

LA MANUTENTION DURANT L'HIVER DES REVÊTEMENTS ROUTIERS DRAINANTS

Felice Giuliani

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Parma
Parco Area delle Scienze 181/A, 43100 Parma, Italie
TEL +39-0521-905904/FAX +39-0521-905924
E-mail adresse: felice.giuliani@unipr.it

1. Sommaire

Le programme de manutention de toute société de gestion d'infrastructures de la route prévoit chaque année, dans les régions où les températures basses sont fréquentes ou en tout cas où la formation de glace sur la surface de la chaussée est courante, des frais importants pour engager des équipes d'opérateurs chargés de répandre du sel ou des produits de dégivrage/antigel sur les revêtements routiers. Cette opération indispensable implique une consommation annuelle importante de ces produits et par conséquent un coût étroitement lié, non seulement aux substances employées, mais aussi à la conformation structurelle de la chaussée (talus longitudinaux et transversaux, efficacité et disposition des systèmes de drainage et de réception des eaux).

La diffusion croissante des revêtements macrorugueux et en particulier drainants et antibruit, bien qu'ils présentent des caractéristiques mécaniques raffinées et fassent preuve de prestations manifestement supérieures aux revêtements traditionnels surtout en ce qui concerne la sécurité de la circulation, est à l'origine d'une augmentation incontestable des dosages de sel durant la manutention d'hiver, avec pour conséquence la multiplication des frais, du nombre d'interventions et, non moins important, de la détérioration de l'environnement.

Dans cette optique, ce mémoire présente les résultats d'une étude expérimentale ; il s'agit d'une nouvelle technique d'anti-givrage basée sur le principe de chauffage de la couche drainante par effet Joule à travers des éléments métalliques à résistance, alimentés par le courant électrique.

La technique étudiée, en plus de présenter un intérêt économique, est compatible avec les prestations mécaniques du béton bitumineux et peut être adoptée afin de réduire la quantité de sels répandue ainsi que le nombre des opérations de manutention sur les revêtements drainants durant l'hiver. L'étude a été conduite avec des appareils de laboratoire spécifiques et sophistiqués afin de définir et de tester les solutions techniques proposées.

2. Introduction

Le terme "anti-givrage" comprend toutes les opérations aptes à empêcher la formation et l'accumulation de neige ou de glace en général grâce à l'application de substances chimiques permettant d'en bloquer la liaison avec le revêtement. Un programme de manutention hivernale du revêtement réellement efficace accorde beaucoup d'importance à cette phase préventive, en tenant compte surtout des caractéristiques intrinsèques à la route et du niveau du service escompté.

L'application réussie d'un programme anti-givrage réclame une capacité décisionnelle prompte et qualifiée en ce qui concerne l'application et le choix du genre d'intervention plus appropriée pour conserver la chaussée dans des conditions acceptables. Il sera donc nécessaire que ces opérations aient lieu avant ou en même temps que l'événement météorologique ; c'est-à-dire que l'on doit être en grade de prévoir assez précisément le début et le genre de la précipitation neigeuse.

Actuellement, l'intervention consiste à répandre des substances chimiques, en général sous forme de solutions salines aqueuses concentrées adéquatement (FHWA, 1996).

En présence de béton bitumineux poreux, typique des revêtements drainants antibruit, la complexité des opérations anti-givrage devient particulièrement délicate et coûteuse.

La porosité intrinsèque de ce matériau en particulier, accélérant l'écoulement des eaux de pluie ou de la neige fondue, comprend un délavage des substances salines fondues, qui nécessite alors des

dépenses d'interventions, plus rapides et plus nombreuses, des équipes de manutention, alourdissant encore les frais. En général, pour les enrobés drainants, le dosage de sel augmente de 30% par rapport à un revêtement à usure traditionnelle, même si l'utilisation de sels binaires $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ rend le traitement plus efficace (Camomilla et al., 1997).

Au-delà de l'aspect économique, la quantité excessive de solutions salines employées pour ce type de revêtement aggravent les problèmes notoires de l'environnement liés à l'écoulement, depuis la plateforme, d'eaux riches en chlorures ; en outre, ces dernières ont une action agressive surtout en ce qui concerne les produits manufacturés en béton armé (Collepari, 1991).

Quant à la sécurité routière, l'intervention anti-givrage tardive est particulièrement grave lorsqu'il s'agit de béton bitumineux drainant : le roulement des pneus sur un revêtement en condition d'adhérence acceptable est rendu plus difficile par l'obstruction des pores par la neige fraîche qui, compressée par le passage des véhicules, forme une couche de glace à l'intérieur du revêtement, particulièrement difficile à supprimer même si les conditions climatiques s'améliorent.

Une méthode alternative à l'emploi des sels consiste à préparer un programme anti-givrage par la pose, en phase de construction de la chaussée, d'un système de chauffage du revêtement basé sur le principe physique de l'effet Joule. De cette façon, avant et pendant la précipitation neigeuse, la surface maintient une température systématiquement supérieure à la température extérieure. Une étude expérimentale en laboratoire a permis de déterminer la typologie du matériau résistif, les critères de positionnement optimal, les conditions d'alimentation en toute sécurité du circuit chauffant et l'estimation des prestations obtenues (Figure 1).

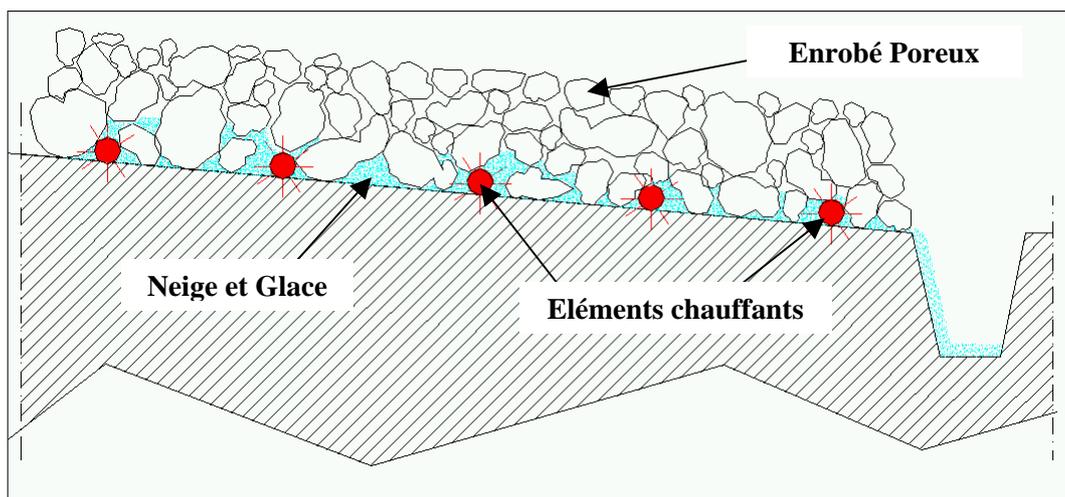


Figure 1 – Schéma du Fonctionnement d'une Chaussée Chauffante

3. Choix du Système Technologique

Le principe physique qui permet d'empêcher efficacement la formation de glace sur les revêtements drainants consiste, à l'aide d'une technologie simple, à chauffer le revêtement afin d'atteindre une température supérieure à celle de la congélation de l'eau, ou tout au moins à rendre l'éventuelle présence de sel plus efficace. Le chauffage est induit dans un élément résistif suite au passage du courant électrique. Ce principe se base sur la fameuse équation de Joule :

$$W = R \cdot I^2 \quad (1)$$

où W représente la puissance sous forme de chaleur, R , la résistance de l'élément et I , le courant qui le traverse.

Le choix de l'élément résistif à utiliser est donc fondamental. Il faut effectivement trouver un matériel conductible à haute résistance qui non seulement permette le passage du courant mais qui en même

temps puisse en distribuer beaucoup sous forme de chaleur. Dans les manuels, le carbone et le nickel-chrome sont les matériaux les plus indiqués à cette fin, grâce à la haute résistance dont ils font preuve : environ $100 \mu\Omega\cdot\text{cm}$. Le filament à résistance choisi, dans le cas présent, doit garantir un chauffage optimal tout en maintenant le débit du courant fourni bas, une période de fonctionnement longue, un coût commercial bien sûr réduit et, non moins importante, une résistance mécanique optimale, de façon à supporter les sollicitations auxquelles il peut être soumis durant la phase de positionnement au sol et l'étalage du béton bitumineux.

Une étude effectuée précédemment (Montepara and Giuliani, 2001) a permis d'identifier le filament le plus approprié en l'alliage appelé alkrothal (15% Cr, 4.5% Al, 80.5% Fe).

Expérimentalement, ce filament, soumis à une tension déterminée, atteint la température prévue presque instantanément, sans les retards dus aux transitoires thermiques qui, en général, précèdent la marche à régime. Pour ce qui est du passage du courant dans la chaussée, on a pensé à utiliser le schéma électrique simple de la Figure 2.

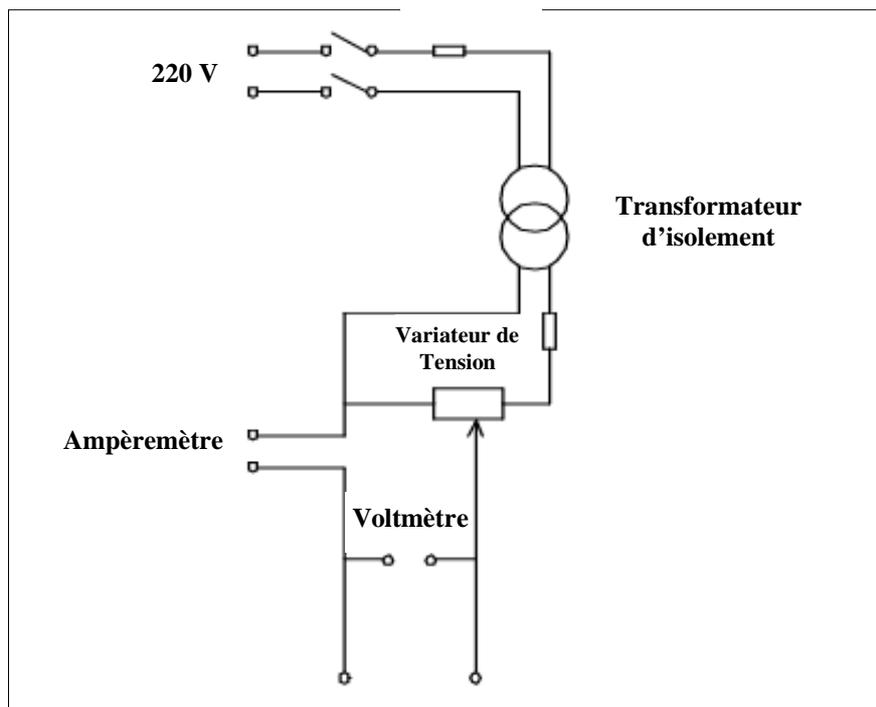


Figure 2 – Schéma d’Alimentation Électrique des Éléments Chauffants

Celui-là est composé en substance de deux éléments fondamentaux : un transformateur d'isolement et un variateur de tension. Le premier a pour but de protéger l'utilisateur, présente un rapport de transformation de 1 : 1, a une puissance de 200 VA et fonctionne avec un courant maximum de 0,8 A. Le variateur de tension permet un champ d'alimentation alternée de 2,5 V à 260 V et peut fonctionner avec un courant maximum nominal de 2,5 A, même s'il a été conçu pour supporter un courant de 5 A. A la sortie du variateur de tension, il y a deux câbles qui fournissent la tension aux filaments à résistance insérés dans le béton bitumineux. Deux fusibles, un pour le transformateur d'isolement, l'autre pour le variateur, protègent le circuit d'éventuelles surintensités. Un Voltmètre, en parallèle, et un Ampèremètre, en série, permettent d'effectuer l'expérimentation en contrôlant constamment les mesures électriques.

4. Préparation des Échantillons d'Essai

L'étude de laboratoire a bénéficié d'une simulation complète du chauffage induit dans des échantillons de revêtement aux dimensions significatives (50 cm x 50 cm). Les éléments du revêtement sont constitués par une couche de base en béton bitumineux fermée de 120 mm d'épaisseur, sur laquelle sont étendus sur toute la longueur de l'échantillon, d'abord les filaments à résistance, puis une couche

d'attache en émulsion bitumineuse modifiée et enfin la couche en béton bitumineux drainant de 50 mm. Les filaments à résistance ont été préalablement pliés en forme sinusoïdale, de 24 mm de largeur et de 8 mm de longueur d'onde, et étendus sur toute la largeur de l'échantillon de revêtement. Pour la préparation des échantillons, de structure inhabituelle quant à l'échelle des études en laboratoire sur les bétons bitumineux, on a utilisé un système de compactage hydraulique projeté et réalisé par l'Université de Parme, qui reproduit parfaitement le passage des rouleaux compresseurs de chantier, avec une charge par essieu réglable jusqu'à 10 tonnes et à vitesse programmable (Figure 3). Le béton bitumineux drainant a été fait avec du liant modifié par ajout de polymère SBS, des granulats de pierre porphyrique, associés selon les règles de la granulométrie suivant une courbe typique discontinue (diamètre maximum de 16 mm) avec un pourcentage final de vides résiduels de 19%. Le pas X avec lequel l'espacement optimal des éléments chauffants à l'intérieur du revêtement drainant a été choisi est une variable du problème (Figure 4), en fonction de la forme du fil adoptée, de la température de l'élément chauffant et de l'uniformité de la température que l'on désire atteindre sur la surface du revêtement drainant. A la lumière des expériences en laboratoire effectuées précédemment sur les revêtements chauffés (Montepara and Giuliani, 2001), on a choisi de préparer les essais avec un espacement de 150 mm.



Figure 3 – Préparation des Échantillons d'Essai

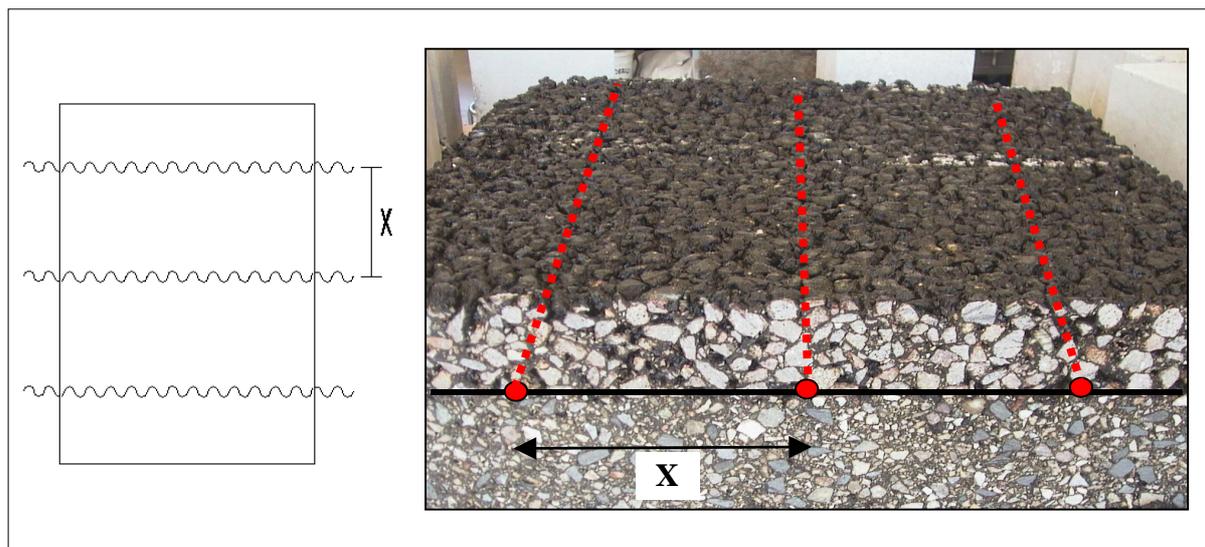


Figure 4 – Disposition des Échantillons d'Essai

5. Résultats de l'Expérimentation

Les essais de laboratoire sont basés sur le contrôle de la puissance distribuée par effet Joule par les filaments à résistance, en tenant compte simultanément du courant qui les traverse, de la variation de la température des fils et de la couche d'usure.

Les échantillons testés ont produit de meilleurs résultats lorsque la puissance émise par les filaments, avec la longueur et la structure utilisées, s'est stabilisée aux alentours de 8 W.

Dans cette configuration, la température des filaments atteint 43° C environ, avec une tension de 12.08 V et un courant de 2.01 A. Bien que le courant parcourt les filaments, l'éventuelle présence d'eau ne comporte aucun risque de court-circuit, étant donné que le système tout entier est protégé en aval par un transformateur d'isolement qui permet d'éviter le risque de foudroiement.

L'étude des températures atteintes par les échantillons des revêtements chauffés a été effectuée à l'aide d'une caméra thermique digitale à infrarouges.

L'instrument sophistiqué, dont les caractéristiques sont reportées dans le Tableau 1, permet à la première approche de localiser de façon continue et extrêmement précise les surfaces qui présentent des températures différentes en leur attribuant des couleurs diverses. D'autre part, la vision instrumentale à infrarouges est un puissant instrument d'étude lorsqu'on examine chaque cliché afin d'effectuer une analyse thermique détaillée.

La Figure 4 présente la séquence de 6 images thermiques d'un échantillon dont on s'est servi, au cours de 6 instants chronologiques différents, entre 0 et 120 minutes. On observe clairement l'échantillon traversé par la chaleur transmise par les trois filaments à résistance parallèles, disposés horizontalement et espacés chacun de 150 mm.

La coloration différente, du bleu au rose intense et à l'orange, visible dans les bandes horizontales parallèles, identifie, sur la surface de la couche d'usure drainante, la température qui tend à augmenter au cours du temps d'application du courant dans les filaments à résistance ; après 120 minutes, le revêtement a une température d'environ 10° supérieure à celle, initiale, de la température ambiante.

Les points de température les plus significatifs de l'échantillon de revêtement (points 1-6 de la Figure 6) ont été obtenus par une analyse thermique au cours de différents instants chronologiques et reportés au Tableau 2.

On remarquera que la température du filament chauffant (point 2), une fois alimenté, se maintient constamment à 43°C environ, supérieure de 22 degrés environ à la température ambiante. Le chauffage produit, sur la surface du revêtement, par la transmission de la chaleur produite par les fils à résistance est donc un instrument anti-givrage efficace ; en même temps, le gradient thermique introduit dans le béton bitumineux est parfaitement compatible avec la rhéologie et les prestations mécaniques que doit offrir le bitume (Montepara and Giuliani, 2001).

L'augmentation de la température de la surface du revêtement drainant se produit avec un gradient d'environ 4÷5°C/h, information importante afin d'activer le système de chauffage suffisamment à l'avance par rapport à l'évolution des conditions météorologiques.

Toujours en référence à la Figure 6, il est possible d'analyser le mouvement, dans le temps, des températures le long de l'étendue de la structure de l'échantillon, respectivement dans les directions parallèle, X-X, et orthogonale, Y-Y, à la disposition des éléments chauffants. La distribution des températures, en correspondance à l'élément chauffant (Figure 7), est clairement uniforme le long de toute l'étendue de l'échantillon. En direction orthogonale, Y-Y (Figure 8), les valeurs des températures enregistrées sont localement supérieures d'environ 2°C, seulement sur le point de mesure qui correspond directement au filament à résistance.

Tableau 1: Caractéristiques des Caméras Thermiques Digitales à Rayons Infrarouges

Echelle de température	-20 °C to +300 ° C
Résolution de l'instrument	0.1 °C
Précision de mesure	± 1.0 % du max. de l'échelle
Longueur d'onde relevée	3.0 à 5.3 µm
Type de détecteur	HgCTe – 270.000 pixel
Champ visuel	21.5 ° h x 21.5 ° v
Distance de mise au point	0.3 m/infini
Images / sec.	1/22 sec

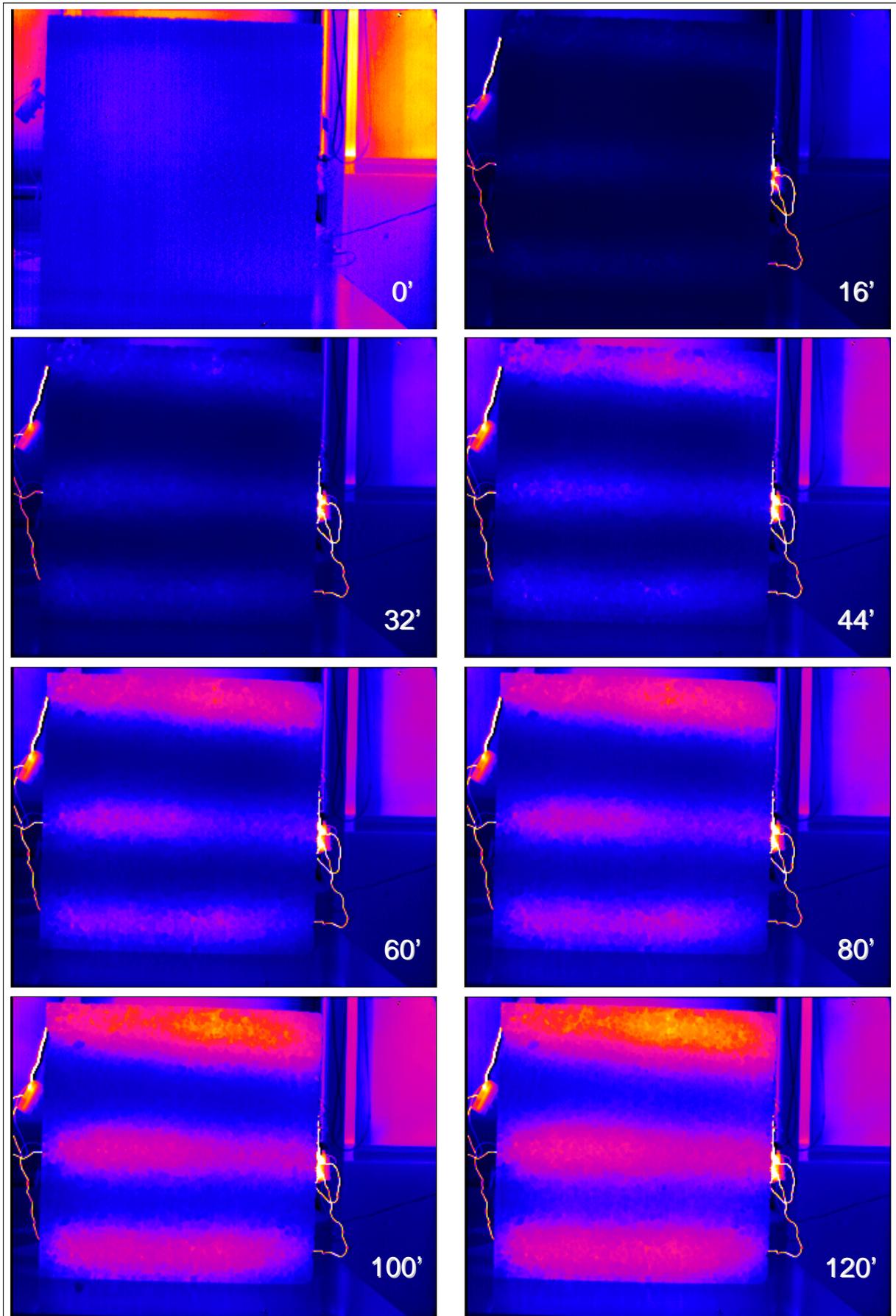


Figure 5 – Distribution des Températures dans un Élément du Revêtement

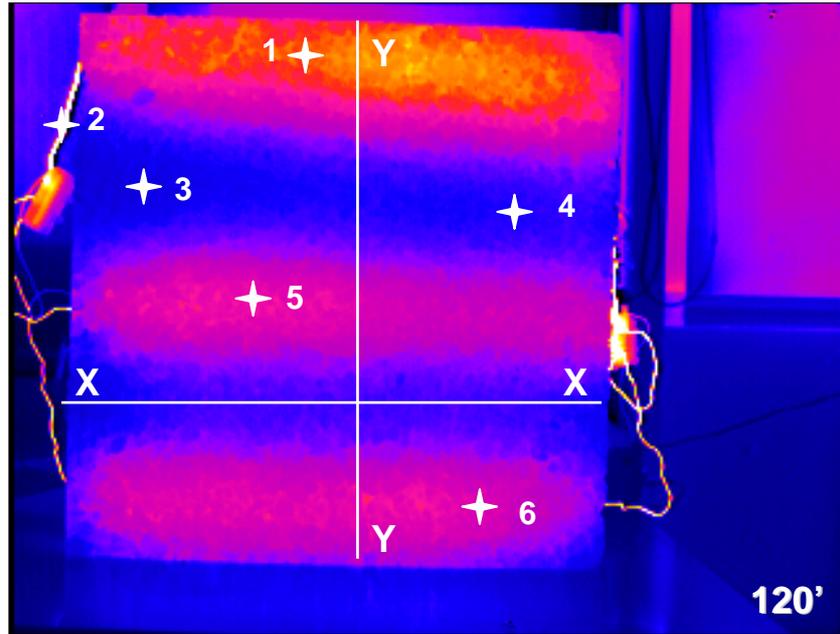


Figure 6: Représentation Thermographique de l'Échantillon après 120' de Chauffage

Tableau 2: Les Points de Température les Plus Significatifs

Point de Mesure	Temps 0'	Temps 32'	Temps 60'	Temps 120'
1	20.72 °C	23.67 °C	25.86 °C	30.16 °C
2	21.64 °C	43.37 °C	43.34 °C	43.38 °C
3	21.04 °C	22.17 °C	24.12 °C	26.74 °C
4	20.81 °C	22.64 °C	24.43 °C	28.62 °C
5	20.95 °C	23.41 °C	25.11 °C	29.18 °C
6	21.08 °C	23.32 °C	24.93 °C	29.08 °C

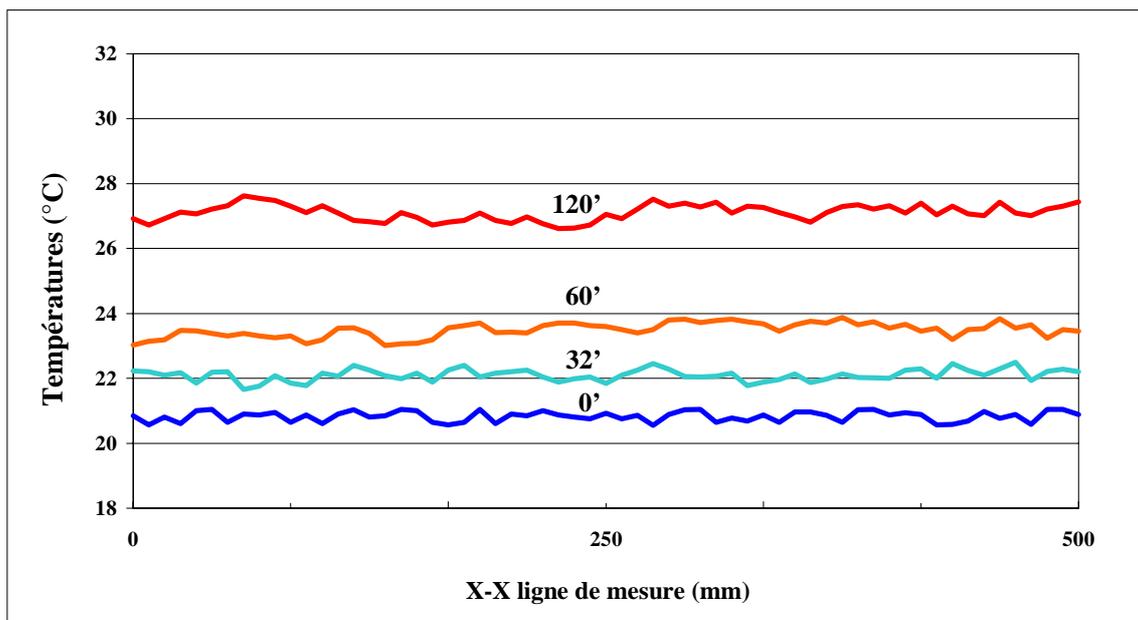


Figure 7 – Mouvement des Températures dans le Temps le Long de la Direction X-X

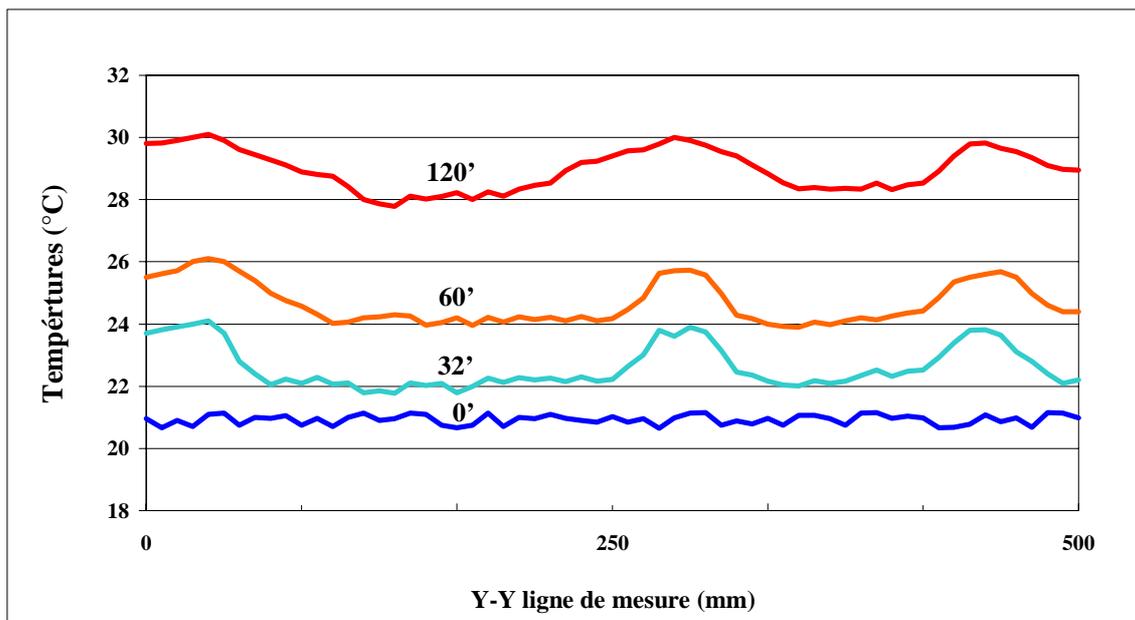


Figure 8 – Mouvement des Températures dans le Temps le Long de la Direction Y-Y

6. Conclusions

La manutention des chaussées durant l'hiver, à l'aide de l'introduction d'éléments chauffants disposés directement sous la couche d'usure, peut être extrêmement efficace, surtout si elles sont réalisées avec du béton bitumineux drainant. Effectivement, pour ces chaussées, le programme de prévention de la formation de glace (anti-givrage) est bien plus important et décisif que n'importe quelle technique curative (dégivrage).

L'étude expérimentale, dont ce mémoire a présenté les résultats plus significatifs, a permis de vérifier, à l'échelle de laboratoire, que :

- les éléments chauffants permettent d'amener le revêtement à une température supérieure à la température ambiante externe, avec des gradients thermiques programmables ;
- les éléments chauffants par effet Joule peuvent être alimentés avec une tension extrêmement basse, ayant soin de sélectionner le matériel plus résistif, économique, durable et résistant mécaniquement.
- la forme sinusoïdale choisie pour les éléments résistifs étudiés a pour fonction d'augmenter la surface chauffante à l'intérieur du bitume et permet aux filaments de s'adapter au mouvement des granulats et aux sollicitations dues à l'épandage et au roulement ;
- une température supérieure à celle du revêtement en hiver permet d'éviter la formation d'une couche de glace durable, particulièrement insidieuse dans un revêtement drainant ; permet aussi de limiter les problèmes de durabilité des bétons bitumineux poreux liés à la friabilité des alliages bitume-granulat (Nakanashi et al., 2000) ;
- la disposition d'un réseau d'éléments résistifs à l'intérieur d'un revêtement est plutôt facile, et de toute façon similaire à la pose de renforts structuraux métalliques déjà présents dans les manuels techniques de la construction routière ;
- les températures présentes dans l'interface résistance-bitume sont absolument compatibles avec la pleine efficacité du liant.

7. Références Bibliographiques

FHWA, "Manual of Practice of an Effective Anti-icing Program", US Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA, 1996.

Camomilla G., Goretti P., Terradura V. et B. Baruchello, “Manuale delle Operazioni Invernali”, edition n. 3, Società Autostrade, Italie, 1997.

Collepari M., “Scienza e Tecnologia del Calcestruzzo”. Hoepli ed., Milano, Italie, 1991.

Montepara A. and F. Giuliani, “Studio Sperimentale sulle Pavimentazioni Stradali Riscaldate”, envoyé à XI Convegno Nazionale Stradale SIIV, *Progettazione ed Adeguamento Funzionale delle Infrastrutture Viarie*, Società Italiana Infrastrutture Viarie, Verona, Italie, 2001.

Montepara A. and F. Giuliani, “Effect of Low-Temperatures on Mechanical Characteristics of Bituminous Mixtures”, proceedings of 1st Southamerican Winter PROVIAL, *World's End Winter Road Congress*, Tierra del Fuego, Argentina, 2000.

Nakanishi H., Asano K. and K. Goto, “Study on Improvement in Durability of Porous Asphalt Concrete”, proceedings of 10th REAAA Conference, Road Development for 21th Century, Tokyo, Japan, 2000.