

MESURES CONTRE LA NEIGE ET LE VERGLAS UTILISANT DES PRODUITS CHIMIQUES ANTIGEL

Nozomu MORI ¹, Seishi MEIARASHI ², Toshihiko NAKAMURA ³,
 Michiya IRASAWA ⁴, Kenichi HAYASHI ⁵

¹ Division de la conception des routes et de la sécurité, Institut national pour la gestion de l'aménagement du territoire et des infrastructures, Ministère de l'aménagement du territoire et des transports

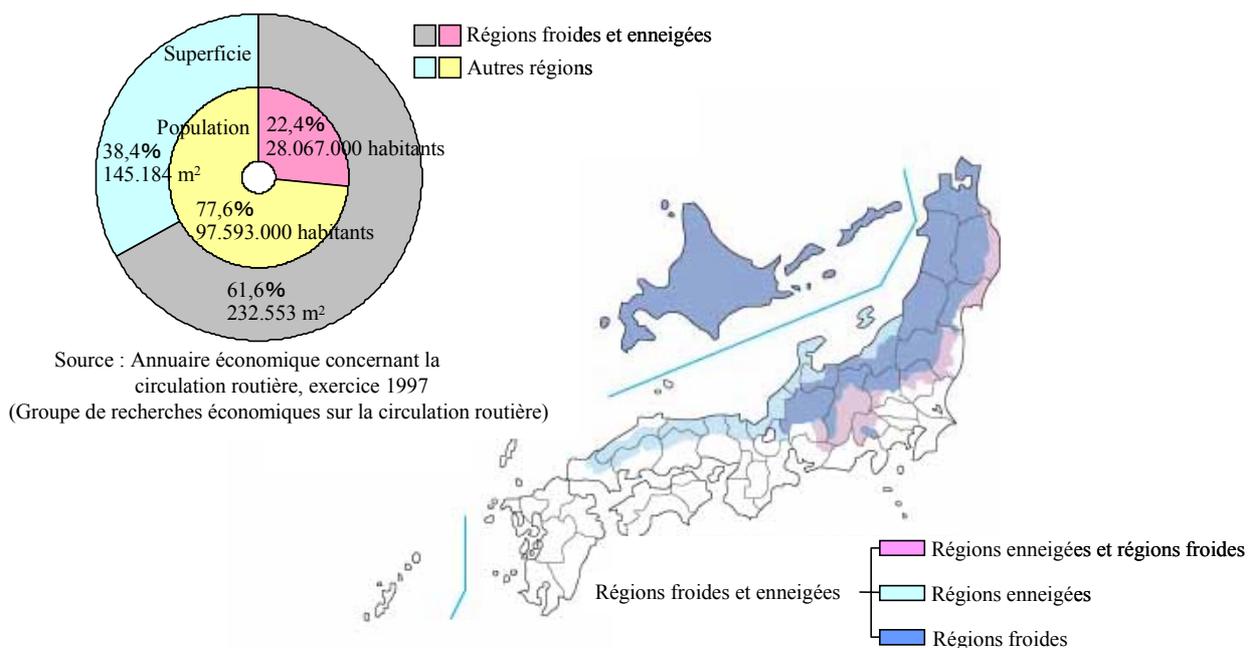
^{2 3} Equipe chargée du développement de nouveaux produits, Groupe de recherches en ingénierie concernant les matériaux et géotechnique, Centre de recherches en travaux publics (Personne juridique administrative autonome)

^{4 5} Station expérimentale de Niigata, Centre de recherches en travaux publics (Personne juridique administrative autonome)

1. Résumé

Environ 60% de la superficie du territoire national au Japon (et ou environ 29 de la population réside) est constitué par des régions spécialement froides et enneigées. Comme lesdites régions sont victimes des désastres routiers provoqués par la neige accumulée et le gel/verglas ainsi que des encombrements de circulation, la garantie d'une circulation fluide et sûre durant la saison hivernale constitue pour la nation une question d'une importance cruciale.

On a constaté notamment récemment que la généralisation des pneus non cramponnés a permis de régler le problème posé par la poussière produite par l'usage de pneus à crampons ou à clous. En revanche, le problème posé par ce que l'on appelle la chaussée " glissante et lisse " est apparu et a créé un nouveau problème au regard de la circulation routière en hiver en provoquant



En ce qui concerne les régions spécialement froides et à fort enneigement, celles-ci désignent les régions " dont la hauteur d'enneigement en valeur maxi (années cumulées) au mois de février est supérieure à 50 cm ou bien dont la température moyenne en janvier est inférieure à 0° C (années cumulées).

Figure 1. Les régions spécialement froides et enneigées au Japon

entre autres une augmentation des accidents survenant au niveau des croisements et intersections. Afin de faire face à ces divers problèmes, on procède à la pulvérisation de produits antigel sur la chaussée afin de prévenir l'apparition de verglas. Toutefois, la quantité de produits antigel à pulvériser sur la chaussée augmente d'année en année en raison de l'accroissement du volume de circulation et des besoins socio-économiques et leur coût constitue une part importante du budget consacré aux opérations de déneigement. En outre, on peut craindre dans un tel contexte que ces produits aient un effet néfaste sur l'environnement à proximité des routes ainsi que sur les infrastructures.

Ce rapport présente les changements intervenus au cours d'une période de plusieurs années dans la quantité de produits antigel pulvérisés dans la région placée sous la juridiction du Bureau régional du Tohoku et la part représentée par pulvérisation de produits chimiques antigel dans le budget total des opérations de déneigement. Cette étude donne également un compte-rendu des résultats de l'essai de pulvérisation de produits antigel dans une région modèle et de l'état de développement des produits antigel sans chlorures - qui ont peu d'effets néfastes provoqués par les sel et assurent des effets de longue durée – destinés à remplacer les produits chimiques à base de chlorures qui constituent le type principal de produits antigel utilisés à l'heure actuelle.

2. Quantité de produits antigel pulvérisés et la part représentée par la pulvérisation de produits chimiques antigel dans le budget total des opérations de déneigement

La Figure 2. indique la quantité de produits antigel pulvérisés et la part représentée par pulvérisation de produits chimiques antigel dans le budget total des opérations de déneigement dans la région placée sous la juridiction du Bureau régional du Tohoku. A cause de la Loi sur la prévention de la poussière causée par les pneus à clous qui a été promulguée en juin 1990 et de l'interdiction de l'utilisation des pneus à clous ou à crampons par tous les véhicules à moteur y compris les poids lourds de fort tonnage dans les secteurs réglementés à partir d'avril 1993, la quantité de produits antigel pulvérisés a augmenté continuellement chaque année malgré des chutes de neige relativement peu abondantes au cours de ces dernières années. Durant les 11 dernières années, la quantité pulvérisée un sommet en 1999 avec un niveau 3,6 fois plus important

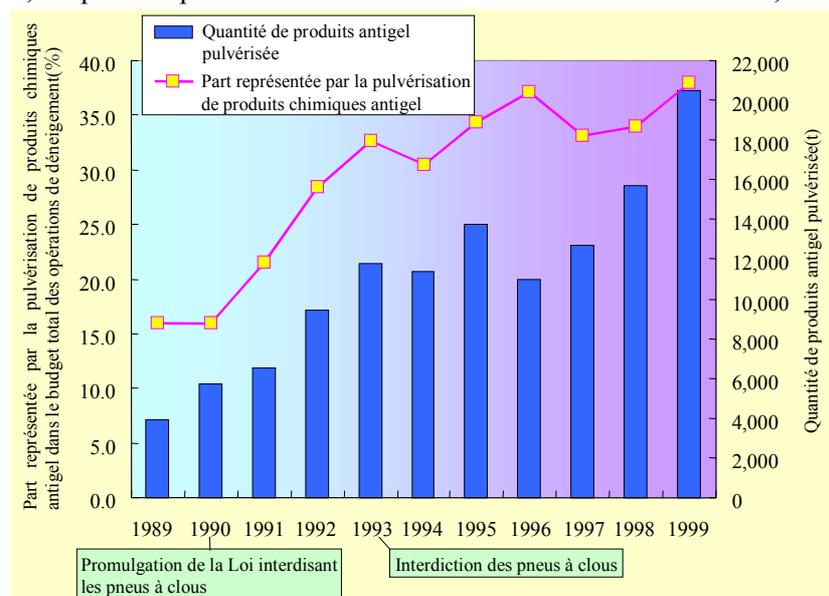


Figure 2. Quantité de produits antigel pulvérisés et la part représentée par la pulvérisation de produits chimiques antigel dans le budget total des opérations de déneigement
(Source : Documents provenant du Bureau régional du Tohoku)

que celui enregistré en 1989. Et bien que le coût de la pulvérisation des produits antigel représentât 16% du total du coût des opérations de déneigement en 1989, celui-ci augmenté régulièrement pour atteindre 38% du total en 1999. On suppose que cette tendance est présente partout au Japon.

3. Essai de pulvérisation de produits chimiques antigel sur une route réelle

Durant cet essai qui a été réalisé sur la Route nationale N°18 de 20 :00 le 20 janvier jusqu'à 8 :00 du matin le 22 janvier 2000, du chlorure de sodium (NaCl) a été pulvérisé sur un tronçon tandis que du CMA40 (un mélange de NaCl avec de l'acétate de calcium magnésium dans une proportion de 41 : 59) a été pulvérisé sur un autre tronçon de la route afin d'évaluer l'efficacité de la pulvérisation sur les deux tronçons comme le coefficient de dérapage/friction durant un freinage à 100%.

3.1 Conditions météorologiques et caractéristiques de la surface de la route

La Figure 3. indique les changements au fil du temps de la hauteur horaire de la chute de neige, de la température à la surface de la chaussée, et de l'épaisseur de la neige et de la glace sur la surface de la route. Aucune différence quant à l'épaisseur de la neige et de la glace sur la surface de la route qui aurait pu être causée par une différence du type de produit antigel pulvérisé n'a été observée à partir du moment où la hauteur de l'enneigement était de 0 cm ou à partir de 11 :00 le 21 janvier lorsque des chutes de neige intermittentes se sont mises à tomber jusqu'à 6 :00 du matin le 22 janvier. En revanche, immédiatement après le commencement de l'essai à 22 :00 le 20 janvier jusqu'à 10 :00 le matin le 21 janvier – une période où les véhicules de déneigement sont envoyés fréquemment en opération – la neige et la glace recouvrant la chaussée du tronçon où l'on a pulvérisé du CMA40 formaient une couche plus épaisse que celle constatée sur le tronçon où l'on avait pulvérisé du NaCl. Les résultats d'une enquête

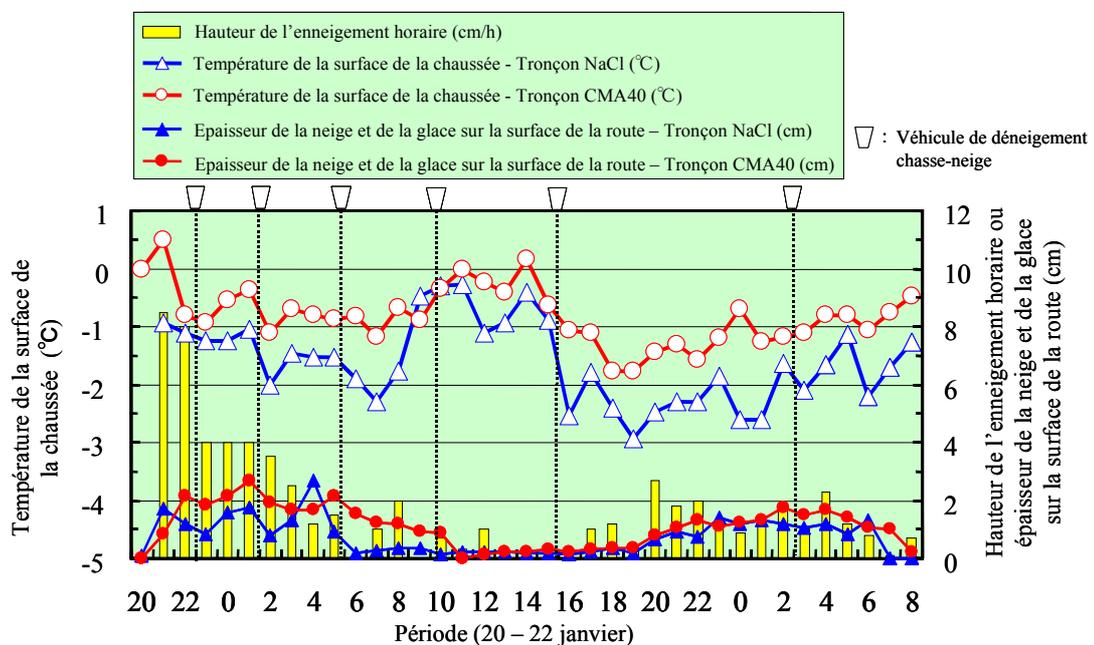


Figure 3. Résultats de l'essai expérimental sur le terrain (Route nationale N° 18, voie quittant le centre-ville)
Evolution dans le temps de la hauteur de l'enneigement horaire, de la température de la surface de la chaussée et de l'épaisseur de la neige et de la glace sur la surface de la route

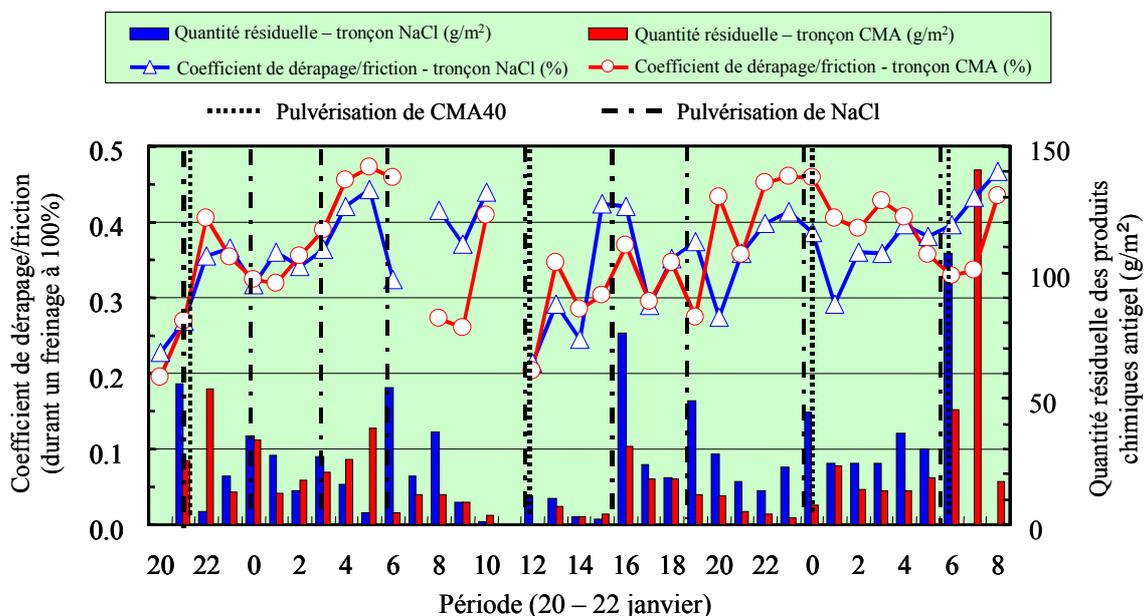


Figure 4. Résultats de l'essai expérimental sur le terrain (Route nationale N° 18, voie quittant le centre-ville)
Evolution dans le temps du coefficient de dérapage/friction et de la quantité résiduelle des produits chimiques antigels

3.2 Coefficient de dérapage/friction et quantité résiduelle des produits chimiques antigels

La Figure 4. indique le changement chronologique du coefficient de dérapage/friction (durant un freinage à 100%) et la quantité résiduelle des produits chimiques antigels à la surface de la chaussée. Le produit antigel a été pulvérisé neuf fois sur le tronçon traité avec du NaCl et quatre fois sur le tronçon traité avec du CMA40. La quantité résiduelle des produits chimiques antigels à la surface de la chaussée a été obtenue au moyen d'un appareil de mesure de la concentration de sel à réfraction par la lumière, et pour simplifier la collecte d'informations concernant les caractéristiques locales, une évaluation n'a pas été réalisée avec un seul critère. Le coefficient de dérapage/friction se situait entre 0,19 et 0,47 pour le tronçon traité avec du CMA40 et entre 0,21 et 0,47 pour le tronçon traité avec du NaCl, et on a constaté une variation comprise entre 0,1 et 0,15 selon le moment considéré. Mais dans l'ensemble les coefficients de dérapage/friction sur les deux tronçons de route considérés étaient similaires et l'on n'a pas observé de nettes différences entre les deux.

4. Développement d'un produit antigel sans chlorures prévenant l'apparition de verglas

Comme la quantité de produits antigels à base de chlorures a tendance à augmenter d'année en année, on peut craindre dans un tel contexte que ces produits aient un effet néfaste sur l'environnement à proximité des routes ainsi que sur les infrastructures. A cet égard, nous efforçons de développer de nouveaux produits antigels n'ayant pas d'effets néfastes comme les chlorures. Nous présentons dans cette étude les résultats de l'évaluation en laboratoire de divers types de composés chimiques et donnons des détails concernant le développement de produits antigels sans chlorures.

4.1 Résultats de l'évaluation en laboratoire de divers types de composés chimiques

4.1.1 résultats de l'expérience sur la fusion de la glace

Nous avons indiqué sur le Tableau 1. 11 types de composés chimiques que nous avons utilisés pour l'évaluation en laboratoire. La mesure de la quantité de glace fondue a été menée en laboratoire (à une température de -5°C). Nous avons introduit dans un récipient en plastique de l'eau distillée que nous avons fait geler et ajouté en pulvérisant 5 gr de chaque produit étudié et mesurée

Tableau 1. Produits utilisés lors des expériences d'évaluation menées en laboratoire

N°	Type de produits	Forme du produit
1	Chlorure de sodium	Solide
2	Chlorure de calcium (bi)	Solide
3	Acétates de calcium et de magnésium + Chlorure de sodium	Solide
4	Urée + Chlorure de sodium	Solide
5	Acétate de sodium	Solide
6	Acétate de potassium	50% sous forme liquide
7	Acétates de calcium et de magnésium	Solide
8	Acétates de calcium, de magnésium et de potassium	Solide
9	Urée + Acétate de sodium	40% sous forme liquide
10	Urée	Solide
11	Formiate de sodium	Solide

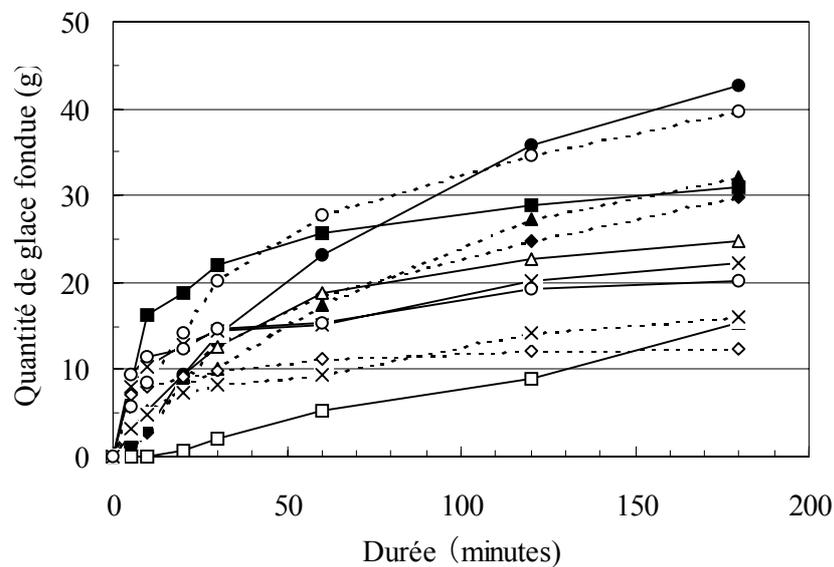
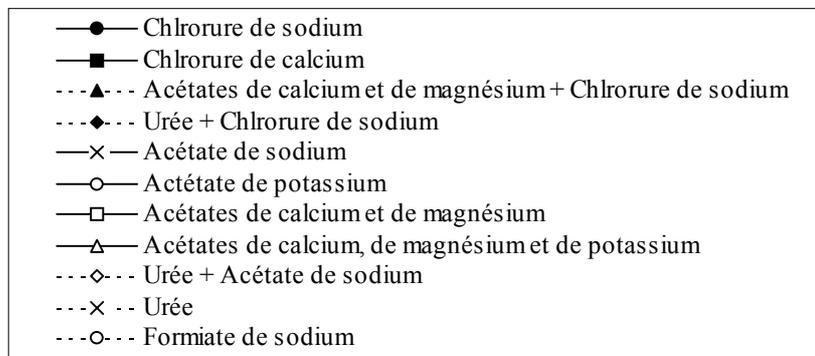


Figure 5. Résultats des mesures concernant la fusion de la glace (- 5°C, 5 g)

chronologiquement la quantité de glace fondue. La quantité pulvérisée pour une superficie unitaire équivalente à 370 gr/m².

Nous avons indiqué sur la Figure 5. les résultats des mesures concernant la quantité de glace fondue. A partir du moment juste après la pulvérisation et pendant une durée de 30 minutes, la

quantité de glace fondue est la plus importante dans le cas du chlorure de calcium. Toutefois, après 60 minutes un pic est atteint et la quantité de glace fondue demeure stationnaire. Par la suite, la quantité de glace fondue est plus importante pour le chlorure de sodium. En ce qui concerne les composés ne contenant pas de chlorures, la propriété de fusion de la glace la plus remarquable a été constatée pour le formiate de sodium. Et on a reconnu que celui-ci possède un effet comparable aux chlorures. Ensuite, quant à l'importance de l'effet sur la glace, viennent les produits de type combinant des chlorures. On a reconnu d'autre part que les trois types de produits suivants - acétate de sodium, acétate de potassium, acétates de calcium et de magnésium – avaient des effets comparables aux produits contenant des chlorures sur la fusion de la glace. Dans le cadre des résultats de cette expérience, on a constaté que les effets de l'urée et des acétates de calcium et magnésium étaient relativement faibles quant à leur capacité de faire fondre la glace.

4.1.2 Résultats de l'expérience de corrosion d'une plaque d'acier

Nous avons réalisé une expérience de corrosion en utilisant une plaque d'acier (plaque d'acier laminé à froid répondant aux normes JIS G 3141). Nous avons préparé une solution avec chacun des produits chimiques indiqués sur le Tableau 1 ayant une densité de 1 mol/l. Nous avons fait tremper les plaques en question dans les solutions puis laisser celles-ci à l'air libre dans le laboratoire en répétant chacune de ces opérations à des intervalles de 12 heures. Nous avons poursuivi cette expérience pendant 7 jours (7 cycles). Les substances pouvant être corrodées l'ont été par la légère acidité et nous avons peser la quantité restante.

Les résultats concernant la vitesse de corrosion de la plaque d'acier sont indiqués sur la Figure 6. On peut observer que la vitesse de corrosion se situe entre 80 – 90 mdd pour le chlorure de sodium et le chlorure de calcium. En ce qui concerne les produits combinant des chlorures, on a constaté que la vitesse de corrosion était élevée dans le cas des composants d'urée et de chlorure de sodium avec une valeur de 130 mdd. Avec une vitesse de corrosion de l'ordre de 40 mdd, le formiate de sodium se situent au même niveau que les acétates de calcium et de magnésium et que les produits combinant des chlorures. Dans le cas seul des composés d'acétates, on n'a pratiquement pas observé de corrosion.

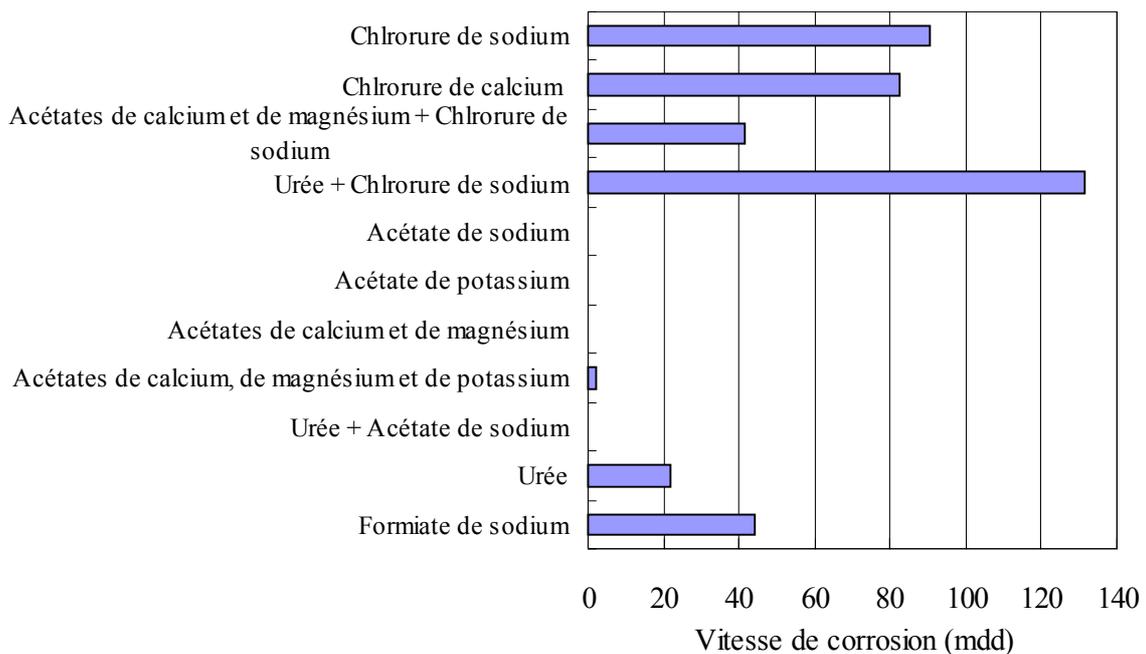


Figure 6. Résultats de l'expérience de corrosion d'une plaque d'acier

Tableau 2. Principaux candidats comme produits antigels ne contenant pas de chlorures

Symbole	Principaux composants	Forme du produit
A	Acétates de calcium et de magnésium	Solide
B	Acétates de calcium, de magnésium et de sodium	Solide
C	Acétates de calcium, de magnésium et de potassium	Solide
D	Acétate de sodium	Liquide
E	Acétate de sodium, acétates de calcium et de magnésium	Solide
F	Acétate de sodium	Solide
G	Acétate de potassium	Liquide

4.2 Produits antigels ne contenant pas de chlorures

D'après les résultats de l'évaluation menée en laboratoire évoqués précédemment, parmi les produits ne contenant pas de chlorures, on constate que le formiate de sodium formée de particules relativement petites possède la plus forte propriété de fusion de la glace. Toutefois, du point de vue de la corrosion des métaux, de la préservation de l'environnement et d'une capacité d'approvisionnement stable, il demeure certaines incertitudes et préoccupations quant à l'utilisation de ce produit. Si on porte un jugement global, on peut estimer que les composés d'acétates sont les plus appropriés comme produits antigels ne contenant pas de chlorures. Nous avons tenté de dresser une liste sur le Tableau 2 des produits antigels sans chlorures contenant principalement des composés d'acétates. Nous avons procédé ensuite à des essais de pulvérisation sur le terrain qui font l'objet des explications données au chapitre suivant.

5. Essais expérimentaux menés sur le terrain avec les produits antigels sans chlorures

Ces essais expérimentaux portant sur les effets de la pulvérisation de produits antigels existant du type composé de chlorures et de produits antigels sans chlorure ont eu pour but de développer dans la pratique des produits antigels qui respectent l'environnement et qui possèdent à la fois un effet durable. Ils ont été réalisés à cinq reprises sur une route municipale située dans la ville de Arai. Ce chapitre donne un compte-rendu des résultats du " 5^{ème} essai de vérification sur le terrain " mené pour étudier les effets d'une pulvérisation exécutée à l'avance.

5.1 Aperçu concernant les essais

Les essais ont été exécutés durant les périodes indiqués sur le Tableau 3. sur la route de Tokaichi – Nagamori (tronçon de 2,4 km allant de l'extrémité de Nagamori à celle de Kami-Hachiman) qui se trouve dans la Préfecture de Niigata. Les effets de la pulvérisation des produits chimiques antigels (deux produits à base de chlorures (chlorure de sodium et chlorure de calcium) et produits chimiques sans chlorures (composés d'acétates A – F)) sur

Tableau 3. Jours où ont été réalisées les expériences

Nombre de fois	Observations	Date et heure de l'enquête	Durée de l'enquête (heures)	Conditions météorologiques
1 ^{ère} fois	Début Fin	12 février 2001 à 17 :00 13 février 2001 à 5 :00	12,0	Nuageux
2 ^{ème} fois	Début Fin	15 février 2001 à 20 :00 16 février 2001 à 5 :00	9,0	Clair puis nuageux
3 ^{ème} fois	Début Fin	25 février 2001 à 17 :00 26 février 2001 à 6 :00	13,0	Neigeux puis nuageux
4 ^{ème} fois	Début Fin	26 février 2001 à 14 :00 27 février 2001 à 23 :30	9,5	Neigeux puis clair
5 ^{ème} fois	Début Fin	11 mars 2001 à 15 :00 12 mars 2001 à 5 :00	14,0	Neigeux puis clair
Total			57,4	

ce tronçon ont été évalués en se basant sur les résultats des mesures du coefficient de dérapage/friction par un véhicule chargé de mesurer le dérapage à la surface de la chaussée et sur les résultats des mesures effectuées par les observateurs sur le terrain (température de la surface

enneigée/verglacée, concentration des produits chimiques résiduelles à la surface de la chaussée, apparence de la surface de la chaussée, etc.)

Les essais ont commencé dans la soirée pour s'achever le matin alors la route municipale

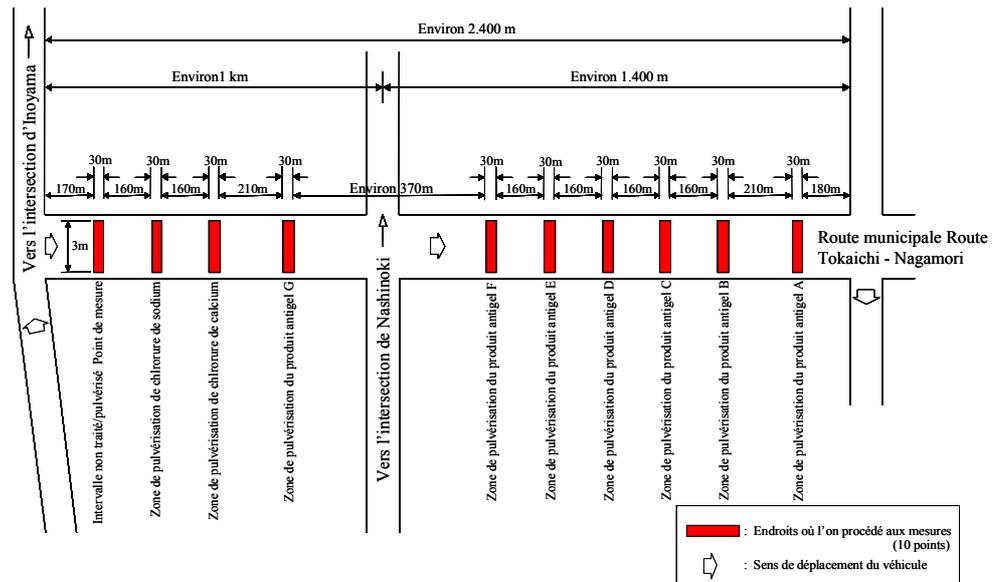


Figure 7. Position des instruments de mesure lors de l'essai expérimental sur le terrain (10 points de mesure) et intervalles de pulvérisation

sur le tronçon Tokaichi-Nagamori était fermée à la circulation. Les mesures du coefficient de dérapage/friction par un véhicule chargé de mesurer le dérapage à la surface de la chaussée ont été effectuées toutes les heures à aux endroits de mesure où les 9 produits chimiques en question ont été pulvérisés comme indiqué sur la Figure 7. En posant en hypothèse que les véhicules qui circulent agitent les produits antigel pulvérisés, cinq véhicules particuliers ordinaires ont roulé en permanence dans un sens sur le tronçon où les essais ont été menés (tronçon de 2,4 km) durant la période de préparation des essais et durant une période allant du début à la fin de chaque essai. La quantité de produits antigel a pulvérisée a été fixée au préalable à 40 g/m^2 . Durant le 5^{ème} essai expérimental de vérification sur le terrain (essai sur les effets de la pulvérisation au préalable), en raison d'un manque de produit pour l'essai pour l'intervalle D, cette section n'a pas été traitée et considérée comme un intervalle non pulvérisé où l'on a mesuré que le coefficient de friction.

5.2 Résultats des essais

5.2.1 Conditions météorologiques et caractéristiques de la surface de la chaussée

Lorsque l'on a réalisé le 11 mars le 5^{ème} essai expérimental de vérification sur le terrain (essai sur les effets de la pulvérisation au préalable), une légère chute de neige (d'une hauteur de moins de 1 cm/heure) s'est mise à tomber juste après le début de l'essai à 17 :00 et a cessé vers 22 :00. Mais par la suite le ciel s'est éclairci et un refroidissement rayonnant a dominé. La température de l'air quelque temps après le début de l'essai à 17 :00 était de $-0,2^\circ\text{C}$ mais avec le temps celle-ci a continué à s'abaisser pour atteindre $-4,5^\circ\text{C}$ à 4 :00 le lendemain matin lorsque l'essai a pris fin.

(1) Température à la surface de la chaussée

La température à la surface de la chaussée était de $0^\circ\text{C} - 1^\circ\text{C}$ pour tous les intervalles considérés de la route avant la pulvérisation des produits antigel mais avec le temps elle a chuté apparemment suite au changement de la température de l'air durant l'essai. La surface à la température de la chaussée dans l'intervalle traité avec du chlorure de sodium a chuté beaucoup plus que dans les autres intervalles à 18 :00 après la pulvérisation du produit antigel en raison de l'action de la baisse du point de congélation.

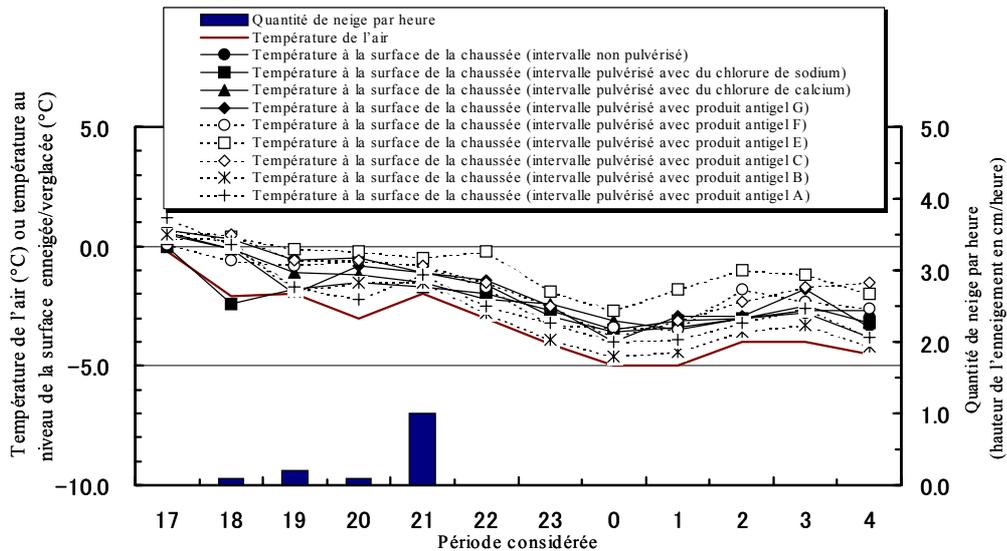


Figure 8. Evolution dans le temps de la température atmosphérique, de la hauteur d'enneigement horaire et de la température de la surface enneigée/verglacée (11 mars 17:00 – 12 mars 4:00)

(2) Conditions à la surface de la chaussée

Durant une période de deux heures après le début de l'essai, la surface de la chaussée dans l'intervalle non traité était mouillée dans les parties avec et sans ornières, mais tant la température de l'air que la température de la chaussée ont baissé et du verglas et de la neige se sont formés à la surface de la chaussée. Dans les intervalles traités avec les produits antigel, des différences dans les conditions de la surface de la chaussée

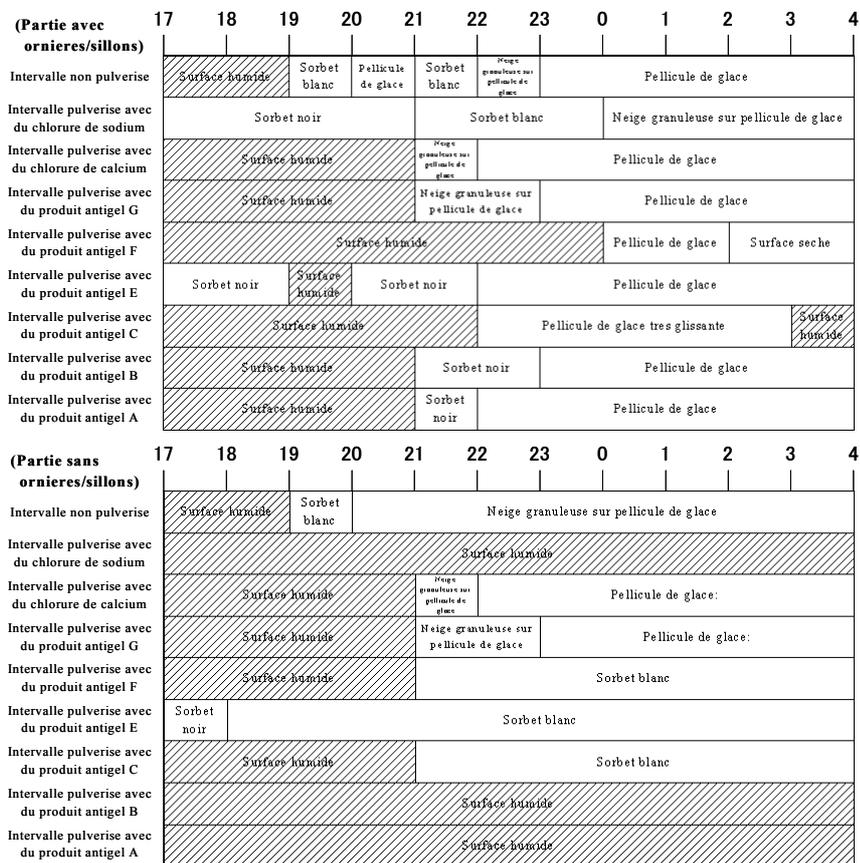


Figure 9. Evolution avec le temps des conditions de la surface de la chaussée pour la partie avec ornières et la partie sans ornières (11 mars 17:00 – 12 mars 14:00)

ont été observées entre les parties avec ornières et les parties sans ornières mais les conditions de chaussée humide ont eu tendance à continuer pendant une période plus longue de deux heures que dans l'intervalle non traité. La hauteur de la couche de neige et de verglas dans les parties avec ornières était comprise entre 0 et 0,5 cm.

(3) Coefficient de dérapage/friction

Le coefficient de dérapage/friction dans les intervalles non traités était compris entre 0,41 et

0,74 dans des conditions de chaussée mouillée qui ont perduré pendant environ deux heures après le début de l'essai, mais il se situait ensuite entre 0,14 et 0,30 après que les conditions de la surface de la chaussée ont changé et qu'elle s'est recouverte de neige et de verglas. Par contre dans les sections traitées, on a constaté une certaine dispersion entre les différentes sections mais le coefficient était compris entre 0,29 et 0,78, et un coefficient de dérapage/friction supérieur de 0,15 à 0,48 à l'intervalle non traité par des produits antigels a été maintenu.

Les résultats de l'essai réalisé pour évaluer les effets d'une pulvérisation préalable ont révélé que, par opposition à la baisse importante du coefficient de dérapage/friction accompagnant l'apparition de verglas à cause de la baisse de la température à la surface de la chaussée dans les intervalles non traités, dans les intervalles où l'on a procédé à la pulvérisation d'un composé d'acétates sans chlorures la pulvérisation garantissait un coefficient de dérapage/friction égal à celui dans les intervalles où l'on a pulvérisé des produits antigels à base de chlorures utilisés actuellement. Ces résultats d'essai ont été obtenus dans des conditions météorologiques et concernant la surface de la chaussée limitées.

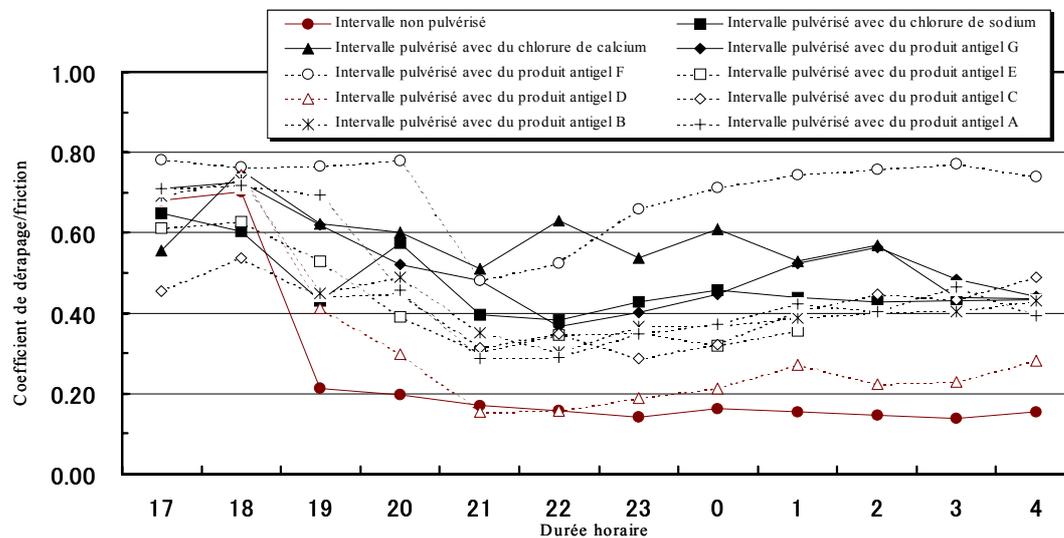


Figure 10. Evolution dans le temps du coefficient de dérapage/friction (11 mars 17 : 00 – 12 mars 14 : 00)

6. résumé

Depuis l'interdiction en 1990 de l'usage des pneus à clous, la quantité de produits chimiques antigels pulvérisés afin de garantir une circulation routière sûre durant la saison hivernale au Japon n'a cessé d'augmenter régulièrement. Les principaux produits chimiques antigels utilisés dans ce but étaient le chlorure de sodium et le chlorure de calcium car ils sont les plus efficaces et les plus disponibles du point de vue économique. L'utilisation adéquate de ces produits est une mesure de sécurité extrêmement efficace au regard de la circulation routière durant l'hiver. Puisque dans les régions enregistrant d'abondantes chutes de neige, les produits chimiques qui ont été pulvérisés sur la chaussée sont déblayés avec la neige durant les fréquentes opérations de déneigement exécutées dans lesdites régions, il est nécessaire dans le but de limiter la quantité de produits utilisée de clarifier les conditions présentes de la pulvérisation de produits chimiques antigels en vue d'étudier et de développer des méthodes de pulvérisation plus efficaces et plus efficaces.

En ce qui concerne les produits chimiques antigels ne contenant pas de chlorures, l'efficacité des composés à base d'acétates pulvérisés à l'avance a été confirmée mais il est cependant indispensable d'évaluer leur efficacité en étudiant de plus nombreux cas où les caractéristiques de la chaussée et les conditions météorologiques diffèrent.