

"RECHERCHE FONDAMENTALE SUR L'INHIBITION DE L'AGGLOMERATION ET DE L'AMONCELLEMENT DE NEIGE" SUR LES EQUIPEMENTS ROUTIERS ACCESSOIRES

Kiyoshi Kizaka*, Ryuji Imazu* and Tsukasa Tomabechi**

*Sekisui Jushi Corp.,
440-15 Okayama, Mikasa City, Hokkaido, 068-2165 Japon
tél. +81-1267-3-2671/fax +81-1267-3-2666
E-mail: kizakak@sekisuijushi.co.jp

**Hokkaido Institute of Technology,
4-1, 7-15, Maeda, Teine Ward, Sapporo, Hokkaido, 006-8585 Japon
tél.+81-11-681-2161/fax+81-11-681-3622
E-mail: tomabechi@hit.ac.jp

1. Introduction

Lorsque l'on installe des équipements routiers dans des régions froides et neigeuses, il faut tenir compte des phénomènes d'adhérence de la neige et de son accumulation. Lorsque la neige adhère aux équipements routiers tels que les panneaux de signalisation ou d'information, les feux et les délinéateurs, les conducteurs éprouvent des difficultés à distinguer les informations essentielles à la conduite telles que les messages écrits, les formes, les signaux lumineux et les réflecteurs. Ce type de situation a provoqué de nombreux accidents. A ceci, il convient de rajouter le danger que représente l'accumulation de neige sur les ouvrages construits en surplomb (par exemple : les ponts en treillis, les panneaux de signalisation montés sur portique, les viaducs, les passerelles pour les piétons et les entrées de tunnel,) accumulation qui, elle aussi, est source de nombreux accidents.

Pour réduire l'adhérence et l'accumulation neigeuses, les mesures dont l'efficacité est reconnue sont : (1) la modification de la forme des équipements, (2) l'amélioration des traitements de surface, (3) le recours à une énergie externe telle que la chaleur ou les vibrations. Dans notre étude, nous avons écarté l'approche (3), pour nous concentrer sur l'application des méthodes de recherche fondamentale aux approches (1) et (2).

2. Réduction de l'adhérence de la neige

Les équipements routiers dont l'enneigement peut gêner les conducteurs sont les panneaux de signalisation ou d'information, les feux et les délinéateurs. Comme l'adhérence de la neige aux plaques de surface importante est inférieure à celle aux plaques de petite surface¹, notre étude porte sur les délinéateurs (équipements routiers de faible surface auxquels adhère la neige) et sur les petits panneaux de signalisation. Nous avons étudié l'approche qui consiste à modifier la forme des structures, citée ci-dessus en première place dans la liste des moyens dont l'efficacité est prouvée, comme moyen de réduire l'adhésion de la neige.

2.1 Délinéateurs

Généralement, l'on oriente la surface réfléchissante de ces équipements à la verticale lors de leur installation. Mais dans les régions froides et neigeuses, on les incline vers l'avant de 10° à 15° , pour empêcher l'adhésion de la neige. Pour cette étude nous avons donc incliné la surface de réflexion des délinéateurs vers l'avant.

2.1.1 Essai en soufflerie

Nous avons mené une expérience en soufflerie pour élucider le rapport entre l'adhérence de la neige et l'angle d'inclinaison vers l'avant des disques figurant les délinéateurs. La figure 1 illustre le dispositif expérimental. Les plaques d'essai en forme de disque ont été penchées selon dix positions d'inclinaison : 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° et 45° , en lisant de gauche à droite. Le modèle expérimental a été réalisé avec une surface d'exposition en papier de verre (d'indice 200), matériau choisi pour sa rugosité, propre à accrocher la neige. Les plaques d'essai ont été orientées à la normale de l'axe du vent dans la soufflerie, et la vitesse du vent maintenue à 7m./s. pendant deux heures. Nous avons remplacé la neige par de la terre silicée activée.

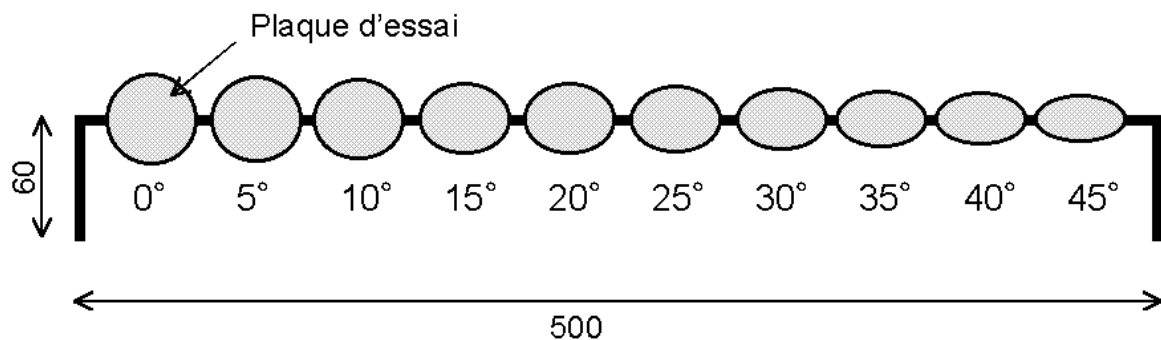
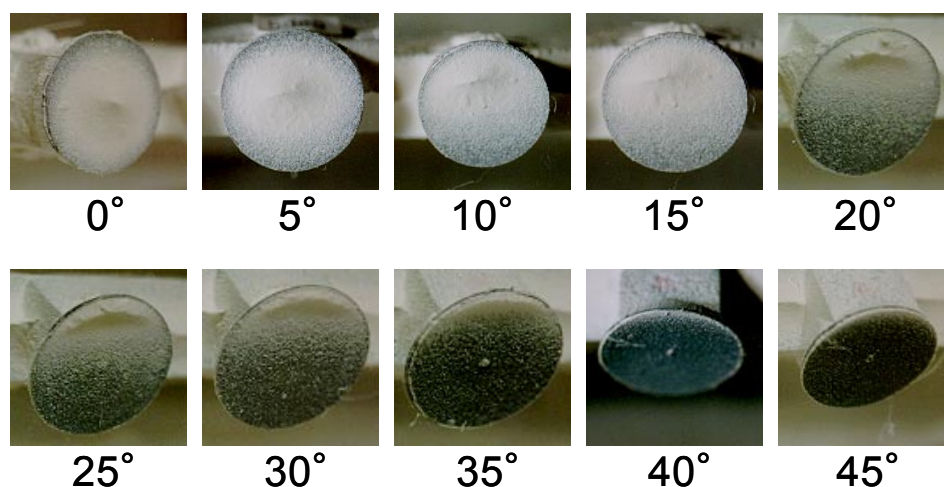


Figure 1 Dispositif expérimental

La photographie numéro 1 montre le degré d'adhérence de la neige pour chaque plaque. L'on remarque que la quantité de neige collée diminue à mesure que l'inclinaison augmente, et qu'à 40° et plus, il n'y a presque plus d'adhérence. C'est ainsi que, pour les essais suivants, nous avons retenu une inclinaison vers l'avant de 40° .



Photographie n°1 Adhérence de la neige au cours de l'essai en soufflerie

2.1.2 Essai d'exposition aux intempéries

Les délinéateurs servent à délimiter le bord de la route, de nuit, en réfléchissant les rayons de lumière incidente. Lorsque le réflecteur classique est incliné vers l'avant de 40°, il ne réfléchit plus la lumière. C'est pour cette raison que le modèle expérimental a été équipé d'un réflecteur qui renvoie la lumière directement vers la source (voir la photographie numéro 2.) Le réflecteur est en forme d'ellipse, afin de ressembler, lorsqu'on l'observe de face, à un délinéateur classique de Y100. Du point de vue de la luminance de réflexion, le modèle expérimental répond à tous les critères de normalisation des installations²⁾.



Photographie n° 2 Modèle expérimental



Photographie n° 3 L'Essai

Nous avons installé les modèles expérimentaux ainsi que les délinéateurs classiques à l'extérieur, et observé comment adhère la neige. Les conditions expérimentales sont décrites ci-dessous, et la photographie numéro 3 illustre l'essai en cours de réalisation.

- Site des essais : L'Institut de recherche sur les produits pour les pays neigeux de la Sekisui Jushi Technical Research Corp., Mikasa City, Hokkaido
- Période : du 13 décembre 1996 au 14 mars 1997
- Horaires : de 7 heures à 16 heures (819 heures d'observation)
- Hauteur d'installation : 1,5 m.
- Orientation : ouest-nord-ouest
- Méthode d'observation : observation automatisée, réalisée à l'aide d'une caméra de télévision industrielle (I.T.V.), qui a enregistré le déroulement de l'expérience en accéléré

Pour cette étude, nous avons considéré que la neige adhère lorsqu'elle couvre 50 % de la surface réfléchissante du délinéateur. Le modèle expérimental a été évalué selon le total des heures pendant lesquelles l'adhérence maximale a été observée, qu'elles soient successives ou discontinues. La figure numéro 2 indique le total des heures d'adhérence pour le délinéateur classique et pour le modèle expérimental. Cette valeur, pour le modèle expérimental, est environ le quarantième de ce qu'elle est pour le modèle classique. Cet essai mené à l'extérieur a mis en évidence l'effet de réduction importante de l'adhérence de la neige du modèle d'essai.

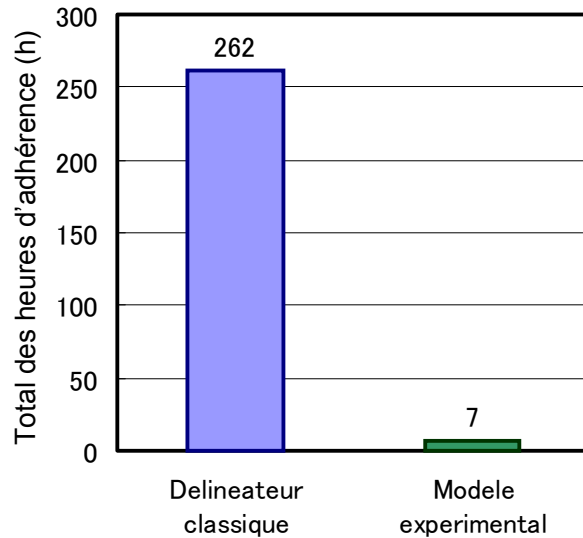


Figure 2 Total des heures d'adhérence

2.2 Petits panneaux de signalisation

Nous avons choisi, comme panneaux de dimensions réduites, les balises de distance pour autoroutes. Le modèle le plus répandu est de 400 mm de large sur 150 mm de haut. Un film réfléchissant est appliqué au panneau. Ces panneaux portent des indications écrites et sont lisibles de nuit parce qu'ils réfléchissent les rayons de lumière incidente. Comme pour les délinéateurs, lorsqu'ils étaient inclinés de 40° vers l'avant, ces panneaux n'étaient pas visibles de jour et reflétaient peu de lumière de nuit. Nous avons donc retenu une inclinaison d'environ 15° . Puis, nous avons décidé de fixer une corniche sur le bord supérieur du panneau. Les résultats obtenus pendant les essais de délinéateurs nous ont convaincus que l'angle d'inclinaison de cette corniche devait être de 40° , puisque c'était celui qui permettait de réduire l'adhérence neigeuse au minimum. Nous avons ensuite réalisé une série d'essais portant sur les dimensions de cette corniche.

2.2.1 Essais en soufflerie

Le degré d'adhérence de la neige sur les panneaux de signalisation classiques a été comparé à celui sur les panneaux équipés de corniches au cours d'essais en soufflerie. Dans la figure 3, on voit le dispositif expérimental : un panneau de type classique (n° 1), un panneau incliné de 15° vers l'avant (n° 2), des panneaux surmontés de corniches de différentes tailles (numéros 3 à 5), un panneau équipé d'une corniche inclinée en arrière (n° 6) et un panneau avec corniche décollée du bord (n° 7). Les essais ont été menés de la manière décrite précédemment dans la section 2.1.1.

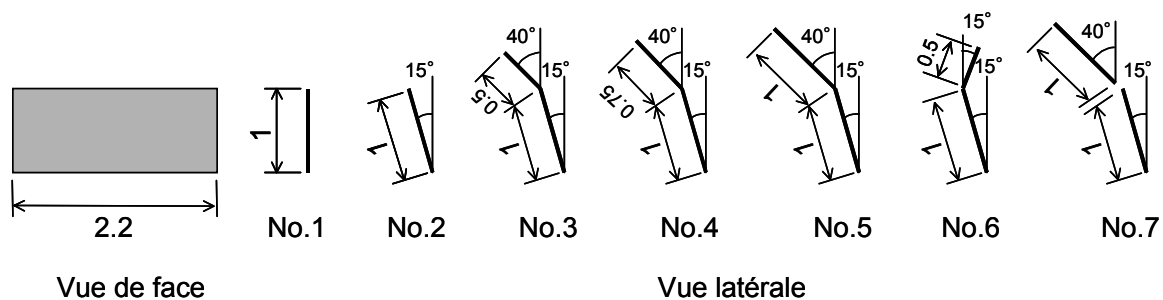
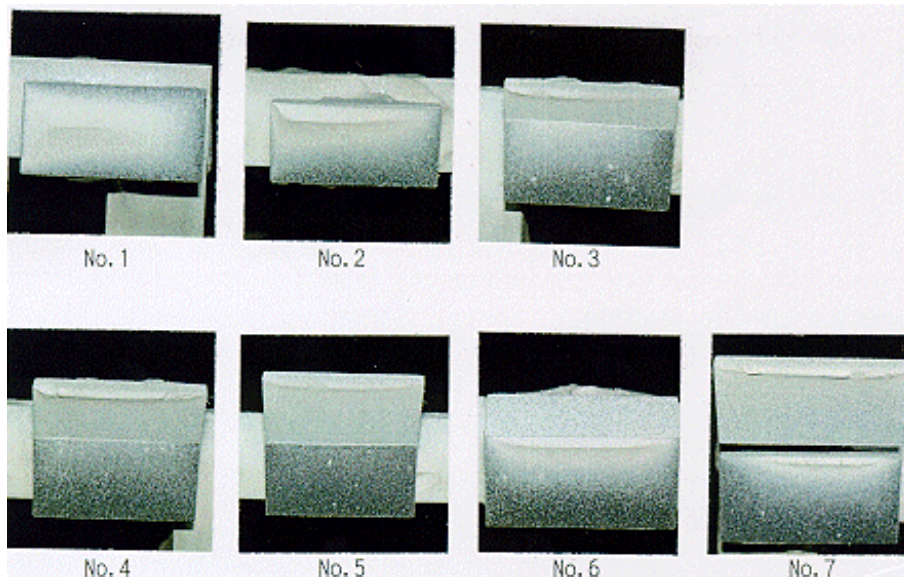


Figure 3 Dispositif expérimental



Photographie n° 4 Adhérence de la neige lors des essais en soufflerie

La photographie numéro 4 montre le degré d'adhérence de la neige pour chacun des modèles expérimentaux. On remarquera que ce sont les panneaux numérotés de 3 à 5, surmontés de corniches inclinées vers l'avant à 40°, qui présentent le moins d'adhérence neigeuse. Le panneau dont la corniche est la plus large (le n° 5), est le moins recouvert de neige.

2.2.2 Etude par simulation sur ordinateur

Nous avons calculé l'écoulement de l'air autour des modèles expérimentaux de la figure 3 à l'aide des méthodes d'analyse suivantes : L'analyse quantitative a été réalisée par la méthode des différences finies, qui permet d'exprimer linéairement l'équation différentielle partielle de Navier-Stokes, qui est l'équation fondamentale en matière de dynamique des fluides. La figure 4 montre des schémas d'équivalents de vitesse du vent typiques. La zone hachurée représente une zone de stagnation où la vitesse du vent était inférieure ou égale à 0,4. Les zones de stagnation des panneaux classique (n° 1) et incliné de 15° vers l'avant (n°2) comprennent le panneau tout entier. En revanche, les zones de stagnation des panneaux équipés de corniches (n°3 et n°5) convergent au-dessus des corniches, empêchant ainsi l'adhérence de la neige au panneaux.

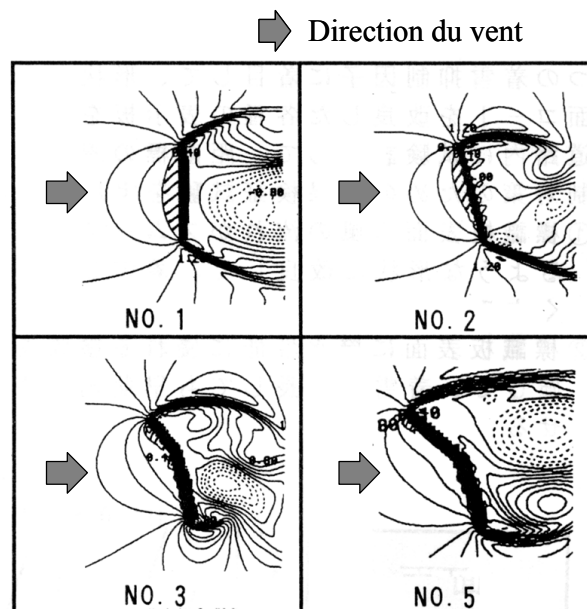


Figure 4 Schémas d'équivalents de vitesse du vent

2.2.3 Essai d'exposition aux intempéries

Après l'essai en soufflerie et la simulation sur ordinateur, qui ont mis en évidence la capacité des modèles expérimentaux numéros 3, 4 et 5 à limiter l'adhérence de la neige, ces modèles ont été soumis à l'épreuve de l'exposition aux intempéries pendant deux hivers. Le modèle expérimental n° 1 a servi de témoin. Les conditions expérimentales étaient les suivantes :

- Site des essais : L'Institut de recherche sur les produits pour les pays neigeux de la Sekisui Jushi Technical Research Corp., Mikasa City, Hokkaido
- Période : du 10 décembre 1996 au 10 mars 1997 (1^è tranche)
du 6 décembre 1997 au 24 mars 1998 (2^è tranche)
- Horaires : de 7 heures à 16 heures
- Hauteur d'installation : 1,5m.
- Orientation : ouest-nord-ouest
- Méthode d'observation : observation automatisée, réalisée à l'aide d'une caméra de télévision industrielle (I.T.V.), qui a enregistré le déroulement de l'expérience en accéléré

Nous avons défini l'adhérence de la neige comme étant établie lorsque 50 % de la surface du panneau était recouverte de neige et le facteur de temps de l'adhérence a été évalué en prenant celui du modèle n° 1 comme étant égal à 100 %. Le calcul du facteur de temps de l'adhérence neigeuse se fait selon la formule suivante :

$$\text{facteur de temps de l'adhérence neigeuse} = \frac{\text{(total des heures d'adhérence neigeuse d'un modèle expérimental donné)}}{\text{total des heures d'adhérence neigeuse du modèle n° 1}} \times 100$$

La figure 5 donne les valeurs calculées. On note une réduction importante de l'adhérence sur les modèles équipés d'une corniche, en comparaison du modèle n° 1. Si l'on s'intéresse aux dimensions des corniches, on constate que le modèle n° 5 (dimensions de la corniche : dimensions du panneau = 1 : 1) présente la plus forte réduction de l'adhérence de la neige. Si la forme du modèle expérimental n° 5 était adoptée pour la réalisation des panneaux de signalisation routière, l'adhérence de la neige s'y trouverait réduite de 33 % (résultats de la 1^è tranche), puis de 50 % (résultats de la 2^è tranche) par rapport à la situation actuelle, représentée par l'adhérence sur le modèle n° 1.

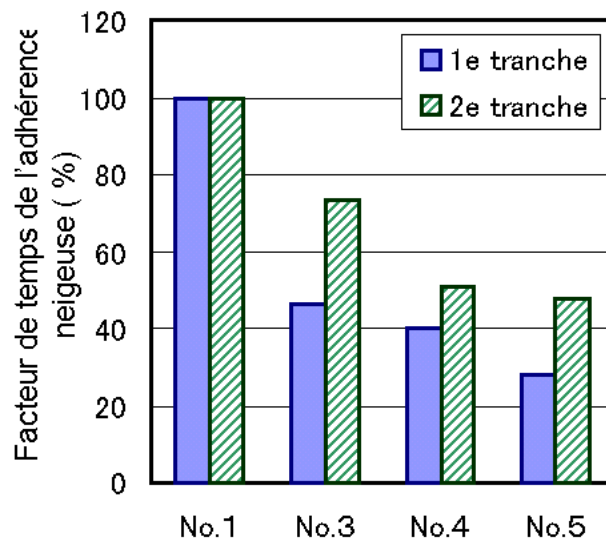


Figure 5 Facteur de temps de l'adhérence neigeuse

2.3 Synthèse

Nous avons voulu tester l'hypothèse que l'adhérence de la neige sur les délinéateurs, qui sont des équipements routiers de petite taille, ainsi que sur les petits panneaux de signalisation routière pouvait être réduite en modifiant les formes de ces équipements. Nos essais ont produit les

résultats suivants :

- L'adhérence de la neige sur les délinéateurs peut être réduite au quarantième de la valeur mesurée sur les installations de type classique en modifiant la forme de la surface de réflexion et en l'inclinant de 40° vers l'avant.
- Sur les petits panneaux de signalisation routière, l'adhérence de la neige peut être réduite de la moitié ou du tiers de la valeur mesurée sur les installations de type classique en les inclinant de 15° vers l'avant et en les surmontant de corniches de dimensions égales à celles des panneaux et inclinées de 40° vers l'avant.

3. Réduction de l'accumulation de neige

A mesure qu'une couche de neige se forme en adhérant aux équipements routiers montés sur portique ou en s'y accumulant, elle finit par atteindre des proportions telles qu'elle se détache. En chutant, cette neige risque de provoquer des dégâts aux véhicules et de blesser des piétons qui passeraient en-dessous. C'est un risque qui ne fait qu'augmenter, à mesure que l'on reconstruit les routes en surplomb et que la taille des équipements augmente. Pour lutter contre l'accumulation de neige, les équipements sont revêtus d'une couverture. Dans la photographie n° 5,



Photographie n° 5 Panneau de signalisation routière couvert

l'on voit des exemples de panneaux de signalisation routière couverts. Dans cette étude, nous avons testé la deuxième des hypothèses énumérées dans la Section 1 : celle de l'efficacité de l'amélioration des traitements de surface, qui apparaît en (2) dans la liste des moyens de lutte reconnus. Une expérience préalable sur l'angle de la pente et sur le traitement de surface du toit avait déjà été menée. Les résultats nous ont permis de mettre au point un nouveau traitement de surface dont nous avons pu ensuite confirmer les propriétés d'anti-adhérence neigeuse selon les méthodes utilisées lors de cette même expérience antérieure.

3.1. Expérience préalable sur l'angle de la pente et sur le traitement de surface du toit

Afin de mettre en évidence les caractéristiques souhaitables de la couverture, nous avons voulu évaluer les conditions qui favorisent l'accumulation de neige au cours d'un essai d'exposition aux intempéries. A cette fin, nous avons fait varier la pente de la corniche de l'horizontale à la verticale et y avons appliqué différents traitements de surface. Le modèle utilisé pour l'essai était constitué de plaques d'aluminium de 300 mm sur 300 mm. L'angle d'inclinaison des plaques par rapport à l'horizontale a été fixé successivement à 0° (à l'horizontale), 15°, 30°, 45°, 60°, 75° et 90° (à la verticale). Trois traitements de surface ont été testés : une matière à base d'aluminium (dont l'angle de contact est de 78°), un revêtement hautement hydrofuge utilisé couramment pour limiter l'accumulation de neige (angle de contact de 151°) et un enduit hydrophile (angle de contact de 20°). Les conditions expérimentales sont décrites ci-dessous, et l'expérience est illustrée dans la photographie n° 6.



Photographie n° 6 L'essai

- Site des essais : Institut de recherche sur les produits pour les pays neigeux de la Sekisui Jushi Technical Research Corp., Mikasa City, Hokkaido
- Période : du 15 décembre 1998 au 20 mars 1999
- Horaires : de 7 heures à 16 heures
- Orientation : ouest-nord-ouest
- Méthode d'observation : observation automatisée, réalisée à l'aide d'une caméra de télévision industrielle (I.T.V.), qui a enregistré le déroulement de l'expérience en accéléré

Nous avons défini l'accumulation de neige comme étant établie lorsque 50 % de la plaque d'aluminium était recouverte. Le facteur de temps de l'accumulation a été évalué par rapport à sa valeur pour une inclinaison de 0° (à l'horizontale.) Le calcul du facteur de temps de l'accumulation de neige se fait selon la formule suivante :

$$\text{facteur de temps de l'accumulation de neige} = \frac{\text{(total des heures d'accumulation de neige d'un modèle expérimental donné)}}{\text{total des heures d'accumulation de neige du modèle placé à l'horizontale}} \times 100$$

Les résultats sont reportés à la figure 6. A mesure que la pente augmente, le facteur de temps de l'accumulation de neige décroît. Pour ce qui est des traitements de surface, c'est le facteur de temps du revêtement hautement hydrofuge qui est le plus faible pour des inclinaisons de 90° et de 70°. Pour une pente de 60°, les valeurs sont très proches entre l'enduit à base d'aluminium, le revêtement hautement hydrofuge et la matière hydrophile. Le facteur de temps du revêtement hydrophile était, par contraste, le plus faible pour une inclinaison de 45° à 15°.

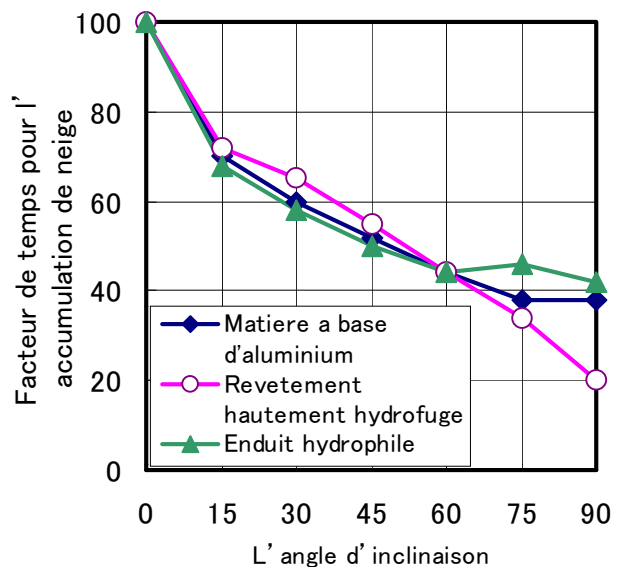


Figure 6 Facteur de temps pour l'accumulation de neige

Les corniches des équipements routiers couverts sont construites avec des inclinaisons extrêmement variables. Les résultats expérimentaux décrits ci-dessus montrent que le revêtement hautement hydrofuge, dont l'usage est très répandu lorsqu'il s'agit de limiter l'accumulation de neige, n'est pas une solution universelle adaptée à cette diversité de la pente des couvertures. Il nous a semblé qu'un traitement de surface réellement efficace pour ce type d'application devait avoir des propriétés aussi bien hydrofuges qu'hydrophiles.

3.2 Elaboration d'un nouveau traitement de surface et étude de son effet réducteur sur l'accumulation de neige

Nous nous sommes appuyés sur les résultats de l'expérience précédente pour préparer un revêtement qui allierait propriétés hydrofuges et hydrophiles (revêtement dénommé "nouveau revêtement" dans ce qui suit) et nous en avons testé l'effet réducteur sur l'accumulation de neige au cours d'essais d'exposition aux intempéries. Les modèles expérimentaux étaient des plaques

d'aluminium de 300 mm sur 300 mm enduites du nouveau revêtement. L'angle d'inclinaison des plaques par rapport à l'horizontale a été fixé successivement à 0° (à l'horizontale), 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° et 90° (à la verticale). Les conditions expérimentales étaient les suivantes :

- Site des essais : L'Institut de recherche sur les produits pour les pays neigeux de la Sekisui Jushi Technical Research Corp., Mikasa City, Hokkaido
- Période : du 1er décembre 2000 au 31 mars 2001
- Horaires : de 7 heures à 16 heures
- Orientation : ouest-nord-ouest
- Méthode d'observation : observation automatisée, réalisée à l'aide d'une caméra de télévision industrielle (I.T.V.), qui a enregistré le déroulement de l'expérience en accéléré

Comme lors de l'évaluation décrite dans la Section 3.1, l'effet réducteur a été analysé selon le critère du facteur de temps de l'accumulation de neige. Les résultats sont reportés dans la figure 7, et l'on constate que le facteur de temps de l'accumulation de neige décroît à mesure que la pente augmente. En comparaison des valeurs de la figure 6, celles du nouveau revêtement sont inférieures à celles de l'enduit à base d'aluminium, du revêtement hautement hydrofuge et de la matière hydrophile à toutes les inclinaisons comprises entre 15° et la verticale. Le nouveau revêtement peut réduire l'accumulation de neige dans une proportion comprise entre 1/3 et 2/3 de la valeur mesurée pour l'enduit à base d'aluminium. Les propriétés réductrices sur l'accumulation de neige du nouveau revêtement se trouvent ainsi confirmées.

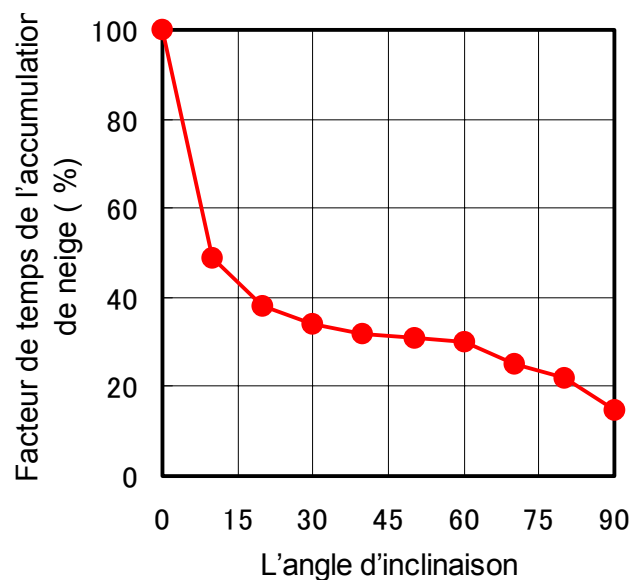


Figure 7 Facteur de temps de l'accumulation de neige du nouveau revêtement

3.3 Synthèse

Nous avons amélioré le traitement de surface de la corniche fixée sur le bord supérieur de l'équipement routier et étudié son efficacité à réduire l'accumulation de neige. Les résultats sont décrits ci-dessous :

- Le facteur de temps de l'accumulation de neige tend décroître à mesure que l'inclinaison de la surface exposée augmente.
- En comparant l'enduit à base d'aluminium, le revêtement hautement hydrofuge et la matière hydrophile, l'on observe que c'est le revêtement hautement hydrofuge qui réduit le plus l'accumulation de neige pour une pente supérieure à 60°, alors que pour des inclinaisons plus faibles, c'est la matière hydrophile qui s'avère la plus efficace.
- Le nouveau revêtement, lui, permet de réduire l'accumulation de neige dans une proportion

comprise entre 1/3 et 2/3 de la valeur pour l'enduit à base d'aluminium à toutes les inclinaisons comprises entre 15° et la verticale.

4. Conclusions et questions à élucider

Afin de lutter contre l'adhérence de la neige sur ces équipements, nous avons fait des essais de modification de la forme des délinéateurs et des petits panneaux de signalisation routière. Nous avons réussi à réduire l'adhérence de la neige sur ces équipements respectivement à un quarantième et à un niveau compris entre un tiers et la moitié des valeurs mesurées pour les installations classiques. Nous postulons que ces améliorations seraient encore supérieures si l'on appliquait à ces équipements le traitement de surface dont les propriétés sont décrites dans la Section 3.2.

Afin de lutter contre l'accumulation de neige sur les équipements routiers, nous avons fait des essais d'amélioration du traitement de surface des corniches dont on les couvre. Lorsque celles-ci sont enduites du nouveau revêtement, l'accumulation de neige est réduite dans une proportion comprise entre 1/3 et 2/3 de la valeur mesurée pour l'enduit à base d'aluminium.

Pour lutter d'une manière encore plus efficace contre l'adhérence de la neige et son accumulation, il faudrait envisager le recours à des sources d'énergie externes telles que la chaleur et les vibrations. Cependant, la mise en oeuvre de telles techniques serait problématique pour les raisons suivantes :

- L'investissement initial serait très important.
- Les frais d'exploitation seraient très élevés.
- Ce serait contraire au principe de l'économie d'énergie.
- Un dysfonctionnement du système entraînerait des perturbations.

Notes :

- 1) Snow Adhesion to the Road Traffic Sign and Its Prevention, Masao Takeuchi, Seppy, n° 40, vol. 3, pp. 15 - 25, 1978.
- 2) Japan Road Association : the Delineator Installation Standards and Explanations, p. 9.