

# OPTIMISATION DE L'APPLICATION ET DE L'EMPLOI SUR D'UNE SOLUTION D'ACETATE DE CALCIUM MAGNESIUM COMME MOYEN DE DEGEL ET D'ANTI-VERGLAS DANS LE CLIMAT NEO – ZELANDAIS

Murray Clarke\*, Vince Dravitzki\*\* et Peter Cenek\*\*

\*Transit New Zealand

Otago Region

P O Box 5241, Dunedin, New Zealand

TEL +64-3-477-857/FAX +64-3-477-9237

Adresse Email: Murray.Clarke@transit.govt.nz

\*\* Opus International Consultants

Central Laboratories

P O Box 30-845, Lower Hutt, New Zealand

TEL +64-4-587-0600/FAX +64-4-587-0604

Adresse Email: Vince.Dravitzki@opus.co.nz

Peter.Cenek@opus.co.nz

## 1. Résumé

Depuis 1998, l'Acétate de Calcium Magnésium (CMA) est utilisé dans la région côtière de l'Otago en Nouvelle Zélande en temps qu'agent de dégel et d'anti-verglas. Durant les essais, plusieurs cas de pertes de contrôles de véhicule furent reportés sur des routes où le CMA venait d'être appliqué. Ces incidents amenèrent la question de savoir si ce revêtement anti-verglas réduisait ou non la qualité de l'adhérence routière. Le moment de la journée durant lequel la solution est appliquée semble avoir son importance: en fin d'après-midi, les risques d'accidents semblent plus importants qu'en début de matinée, juste avant la formation de glace.

Contrairement aux pays où un traitement anti-verglas est utilisé, la Nouvelle Zélande a des conditions climatiques beaucoup moins sévères, une humidité relative plus élevée et un revêtement routier beaucoup plus en relief, avec 90% des autoroutes conçues sur une base de gros graviers. Ainsi, une étude dans une chambre climatique fut conduite pour déterminer si l'utilisation de CMA en Nouvelle Zélande pouvait réduire temporairement les conditions d'adhérence routière et quantifier l'importance et la durée de ce phénomène durant une journée d'hivers typique.

Les études prouvèrent que le CMA réduisait la qualité du grip d'une route sèche plus que ne le ferait simplement de l'eau, avec une perte d'adhérence pouvant se traduire par une chute du coefficient de friction allant de 0.15 à 0.3. De plus, les études ont reporté une sensibilité notable du

CMA a l'humidité relative qui est d'autant plus importante que le CMA est partiellement sec, confirmant ainsi une étude canadienne. La solution de CMA laisse la route humide et glissante plus longtemps que ne le ferait de l'eau. Lorsque la solution est sèche, elle n'a alors plus d'effet sur les conditions d'adhérence, mais son effet peut être réactivé par la présence de rosée ou de gouttelettes d'eau. Cette perte d'adhérence peut être qualifiée comme étant à mi-chemin entre des conditions de chaussée mouillée et celles de CMA fraîchement posé. Néanmoins, relativement à une situation de glace invisible, les résultats du CMA dénotent une amélioration du coefficient de frottement de 0.1 à 0.25 en fonction du type de revêtement. Son utilisation en Nouvelle Zélande est donc justifiée mais certaines modifications de l'application du CMA sont nécessaires pour parfaire son effet et réduire le risque d'accidents potentiel.

## 2. Introduction

La méthode principale utilisée en Nouvelle Zélande pour réduire les effets de verglas est l'application de gravier en surface (beaucoup de routes secondaires sont non goudronnées). Néanmoins, le gravier lui-même peut entraîner des conditions de dérapage, et est reconnu pour sa contribution à de nombreux accidents. De plus, les automobilistes néo-zélandais deviennent de plus en plus conscients des méfaits d'un tel revêtement sur leur voiture au niveau de la peinture et du pare-brise. En conséquence, Transit New Zealand, une compagnie chargée de la construction et du maintien du réseau routier Néo-zélandais, a décidé de mener une étude sur les différentes options de traitement anti-verglas.

Dans le passé, le Chlorure de Sodium (sel commun) était utilisé en Nouvelle Zélande comme agent de dégel, mais son utilisation devint plus rare au début des années 80 en raison des méfaits du sel d'un point de vue corrosif. Le Chlorure de Sodium fut à nouveau considéré par Transit New Zealand dans son étude comme agent de dégel et d'anti-verglas, mais avec une application restreinte et comme solution de dernière minute. Cependant, même avec une application limitée, Transit New Zealand n'est pas parvenu à transgresser l'opinion que le public conserve à l'égard du sel malgré les améliorations notables des véhicules face à la corrosion et les preuves historiques du peu d'effet que le sel peut avoir sur la végétation environnante. Ainsi, l'opinion du public a orchestré la décision de Transit New Zealand de refuser l'usage du sel comme solution anti-verglas. Les agents de dégel et anti-verglas utilisés en Amérique du Nord furent alors considérés. L'Acétate de Calcium Magnésium (CMA) fut identifié comme étant la solution la plus appropriée pour la Nouvelle Zélande en raison de ses qualités environnementales et de son moindre effet corrosif, répondant ainsi aux doubles craintes du public à l'égard du Chlorure de Sodium. C'est également un agent approprié et efficace pour les températures endurées en Nouvelle Zélande.

Durant les hivers 1999 et 2000, des essais sur le CMA furent effectués dans la région côtière de l'Otago pour déterminer:

- la méthode la plus sûre et la plus efficace d'appliquer la solution de CMA;
- son côté financier; et
- l'effet du CMA sur les conditions d'adhérence.

Durant ces essais, plusieurs cas de pertes de contrôles de véhicule furent reportés sur des routes où le CMA venait d'être appliqué, amenant la question de savoir si le CMA réduisait effectivement ou non la qualité d'adhérence de la chaussée routière. A ce jour, aucune preuve tangible n'existe indiquant que le CMA introduit un "agent chimique glissant" sur une chaussée à part une récente étude canadienne (Leggett, 1999). Cette étude établit que la plupart des agents anti-verglas passent par une phase "glissante" durant leur transformation liquide solide. Cette phase de transition apparaît à faible humidité et est généralement de courte durée. Cependant, cette étude est relativement limitée. Elle ne couvre seulement qu'un type de revêtement routier, l'asphalte bétonneux, et n'encadre pas les conditions climatiques endurées lors d'un hiver néo-zélandais.

Afin de mieux cerner les effets du CMA sur l'adhérence routière, une étude de contrôle fut commissionnée par Transit New Zealand. Les objectifs de cette étude furent d'établir si oui ou non l'addition de CMA comme agent anti-verglas occasionnait des effets néfastes sur l'adhérence d'un revêtement routier néo-zélandais sous différentes conditions climatiques endurées lors de journées hivernales et de juger leur importance et leur durée.

Le présent document résume l'étude menée et ses principales conclusions.

### 3. Procédure expérimentale

Une nécessité majeure pour tester les effets du CMA sur la qualité de l'adhérence routière réside dans le contrôle précis des conditions environnementales et climatiques, soit des facteurs de température et d'humidité relative. En conséquence, les études furent menées dans des chambres de contrôle du Laboratoire National de Météorologie (NCL). Chaque chambre est approximativement de 3m<sup>3</sup> et possède des capteurs et des microprocesseurs capables de détecter et de contrôler des différences de températures de l'ordre de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  sur une fourchette de  $-25^{\circ}\text{C}$  à  $48^{\circ}\text{C}$  et des différences d'humidité relative de l'ordre de  $\pm 3\%$  d'HR sur une fourchette de 10%HR à 95% d'HR. De plus amples informations sur les chambres de contrôle du Laboratoire National de Météorologie sont visibles sur le site Internet suivant : (<http://www.hortresearch.co.nz/products/ncl/capabilities/>).

Il est possible d'utiliser la solution de CMA comme agent anti-verglas plusieurs heures avant l'apparition de la glace comme juste avant sa formation. La décision de "quand" appliquer la solution doit être partagée entre les prévisions météorologiques à court et long terme, la connaissance du matériel et après discussion avec l'ingénieur de maintenance local. Deux conditions de simulation dans les chambres du NCL furent choisies pour l'étude: en fin d'après-midi et en début de matinée car ces deux périodes représentent les limites horaires de possibilité d'application de l'enduit. Au passage, on peut remarquer qu'afin d'éviter les mauvaises conditions d'adhérence au petit matin dues au gel de la nuit, ces périodes limites d'application du CMA sont appropriées.

Après revue des températures de l'air, des conditions atmosphériques et des températures de surface pour la ville de Dunedin (Otago), et après discussion avec le personnel du Laboratoire National de Météorologie, les conditions suivantes ont été choisies pour un après midi froid augurant un matin de gel:  $5^{\circ}\text{C}$  et 90% d'humidité relative pour l'après midi et  $-2^{\circ}\text{C}$  et 90% d'HR pour le matin juste avant la formation de la glace.

Les quatre revêtements différents listés ci-dessous ont servi l'étude:

- 1: chaussée abîmée, asphalte poreux
- 2: chaussée intacte, bitume de type 3 ("Grade3": 16mm taille nominale)
- 3: chaussée abîmée, bitume de type 3 ("Grade3": 16mm taille nominale)
- 4: chaussée intacte, bitume de type 5 ("Grade 5": 9mm taille nominale)

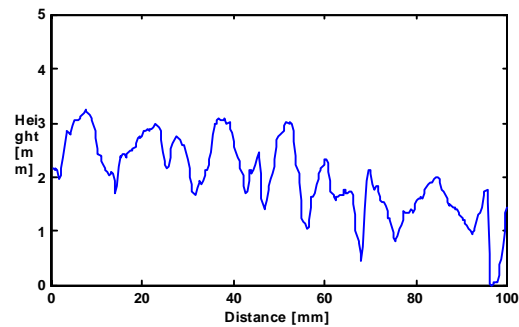
Des échantillons de ces différents bitumes furent obtenus en extrayant des calottes de 300mm de diamètre de revêtements existants. Les calottes furent coupées en pavés de 120mm par 250mm et déposées sur des montants rigides afin qu'elles restent stables tout au long des simulations.

La Figure 1 montre des exemples de revêtement accompagnés de leur graphe de surface. Ces graphes ont été édités avec un appareil de mesure au laser utilisé par Transit New Zealand (le SLP) dont la précision est de l'ordre de  $\pm 0.03\text{mm}$  sur des longueurs d'onde allant de 0.63mm à 500mm (Cenek et al, 1997). Le SLP calcule des profondeurs moyennes (PM) basées sur la norme ISO standard 13473-1, 1996, "Characterisation of Pavement Texture Utilising Surface Profiles, Part 1."

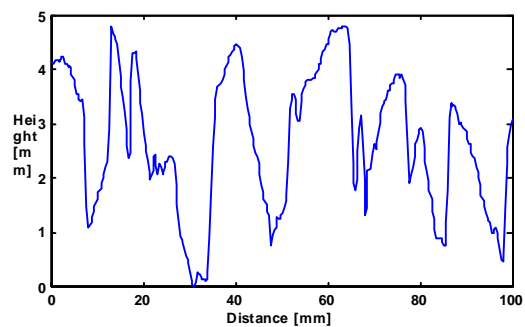
En référence à la Figure1, la PM des échantillons varie de 1.03mm à 2.15mm. A titre de référence, la Profondeur Moyenne limite spécifiée par Transit New Zealand pour les autoroutes est de 0.9mm pour des vitesses de trafic supérieures ou égales à 70km/h et de 0.7mm pour des vitesses inférieures à 70km/h.

Afin de quantifier les effets du CMA, chaque échantillon fut traité par paire. Le premier de la paire étant testé mouillé avec de l'eau seulement et le second mouillé avec une solution de CMA.

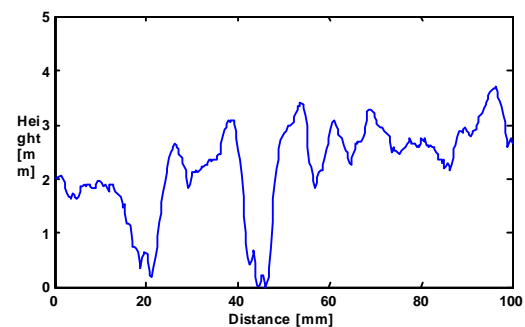
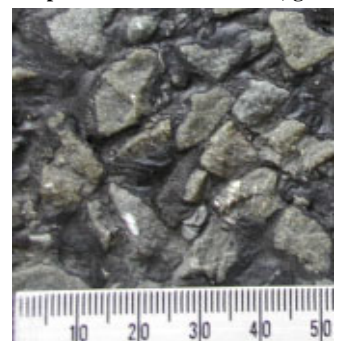
**Exemple 1: Chaussée Utilisée, asphalte poreux, gravier de 14mm, Profondeur Moyenne=1.03mm**



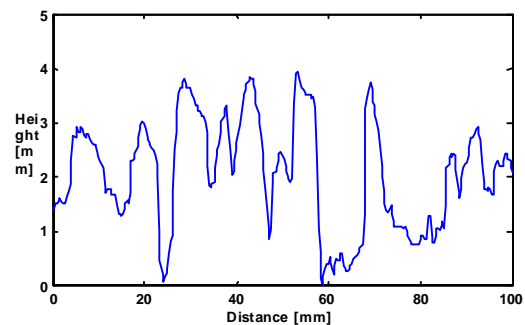
**Exemple 2: Chaussée Intacte, gravier de 16mm de type "Grade 3", Profondeur Moyenne=2.15mm**



**Exemple 3: Chaussée Utilisée, gravier de 16mm de type "Grade 3", Profondeur Moyenne=1.08mm**



**Exemple 4: Chaussée Intacte, gravier de 9mm de type "Grade 5", Profondeur Moyenne=1.88mm**



**Figure 1: Photos des différents type de bitumes et graphes des profils correspondants**

Les tests consistaient à placer chacun des échantillons dans une des chambres du NCL et de mesurer le coefficient de frottement de chacun d'eux à 10mn d'intervalle sur une période d'une heure. L'adhérence fut mesurée à l'aide d'un Pendule Britannique ("British Pendulum Tester" (BPT)), utilisé depuis plus de 35 ans en laboratoire comme sur le terrain pour mesurer l'adhérence d'une chaussée. La valeur mesurée par cet appareil, le "British Pendulum Number (BPN) " représente une mesure du coefficient d'adhérence entre la surface de la route et un morceau de caoutchouc monté sur un ressort glissant solidaire du bras d'un pendule. Le BPN est en relation directe avec les performances d'un véhicule utilisant des roues traitées et effectuant un freinage forcé avec blocage de roues avec une vitesse initiale de 50km/h sur une route mouillée (Road Research Laboratory, 1969). Chaque mesure affecte environ 0.01m<sup>2</sup> de l'échantillon. Comme la résilience de la gomme est fonction de la température ambiante, chaque mesure doit être corrigée à 20°C, cette température étant acceptée comme température de référence.

Les tests sur les différents échantillons furent pris aussi proche que possible les uns des autres. Ceci fut accompli en disposant tous les échantillons dans la même chambre de contrôle et en prenant des mesures toutes les 10mn. Le temps requis pour préparer un essai étant de 2mn, un test complet pour des conditions climatiques particulières était de 2 heures. Les mesures de BTP étaient accomplies selon le schéma suivant: les échantillons mouillés avec le CMA étaient testés pendant la première heure, suivaient ensuite ceux mouillés avec de l'eau durant la seconde heure. L'attention fut portée sur l'ordre de mesure des échantillons, en respectant le même ordre durant la deuxième heure que la première heure.

Afin de contrôler l'efficacité de la solution de CMA et de prendre des mesures comparatives, une glace épaisse était autorisée à se former sur les échantillons.

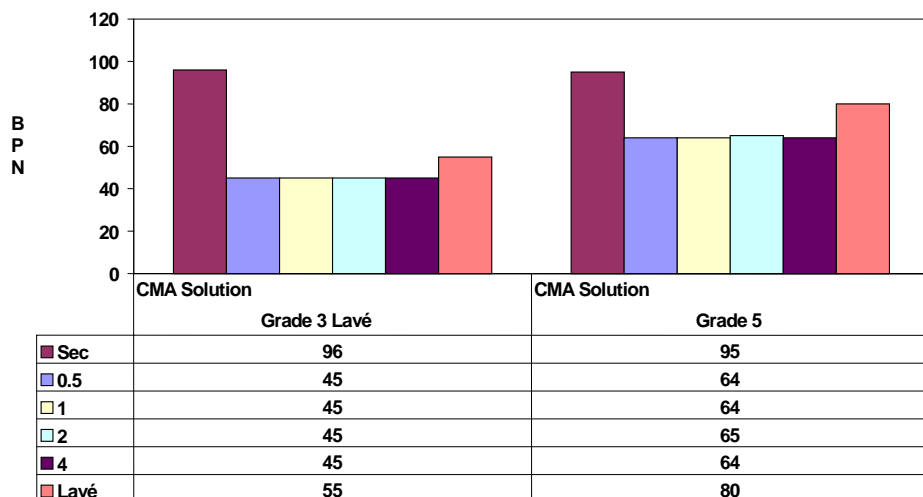
Deux tests supplémentaires furent menés sous les mêmes conditions climatiques. Le premier consistait à détecter une quelconque relation entre l'adhérence à la chaussée et la concentration de la solution de CMA. Pour ces tests, la quantité de CMA fut prise entre -50% et +400% autour de la dose requise et déposée sur les échantillons de type 3 et 4 (se référer à la page 3). Le deuxième test portait sur le comportement du CMA une fois sec, lorsqu'il est remouillé par une faible quantité d'eau. Pour cela, toutes les paires d'échantillon furent laissées à sécher durant une journée et les mesures de BPT furent menées pour les trois conditions suivantes:

- surface sèche;
- application d'une fine couche en spray pour simuler les conditions de rosée; et
- surface mouillée après avoir été lavée et nettoyée.

## **4. Résultats**

### **4.1 Quantité de CMA appliquée**

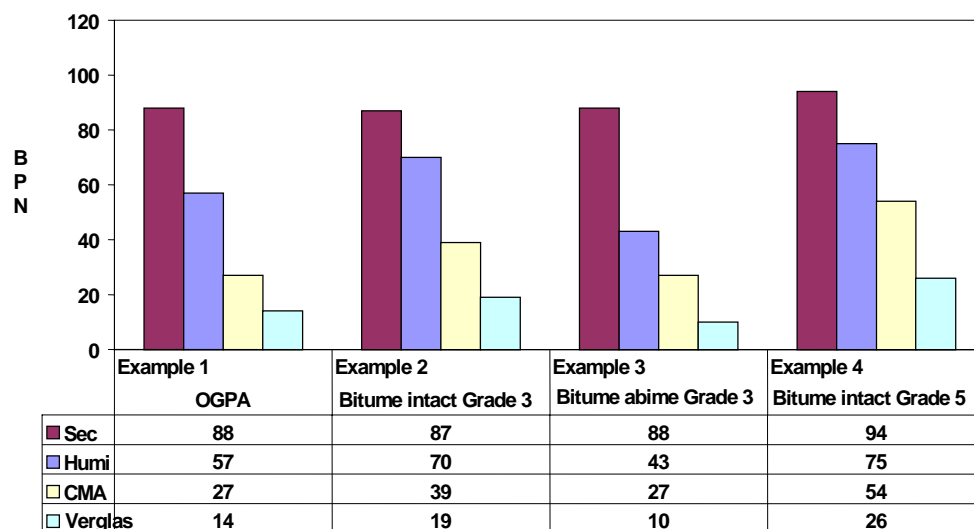
En référence à la figure 2, l'adhérence à la chaussée mouillée ne démontre aucune sensibilité apparente à la concentration qu'il s'agisse de bitume a gros graviers ("Grade 3") comme a fins graviers ("Grade 5") . Ainsi, le dosage correct du CMA n'est pas d'une importance majeure lorsqu'une décision est à prendre concernant l'adhérence bitumineuse.



**Figure 2: Effet sur l'adhérence à la chaussée de la variation de la quantité de CMA (variation allant de moitié à quatre fois la dose recommandée)**

#### 4.2 Effet de la solution de CMA sur l'adhérence de la route

Les Figures 3 et 5 comparent les valeurs du BPN après application de la solution de CMA sur des surfaces sèches, mouillées (avec de l'eau seulement) et glacées lors d'après-midi et de matins hivernaux. Il apparaît clairement que la présence de CMA réduit nettement l'adhérence à la chaussée au-delà de la simple présence d'eau. Les Figures 4 et 5 comparent les valeurs obtenues pour le BPN en pourcentage de celles obtenues lorsque la chaussée est mouillée avec de l'eau seulement.



**Figure 3: Comparaison des valeurs d'adhérence a la chaussée (BPN)-Après-midi de milieu d'Hivers (5°C, 90% HR)**

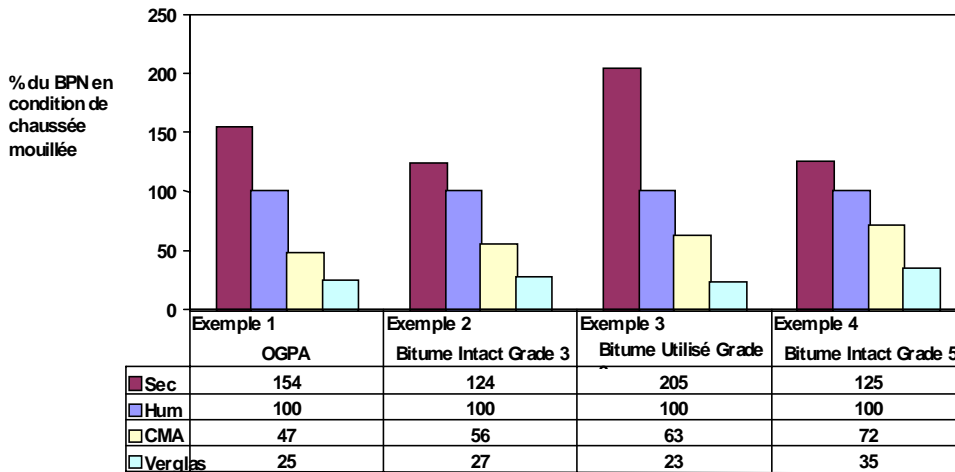


Figure 4: Changement du BPN en pourcentage de celui obtenu en condition de chaussée mouillée. Après-midi de Milieu d'Hivers (5°C, 90% HR)

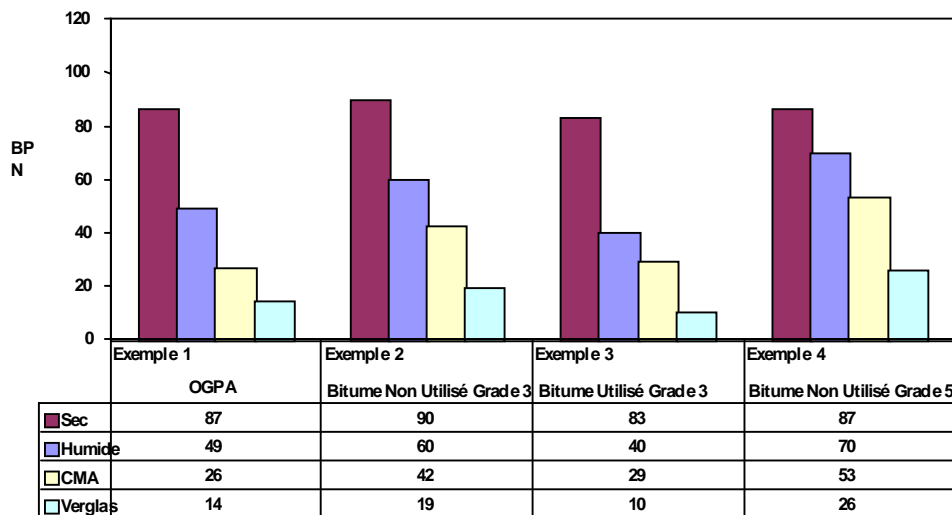


Figure 5: Comparaison des valeurs d'adhérence a la chaussée (BPN)-Petit Matin de milieu d'Hivers (-2°C, 90% HR)

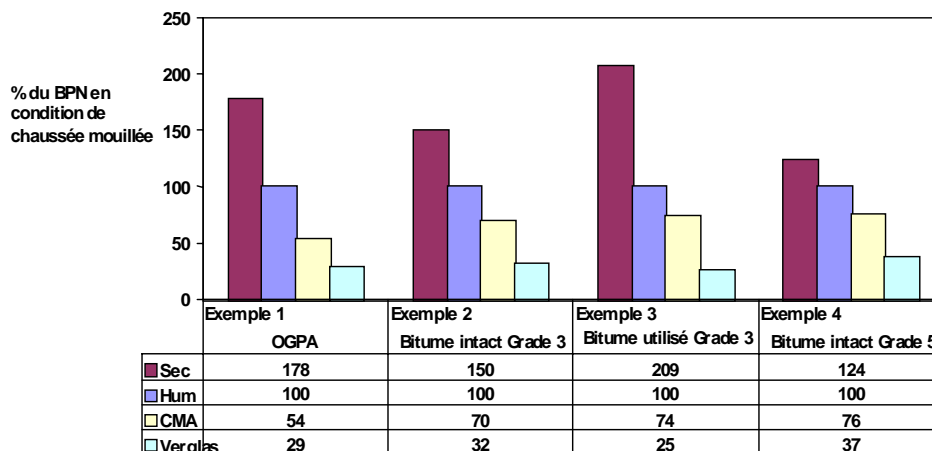


Figure 6: Changement du BPN en pourcentage de celui obtenu en condition de chaussée mouillée. Petit Matin de Milieu d'Hivers (-2°C, 90% RH)

L'accroissement du coefficient de glissement causé par la solution de CMA est de l'ordre de 15 à 30 BPN. Ces valeurs traduisent une réduction de la qualité d'adhérence de la chaussée dont le coefficient de friction équivaut à 47% - 76% de celui d'une chaussée mouillée par l'eau. La réduction du coefficient d'adhérence est la même qu'il s'agisse du matin ou de l'après-midi. Néanmoins, on remarquera une sensibilité de la solution à l'humidité relative plus importante durant la matinée, pour les conditions climatiques choisies (-2°C, 90% RH). Cette sensibilité est d'autant plus remarquable que la solution de CMA est partiellement sèche.

Une glace épaisse abaisse le coefficient d'adhérence de l'ordre de 10 à 30 BPN par rapport à celui d'une chaussée traitée avec une solution de CMA. Ces valeurs correspondent à 25-35% du coefficient d'adhérence d'une chaussée mouillée. Ainsi, l'utilisation de CMA peut contribuer à une différence significative du coefficient d'adhérence de routes sujettes au gel.

En référence aux différents graphes présentés, on peut noter que les écarts les plus importants dans le coefficient d'adhérence se retrouvent au niveau des revêtements lisses. Ce résultat suggère que des surfaces rugueuses sont préférables aux surfaces lisses dans les zones de gel fréquent.

### 4.3 Réactivation du CMA

En référence à la table ci-dessous, il est clair que le CMA, une fois sec, n'influence pas la qualité d'adhérence du revêtement. Cependant, l'addition de gouttelettes d'eau est suffisante pour réactiver la solution de CMA. La réduction correspondante du coefficient de frottement est alors à mi-chemin entre une chaussée mouillée par l'eau et celle enduite de CMA. A titre de remarque, il est important de noter que les échantillons traités par CMA ont un aspect visuel plus noir et plus miroitant que ceux enduits d'eau.

Il ne fut pas établi si la minimisation de l'effet de dérapage lors de la réactivation du CMA est causée par une moindre efficacité de la solution elle-même ou bien par la nature du mélange eau/CMA. Cette découverte permet d'augurer que le coefficient d'adhérence à la chaussée peut être amoindri durant plusieurs jours après l'application du CMA à chaque fois que la chaussée est mouillée.

**Table 1: Réactivation du CMA due à la présence de gouttelettes d'eau**

Exemple	"British Pendulum Number " (BPN)		
	Sec après application de CMA	Enduit de fines gouttelettes d'eau	Lavé, nettoyé et testé mouillé
No 1, OGPA	108	44	43
No 2, Bitume intact, "Grade 3"	108	60	74
No 3, Bitume utilise, "Grade 3"	107	44	51
No 4, Bitume intact, Grade 5	81-106*	60-66*	74

\*Instable

## 5. Préoccupations Majeures

### 5.1 Adhérence réduite par l'utilisation de CMA

Les tests menés dans les chambres de contrôle sous un climat donné indiquent que la présence de CMA sur une autoroute ou une route principale de Nouvelle Zélande réduit l'adhérence à la chaussée de 25 à 50% au-delà de l'adhérence habituelle d'une chaussée mouillée. Ainsi, l'une des questions principales est de savoir si oui ou non l'utilisation de CMA est conseillée étant donné que l'adhérence est quasiment réduite à des conditions de hasard sur une chaussée lisse.

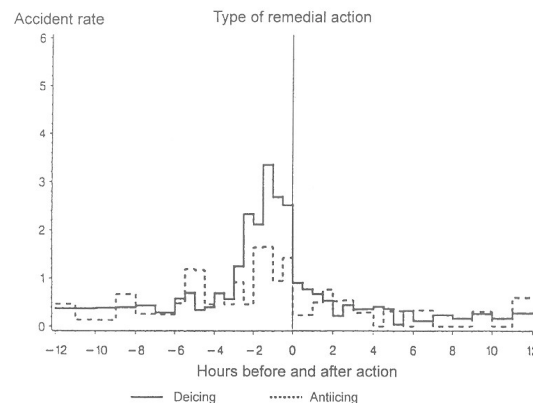
Le choix réside entre les deux options suivantes:



- Appliquer le CMA comme agent de dégel ce qui entraîne
  - une réduction de l'adhérence près du niveau des conditions de conduite hasardeuse pour certaines routes
  - une perte de l'apparence visuelle de verglas et laisse l'automobiliste penser que la chaussée est simplement mouillée et conduit en conséquence
- laisser la surface dans des conditions de verglas afin que l'automobiliste puisse reconnaître cet aspect par une interprétation visuelle, bien que les conditions de surface sont alors encore plus hasardeuses si elles sont mal signalées. De plus, l'aspect visuel peut également être tricheur, même lorsque l'automobiliste est conscient des conditions de la chaussée.

La solution de CMA, bien qu'elle introduise des conditions d'adhérence amoindries par rapport à celles d'une chaussée simplement mouillée, donne néanmoins un coefficient de friction de 2 à 3 fois plus élevé que celui de la glace. Sans nul doute, le choix en faveur du CMA est le meilleur pour s'affranchir des conditions de hasard imposées par la glace, d'autant plus qu'une signalisation appropriée peut informer l'automobiliste de la présence de CMA. Si tel est le cas, il est important de signaler au conducteur que la chaussée reste glissante malgré les mesures de dégel prises.

Cette précaution supplémentaire est justifiée par le taux d'accidents en Suède durant les heures précédentes et suivantes l'application du sel. En référence à la figure 7, il est important de noter que le risque d'accident augmente de manière significative durant l'heure précédant la formation de la glace, le risque d'accidents étant alors 6 fois plus important qu'à l'accoutumé. L'action préventive d'anti-verglas, de ce fait, est préférable au choix de laisser la route en l'état ou de la dégeler.



**Figure 7: Taux d'accidents (par million de kilomètres sur une route à deux voies) (Wallman et Astrom, 2001)**

### 5.2 Meilleurs moments pour l'enduit de CMA:

La présente étude montre que l'application de CMA laisse la route mouillée (et par la même glissante) plus longtemps que ne le ferait de l'eau. Un enduit en fin d'après-midi laissera la route mouillée durant la nuit, imposant ainsi des conditions de conduite hasardeuses non nécessaires. A nouveau, en référence à la Figure 7, le meilleur moment pour appliquer le CMA est une heure ou deux avant la formation du verglas si la route est alors praticable.

### 5.3 Justification des corrections de température pour les mesures d'adhérence

L'abaissement de la résilience de la gomme et la perte d'hystérésis devient plus grande à mesure que la température décroît. Ces effets tendent à augmenter la valeur de l'adhérence mesure à mesure que la température décroît. La correction des valeurs lues est éditée par le fabricant ("British Pendulum Tester"), et présentée dans le "Road Note 27". Il est dit qu'une correction de  $-5$  BPN doit être appliquée à  $5^{\circ}\text{C}$  et qu'une de  $-7$  BPN doit être appliquée à  $-2^{\circ}\text{C}$ . Pourtant, les mesures faites par

le Pendule Britannique à des températures de 5°C et -2°C sur les échantillons de contrôle (mouillés avec de l'eau) indiquent que les corrections à effectuer sont de -15 BPN à 5°C et de -17 BPN à -2°C. Ces plus amples corrections sont consistantes avec les essais de Visser (1974) qui explique que les effets de température sont plus importants en dessous de 10°C en raison du changement de viscosité de l'eau. Une meilleure connaissance de l'influence des paramètres tels que la température de l'air, de l'eau, de la gomme utilisée et de l'état de surface est nécessaire afin d'améliorer la correction des mesures.

#### **5.4 Traces de CMA**

Ce programme expérimental a montré qu'une fois sec, le CMA n'a aucun effet sur le revêtement de la route, mais que son effet peut être réactivé par la présence de rosée ou de fines gouttelettes. Ainsi, le CMA accroché aux pneus et dispersé le long de la route peut avoir des effets de hasard. En conséquence, des tests de performance sur route durant plusieurs jours à l'aide d'un tester mobile tel un "Grip Tester" sont recommandés afin d'identifier les effets suivants:

- amplitude et durée du changement d'adhérence de la chaussée causé par le CMA. Les effets de température sur la gomme devraient être réduits car la sensibilité des mesures du "Grip Tester" aux températures est 3 fois moins importante que celle du Pendule Britannique (Cenek et al, 1999).
- migration du CMA le long de la chaussée

#### **6. Conclusions**

Sous l'égide de l'étude menée ici, les conclusions suivantes peuvent être formulées:

- Le CMA semble réduire l'adhérence de la chaussée de 25 à 50% par rapport à une chaussée simplement mouillée par l'eau. Cet effet est d'autant plus prononcé que la chaussée est lisse.
- L'influence de la solution de CMA sur l'adhérence de la chaussée ne dépend pas de son moment d'application dans la journée, bien qu'on dénote une sensibilité de la solution à la valeur de l'humidité relative en début de matinée (90% d'HR).
- La solution de CMA semble faire perdurer l'humidité de la route qui reste mouillée (et glissante) bien plus longtemps qu'elle ne le serait avec de l'eau.
- La solution de CMA, bien qu'affectant les conditions d'adhérence de la chaussée par temps de pluie, impose un coefficient de frottement de 2 à 3 fois supérieur à celui de la glace.

#### **7. Références**

Cenek, P.D., Brown, D.N., Carpenter, P., Jamieson, N.J., McLarin, M.W.(1997) Replication of VTI's Stationary Laser Profilometer for Measuring Road Surface Profiles, Transfund New Zealand Research Report No.84, Wellington.

Cenek, P.D., Alabaster, D.J., Davies, R.B.(1999) Seasonal and Weather Normalisation of Skid Resistance Measurements, Transfund New Zealand Research Report No.139, Wellington.

Leggett, T.S. (1999) Temperature and Humidity Effects on the Co-efficient of Friction Value after Application of Liquid Anti-Icing Chemicals, Forensic Dynamics Inc, Vancouver.

Road Research Laboratory (1969) Instructions for Using the Portable Skid-Resistance Tester, Her Majesty's Stationary Office, London.

Visser, A.T. (1974), An Investigation of the Skid-Resistance of Roads Under South African Conditions, MSc Thesis, University of Witwatersrand, Johannesburg.

Wallman, C.-G., and Astrom, H. (2001) Friction Measurement Methods and the Correlation Between Road Friction and Safety – A Literature Review, Swedish National Road and Transport Research Institute Report 911A, Linköping.

#### **8. Clause**

Les analyses tirées ici sont celles de l'auteur et ne sont pas nécessairement celles de Transit New Zealand ou celles de Opus International Consultants.