant plusieurs heures, faute de traitements aux fondants efficaces. Le gestionnaire décida de recouvrir sans délai le revêtement. Cette expérience malheureuse a freiné, à ce moment-là, le développement de la technique.

L'enquête nationale de 1985

La première enquête nationale française, effectuée en 1985 à la suite de diverses difficultés hivernales rapportées par les Directions départementales de l'Équipement, révèle que seules 27 % des sections de chaussées revêtues de bétons bitumineux drainants présentent des problèmes d'exploitation hivernale. Les longueurs de ces sections sont à l'époque relativement faibles (50 à 3 200 m) pour un âge moyen de quatre ans. L'absence de difficultés hivernales est expliquée par le phénomène d'entraînement des fondants qui masque, sur de faibles linéaires, les problèmes susceptibles d'apparaître. Les phénomènes observés sont principalement :

- l'apparition précoce du verglas,
- le givrage plus fréquent.

Les traitements aux fondants avec dosages traditionnels se révélant inefficaces sur les sections rencontrant des difficultés hivernales, la stratégie adoptée alors est le surdosage systématique, obtenu soit en appliquant un double dosage à chaque intervention, soit en multipliant les interventions.

Les difficultés hivernales des années 1980 -1986

Il n'existe pas de comptes rendus détaillés relatant les diverses difficultés rencontrées par les exploitants français. Ceux-ci sont, semble-t-il, nombreux à évoquer le sujet car il n'est pas de documents ou articles de synthèse qui n'y fassent référence. Ceci s'explique paradoxalement par l'absence d'information préalable des personnels d'exploitation et leur impossibilité, *a posteriori*, de confirmer ou d'infirmer telle ou telle observation utile à l'analyse de la situation rencontrée.

Effets de pluies verglaçantes (1987)

En décembre 1987, certains exploitants d'autoroutes sont confrontés à de graves problèmes hivernaux dus à des pluies verglaçantes qui entraînent des accidents matériels, des coupures temporaires d'itinéraire et de sérieuses difficultés pour retrouver un état de surface normal de la chaussée.

La pluie verglaçante qui affecte les bétons bitumineux drainants est extrêmement difficile à éli-

miner par rapport aux bétons bitumineux semi-grenus (BBSG). Alors qu'un traitement au chlorure de sodium (NaCl) en grains permet, sur bétons bitumineux semi-grenus, de retrouver une situation normale sur l'ensemble des voies après environ deux heures, il faut entre six et huit heures pour restituer à la circulation la totalité des voies revêtues de bétons bitumineux drainants.

Les observations faites par l'exploitant du réseau sont précieuses. Elles mettent en évidence :

- l'absence de projections latérales de saumure sur le béton bitumineux drainant verglacé, ce qui réduit l'efficacité du traitement ;
- la disparition de la saumure formée dans la porosité interne ;
- le maintien de « chapeaux de fées » glacés sur les granulats, car les grains de sel qui traversent la glace s'enchaînent dans la macrotexture sans agir (fig. 1).

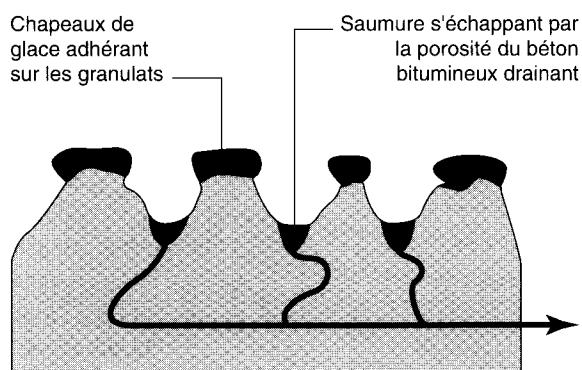


Fig. 1 - Pluie verglaçante et « chapeaux de fées » de glace sur les surfaces « portantes ».

Cette nouvelle expérience, semblable à celle de 1978, s'avère riche d'enseignements techniques et opérationnels. Elle sert d'amorce à tout le processus de recherche et d'analyse expérimentale et théorique sur le comportement hivernal des bétons bitumineux drainants.

Suivi de quelques sites par les Centres d'études techniques de l'équipement (1989 - 1991)

Ce suivi, réalisé avec la participation des exploitants entre 1989 et 1991, a permis de recueillir les difficultés rencontrées par les Directions départementales de l'Équipement. Le recueil d'informations est effectué à partir d'une fiche de suivi permettant de collecter les informations météorologiques et routières locales. L'état de surface des bétons bitumineux drainants est systématiquement comparé à un béton bitumineux semi-grenu témoin. La mise en place de ce recueil est précédée par une formation et une sensibilisation de l'ensemble des personnels d'intervention. L'analyse des fiches permet de

confirmer en grande partie les comportements spécifiques des revêtements en bétons bitumineux drainants :

- apparition plus fréquente du givre ;
- congélation précoce de l'humidité préexistante sur le revêtement ;
- difficultés d'élimination de la neige ;
- efficacité réduite des traitements traditionnels (fondants en grains, ...) ;
- retour « au noir » plus long à obtenir.

Le comportement hivernal des bétons bitumineux drainants, vu par les sociétés d'autoroutes concédées (avril 1994)

Cette enquête, effectuée auprès des services d'exploitation des sociétés d'autoroutes à la demande du service de contrôle des autoroutes de la Direction des routes, rassemble leur expérience, acquise depuis plusieurs années.

Cette enquête :

- confirme les diverses difficultés d'exploitation rencontrées sur bétons bitumineux drainants à ce jour, qui diffèrent nettement de celles des bétons bitumineux semi-grenus ;
- montre l'émergence progressive d'un savoir-faire chez les exploitants des sociétés d'autoroutes concédées, qui se traduit par la mise en œuvre de stratégies spécifiques d'intervention :
 - accroissement du nombre de salages ;
 - accroissement du nombre de raclages en déneigement ;
 - recours à des produits de type bouillie (NaCl en grains + CaCl_2 en saumure) pour certaines conditions météorologiques délicates ;
- ne permet pas de dégager une stratégie structurée pour le suivi, l'analyse et la prise de décisions spécifiques aux bétons bitumineux drainants, stratégie qui constitue le préalable à toute intervention ;
- montre à l'évidence les difficultés rencontrées par l'exploitant pour garantir le même niveau de qualité (niveau de service sur bétons bitumineux drainants par rapport aux bétons bitumineux semi-grenus) ;
- attribue aux bétons bitumineux drainants une accidentologie hivernale spécifique.

Analyse théorique du problème

Sur un revêtement traditionnel, l'interface entre l'atmosphère et la structure de chaussée est constituée par une surface plane étanche. Dans le cas d'un béton bitumineux drainant, cette interface est complexe car les deux milieux s'interpénètrent. La particularité de ces revête-

ments est liée aux conditions thermohydriques de leur surface, qui varient dans le temps en fonction, d'une part des conditions météorologiques du moment, d'autre part de l'état de la porosité interne du revêtement. L'eau et l'air (voire la glace et la saumure) y circulent comme dans un échangeur et modifient en permanence le régime thermique de toute l'épaisseur du revêtement.

Sur bétons bitumineux semi-grenus, l'exploitant disposait d'un certain nombre de repères et d'outils de mesure qui lui permettaient d'appréhender quelques paramètres clefs ; sur bétons bitumineux drainants, ceux-ci sont inefficaces ou erronés et l'exploitant est obligé de se constituer un nouvel outil d'analyse approprié.

Comparaison de quelques propriétés physiques et modalités d'échange thermique des bétons bitumineux drainants et des bétons bitumineux semi-grenus

Échanges thermiques par conduction

Le béton bitumineux drainant est par définition poreux. Lorsque ce matériau est sec, sa conductivité thermique est bien plus faible que celle d'un béton bitumineux semi-grenu.

Pour des valeurs de porosité comprises entre 18 et 30 %, il a été démontré à l'aide du modèle de MICKLEY, toutes choses égales par ailleurs, que la valeur de la conductivité thermique de ce type de revêtement :

- est plus faible que celle d'un béton bitumineux semi-grenu ;
- est liée aux propriétés physiques des granulats (densité, porosité, nature minéralogique, conductivité thermique) (fig. 2 et 3) ;
- varie de façon importante avec la teneur en eau ou en glace (fig. 3 et 4).

Échanges thermiques par convection

La quantité d'énergie échangée par convection naturelle entre le revêtement et le milieu atmosphérique est importante, car l'aire de contact entre ces deux milieux est plus importante que dans le cas d'un béton bitumineux semi-grenu. Le trafic, à l'origine d'une convection forcée interne au revêtement, accentue ces échanges par la mise en pression/dépression de l'air (ou de l'eau) par les pneumatiques.

Sous précipitations, les bétons bitumineux drainants se comportent comme de bons échangeurs thermiques ; le fluide qui y circule est un vecteur d'énergie efficace.

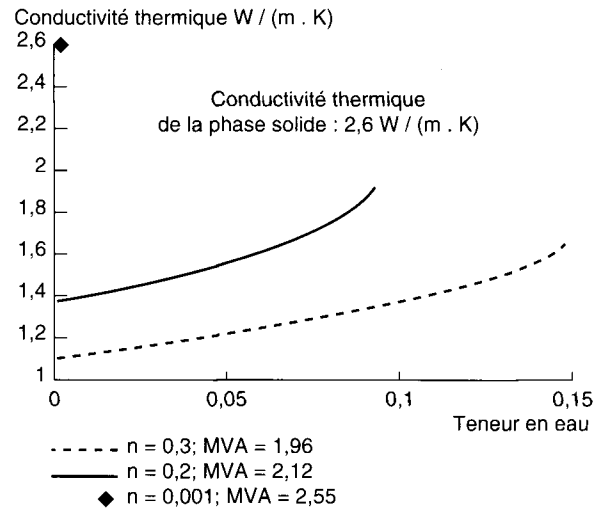


Fig. 2 - Conductivités thermiques à l'état non gelé des bétons bitumineux drainants en fonction de leur teneur en eau pour différentes conductivités thermiques de la phase solide (granulat + liant). Porosité $n = 0,3$, masse volumique $e = 1,96 \text{ t/m}^3$.

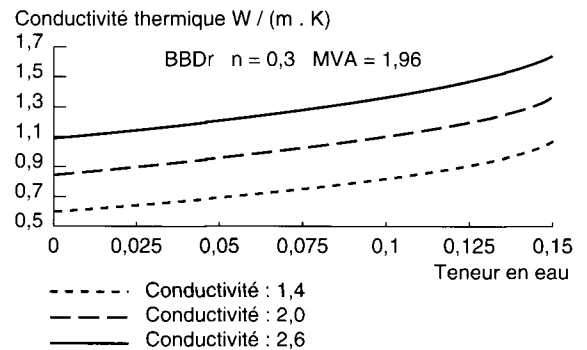


Fig. 3 - Conductivités thermiques à l'état non gelé des bétons bitumineux drainants en fonction de leur teneur en eau pour différentes porosités (la phase solide a une conductivité thermique de 2,6 W/mK).

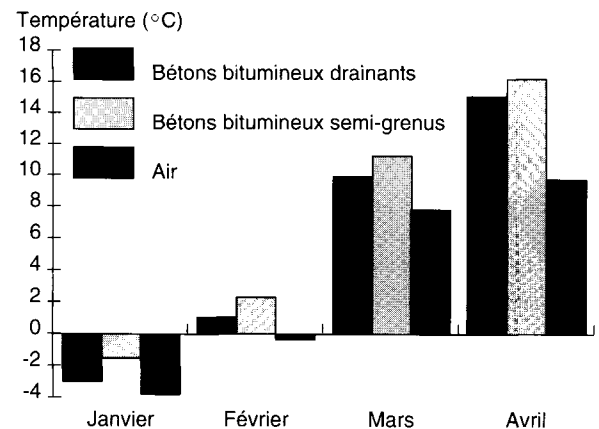


Fig. 4 - Moyennes mensuelles des températures de surface (bétons bitumineux drainants et bétons bitumineux semi-grenus) et d'air.

Échanges thermiques par rayonnement

Les facteurs importants dans ce type d'échange sont la surface spécifique et son facteur d'émissivité. Ce revêtement est généralement plus sensible au refroidissement par rayonnement car le film de bitume le rend plus noir. Ce dernier subsiste plus longtemps car la technique recourt souvent à des bitumes élastomères.

Fonction d'échangeur thermique

Les bétons bitumineux drainants sont des matériaux poreux dans lesquels circulent des fluides : air, eau, saumure plus ou moins concentrée. Les échanges d'énergie s'y font principalement par convection, mais aussi par les autres modes de transfert : conduction en l'absence de mouvement des fluides, rayonnement à l'intérieur des pores. Les phénomènes d'évaporation et de condensation s'y développent, mettant en jeu les chaleurs latentes correspondantes.

Les bétons bitumineux drainants se comportent donc comme d'excellents échangeurs thermiques. La perte de charge thermique importante du béton bitumineux drainant a pour conséquence d'entraîner un équilibrage rapide des températures entre les précipitations et la matrice poreuse.

En période hivernale, où les perturbations météorologiques s'accompagnent de précipitations diverses (pluie plus ou moins froide, pluie en surfusion, pluie et neige mêlées à 0 °C, neiges plus ou moins froides ou humides, ...) la température de surface et à cœur des bétons bitumineux drainants fluctue plus ou moins rapidement au gré de ces événements. Les bétons bitumineux semi-grenus n'échangent de l'énergie que par leur surface et amortissent l'effet de ces variations thermiques.

Pour l'exploitation hivernale, on peut dire de façon caricaturale que, sous précipitations, la température de surface des bétons bitumineux semi-grenus est égale à celle de l'interface de ruissellement (-4 cm) des bétons bitumineux drainants.

Ceci est vrai en particulier pour :

- la pluie et la neige mêlées $T \sim 0$ °C,
- la pluie en surfusion $T < 0$ °C,
- la saumure (eau de fusion de la glace + fondants) $T \ll 0$ °C.

Stockage d'énergie en chaleur latente

Le béton bitumineux drainant peut temporairement retenir dans sa structure une certaine quantité d'eau (effet de stockage transitoire). Cette eau peut, dans certaines situations, changer d'état et constituer un stock important d'énergie en chaleur latente, qui modifie totalement le

régime thermique de la surface de chaussée (béton bitumineux semi-grenu = 3 344 kJ/m³ ; béton bitumineux drainant = 66 880 kJ/m³).

Les conséquences de ce type de phénomène, en matière d'exploitation hivernale, sont les suivantes :

- le rétablissement extrêmement lent de la fonction drainante ;
- l'usage de fondants est quasi inopérant ; la fusion de la glace s'accompagne d'un abaissement de la température du milieu et d'une recristallisation inévitable par suite d'une dilution rapide de la saumure ;
- l'impossibilité de traiter efficacement cette situation sans apport d'énergie atmosphérique ;
- le maintien à 0 °C durant toute la période de fusion de la glace, avec un risque associé de recongélation atmosphérique.

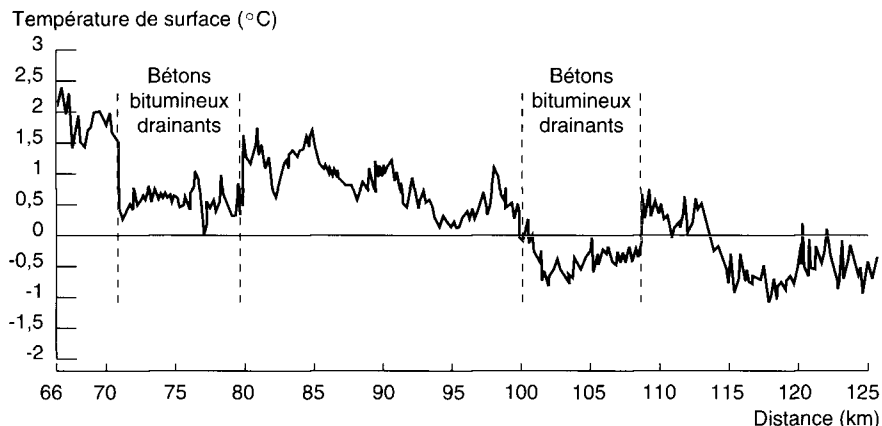
Cette situation exceptionnelle se rencontre lors de certaines précipitations neigeuses humides suivies de gel ou de certaines pluies en surfusion sur sol gelé.

Viabilité hivernale de ces revêtements

Les caractéristiques physiques des bétons bitumineux drainants permettent de comprendre l'origine des phénomènes hivernaux spécifiques observés.

- La modification importante du cycle de l'eau, sur et dans ces couches de roulement, à une période de l'année où le séchage des surfaces routières est allongé, entraîne des occurrences de verglas différentes de celles observées sur les bétons bitumineux semi-grenus. L'emploi de sels routiers en quantité accrue, naturellement hygroscopiques, accentue ce phénomène.
- L'effet combiné du rayonnement nocturne de la surface, de la faible conductivité et de l'inertie thermique de la couche, accroît la sensibilité thermique de la surface. Cette dernière voit sa température évoluer plus rapidement et présenter des valeurs fréquemment inférieures à celle des bétons bitumineux semi-grenus. Cela entraîne l'apparition de givre, lorsque le point de rosée est atteint, ou de verglas lorsque la surface est humide et non traitée.
- La disparition des saumures, formées ou répandues, au travers du revêtement, réduit l'efficacité immédiate des sels routiers et leur durée de présence en surface.
- La forte macrotecture du revêtement entraîne des difficultés d'évacuation de la neige. L'absence de projections latérales de la saumure par le trafic réduit l'efficacité de ce phénomène.

Fig. 5 -
Signature thermique
« THERMOROUTE »
de l'autoroute A1 entre
Paris et Lille.



Expérimentations comparatives sur autoroutes

Le suivi général

Trois sites expérimentaux autoroutiers ont été suivis successivement au cours des hivers 1988 à 1991. Ils étaient équipés de stations de recueil automatique de données atmosphériques et routières.

Les paramètres principaux relevés étaient les suivants :

- température et humidité relative de l'air,
- vitesse, direction du vent,
- occurrence et hauteur des précipitations,
- température de surface et à différentes profondeurs dans la chaussée,
- états de surface de la chaussée,
- température de congélation de la saumure présente sur le capteur.

Un suivi opérationnel assuré par l'exploitant complète le dispositif en recueillant :

- les informations et observations météorologiques et routières,
- la nature et le type d'interventions hivernales réalisées sur le réseau.

Résultats et enseignements

Les résultats obtenus confirment la majorité des hypothèses avancées.

La température de surface des bétons bitumineux drainants est en valeur moyenne mensuelle inférieure de 1,6 °C à celle des bétons bitumineux semi-grenus, avec des écarts instantanés de l'ordre de 5,5 °C lors

de découvertes nuageuses nocturnes rapides (fig. 4).

Des relevés de température en continu par infrarouge, à l'aide du véhicule de mesure THERMOROUTE, confirment ces écarts (fig. 5).

Les index d'exposition hivernale des surfaces routières (condensation, givre, mouillage, fondants) (durée de l'état observé / durée totale de l'observation) déterminés dans cette étude sont rassemblés dans le tableau I.

TABLEAU I

Index d'exposition hivernale	Condensation	Givre	Mouillage	Fondants
Bétons bitumineux drainants	16,50 %	1,0 à 6,0 %	25 à 30 %	15 %
Bétons bitumineux semi-grenus	0,50 %	0,5 à 1,0 %	10 à 15 %	18 %

Ces index confirment et complètent la majorité des observations faites par les exploitants, à savoir :

- une plus grande sensibilité des bétons bitumineux drainants au phénomène de condensation, qui se traduit par un accroissement de la fréquence d'apparition du givre et participe à l'allongement substantiel de la durée de mouillage ;
- une disparition plus rapide des fondants routiers sur bétons bitumineux drainants, alors que ceux-ci bénéficient dans le même temps d'interventions supplémentaires et de surdosages ;
- un traitement extrêmement délicat de la pluie en surfusion ;

– des difficultés d'évacuation de la neige, liées à sa qualité, qui s'accompagne d'une absence de « travail » par le trafic et ne permet pas d'obtenir un état de la surface homogène.

Stratégie d'exploitation hivernale des sections revêtues de bétons bitumineux drainants

Adaptation de l'organisation, du suivi et de la surveillance

Le traitement hivernal des bétons bitumineux drainants nécessite à la fois :

- un suivi plus précis et de tous les instants,
- des interventions rapides avec un délai de réaction réduit,
- un nombre plus important d'interventions de salage et de déneigement,
- des dosages en fondants plus élevés,
- des matériels d'épandage de sels humidifiés.

Dans le cas de l'exploitation hivernale des bétons bitumineux drainants, l'élasticité de cette chaîne est extrêmement faible, voire nulle. Comme chacun de ces maillons doit assurer sa fonction sans défaillance, il est indispensable de redimensionner les moyens en matériels et personnels. Une formation technique plus approfondie des personnels d'exploitation permet une meilleure prise en compte des phénomènes atmosphériques et routiers susceptibles d'entraîner des difficultés particulières sur ces revêtements. Une recommandation spécifique pour l'exploitation hivernale des bétons bitumineux drainants complète le dispositif.

Adaptation des outils de suivi

Il convient de recourir, dans la mesure du possible, aux outils d'aide à la décision les plus modernes :

- les capteurs de chaussée des stations automatiques qui permettent avec une certaine approximation d'accéder aux paramètres d'état (humidité et salinité) du squelette des bétons bitumineux drainants ;
- les bulletins météorologiques routiers ;
- l'imagerie radar permettant le suivi précis des zones de précipitation.

Adaptation des sels routiers

Deux voies d'amélioration sont actuellement explorées :

- l'une consiste à modifier la granularité et la forme des grains de sel afin de les adapter aux

capacités d'interception de ces surfaces routières et d'améliorer ainsi l'efficacité du traitement ;

- l'autre vise à accroître la viscosité de la saumure afin d'assurer un meilleur mouillage des surfaces et de réduire sa vitesse de transit dans la matrice poreuse. Cela est obtenu en utilisant :

- des bouillies dont la saumure contient du $MgCl_2$ ou du $CaCl_2$, ou des additifs viscosifiants,
- des mélanges solides de NaCl en grains et $CaCl_2$ en paillettes.

Il n'existe pas actuellement d'études comparatives fiables évaluant les effets de ces techniques.

Coûts d'exploitation hivernale spécifiques

Les enquêtes détaillées réalisées auprès des exploitants d'autoroutes en France, confirmées par l'ensemble de la littérature étrangère, montrent l'existence d'un surcoût d'exploitation hivernale des sections revêtues de bétons bitumineux drainants. Une analyse théorique simplifiée montre que ce surcoût provient :

- de l'accroissement de 25 % des quantités de fondants répandues, que l'on estime à environ $0,16 \text{ F/m}^2/\text{hiver}$ en région de rigueur hivernale moyenne ;
- de l'augmentation du nombre d'interventions de salage et de déneigement (30 à 100 %), qui se traduit par un accroissement de 10 à 25 % des heures supplémentaires faites par le personnel (dans un cadre législatif de plus en plus étroit) ;
- du renforcement des moyens matériels et personnels d'exploitation, qui peut être estimé entre $0,70$ et $1,50 \text{ F/m}^2/\text{hiver}$.

Conclusion

Bilan des connaissances techniques actuelles

L'ensemble des études, tant françaises qu'étrangères, tant en laboratoire qu'*in situ*, confirme aujourd'hui que les propriétés physiques différentes des bétons bitumineux drainants, par rapport aux bétons bitumineux semi-grenus, sont à l'origine des comportements thermohydriques particuliers constatés.

■ Les observations principales sont les suivantes :

- la température de surface des bétons bitumineux drainants est souvent inférieure à celle des bétons bitumineux semi-grenus ;
- la durée de présence de l'humidité et de la condensation à la surface des bétons bitumineux drainants est accrue par rapport à celle des bétons bitumineux semi-grenus ;
- la durée de présence des fondants sur bétons bitumineux drainants est réduite par rapport aux bétons bitumineux semi-grenus.

Ces phénomènes sont à l'origine des diverses difficultés d'exploitation rencontrées sur les différents réseaux :

- fréquence accrue du givrage et de la congélation de l'humidité préexistante,
- difficultés de traitement de la neige et de la pluie verglaçante,
- réduction de la protection apportée par les fondants.

■ Les principales stratégies pour atténuer les phénomènes rencontrés consistent aujourd'hui à multiplier le nombre de salages et le nombre de raclages de la neige.

Les diverses enquêtes et le retour d'information des exploitants :

- confirment les difficultés hivernales rencontrées à ce jour pour le traitement de la neige et l'inefficacité relative des fondants routiers ;
- montrent l'émergence progressive d'un savoir-faire qui se traduit par la mise en œuvre de stratégies spécifiques d'intervention (accroissement du nombre d'interventions de salage et raclage, usage de fondants type CaCl_2 ou MgCl_2) ;
- ne permettent pas de dégager de stratégie structurée pour le suivi, l'analyse et la prise de décision spécifique aux bétons bitumineux drainants ;
- attribuent aux bétons bitumineux drainants une accidentologie hivernale spécifique ;
- montrent l'extrême difficulté rencontrée par les exploitants pour maintenir un niveau de service équivalent sur bétons bitumineux semi-grenus et bétons bitumineux drainants.

■ Les solutions techniques pour atténuer les difficultés d'exploitation hivernale offrent cinq voies principales d'amélioration :

- avant tout choix, une réflexion sur les bétons bitumineux drainants, par rapport aux fonctionnalités recherchées, ceci afin d'évaluer les gains techniques effectifs par rapport aux inconvénients ;
- une structuration forte du suivi, de la surveillance et des interventions, en utilisant les outils

modernes de suivi météorologique et en développant la formation pour accroître la capacité d'expertise des personnels ;

- le recours à d'éventuels nouveaux fondants et l'utilisation plus adéquate de la palette des fondants actuellement sur le marché ;
- l'amélioration des outils de suivi et des systèmes automatiques de surveillance de façon à en tirer le meilleur parti pour une application sur bétons bitumineux drainants ;
- le redimensionnement des moyens d'intervention des services exploitants des bétons bitumineux drainants, afin de maintenir le même niveau d'objectifs de qualité que celui offert sur bétons bitumineux semi-grenus, en particulier en situation à caractère exceptionnel.

L'exploitant du réseau routier est obligé de tenir compte de cette évolution des techniques de revêtement bitumineux et d'ajuster ses procédures d'analyse, de décision et d'intervention.

■ Un ensemble de recommandations aux gestionnaires et exploitants

Afin d'aider le gestionnaire, puis l'exploitant, dans son approche hivernale de ce type de revêtement, un projet de recommandation spécifique a été rédigé ; il est envisagé de le diffuser sous forme d'une note d'information du SETRA.

Ce cadre technique, après avoir défini le domaine d'emploi hivernal des bétons bitumineux drainants, propose un ensemble de mesures destinées :

- à faciliter l'exploitation hivernale en cherchant à maintenir un niveau de service identique à celui des bétons bitumineux semi-grenus ;
- à garantir l'homogénéité et la continuité de service des itinéraires offerts à l'utilisateur, en assurant sa sécurité.

Service hivernal sur bétons bitumineux drainants : savoir et savoir-faire de l'exploitant

L'introduction d'un béton bitumineux drainant sur un itinéraire exacerbe les anomalies thermohydrauliques locales, ce qui conduit l'exploitant, peu habitué à réaliser des traitements par parties de son itinéraire, à relever le niveau global de protection pour éviter tout risque. Cette hypersensibilité hivernale des bétons bitumineux drainants, largement constatée, conduit la majorité des exploitants à multiplier les interventions de salage sur le réseau, pour éviter les risques de verglaçage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

SETRA (1991), *Le comportement hivernal particulier de certaines surfaces routières*, Note d'information 67, avr.

SETRA (1993), *Comprendre le comportement hivernal des bétons bitumineux drainants*, Guide pédagogique, sept.

Direction du soutien à la qualité des infrastructures (1993), *Guide de Viabilité Hivernale*, sept., Québec.

LIVET J. (1994), *Le comportement hivernal spécifique des enrobés drainants, Le point de la situation française*, Communication IX^e congrès international AIPCR VH de la Viabilité Hivernale de Seefeld, mars.

SCHMITT E. (1994), Winterdienst auf Drainasphalt, AIPCR VH, Seefeld, mars.

NOORT M. (1994), Wintermaintenance on porous asphalt, AIPCR VH, Seefeld, mars.

GUSTAFSON K. (1994), Susceptibility to icing on different road pavements, AIPCR VH, Seefeld, mars.

LIVET J. (1994), *Évaluation des effets d'un nouveau revêtement sur l'exploitation hivernale d'un réseau routier : les bétons bitumineux drainants*, CNAM, nov.

ABSTRACT

Evaluation of porous bituminous concrete in terms of the winter operation of a road network

J. LIVET

After a brief review of the problems posed by winter service on road networks paved with porous bituminous concrete, the article describes the procedure used to study their specific behaviour :

- survey of road network operators,
- detailed study of the physical properties of porous bituminous concrete,
- trials on three French motorway sites.

The results obtained show that the surface temperature of these pavement materials is less than 1 to 2 °C and that the wet condition of the surface is maintained for 15 % more of the time than with conventional techniques.

A technico-economic approach compares the winter maintenance costs for porous bituminous concrete pavements and semi-granular bituminous concrete. It distinguishes the part attributable to the growing proportions of fluxes used, and that of the redimensioning of the treatment and snow removal equipment.

Various winter service improvement measures are described.