

# DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL DES MÉTHODES D'APPLICATION DES FONDANTS ROUTIERS – ÉTAT DE L'ART ET MEILLEURES PRATIQUES

COMITÉ TECHNIQUE B.2 VIABILITÉ HIVERNALE



## **PREAMBULE**

*L'Association mondiale de la Route (AIPCR) est une organisation à but non lucratif créée en 1909 pour améliorer la coopération internationale et favoriser le progrès dans le domaine des routes et du transport routier.*

*L'étude qui fait l'objet du présent rapport a été définie dans le Plan stratégique 2016-2019 de l'AIPCR et approuvée par le Conseil de l'Association mondiale de la Route, dont les membres sont des représentants des gouvernements nationaux membres. Les membres du Comité technique responsables de ce rapport ont été désignés par les gouvernements nationaux membres pour leurs compétences particulières.*

*Les opinions, constatations, conclusions et recommandations exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions de leurs organisations ou agences mères.*

*Ce rapport est disponible sur le site Internet de l'Association mondiale de la Route (AIPCR) : <http://www.piarc.org>*

*Copyright by the World Road Association. All rights reserved.*

*World Road Association (PIARC)  
Arche Sud 5° niveau  
92055 La Défense CEDEX, FRANCE*

*International Standard Book Number: 978-2-84060-513-3*

*Photo de couverture © Horst Hanke*

**DÉVELOPPEMENT  
INTERNATIONAL DES MÉTHODES  
D'APPLICATION DES FONDANTS  
ROUTIERS – ÉTAT DE L'ART ET  
MEILLEURES PRATIQUES**

**COMITÉ TECHNIQUE B.2 VIABILITÉ HIVERNALE**

## **AUTEURS/REMERCIEMENTS**

Dr. Horst Hanke (Germany, Working Group Leader)

Dr. Peter Nutz (Austria, Working Group Co-Leader)

Heimo Maier-Farkas (Austria)

Josef Neuhold (Austria)

Frank Rizzardo (Canada)

Pavel Jezek (Czech Republic)

Jana Stulirova (Czech Republic)

Pavel Sustr (Czech Republic)

Andris Petersons (Latvia)

Kai Rune Lysbakken (Norway)

Larsen Oystein (Norway)

Luis Azcue Rodriguez (Spain)

Jorge Enrique Lucas Herranz (Spain)

Jose Carlos Valdecantos Alvarez (Spain)

Dan Eriksson (Sweden)

2019R08FR

## **DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL DES MÉTHODES D'APPLICATION DES FONDANTS ROUTIERS – ÉTAT DE L'ART ET MEILLEURES PRATIQUES**

La lutte contre la neige et le verglas sur les routes à l'aide de fondants routiers est une tâche majeure du service hivernal. Le chlorure de sodium est généralement utilisé sur le réseau routier principal dans le monde entier. Diverses études et expériences pratiques ont prouvé la grande efficacité des traitements au chlorure de sodium sur la sécurité routière et les économies nationales.

Au cours des dernières années, un travail important a été réalisé dans le domaine des méthodes d'application des fondants routiers. L'utilisation de sel pré-humidifié et les applications de saumure sont de plus en plus répandus sur les routes et sur les pistes cyclables.

Le comité technique viabilité hivernale de l'AIPCR a mené une enquête sur la maintenance hivernale dans les pays représentés à l'AIPCR. Les domaines enquêtés étaient les normes d'entretien hivernal, le type de produits chimiques de déglacage et les méthodes d'application. Outre le développement en cours, des projets de recherche et des directives ont également été compilés.

Le document résume les conclusions et les analyses les plus importantes, ainsi que les différentes normes et techniques d'entretien hivernal. Le document aborde également des questions en suspens telles que la limite de la saumure à basses températures et donne un aperçu des développements futurs.

# SOMMAIRE

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCTION .....</b>                                                    | <b>3</b>  |
| <b>2. APERÇU DE LA PRATIQUE ACTUELLE DES MÉTHODES DE TRAITEMENT .....</b>       | <b>4</b>  |
| 2.1. QUESTIONNAIRE .....                                                        | 4         |
| 2.2. RESULTATS LES PLUS IMPORTANTS.....                                         | 6         |
| <b>3. LES DIRECTIVES ET LE DOSAGE D'ÉPANDAGE DANS LES DIFFÉRENTS PAYS .....</b> | <b>11</b> |
| <b>4. EXEMPLES ET ÉTUDES DE CAS DE SERVICE HIVERNAL À L'INTERNATIONAL .....</b> | <b>13</b> |
| 4.1 ÉPANDAGE PREVENTIF .....                                                    | 13        |
| 4.2 ÉPANDAGE PRE-HUMIDIFIÉ.....                                                 | 15        |
| 4.3 ÉPANDAGE LIQUIDE.....                                                       | 21        |
| 4.4 ÉPANDAGE PENDANT LES CHUTES DE NEIGE .....                                  | 25        |
| 4.5 ÉPANDAGE SUR LES PISTES CYCLABLES .....                                     | 28        |
| 4.6 ÉDUCATION ET FORMATION DU PERSONNEL.....                                    | 30        |
| 4.7 SYSTEMES FIXES AUTOMATISES DE PULVERISATION.....                            | 35        |
| <b>5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</b>                                      | <b>38</b> |

## 1. INTRODUCTION

La lutte contre la neige et le verglas sur les routes à l'aide de fondants routiers est une tâche majeure du service hivernal. Le chlorure de sodium est généralement utilisé sur le réseau routier principal dans le monde entier. Diverses études et expériences pratiques ont prouvé la grande efficacité des traitements au chlorure de sodium sur la sécurité routière et les économies nationales.

Au cours des dernières années, un travail important a été réalisé dans le domaine des méthodes d'application des fondants routiers. Cette évolution se déroule différemment selon les pays, et dans plusieurs pays, il y a eu des sections de routes tests et des projets de recherche.

Afin d'avoir une vue d'ensemble de l'état actuel des techniques d'épandage, de recueillir les expériences dans les différents pays et d'identifier les meilleures pratiques, le Comité technique viabilité hivernale de l'AIPCR a réalisé une enquête sur le service hivernal dans les pays représentés à l'AIPCR.

Le rapport qui suit décrit les résultats les plus importants de cette enquête et présente des exemples d'études et d'expériences nationales en tant que meilleures pratiques. Pour de plus amples informations et questions, nous avons ajouté un e-mail de contact de l'auteur des parties du rapport [entre parenthèses].

La plupart des rapports évalués dans cette étude ont été rédigés dans la langue nationale de chaque pays.

L'enquête et ce rapport se sont focalisés tournée vers les techniques d'épandage et leur développement. Les aspects écologiques de l'utilisation du sel ne faisaient pas partie de l'enquête et ne figurent donc pas dans le rapport. Néanmoins, on peut dire que tous les développements des techniques d'épandage, en particulier le pré humidifié et l'épandage de saumure, ont pour objectif de réduire la quantité de sel apportant des avantages écologiques directs.

*Remarque : dans le texte, « pre-wetted salt » (sel pré-humidifié) correspond à l'appellation française « bouillie de sel ».*

## 2. APERÇU DE LA PRATIQUE ACTUELLE DES MÉTHODES DE TRAITEMENT

[horsthanke@yahoo.de]

### 2.1. QUESTIONNAIRE

Une enquête a été lancée en 2016 pour faire le point sur l'état actuel des méthodes de traitement et sur les expériences faites dans les différents pays en la matière. Les questions de l'enquête ont été préparées par le Comité technique viabilité hivernale de l'AIPCR.

L'enquête couvrait les domaines suivants :

- Réseau routier à différents niveaux
- Niveaux de service
- Techniques d'épandage pratiquées et leur domaine d'application
- Épandage de sel pré-humidifié
- Épandage de saumure
- Autres méthodes de traitement

L'enquête demandait non seulement l'état actuel de ces méthodes dans les différents pays, mais aussi les derniers et futurs développements, les expériences et les projets de recherche traitant du sujet. En outre, des directives existantes ont été compilées en ce qui concerne les méthodes d'épandage et les quantités à épandre pour chaque pays.

L'enquête a été envoyée à tous les pays représentés au sein du Comité AIPCR et à d'autres pays invités aussi à participer. Malheureusement, il a été très difficile d'obtenir des réponses. L'absence de réponse peut s'expliquer par le fait qu'il faut déployer certains efforts pour répondre aux questions et qu'il n'est pas toujours possible d'avoir une vue d'ensemble de tout le pays.

### Answers to the questionnaire

| Country        | Motorways [km] | Rural Roads [km] | Urban Roads [km]                   | Comment                                              |
|----------------|----------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <u>America</u> |                |                  |                                    |                                                      |
| Canada         | 45.400         | 52.000           | 5412                               | 4 states, 1 city                                     |
| USA            | 184.000        |                  | --                                 | 4 states                                             |
| <u>Asia</u>    |                |                  |                                    |                                                      |
| Japan          | 9.760          | 6.800            | 540                                | 3 regions                                            |
| Korea          | 4.193          | 84.659           | 18.675                             |                                                      |
| <u>Europe</u>  |                |                  |                                    |                                                      |
| Austria        | 2.208          | 33.644           | 97.745                             |                                                      |
| Czech Republik | 1.222          | 54.500           | --                                 |                                                      |
| Denmark        | 1.200          | 2.600            | --                                 |                                                      |
| Finland        | 880            | 68.300           | 8.800                              |                                                      |
| France         | 12.900         | 380.000          | 600.000                            |                                                      |
| Germany        | 12.800         | 219.000          | 413.000                            |                                                      |
| Norway         | 1.000          | 45.000           | 10.000                             |                                                      |
| Poland         | 4.878          | 15.729           | --                                 |                                                      |
| Scotland       | 422            | 2.890            | --                                 |                                                      |
| Slovenia       | --             | 900              | 100                                | 1 region                                             |
| Spain          | 11.942         | 14.387           | --                                 |                                                      |
| Switzerland    | 230            | --               | --                                 | 1 region                                             |
| <b>Total</b>   | <b>108.600</b> | <b>982.000</b>   | <b>1.155.000<br/>(9 countries)</b> | <b>16 Countries<br/>25 filled out questionnaires</b> |

*Illustration 1 : Réponses au questionnaire*

Nous avons reçu 25 questionnaires remplis provenant de 16 pays. Quelques réponses ont été reçues uniquement pour certaines parties d'un pays (par exemple, quelques États uniquement) pour différents types de routes. Bien que nous souhaitions avoir plus de réponses, nous avons obtenu des retours des pays les plus importants et les plus en avance dans le monde, et nous avons pu représenter différentes régions du monde et différentes situations climatiques. Par conséquent, on estime que l'enquête donne une très bonne vue d'ensemble de l'état actuel et de l'évolution des pratiques du service hivernal dans le monde.

La illustration 1 donne un aperçu des pays participants, des types de routes couvertes et de la longueur des réseaux routiers.

Dans l'évaluation suivante, seul le nombre de réponses (questionnaires remplis) a été comptabilisé ; le nombre de pays ou de réponses pondérées en fonction de la longueur du réseau n'a pas été pris en compte. Il s'agit d'illustrer les différentes pratiques et tendances indépendamment de la longueur des réseaux.

## 2.2. RESULTATS LES PLUS IMPORTANTS

### Niveaux de service

Dans l'enquête, des questions ont été posées pour obtenir des informations sur les différents types de routes et la longueur de ces réseaux. Les éléments importants à retenir sont les niveaux de service pour l'entretien hivernal en fonction des différentes classes de routes. La illustration 2 compare les durées de retour réglementaires dans les différents pays pour les autoroutes de plus haut niveau de service.

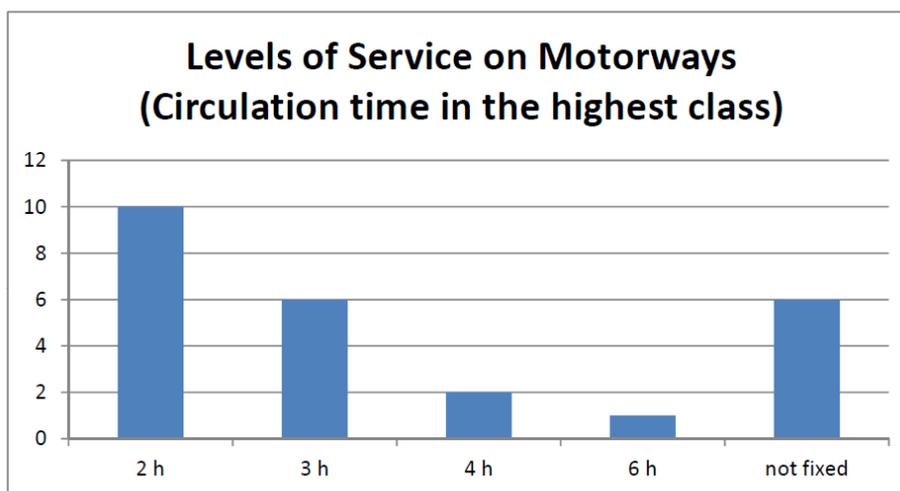


Illustration 2 : Niveaux de service (nombre de pays)

On constate que les niveaux de service sont très différents d'un pays à l'autre. Le plus fréquent et le plus haut niveau de service avec une durée de retour de 2 heures n'est réglementaire que dans 40 % des pays, alors qu'il y a des durées de retour allant jusqu'à 6 heures même dans le niveau le plus élevé. 25 % des pays n'ont pas de durée de retour maximum fixée.

Sur les autres types de routes (routes rurales et routes urbaines), les niveaux de service sont plus faibles, mais pas de manière significative. Pour les pistes cyclables, il n'existe dans la plupart des cas pas de durée de retour fixe et les niveaux sont très différents dans les différents pays, mais la plupart du temps très bas (jusqu'à 12 heures).

### Épandage pendant la chute de neige

À la question de savoir s'il est habituel d'épandre régulièrement du sel pendant la chute de neige, il a été répondu par l'affirmative dans près de 90 % des cas.

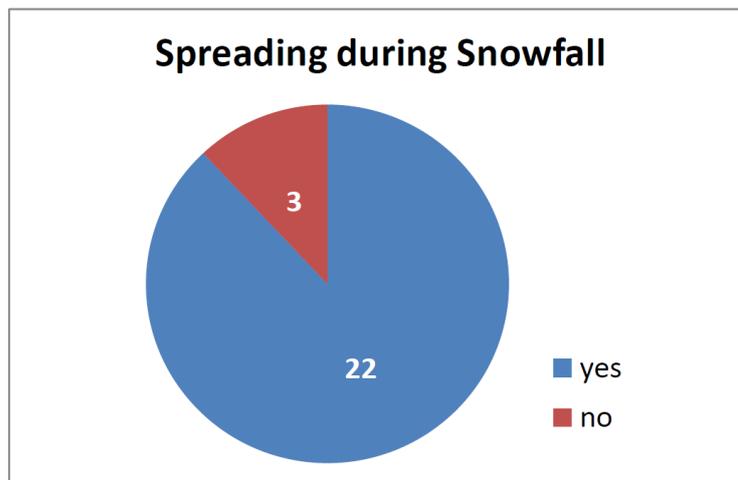


Illustration 3 : Épandage pendant la chute de neige

Dans ces cas de chute de neige, aucun épandage de saumure n'est utilisé. Six (6) pays utilisent un épandage de matériaux pré-humidifié, 12 pays utilisent un mélange d'épandage pré-humidifié et sec et 4 seulement un épandage sec. Neuf (9) pays utilisent également des abrasifs dans certains cas, en fonction du niveau de la route, du volume de trafic et des prévisions des stations météorologiques, en particulier la température.

#### Épandage préventif

Par le passé, il y a eu de grandes discussions sur le bien-fondé et le succès des épandages préventifs. Mais le développement de meilleures techniques d'épandage (pré-humidification et saumure), de meilleures informations météorologiques routières et des retours d'expériences dans le choix des meilleures méthodes et du meilleur moment pour réaliser les actions préventives font que celles-ci sont de plus en plus utilisées en service hivernal.

Il faut souligner que ce développement est lié à l'augmentation du trafic, au fait que l'on sait maintenant que les risques d'accidents et de congestion sont très élevés sur les routes verglacées et peuvent être évités par un traitement préventif.

Aujourd'hui, plus de 80 % des pays pratiquent régulièrement l'épandage préventif (voir illustration 4).

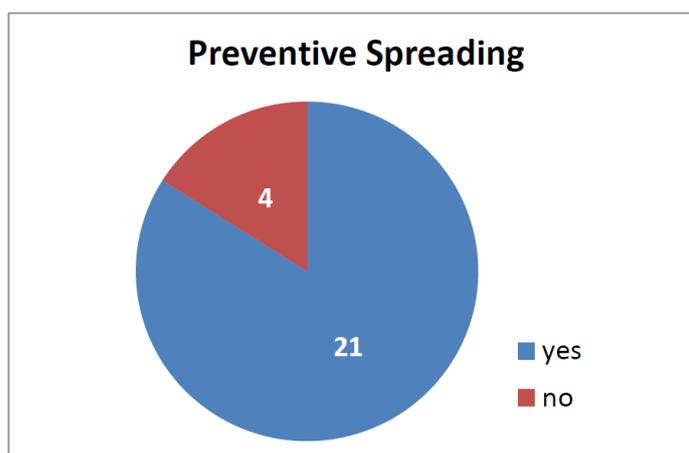


Illustration 4 : Épandage préventif

Dans la moitié des cas, l'épandage préventif n'est utilisé que sur le réseau principal. Les autres 50 % l'utilisent sur tous types de routes. Les actions préventives sont planifiées à l'aide d'une information météo routière fiable et détaillée et sont appliquées dans un délai différent selon la situation (jusqu'à 8 heures avant la formation prévue du verglas).

Les épandages préventifs sont réalisés pour le givre, le verglas de congélation d'humidité préexistante et les phénomènes de condensation solide. Dans 9 cas, il est également utilisé avant les chutes de neige.

Huit (8) pays utilisent du sel pré-humidifié pour des actions préventives, 7 utilisent uniquement de la saumure, 5 pays utilisent les deux et un seul pays utilise du sel sec pour des actions préventives. Les quantités épandues pour les actions préventives sont très différentes (de 5 à 40 g/m<sup>2</sup>), selon les situations particulières. Treize (13) pays disposent de directives pour l'épandage préventif.

Les expériences rapportées par les pays sont sans exception très positives. Cependant, il n'existe pas de résultats de recherche différenciés concernant l'influence sur la consommation de sel, les coûts, la fluidité du trafic et la sécurité routière.

#### Épandage de matériaux pré-humidifié

L'épandage de matériaux pré-humidifiés est aujourd'hui la méthode standard pour l'épandage du sel sur le réseau routier principal à travers le monde entier. Presque tous les pays utilisent cette méthode sur tous les types de routes. Un seul pays (le Québec) n'a pas utilisé cette méthode jusqu'à présent, mais a fait des tests de pré-humidification ces dernières années. En raison des bonnes expériences lors de ces tests, ce mode d'épandage deviendra une méthode standard au Québec dans le futur.

Certains pays ont une très longue histoire d'utilisation de cette méthode, qui commence dès 1975 (surtout en Europe), alors que d'autres n'ont commencé qu'en 2017 (surtout en Asie et en Amérique).

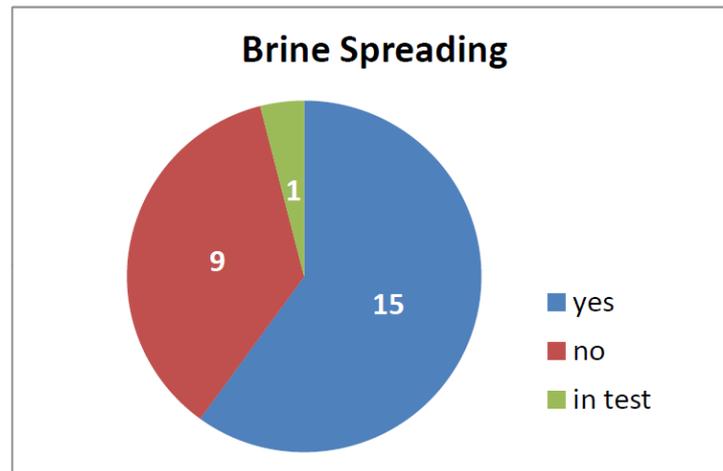
Différents types de saumure sont utilisés pour l'épandage de matériaux pré-humidifiés : 20 pays (80 %) utilisent du NaCl, 8 d'entre eux utilisent également du CaCl<sub>2</sub> ou du MgCl<sub>2</sub>, 2 pays utilisent uniquement du CaCl<sub>2</sub> et 2 autres utilisent uniquement du MgCl<sub>2</sub>. Dans presque tous les cas, on utilise la méthode « FS 30 », c'est-à-dire que 30 % de saumure est mélangé à 70 % de sel sec. Le dosage varie en fonction des conditions routières et météorologiques (entre 5 et 40 g/m<sup>2</sup>) ; dans la plupart des cas, il existe des directives, différentes, concernant les quantités épandues.

Dans 19 pays, il existe des directives pour fixer les limites de température pour l'utilisation du sel pré-humidifié. Pour les saumures de NaCl, cette limite est fixée de -6 °C à -12 °C, tandis que lorsque du CaCl<sub>2</sub> ou du MgCl<sub>2</sub> est utilisé, la limite de température est inférieure.

Les expériences avec l'épandage de matériaux pré-humidifiés sont généralement très bonnes. Cependant, les projets de recherche qui s'y rapportent sont pour la plupart dépassés. De nouvelles expériences dans certains pays montrent qu'en cas d'épandage préventif, il y a un problème de persistance de la couche, ce qui signifie que la perte de sel peut être très élevée et dépend du trafic. Dans de nombreux pays, cela a conduit à n'utiliser que de la saumure en cas d'épandage préventif.

### Épandage de saumure

Le recours à l'épandage de saumure a augmenté au cours des dernières années. Actuellement, 15 pays (60 %) l'utilisent régulièrement et l'un d'entre eux fait actuellement des tests (illustration 5). Les premiers pays qui ont commencé l'épandage de saumure étaient en 1990 ; le dernier pays a commencé en 2014.



*Illustration 5 : Utilisation de l'épandage de saumure*

Quinze (15) pays (95 %) utilisent du NaCl pour l'épandage de saumure dont 7 utilisent également du CaCl<sub>2</sub> et/ou du MgCl<sub>2</sub> dans certains cas. Un pays n'utilise que du CaCl<sub>2</sub>.

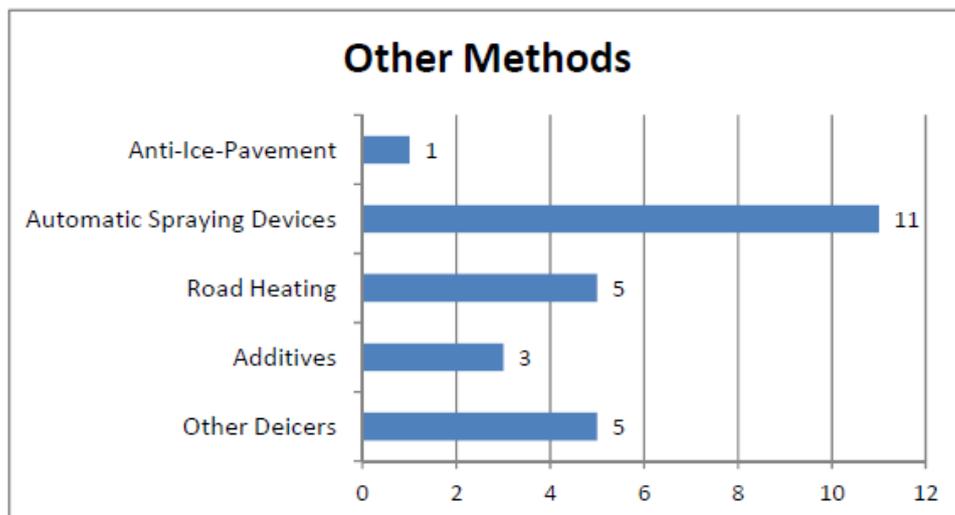
Dix (10) pays ont fixé des limites de température pour l'épandage de saumure, à partir de -4 °C jusqu'à -12 °C.

Les expériences avec l'épandage de saumure sont sans exception très positives, en particulier pour l'épandage préventif où il est normalement utilisé.

L'utilisation de saumure est en forte augmentation ces dernières années et augmentera encore dans les années à venir, en fonction de l'équipement nécessaire.

### Autres méthodes de déglacage des routes

L'enquête contenait des questions supplémentaires sur les autres méthodes utilisées pour le traitement des routes dans les différents pays. La illustration 6 en donne un aperçu.



*Illustration 6 : Autres méthodes de dégivrage des routes (nombre de pays)*

Les autres fondants routiers ne sont utilisés que dans des cas particuliers (zones avec interdiction d'utiliser du sel) ou sur des sections tests. Les pays mentionnent l'acétate de potassium, le carbonate de potassium, le formiate de calcium, le formiate de sodium, le CMA et le Meltium. Les additifs sont utilisés dans 3 pays, mais seulement dans quelques cas (Eco-Thaw, Safecote, Fusion, BeetJuick).

Le chauffage routier, les dispositifs de pulvérisation automatique et les chaussées antigivrantes ne sont utilisés que dans des cas spéciaux et critiques comme les ponts, les rampes, les débouchés de tunnels, les pentes raides critiques ou les zones de chaînage.

### 3. LES DIRECTIVES ET LE DOSAGE D'ÉPANDAGE DANS LES DIFFÉRENTS PAYS

[horsthanke@yahoo.de]

Dans l'enquête, des questions ont été posées à la fois sur les techniques d'épandage actuelles et sur les directives existantes en matière d'épandage et les quantités recommandées.

Presque tous les pays (ou certaines parties du pays) ont des directives pour l'épandage et les quantités à épandre pour le service hivernal ; certains d'entre eux ont annexé les directives au questionnaire. La plupart (12 pays) ont des tableaux pour les quantités d'épandage en fonction des différentes conditions météorologiques et de l'état de la surface, qui varient parfois selon les différentes classes de routes. Dans la plupart des cas, les dosages d'épandage sont recommandés dans une plage (de la valeur la plus faible à la plus élevée), normalement en fonction de la température. Parfois, seule la plage est donnée, parfois une valeur est donnée pour chaque température. Les lignes directrices et les tableaux sont donc très différents, certains sont très complexes. Il n'est donc pas facile et pas toujours possible de comparer les valeurs.

Ces quantités d'épandage recommandées sont collectées et comparées dans le tableau suivant. En raison des problèmes d'exactitude de la comparabilité et des différentes spécifications (voir ci-dessus), la comparaison n'a été faite qu'avec les valeurs les plus importantes.

Certains des dosages d'épandage étaient de dimensions différentes (par exemple, gallons ou livres par mille terrestre ou kilomètre linéaire), dans ce cas, ils ont été convertis en unités [g/m<sup>2</sup>].

La illustration 7 montre la comparaison des directives de 15 pays pour les conditions de surface et météorologiques les plus courantes. Elle indique la plage du dosage d'épandage recommandé, de la valeur la plus faible à la valeur la plus élevée. La valeur indiquée entre parenthèses est toujours la valeur absolue la plus basse et la valeur absolue la plus élevée ; les valeurs sans parenthèses sont les plus recommandées pour tous les pays.

| Conditions météorologiques et de surface | Dosage d'épandage recommandé dans les directives [g/m <sup>2</sup> ]. |                                                      |                                                      |                                         |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                          | Recommandation la plus basse rencontrée                               | Recommandation inférieure la plus souvent rencontrée | Recommandation supérieure la plus souvent rencontrée | Recommandation la plus haute rencontrée |
| Givre                                    | (5)                                                                   | 10                                                   | 15                                                   | (30)                                    |
| Congélation d'humidité préexistante      | (5)                                                                   | 10                                                   | 20                                                   | (40)                                    |
| Pluie verglaçante                        | (10)                                                                  | 25                                                   | 30                                                   | (50)                                    |
| Épandage en cas de chute de neige        | (5)                                                                   | 10                                                   | 30                                                   | (50)                                    |

*Illustration 7 : Comparaison des dosages d'épandage recommandés dans les directives*

On peut constater que dans la plupart des cas, les aires de répartition des pays sont très similaires et denses. Les plus grandes différences et amplitudes apparaissent lors de l'épandage pendant les

chutes de neige. Certains pays épandent de grosses quantités tandis que d'autres épandent des quantités très faibles.

La raison peut être liée aux différentes stratégies pour faire fondre la neige ou pour simplement la décohesionner. Pour cela, il faut tenir compte des résultats obtenus en Allemagne (voir chapitre 4.4) concernant l'épandage en cas de chute de neige. Avant cette recherche en Allemagne, on recommandait également des dosages d'épandage élevés, maintenant il est recommandé d'épandre seulement 10 à 15 g/m — pendant les chutes de neige.

## 4. EXEMPLES ET ÉTUDES DE CAS DE SERVICE HIVERNAL À L'INTERNATIONAL

### 4.1 ÉPANDAGE PREVENTIF

En Allemagne [horsthanke@yahoo.de], il y a eu dans le passé des discussions intenses sur l'épandage préventif. Les opposants à cette pratique pensaient qu'il s'agissait d'un gaspillage de sel.

Toutefois, depuis le début de l'épandage du sel et depuis les grandes discussions sur ses avantages et ses inconvénients, il y a maintenant eu un fort développement dans les connaissances et les techniques d'entretien hivernal.

Aujourd'hui, nous avons de bien meilleures prévisions météorologiques, plus de connaissances sur la formation de la glace et le comportement de la neige sur les routes et sur la maîtrise des dosages ainsi que de bien meilleures techniques d'épandage. Ainsi, les actions préventives avec du sel pré-humidifié sont devenues plus efficaces et utiles.

Du point de vue de la réalité et de la connaissance, les actions préventives présentent les avantages suivants :

1. Éviter le verglas sur les routes et tous ses inconvénients

Si la glace sur les routes est évitée par l'épandage préventif, tous les inconvénients des routes verglacées tels que les accidents, les embouteillages et les coûts économiques sont évités. Nous savons, grâce à des projets de recherche, que sur les routes verglacées, les accidents les plus graves et les plus fréquents se produisent parce que les conducteurs ne s'y attendent pas et ne reconnaissent pas le verglas sur la route.

2. Économie de sel

On peut démontrer qu'il faut beaucoup plus de sel pour la fonte du verglas sur la route qu'il n'en faut pour prévenir sa formation. Cela signifie qu'une action préventive ne nécessite qu'environ la moitié du sel requis pour un salage curatif.

3. Entretien hivernal sûr et rapide

Si l'épandage est effectué à titre préventif, les camions d'entretien peuvent circuler sur des routes sèches ou mouillées au lieu de routes verglacées, et ainsi rouler plus rapidement et en sécurité. Alors, ils peuvent éviter d'être pris au piège dans les embouteillages aux heures de pointe.

4. Obligation légale

En Allemagne, la juridiction a changé ces dernières années. De nos jours, dans les cas où l'on peut s'attendre à la formation de glace, il existe une obligation légale d'épandage préventif pour éviter la formation de verglas sur les routes.

Cela montre l'intérêt d'un épandage préventif lorsque les conditions météo et routières sont bonnes.

Il s'agit d'actions préventives en cas de givre, de verglas, de congélation d'humidité préexistante et de pluie verglaçante.

Une bonne technique d'épandage (sel pré-humidifié), une bonne connaissance de la formation des verglas, de bonnes prévisions météorologiques et des informations météorologiques routières ainsi qu'une organisation adéquate sont les conditions préalables à une action préventive.

Ces dernières années, en Allemagne, l'épandage préventif est de plus en plus utilisé en entretien hivernal. Aujourd'hui, la norme est qu'il faut éviter totalement qu'il y ait une surface verglacée sur les autoroutes. Les conducteurs ne s'attendent pas à ce que les autoroutes soient verglacées, ce qui entraînerait probablement des accidents.

Dans le nord-ouest de la Suisse [horsthanke@yahoo.de], la société d'État NSNW est responsable de l'entretien hivernal des autoroutes dans trois États. Dans le passé, ils avaient toujours eu des problèmes avec les routes verglacées qui provoquaient des accidents et des embouteillages. Dans le passé, en Suisse, l'épandage préventif n'était pas autorisé. Il y a donc quatre ans, ils ont complètement changé leur stratégie, passant d'actions curatives à des actions préventives.

Pour les actions préventives, ils utilisent des camions « arctiques » avec de gros épandeurs de saumure d'une capacité de 20 000 litres (Illustration 8). Le taux d'application typique est de 20 g/m — à environ 70 km/h. Un traitement de 75 km d'autoroute prend environ 2,5 heures, y compris le temps de remplissage. Ces camions d'épandage de saumure sont principalement utilisés pour l'épandage préventif afin d'éviter la formation de givre, ou avant les chutes de neige.



*Illustration 8 : Grand épandeur de saumure d'une capacité de 20 000 litres utilisé en Suisse*

Les expériences sont très bonnes. Le verglas, les embouteillages et les accidents peuvent être évités, et l'action préventive peut être effectuée au meilleur moment en fonction du volume de trafic, par exemple avant les heures de pointe. Un projet de recherche est en cours pour analyser et calculer l'effet de la nouvelle stratégie sur la sécurité routière, les coûts de maintenance et les coûts économiques.

Au Japon [masaru@ceri.go.jp ; peter.nutz@wien.gv.at], dans la région de Hokuriku, des expériences ont été menées afin d'identifier les possibilités d'accroître l'efficacité des traitements. Au cours de la première année, différents agents antigivrants ont été testés dans un laboratoire à basse température. Au cours de la deuxième année, la durée d'efficacité des fondants routiers a été testée sur le terrain et d'autres essais en laboratoire ont été effectués.

Le chlorure de sodium ainsi que le chlorure de calcium et le chlorure de magnésium ont été testés à des températures et des réglages différents. L'effet des agents pré-humidifiés faisait également partie des expériences. Les résultats des expériences ont conduit à l'élaboration d'un manuel sur

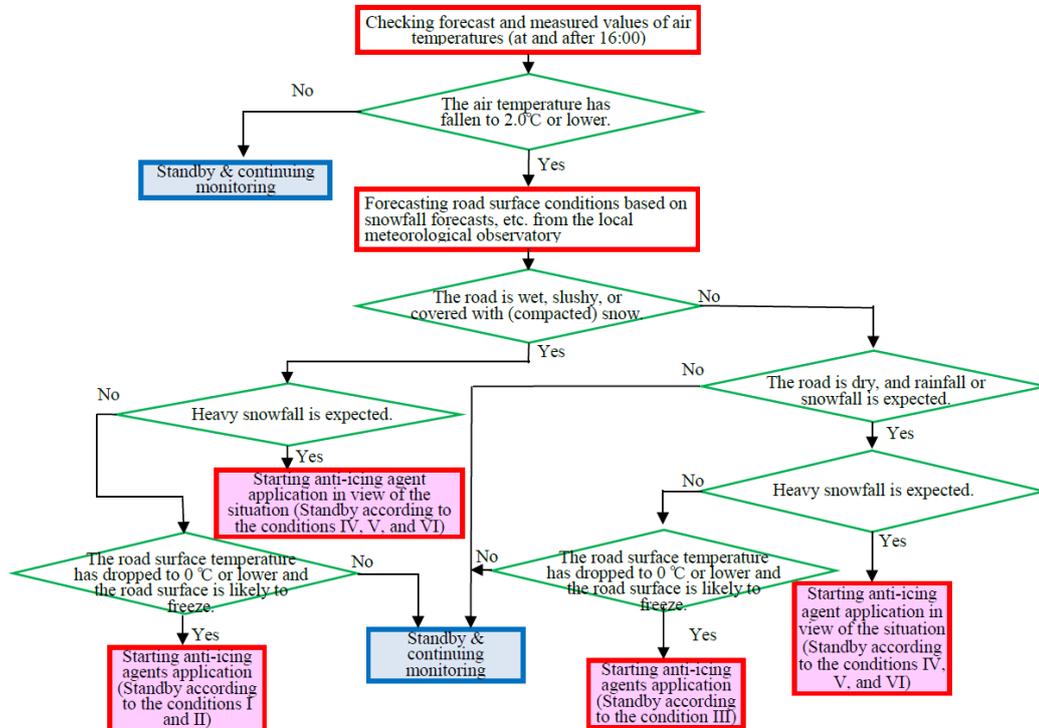


Illustration 9 : Organigramme d'aide à la décision sur l'application de fondant pour la prévention du gel au Japon

## 4.2 ÉPANDAGE PRE-HUMIDIFIÉ

Dans le passé, il y a eu un grand développement des technologies d'épandage en Allemagne [horsthanke@yahoo.de]. D'un point de vue historique, l'invention du premier disque d'épandage a été faite en 1938 par Weisser. Ceci fut suivi en 1957 par le développement des premiers épandeurs qui épandaient automatiquement en fonction de la distance. En 1975, Hahn et Bauer ont inventé le premier épandeur permettant de pré-humidifier 70 % de sel sec avec 30 % de saumure (« FS 30 ») pour une utilisation pratique.



Illustration 10 : Historique, premier disque d'épandage de 1938 (Allemagne)

L'épandage pré-humidifié présente de grands avantages par rapport à l'épandage de sel sec. La perte de sel lors de l'épandage et de l'atterrissage sur la route n'est pas si élevée, et la saumure entraîne une action beaucoup plus rapide sur la route. Il est donc possible d'obtenir un meilleur effet avec moins de sel. Il en résulte des avantages en termes de coûts, d'environnement et de sécurité routière. Ces avantages ont été démontrés dans plusieurs projets de recherche.



*Illustration 11 : Meilleure répartition du sel avec épandage pré-humidifié (côté droit) par rapport à l'épandage à sec (côté gauche), exemple de l'Allemagne*

L'épandage pré-humidifié est donc une grande réussite. Aujourd'hui, presque partout en Allemagne, l'épandage pré-humidifié est utilisé, toujours avec 30 % de saumure (« FS 30 »). La technique d'épandage a été perfectionnée depuis 1975, les épandeurs modernes de pré-humidification ont une distribution très précise du sel et de la saumure même à vitesse d'épandage élevée. Les nouvelles normes européennes (EN 15 597) imposent d'ailleurs des exigences très élevées en matière de précision d'application.

En Autriche [Josef.neuhold@noel.gv.at], ces dernières années, le salage préhumidifié a été développé davantage. Des mesures approfondies ont montré que la quantité de sel résiduel après un épandage diminue rapidement, en particulier en cas de surfaces routières sèches ou de vent. Le salage préhumidifié avec 30 % de saumure (FS 30) réduit les pertes par rapport au sel sec (FS 0) et constitue déjà une norme recommandée en Autriche depuis plusieurs décennies.

Le gouvernement de Basse-Autriche a lancé un projet de recherche avec l'Institut des sciences des transports de l'Université technique de Vienne (TU) afin de réduire les pertes de sel et d'améliorer la qualité de l'épandage ainsi que la sécurité routière. L'accent a été mis sur les moyens de minimiser les pertes lors de l'épandage et du déchargement ainsi que sur une mise en œuvre pratique avec la flotte existante.

L'expérience et les premières saisons hivernales ont montré que l'adaptation des épandeurs de sel mouillé conventionnels de FS30 à FS50 ou FS70 est simple et économique. Les résultats d'analyses de la répartition de l'épandage montrent également qu'avec une augmentation de la teneur en sel, il est possible d'obtenir un profil de répartition plus uniforme et, de façon significative, des quantités plus élevées de sel résiduel, malgré des distributeurs rotatifs conventionnels. Avec une teneur moyenne en sel résiduel de 35 % du débit d'épandage après environ 10 minutes, avec le taux FS30 est très faibles. Pour les taux FS50 et FS70 avec des épandeurs de sel humidifié adaptés, la quantité de sel résiduel est d'environ 50 % dans des conditions comparables. Les quantités de sel résiduel avec de la saumure pure (FS100) et un nouvel épandeur combiné étaient encore plus

élevées de 55 à 60 %, mais ce type d'épandeur nécessite un investissement supplémentaire important dans la flotte de véhicules.

Du point de vue d'un service hivernal efficace et respectueux de l'environnement, les résultats démontrent clairement les avantages d'un taux élevé de saumure. En résumé, il est donc recommandé d'adapter l'épandeur de sel humidifié conventionnel pour réaliser des taux de saumures élevés.

La plupart des équipements de service hivernal existants en Basse-Autriche ont été adaptés pour une utilisation avec un taux accru de saumure afin d'atteindre FS70. En outre, tous les centres d'entretien ont été analysés en ce qui concerne la capacité de production de saumure, les améliorations nécessaires à la production, les stations de pompage et les réservoirs de stockage. Afin de mettre en œuvre ces changements, le personnel de service hivernal a été formé en petits groupes pour s'assurer une bonne compréhension de toutes les questions spécifiques à l'application pratique de ces stratégies. La mise en œuvre, réussie, a permis de réduire considérablement la consommation de sel tout en maintenant des normes de sécurité élevées.

Le FS50 est devenu une norme tant en Basse-Autriche que dans d'autres États autrichiens. Pour l'épandage préventif, FS70 est utilisé en priorité. Les nouveaux épandeurs peuvent également épandre uniquement de la saumure (FS100) avec le disque d'épandage. Depuis lors, le FS100 a également été utilisé dans des actions préventives.



*Illustration 12 : Répartition du FS70 en Basse-Autriche © Josef Neuhold*

En Norvège [oystein.larsen@vervesen.no ; kai-rune.lysbakken@vegvesen.no], au cours des deux dernières décennies, plusieurs études ont été menées sur les techniques d'épandage du sel. L'objectif a été d'étudier l'effet des différentes techniques dans des conditions routières et météorologiques différentes. La recherche de la technique d'épandage optimale fait partie de l'optimisation de l'utilisation du sel, c'est-à-dire d'utiliser le moins de sel possible tout en garantissant des conditions de conduite sûres. Les effets négatifs de l'utilisation du sel, en particulier les effets environnementaux, ont été les facteurs qui ont motivé l'optimisation de l'utilisation du sel.

Les caractéristiques d'une technique d'épandage efficace diffèrent selon l'objectif de l'application de sel. Pour toutes les actions de salage, il est bien sûr souhaitable d'avoir une technique d'épandage qui donne une faible perte initiale lors de l'épandage. Lors de l'épandage de sel pour lutter contre le verglas, l'objectif est d'obtenir une durée de vie longue, c'est-à-dire de faire en sorte que le sel reste le plus longtemps possible sur le revêtement routier. Pour la lutte contre le verglas, un processus de fusion rapide et efficace est donc important.

Depuis plusieurs années, l'accent est mis sur les essais et l'acquisition d'une expérience mieux documentée de l'application de la saumure. Plusieurs essais ont été réalisés dans le but d'étudier la durabilité des actions de salage dans différentes conditions routières. L'application de saumure a été comparée à l'application du sel pré-humidifié ordinaire. Pour savoir combien de temps le sel reste sur la surface de la route, la quantité de sel résiduel a été mesurée. La conclusion est que l'application de saumure est une méthode efficace pour le déglacage, en particulier sur les routes sèches ou humides. Dans ces conditions, la méthode offre une durabilité supérieure à celle du sel pré-humidifié. L'application de saumure a également, dans une certaine mesure, été utilisée et testée lors des chutes de neige. Jusqu'à présent, la conclusion est que l'utilisation de saumure pendant les précipitations est possible, mais seulement avec des températures proches de 0 °C. Elle nécessite également un déneigement mécanique très important, c'est-à-dire une fréquence élevée de passage et une bonne qualité de raclage. Si de la saumure est utilisée pendant la chute de neige à des températures plus basses et avec un raclage insuffisant, il y a un risque élevé de formation de verglas. Par conséquent, les directives actuelles n'autorisent pas l'application de saumure lors des précipitations neigeuses.

Ces dernières années, les efforts ont été mis sur les essais et la documentation de la méthode du sel fin pré-humidifié. Les exigences de la NPRA définissent le sel finement calibré. Les exigences relatives à la distribution granulométrique du sel sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

| Taille du tamis<br>(mm) | Pourcentage de passant |         |
|-------------------------|------------------------|---------|
|                         | Sel grossier           | Sel fin |
| 6,3                     | 100                    | -       |
| 4                       | 80 - 100               | 100     |
| 1                       | 20 - 100               | 50-100  |
| 0,125                   | 0 - 5                  | 0-5     |

*Illustration 13 : Exigences relatives à la granulométrie du sel en Norvège*

Le sel fin pré-humidifié peut être obtenu soit en achetant du sel fin, comme du sel sous vide, soit en utilisant des épanduses capables de broyer le sel ordinaire. Les deux méthodes ont été testées. La méthode a été testée à des fins préventives et curatives et a été comparée aux applications de saumure et de sel pré-humidifié ordinaire. L'application de sel avec du sel pré-humidifié finement dosé a une durée de vie beaucoup plus longue que le sel pré-humidifié ordinaire, en particulier sur les surfaces sèches ou humides des routes. En fait, la durabilité du sel fin est comparable à celle de l'application de saumure. Dans les situations de lutte contre le verglas, la méthode a un effet plus rapide que le sel pré-humidifié ordinaire.



*Illustration 14 : Épandage de sel pré-humidifié en Norvège © Stein Hoseth, Veidekke*

Sur la base de l'expérience et des résultats d'essais avec différentes techniques d'épandage, la NPRA a élaboré des directives pour le salage utilisant différentes techniques d'épandage. Les directives sont organisées en fonction de trois termes décrivant trois objectifs distincts pour les applications de sel :

1. Préventif : Application de sel sur une surface routière nue, sèche ou humide, pour prévenir la formation de glace, c'est-à-dire pour empêcher le gel d'une surface de route mouillée ou pour prévenir le givre sur une surface de route sèche.
2. Anti-compactage : Application de sel avant et pendant une chute de neige pour prévenir le compactage de la neige sur la surface de la route et pour faciliter l'enlèvement mécanique.
3. Curatif : Application de sel pour faire fondre ou briser la glace ou la neige sur la surface de la route. S'il y a une mince couche de glace sur la surface de la route, le sel peut faire fondre complètement la glace et ainsi atteindre une surface de route nue. S'il y a une épaisse couche de glace ou de neige, le sel brisera la couche et permettra de l'enlever mécaniquement.

Les résultats des recherches, les connaissances pratiques et l'expérience acquise avec les différentes techniques d'épandage ont servi de base aux directives de salage dans les contrats d'entretien de l'ARNP. Les directives pour l'utilisation des différentes techniques d'épandage sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

| Purpose of salt application | Road and weather condition            | Spreading technique |                |                            |             |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------------|-------------|
|                             |                                       | Dry salt            | Prewetted salt | Fine graded prewetted salt | Brine       |
| Anti-icing                  | Dry road surface                      | Not allowed         | Not allowed    | Can be used                | Suitable    |
|                             | Moist road surface                    | Not allowed         | Can be used    | Suitable                   | Can be used |
|                             | Wet road surface                      | Not allowed         | Suitable       | Suitable                   | Not allowed |
|                             | Super cooled or rain on cold pavement | Not allowed         | Suitable       | Suitable                   | Not allowed |
| Anti-compaction             | Before snow, dry or moist road        | Not allowed         | Can be used    | Can be used                | Suitable    |
|                             | Before snow, wet road                 | Not allowed         | Suitable       | Suitable                   | Not allowed |
|                             | During snowweather                    | Suitable            | Suitable       | Suitable                   | Not allowed |
|                             | After snow                            | Suitable            | Suitable       | Suitable                   | Not allowed |
| De-icing                    | Thin ice or hoar frost                | Not allowed         | Suitable       | Suitable                   | Can be used |
|                             | Thick ice or snow                     | Can be used         | Suitable       | Suitable                   | Not allowed |

Illustration 15 : Directives de salage en Norvège

Jusqu'à présent au Québec (Canada) [Emilie.godbout@transport.gouv.qc.ca], il n'y avait que du sel sec utilisé pour des actions préventives. Ces dernières années, des tests ont été réalisés avec du sel de préhumidifié. Les résultats de ces tests ont été très positifs et les directives d'épandage ont donc été modifiées. La pré-humidification a été ajoutée en cas d'actions préventives jusqu'à -15 °C (voir les zones marquées en rouge dans le tableau). Pour le pré-mouillage, on utilise du chlorure de sodium et du chlorure de magnésium.

Niveau de service - Dégagée

Cas généraux

| T° surface      | T° air | Trafic                | Sécuriser                                                 |                                 | État de surface attendu        |
|-----------------|--------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                 |        |                       | DJMH > 10 000 véh./jour<br>Circuit complet <sup>(1)</sup> | Points critiques <sup>(2)</sup> | Circuit complet <sup>(3)</sup> |
| 0 °C et plus    |        |                       | Au besoin<br>Sel 50 à 80 kg/km                            | Au besoin<br>Sel 50 à 80 kg/km  | Au besoin<br>Sel 50 à 80 kg/km |
| 0 à -7 °C       | ↑      |                       | Sel 50 à 80 kg/km                                         | Sel 90 à 120 kg/km              | Sel 100 à 130 kg/km            |
|                 | ↓      |                       | Sel 70 à 100 kg/km                                        | Sel 100 à 130 kg/km             | Sel 100 à 130 kg/km            |
| -7 à -12 °C     | ↑      | ↑                     | Mix A 150 à 200 kg/km                                     | Sel 120 à 150 kg/km             | Sel 100 à 130 kg/km            |
|                 |        | ↓                     | Mix A 175 à 225 kg/km                                     | Mix A 200 à 250 kg/km           | Sel 100 à 130 kg/km            |
|                 | ↓      | ↑                     | Mix A 200 à 250 kg/km                                     | Mix A 250 à 300 kg/km           | Sel 130 à 150 kg/km            |
|                 |        | ↓                     | Abr. 250 à 350 kg/km                                      | Abr. 250 à 350 kg/km            | Sel 130 à 150 kg/km            |
| -12 à -15 °C    | ↑      | ↑                     | SÉCURISER<br>POINTS CRITIQUES →                           | Abr. 250 à 350 kg/km            | Sel 130 à 150 kg/km            |
|                 |        | ↓                     |                                                           |                                 | Sel 150 à 180 kg/km            |
|                 | ↓      | Mix A 250 à 300 kg/km |                                                           |                                 |                                |
| -15 à -20 °C    | ↑      | ↑                     | Abr. 250 à 350 kg/km                                      | Mix A 300 à 350 kg/km           |                                |
|                 | ↓      | ↓                     |                                                           | Abr. 250 à 350 kg/km            |                                |
| -20 °C et moins |        |                       | Abr. 250 à 350 kg/km                                      | Abr. 250 à 350 kg/km            |                                |

  Préhumidification - 35 litres/tonne

Illustration 16 : Nouvelles directives d'épandage au Québec avec ajout de pré-humidification (en rouge)

### 4.3 ÉPANDAGE LIQUIDE

En Norvège [oystein.larsen@vervesen.no ; kai-rune.lysbakken@vegvesen.no], l'épandage liquide est utilisé en plus du sel sec et du sel pré-humidifié. L'épandage de liquide ne doit être utilisé qu'à titre préventif, avant la chute de neige, sur des routes humides ou sèches, pour prévenir le gel. Pour plus de détails, voir chapitre 4.2 et illustration 15.

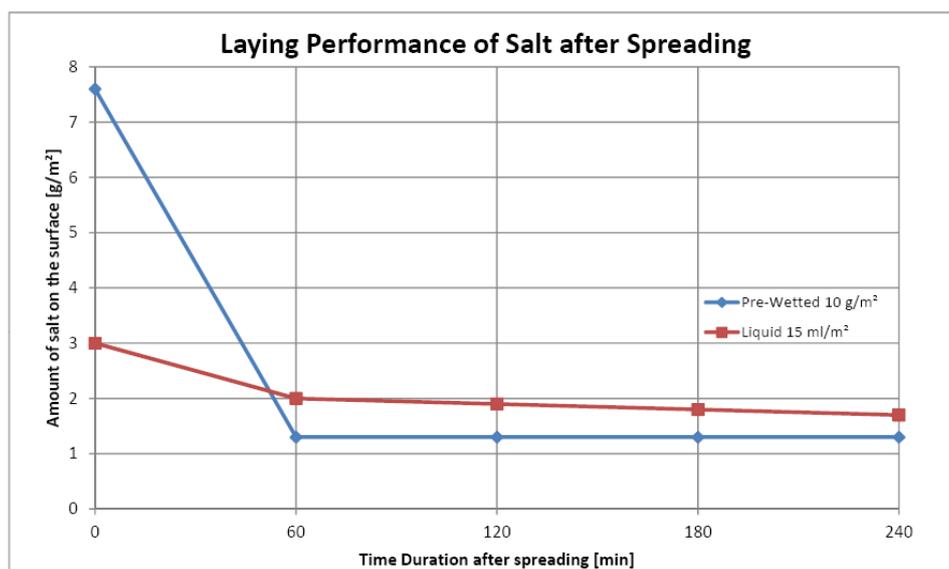


Illustration 17 : Épandage de liquide en Norvège © Stein Høseth, Veidekke

En Allemagne [horsthanke@yahoo.de], avec la forte augmentation de l'épandage préventif, l'utilisation de sel pré-humidifié a posé quelques problèmes. En particulier lors de l'épandage préventif sur des surfaces sèches, la perte de sel est très importante en raison de la vitesse et du volume du trafic.

Des projets de recherche ont montré que sur les autoroutes, la perte de sel est d'environ 70 % peu de temps après l'épandage. Il s'agit en grande partie de la proportion de sel sec épandu, seule la partie de saumure d'environ 30 % peut être retrouvée après une heure.

Ceci permet de conclure qu'en cas d'épandage préventif, l'utilisation de saumure (sans sel sec) sera plus efficace, car la performance d'adhésion à la chaussée est bien meilleure. C'est ce qui ressort également des projets de recherche, et pas seulement pour les autoroutes (voir illustration 18).



*Illustration 18 : Comparaison des performances d'adhésion de l'épandage pré-humidifié et liquide en Allemagne*

Après ces résultats, l'épandage de liquide a été de plus en plus utilisé pour des actions préventives en Allemagne. Aujourd'hui, c'est un standard sur les autoroutes et dans une partie des grandes villes, également sur les pistes cyclables ; il est de plus en plus utilisé. En raison de sa faible capacité de dégel, il n'est utilisé que pour des actions préventives, pour de petites quantités de neige ou de glace et pour des températures jusqu'à -6 °C. Dans les autres cas, on utilise encore du sel pré-humidifié.

Les directives allemandes sur l'entretien hivernal recommandent l'utilisation de saumure et donnent des spécifications détaillées pour les dosages d'épandage (illustration 19).

| Expected Surface Condition          | Recommended Winter Maintenance Action                                                                                                                                                                                                                                | Recommended Spreading Density ***                                                                             |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hoarfrost                           | Preventive Spreading**<br>- preferential Liquid Spreading*<br>- otherwise Pre-Wetted Salt                                                                                                                                                                            | 10 – 15 ml/m <sup>2</sup><br>5 – 15 g/m <sup>2</sup>                                                          |
| Light Black Ice (freezing moisture) | Preventive Spreading**<br>- preferential Liquid Spreading*<br>- otherwise Pre-Wetted Salt                                                                                                                                                                            | 10 – 25 ml/m <sup>2</sup><br>5 – 30 g/m <sup>2</sup>                                                          |
| Black Ice (freezing wetness)        | Preventive Spreading**<br>- Pre-Wetted Salt or Liquid Spreading*                                                                                                                                                                                                     | 15 – 40 g/m <sup>2</sup> (20 – 50 ml/m <sup>2</sup> )                                                         |
| Freezing Rain (black ice)           | If possible Preventive Spreading**<br>- preferential Liquid Spreading*<br>- otherwise Pre-Wetted Salt                                                                                                                                                                | 40 – 60 ml/m <sup>2</sup><br>30 – 40 g/m <sup>2</sup>                                                         |
| Snow Fall (packed snow)             | 1. Where possible Preventive Spreading with Liquid Spreading* or Pre-Wetted Salt<br>2. During Snow Fall Snow Removal and Spreading of Pre-Wetted Salt with low spreading density<br>3. After Snow Fall aggressive Removal of Snow and Spreading with Pre-Wetted Salt | 15 – 30 ml/m <sup>2</sup> (10 – 20 g/m <sup>2</sup> )<br>10 – 15 g/m <sup>2</sup><br>20 – 40 g/m <sup>2</sup> |
|                                     | * Liquid Spreading only at temperatures above -6°C, at lower temperatures only Pre-Wetted Salt<br>** if preventive salting was not possible, existing slipperiness must be eliminated with Pre-Wetted Salt with double spreading density                             | ***low values for temperatures tight below 0°C, higher values for lower temperatures                          |

*Illustration 19 : Directives allemandes concernant les techniques d'épandage et les quantités épandues en fonction de la situation routière et météorologique*

Les avantages de l'épandage de saumure sont : une meilleure répartition sur la surface de la route même avec une vitesse d'épandage élevée et de faibles doses d'épandage ainsi qu'une meilleure performance de pose. Cela signifie un impact meilleur et plus rapide sur la route, et cela, avec moins de sel. Avec l'épandage de saumure, il est possible pour la première fois d'épandre de très faibles quantités de sel, par exemple 2 g/m<sup>2</sup> — (en utilisant 10 g de saumure avec une concentration de sel de 20 %). Ces avantages ont été démontrés par des expériences pratiques et des projets de recherche.

Lors de l'épandage de saumure, le problème est qu'il est toujours nécessaire d'épandre du sel pré-humidifié en cas de chute de neige ou de basses températures. L'épandage de saumure se fait à l'aide de buses et de disques d'épandage pour la pré-humidification. Deux techniques d'épandage différentes sont donc nécessaires parallèlement aux coûts élevés de l'équipement. Pour les autoroutes, il a été démontré que ces coûts seront compensés par les économies de sel. Mais le financement de l'équipement supplémentaire séparé reste un problème pour les opérateurs de service hivernal, en particulier dans les villes, ce qui pose un problème.

Ces problèmes sont à l'origine de différents développements pour parvenir à des solutions adéquates :

### 1. Épandeurs combinés

Les épandeurs combinés ont un réservoir de saumure agrandi et un double équipement de distribution (disque et buses) ; ils sont très souvent utilisés. Ils peuvent épandre du sel préhumidifié ou de la saumure sans avoir besoin de changer de camion ou d'épandeur. Naturellement, ces épandeurs sont plus chers que les épandeurs pour la pré-humidification, mais pas aussi dispendieux que deux épandeurs. Le problème de ces épandeurs est leur faible capacité de chargement, surtout pour l'épandage de saumure. En effet, sur les autoroutes, un épandeur de saumure a besoin d'une très grande capacité.



*Illustration 20 : Épandeur combiné à 4 essieux (avec buses et disques) et à capacité maximale en Allemagne*

### 2. Épandeur sur remorque

Dans certaines régions, on utilise des épandeurs sur remorque pour l'épandage de saumure. Le camion est équipé d'un épandeur de pré-humidification, et s'il est nécessaire d'épandre de la saumure, le camion utilise la remorque.



*Illustration 21 : Un camion avec épandeur de pré-humidification qui remorque une citerne pour l'épandage de saumure en Allemagne*

### 3. Épandeurs flexibles

En raison de la faible capacité des épandeurs combinés pour la saumure, un développement intéressant a été fait pour améliorer la capacité temporaire : il s'agit d'un sac en plastique qui peut être monté dans la trémie pour le sel sec et ensuite être rempli de saumure. De cette façon, l'épandeur devient un épandeur pour liquide avec une capacité plus élevée de saumure. Le montage et le démontage de ce sac peuvent se faire en peu de temps, et normalement, il n'est nécessaire que quelques fois par hiver.



*Illustration 22 : Épandeur combiné flexible avec un sac de saumure dans la trémie en Allemagne*

Un tout nouveau développement a été introduit en 2016 en utilisant le disque d'épandage de matériaux pour l'épandage du FS100 également (saumure seulement). Lorsque possible, le double équipement n'est pas requis et il est possible d'étendre dans toutes les situations l'application optimale. Les premiers essais avec ces nouveaux épandeurs montrent qu'ils sont capables d'épandre la saumure avec une bonne répartition lorsque la largeur d'épandage est faible (jusqu'à 8 m), la vitesse d'épandage est faible (jusqu'à 40 km/h) et le dosage n'est pas trop faible (20 g/m — ou plus). Ceci conduit à la conclusion qu'il s'agit d'une très bonne alternative pour les villes (pas pour les autoroutes et les routes rurales). Entre-temps, plusieurs de ces épandeurs sont utilisés dans les villes allemandes.



*Illustration 23 : Épandage de saumure uniquement (FS 100) avec disque d'épandage en Allemagne*

En Autriche [Heimo.maier-farkas@asfinag.at], au cours des trois dernières années, la société autoroutière ASFINAG a utilisé un type spécial d'épandage de saumure. Cette machine « Firestorm » répand de la saumure chaude de chlorure de calcium à haute pression sur la surface

glacée ou couverte de neige. Il est utilisé lorsqu'il y a de fortes chutes de neige et que l'autoroute est recouverte en peu de temps de neige compactée. La saumure liquide chaude et la haute pression entraînent une fonte rapide de la neige et le sel épandu garantit que l'eau formée ne gèle pas à nouveau. Les expériences sur les autoroutes des régions alpines sont positives.

La machine est équipée d'un système breveté pour la préparation extrêmement rapide des solutions, avec des circuits hydrauliques internes munis de buses Venturi qui intensifient le mouvement du liquide à l'intérieur du réservoir et permettent ainsi la dissolution instantanée du chlorure de calcium dans l'eau.



*Illustration 24 : Température de surface après épandage de saumure chaude avec Firestorm en Autriche*

Environ 5 minutes sont nécessaires pour préparer plus de 10 000 litres de saumure. Le réservoir isolé en fibre de verre « capte » la chaleur produite lors de la dissolution du chlorure de calcium dans l'eau et maintient l'apport des solutions à la température maximale (55-75 °C) pendant une période prolongée jusqu'à son application sur la route. La illustration 24 montre l'épandage de la machine avec une caméra thermographique.

Une rampe de pulvérisation équipée de buses pour la pulvérisation à jet rectiligne permet d'appliquer la solution à haute pression (7 bar). Il en résulte un triple effet — chimique, thermique et mécanique — qui s'avère beaucoup plus efficace sur les chaussées recouvertes de neige compactée, de glace, de pluie verglaçante, etc. que les systèmes d'épandage traditionnels.

#### 4.4 ÉPANDAGE PENDANT LES CHUTES DE NEIGE

En Allemagne [horsthanke@yahoo.de], un projet de recherche a été mené sur l'épandage du sel pendant les chutes de neige. Dans le passé, la question de savoir si l'épandage de sel pendant les chutes de neige est nécessaire et efficace ou s'il ne l'est que lorsque les chutes de neige sont terminées et que la neige est déneigée a été débattue pendant longtemps.

Le personnel de service hivernal a toujours dit qu'il avait une bonne expérience de l'épandage pendant les chutes de neige parce que le sel retient la neige décohésionnée pour qu'elle ne se tasse pas et qu'elle reste maniable.

D'autre part, on peut démontrer que l'épandage de sel ne peut pas faire fondre complètement la neige, car même à des températures autour de 0 °C, il faut 40 g/m — pour 1 cm de neige pour la faire fondre, alors que lorsque la température est plus basse, il faut encore plus de sel. Il n'est donc

pas possible de faire fondre 3 cm ou plus. Ainsi, s'il n'est pas possible de faire fondre toute la neige, l'épandage de sel pendant les chutes de neige sera un gaspillage de sel, ce qui est un problème, car la consommation de sel est plus élevée les jours où il neige.

Cette question sur l'épandage de sel durant les chutes de neige a été éclaircie lors d'un projet de recherche en Allemagne. Dans le cadre d'études sur le terrain, on a prélevé plusieurs échantillons de neige contenant différents teneurs en sel. Les résultats montrent que l'expérience pratique peut être confirmée : une quantité de sel beaucoup plus faible (environ 10 % seulement) que celle nécessaire à la décongélation empêche le compactage de la neige de l'entassement et la maintient sans cohésion (voir la ligne rouge sur la illustration 3).

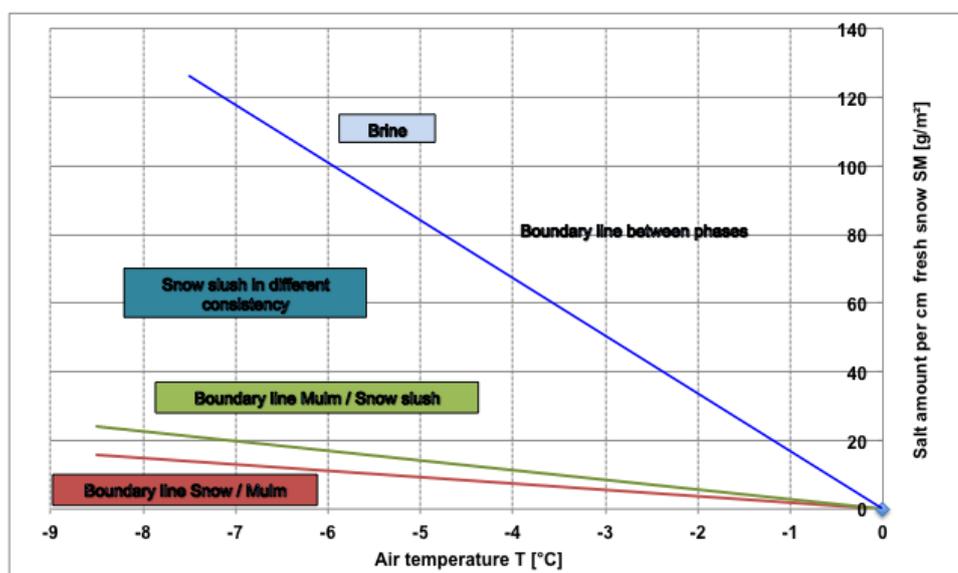


Illustration 25 : Effet de la proportion de sel dans la neige sur la consistance de la neige (Recherche en Allemagne)

Les résultats montrent donc qu'il est possible de maintenir la neige sans cohésion et maniable lors de l'épandage de sel pendant la chute de neige. Dans des conditions météorologiques et d'enneigement normaux, cela peut se faire avec 10 à 15 g/m — de sel pendant la chute. Mais il est nécessaire que la durée d'intervention sur les circuits ne soit pas trop longue et celle-ci doit même être raccourcie en cas de fortes chutes de neige. Aujourd'hui, un autre projet de recherche en Allemagne est en cours pour élaborer des directives différenciées pour la durée d'intervention sur les circuits et les mesures en cas de fortes chutes de neige.

Les nouvelles directives contiendront des spécifications différenciées pour la durée maximale d'intervention sur les circuits pendant les chutes de neige en fonction de la zone climatique, de la topographie de la section et du volume de circulation.

Le premier instrument permettant de diminuer la durée d'intervention sur les circuits est l'utilisation de véhicule d'entretien hivernal supplémentaire sur des tronçons routiers critiques. Si la chute de neige devient si importante que cela ne suffit pas, l'échelon des camions de déneigement est divisé par deux afin de réduire la durée d'intervention sur les circuits en ayant pour objectif le déneigement d'une seule voie.

Dans des situations extrêmes, la dernière possibilité est de fermer le tronçon routier critique pendant une courte période pour les véhicules de transport lourd. Ensuite, les véhicules de

transport lourd doivent faire la queue derrière les véhicules d'entretien hivernal pour traverser la section critique.

#### 4.5 ÉPANDAGE SUR LES PISTES CYCLABLES

Dans la ville de Vienne (Autriche) [peter.nutz@wien.gv.at], il existe de bonnes expériences d'épandage de saumure sur les pistes cyclables. Au sein de l'administration municipale de Vienne, le service municipal 48 — Gestion des déchets, nettoyage des rues et parc de véhicules — est responsable de l'entretien hivernal des routes publiques, à l'exception des autoroutes, des pistes cyclables et des trottoirs, sans propriétaire adjacent ou ayant la Ville de Vienne en tant que propriétaire adjacent. La division du nettoyage des rues et de l'entretien hivernal est la principale division opérationnelle du Département municipal 48 (MA 48), aidée par d'autres divisions.

Le réseau routier de Vienne s'étend sur environ 2 800 km ou 6 000 km de voies, pour une surface totale d'environ 23 millions de m<sup>2</sup>. Le réseau principal de pistes cyclables s'étend sur 280 km et la longueur totale de l'infrastructure cyclable est d'environ 1 275 km. L'intervalle d'entretien hivernal et la durée de service dépendent de la priorité de la route, des conditions topographiques et des besoins des transports publics. Des itinéraires d'entretien hivernal pour le déneigement et le salage sont prévus en fonction des paramètres mentionnés ainsi que de l'organisation du trafic, et sont adaptés en permanence.

La ville de Vienne vise à augmenter le nombre de cyclistes non seulement en été, mais aussi en hiver. Ainsi, un nouveau concept d'entretien hivernal des pistes cyclables et des voies cyclables a été développé depuis 2011. Une nouvelle catégorie de circuits de service hivernal a été créée pour desservir un réseau principal de pistes cyclables hivernales d'environ 280 km. Ce réseau est d'une grande importance pour le trafic de banlieue et a une priorité plus élevée que les autres voies cyclables. Les autres pistes cyclables et les pistes cyclables d'une longueur de plus de 900 m sont desservies en même temps que le réseau routier.

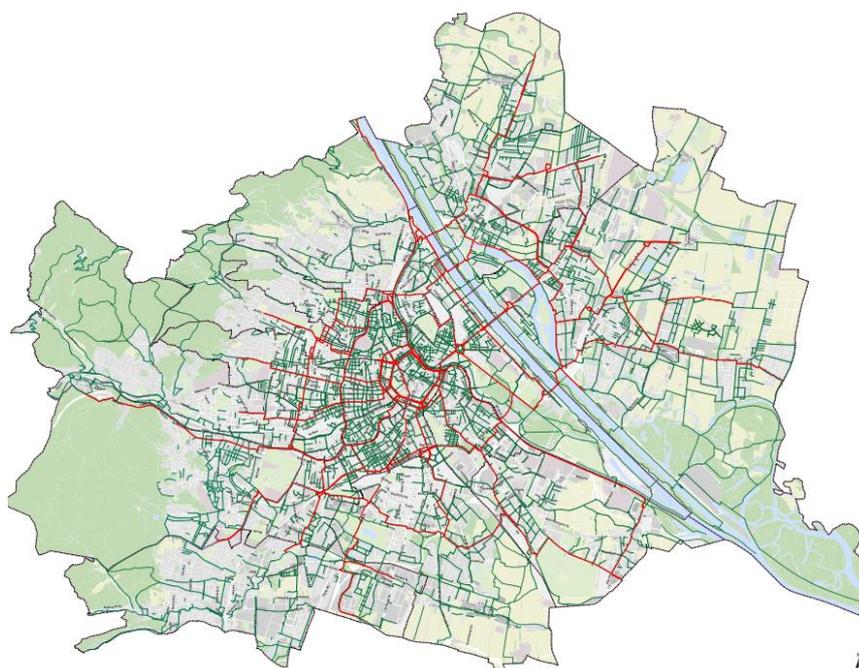


Illustration 26 : Carte de l'entretien hivernal des infrastructures cyclables à Vienne 2017/2018

Sur les pistes cyclables, on utilise de la saumure (du chlorure de sodium à une concentration de 20 %) comme fondant routier, aucun abrasif ou sable n'est utilisé. Les avantages de la saumure sont une plus grande sécurité de circulation pour les cyclistes par rapport au gravier, un meilleur dosage

et une meilleure distribution. De plus, la saumure adhère mieux à la surface et n'est pas appliquée sur les bords des pistes cyclables. Avec les nouveaux petits tracteurs, 13 installations de mélange de saumure semi-mobiles assurent la disponibilité des ressources nécessaires.



*Illustration 27 : Tracteur avec remorque à saumure pour l'épandage d'une piste cyclable près du Riesenrad à Vienne © City of Vienna, Municipal Department 48''*

L'un des inconvénients de l'utilisation de saumure seule est la limitation du rayon d'action en raison de la capacité limitée des engins. De plus, la vitesse maximale des petits tracteurs est plutôt lente, ce qui signifie qu'il faut beaucoup de temps pour se rendre au prochain dépôt et remplir les réservoirs de saumure. C'est pourquoi la distance entre la zone d'épandage et la station de saumure doit être réduite autant que possible. La solution à ce problème a été l'utilisation d'installations de mélange de saumure semi-mobiles dans les locaux existants, avec une salle de repos, une cuisine et un vestiaire pour les employés si la zone d'épandage est trop éloignée du prochain dépôt. Chaque centrale de mélange de saumure peut produire 1 200 litres de saumure à la fois, qui sont par la suite utilisés par les tracteurs desservant les pistes cyclables ou les voies cyclables.



*Illustration 28 : Installation de mélange de saumure semi-mobile à Vienne © City of Vienna, Municipal Department 48''*

Dans l'ensemble, les résultats de l'application de saumure à l'aide d'une rampe d'épandage sont très encourageants, car la distribution est très continue malgré l'absence du trafic. Avec des températures très basses, la capacité de décongélation de la saumure diminue. Pour compenser les limitations physiques du sel, un raclage de très haute qualité est alors nécessaire.

La meilleure façon d'examiner objectivement les résultats est les sondages où l'on demande à l'opinion publique de se prononcer. Lorsqu'on leur a demandé si la qualité de l'entretien hivernal des pistes cyclables a été améliorée jusqu'à l'hiver dernier, 60 % ont répondu « oui » et seulement 5 % ont répondu « non » (voir Illustration 4). La réaction du public par rapport à un système avec un réseau principal et l'utilisation de saumure est positive et les futures pistes cyclables dans les nouvelles zones en construction à Vienne seront intégrées dans ce système.

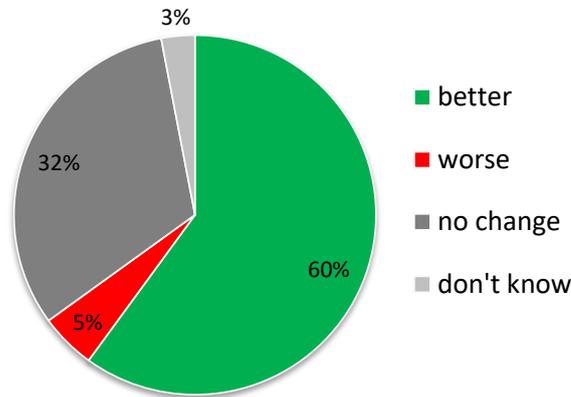


Illustration 29 : Résultats du sondage pour la question : « Pensez-vous que l'entretien hivernal des pistes cyclables et des voies cyclables ont été améliorées au cours des dernières années » à Vienne.

#### 4.6 ÉDUCATION ET FORMATION DU PERSONNEL

En Autriche [Heimo.maier-farkas@asfinag.at], la société ASFINAG (l'exploitant autrichien du réseau autoroutier et autoroutier) planifie, finance, entretient et gère les péages de l'ensemble du réseau autoroutier autrichien couvrant au total plus de 2 200 kilomètres dans toutes les provinces fédérales. Cela comprend aussi 340 kilomètres par sens pour les tunnels et 340 kilomètres par sens pour les ponts. Plus précisément, 43 centres d'exploitation et d'entretien d'autoroutes avec environ 1 200 employés assurent 24 heures sur 24 que les autoroutes et voies rapides soient exemptes de neige et en bon état pour les usagers de la route.



Illustration 30 : Entretien hivernal sur plus de 2 200 km de réseau autoroutier en Autriche © Asfinag

Les exigences d'exploitation en termes d'économie, d'efficacité et d'utilisation d'équipements techniques ont augmenté ces dernières années, en même temps que les besoins du personnel en matière de services hivernal qui ont augmenté de façon considérable. Ces développements et changements continus posent les mêmes défis aux gestionnaires d'entretien hivernal qu'aux intervenants.

Depuis plusieurs années, ASFINAG est certifiée ISO 9001, ce qui lui permet de garantir des conditions de travail saines et sûres. En outre, la raison sociale d'ASFINAG, l'exploitation et l'entretien du réseau routier sont organisés selon des processus conformes à la norme ISO ainsi qu'aux autres lois, réglementations et normes techniques nationales. Ces règlements et ces normes constituent la base de la formation et de l'éducation du personnel en termes de contenu. Outre la définition du contenu et les informations sur l'exploitation des routes d'hiver à transmettre aux agents, l'approche pédagogique et la manière d'y parvenir sont de la plus haute importance. L'exemple d'ASFINAG en tant que meilleure pratique de formation des agents et du personnel d'entretien, y compris sur l'utilisation des traitements au sel et à la saumure sur les autoroutes et les voies express autrichiennes, est expliqué ci-après.

En premier lieu, ASFINAG définit son activité hivernale selon des processus bien définis appelés Préparation et mise en œuvre du service hivernal. Les deux processus définissent toutes les tâches qui concernent le service hivernal sur les autoroutes autrichiennes. En ce qui concerne l'éducation et la formation du personnel, chaque année deux ateliers de formation d'une demi-journée ont lieu sur ces processus.

Chaque année, en particulier avant le début des opérations de viabilité hivernale, soit en octobre ou novembre, tous les agents doivent se présenter et sont formés selon les processus définis. Le contenu de ces formations porte sur tous les aspects de la viabilité hivernale selon le processus général. Toutefois, en fonction de la situation géographique ou de l'équipement disponible, des précisions sont réalisées.

La formation semestrielle est assurée par le responsable régional du département, assisté du responsable des installations d'exploitation et de maintenance, des gestionnaires de flotte de l'entreprise ou des experts techniques d'entreprises externes qui fournissent les ESH et unités de fabrication de saumure. Les présentations se font en petits groupes, car il est encore difficile de convaincre tous les agents malgré l'implication de tous les formateurs.

Le contenu typique d'une telle formation dans le cadre de l'enseignement semestriel est :

- Les processus de préparation au service hivernal et sa mise en œuvre.
- Le manuel « ASFINAG Maintenance hivernale ».
  - Définition des interfaces avec les centres de gestion du trafic, les corps policiers, les services d'urgence et les dépanneurs pendant les interventions de service hivernal
  - Stockage des données des itinéraires parcourus et des interventions
- Les prérequis juridiques de la législation nationale ainsi que les instructions du Ministère des transports
- Principe de l'entretien hivernal des routes
  - Supervision de l'outil de prévision météorologique ASFINAG et des stations météo routières

- Utilisation du sel et de la saumure, vitesse des véhicules et justification de l'équipement
- Recommandations pour le salage préventif et le traitement à la saumure
- Recommandations pour le salage en cas d'incidents météo hivernaux et de chutes de neige
- Loi sur la protection des employés et la sécurité au travail
  - Temps de conduite, pauses et périodes de repos conformément à la législation européenne et aux réglementations nationales.
  - Les vêtements de travail et les éléments liés à la sécurité au travail

| FEUCHTSALZSTREUUNG FS 0 BIS FS 100 (KOMBISTREUER) | Winterereignis                     | Präventive Maßnahmen (vor dem Ereignis)                                                                                         |                                                                                                                           | Maßnahme während des Ereignisses | Nachlaufende Maßnahmen                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
|---------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | Trockene Fahrbahn (sehr häufig)    | Prognose:<br>- Kein Niederschlag<br>- Luftfeuchte: < 85 - 90%<br>- Luft: -30°C bis +60°C<br>- Fahrbahn: egal                    | keine Streufahrt                                                                                                          |                                  |  keine Streufahrt (ev. Kontrollfahrt mit Streuer ab 04:00 Uhr)                                                              | keine Maßnahmen                                                                     |
|                                                   | Reifglätte (sehr häufig)           | Prognose:<br>- Reifefahr/Reifbildung<br>- Luftfeuchte: > 85 - 90%<br>- Luft: < 0°C (22 - 6 Uhr)<br>- Fahrbahn: < +1°C           | 1. Streuung FS100<br>15 - 20 g/m <sup>2</sup> (präventiv) (ca. 22:00 Uhr):                                                |                                  |  1x Kontrollfahrt Streuer (ca. 04:00 Uhr)<br>2. Streuung FS50<br>5 - 10 g/m <sup>2</sup> (bei Bedarf)                       | keine Maßnahmen                                                                     |
|                                                   | (gefrierender) Regen (sehr selten) | Prognose:<br>- Regen; Schneeregen<br>- Luftfeuchte 90 - 100%<br>- Luft: < +2°C (fallend)<br>- Fahrbahn: < +1°C                  | 1. Streuung nach FB-Zustand<br>FS 50 10 - 20 g/m <sup>2</sup> (feucht)<br>FS100 25 - 30 g/m <sup>2</sup> (trocken)        |                                  |  Kontrollfahrt Streuer<br>1x alle 120 min (Eisefahr!)<br>Volleinsatz FS30 + Warnung<br>20 - 40 g/m <sup>2</sup> (FB: < 0°C) | 1x Kontrollfahrt Streuer (Fahrbahn trocken ab)                                      |
|                                                   | Leichter Schneefall (häufig)       | Prognose:<br>- Schnee < 0,5 cm/Umlauf<br>- Luftfeuchte 90 - 100%<br>- Luft: < +1 bis -2°C<br>- Fahrbahn: < +1 bis -2°C          | 1. Streuung nach FB-Zustand<br>FS100 25 - 30 g/m <sup>2</sup> (trocken)<br>FS 30 10 - 20 g/m <sup>2</sup> (Schnee auf FB) |                                  |  Räumen & Streuen FS50<br>10 g/m <sup>2</sup> (im Räumeeinsatz)<br>10 - 20 g/m <sup>2</sup> (ohne Räumen)                 | 1x Streuen FS30<br>keine (kein Restschnee)<br>20 - 30 g/m <sup>2</sup> (Restschnee) |
|                                                   | Starker Schneefall (ab und zu)     | Prognose:<br>- Schnee > 0,5 cm/Umlauf<br>- Luftfeuchte 90 - 100%<br>- Luft: -2°C und tiefer<br>- Fahrbahn: -2°C und tiefer      | 1. Streuung FS 30<br>10 - 20 g/m <sup>2</sup> (präventiv)<br>20 - 30 g/m <sup>2</sup> (Schnee auf FB)                     |                                  |  Räumen & Streuen FS50<br>10 g/m <sup>2</sup> (im Räumeeinsatz)                                                           | 1x Streuen FS30<br>keine (kein Restschnee)<br>20 - 30 g/m <sup>2</sup> (Restschnee) |
|                                                   | Überfrierende Nässe (selten)       | Prognose:<br>- Kein Niederschlag<br>- Luftfeuchte 90 - 100%<br>- Luft: < +1 °C (stark fallend)<br>- Fahrbahn: < +1 °C (fallend) | 1. Streuung FS 30<br>30 - 40 g/m <sup>2</sup> (Fahrbahn nass)                                                             |                                  |  Volleinsatz FS30 + Warnung<br>20 - 40 g/m <sup>2</sup> (FB: < 0°C)                                                       | 1x Kontrollfahrt Streuer (Fahrbahn trocken ab)                                      |

Illustration 31 : Recommandations pour le salage préventif et le traitement de la saumure pour des scénarios standardisés sur les autoroutes en Autriche

En plus de l'instruction semestrielle, il existe régulièrement des instructions séparées pour l'éducation et la formation du personnel en ce qui concerne les éléments suivants :

- Apprentissage et mise en pratique de nouveaux équipements pour le traitement de la saumure (1 x par an)
- Étalonage des équipements de salage et de traitement de la saumure (1 x par an)
- Formation des conducteurs à la sécurité avec les camions ASFINAG et les véhicules d'entretien hivernal, y compris les chasse-neige portés et le matériel de salage/saumurage (tous les 4-5 ans)
- Les nouveaux employés et travailleurs routiers sont immédiatement formés et entraînés par le responsable de l'exploitation et de l'entretien de l'installation selon les processus définis.
- Championnat autrichien de chasse-neige et plusieurs championnats au niveau régional et au niveau de l'exploitation et de l'entretien des installations offrent une formation supplémentaire à la sécurité des conducteurs.

Dans l'introduction, nous avons souligné les défis liés à la mise en œuvre de solutions d'entretien hivernal innovantes. L'expérience a montré que tout ce qui concerne la formation du personnel est un bon investissement. L'ASFINAG a décidé de travailler à l'élaboration de directives sur le service

hivernal représentatives de situations normalisées et la meilleure façon de les atténuer. Ces situations standardisées sont représentées et formalisées dans une courte vidéo couvrant tous les aspects importants et les recommandations pour le salage et le traitement à la saumure d'une manière simple et accessible. La vidéo de formation n'est pas seulement diffusée pendant les ateliers d'instruction, elle est également disponible sur les écrans tactiles des installations d'exploitation et d'entretien routier de l'ASFINAG à des fins d'autoapprentissage. La présentation dure 11 minutes et se termine par un petit quiz sur la façon de traiter les situations courantes de l'entretien hivernal.



*Illustration 32 : Diffusion et mise en œuvre avec des ateliers de formation interactifs et du vidéo de formation pour le personnel de maintenance en Autriche © Asfinag*

L'expérience a montré que la formation continue et l'éducation des agents dans les services de viabilité hivernale revêtent une grande importance. En outre, les aspects techniques, la taille et le comportement d'une organisation constituent d'autres aspects très importants qu'il ne faut jamais négliger. ASFINAG a élaboré et mis en place une approche de formation raisonnée et durable, telle que décrite ci-dessus, pour la formation continue afin d'utiliser de manière optimale les équipements modernes de traitement de la saumure pour rendre l'entretien hivernal plus efficace et efficient. Notre époque nécessite de disposer d'outils et de moyens modernes pour transmettre le contenu de la formation, c'est pourquoi les concepts de formation doivent eux aussi être développés de façon avant-gardiste et leur succès ne se dément pas.

En ce qui concerne la vidéo, les réactions ont été très positives, car elle a eu un impact durable en convainquant les membres de l'équipe qui étaient auparavant sceptiques. Elle a suscité des discussions internes sur la manière d'améliorer encore l'utilisation du traitement de la saumure sur les autoroutes et les voies rapides autrichiennes.

En Norvège [oystein.larsen@vervesen.no ; kai-rune.lysbakken@vegvesen.no], l'Administration norvégienne des routes publiques (NPRA) est responsable de l'entretien et de l'exploitation des routes nationales et départementales en Norvège au nom du gouvernement et des départements.

Avant 2003, la NPRA disposait de sa propre division de production, qui assurait le service hivernal en collaboration avec des chauffeurs de camion privé et des propriétaires de machines. Il s'agissait de personnel de service hivernal compétent, travaillant ensemble et partageant leurs connaissances, dont certains avaient une longue et précieuse expérience.

En 2003, la division de production a été séparée de la NPRA et transformée en une société nationale en concurrence avec des entrepreneurs privés. Depuis lors, tous les travaux routiers ont été externalisés et ouverts à la concurrence. Du personnel nouveau et parfois inexpérimenté a été engagé pour les travaux de service hivernal et le besoin de formation et d'éducation du personnel d'entretien s'est accru.

La NPRA a donc mis en place un cours de service hivernal obligatoire pour les responsables des nouveaux contrats d'entretien basés sur la performance. Les responsables des contrats de l'administration des routes (1-2 personnes) et les entrepreneurs (2 personnes) devraient se joindre au cours et acquérir les mêmes connaissances et la même compréhension du service hivernal avant le début du contrat. La durée normale de ces contrats est de 5 ans et 20 à 25 nouveaux contrats débutent chaque automne. Il était également exigé que les responsables de chaque contrat organisent un cours théorique similaire pour tout le personnel de service hivernal dans leurs contrats, en plus de la formation pratique et de la formation sur l'équipement utilisé dans le contrat. Cela a été réalisé avec une qualité variable et n'a pas eu beaucoup de succès. En outre, le matériel pédagogique n'était pas spécialement adapté aux opérateurs.

Après quelques années, la NPRA a donc décidé de créer un nouveau cours de service hivernal en collaboration avec les entrepreneurs et les fournisseurs, spécialement conçu pour le personnel d'entretien et les superviseurs. Un manuel scolaire et des présentations PowerPoint connexes ont été achevés en 2012 et ont ensuite été révisés en fonction de l'évolution des normes, des exigences contractuelles et des nouvelles connaissances.

Le manuel et les présentations PowerPoint portaient sur les sujets suivants :

- Exigences contractuelles et normatives
- Santé, environnement et sécurité
- Sécurité routière
- Météorologie
- Le déneigement le déglçage
- Mesure de frottement
- Matériel de sablage
- Épandage d'abrasifs
- Épandage de fondants routiers
- Autres tâches hivernales



En automne 2012, la NPRA a introduit ce nouveau cours de service hivernal qui sera organisé par la NPRA elle-même sur la base du manuel scolaire et des présentations mentionnées ci-dessus. Il s'agissait d'un cours théorique obligatoire de 3 jours avec un test à la fin, que tous les opérateurs d'hiver doivent réussir. En outre, les entrepreneurs devraient organiser une formation pratique d'une journée pour les opérateurs. Il s'agissait d'une très bonne étape pour accroître l'expertise en matière d'entretien hivernal, tant pour le personnel de la NPRA qui était responsable de la

formation que pour les entrepreneurs. Il était nécessaire que l'ANRP organise les cours parce que tous les entrepreneurs n'étaient pas encore prêts à assumer eux-mêmes la responsabilité de la formation. Les cours ont également constitué un très bon forum d'échange d'expériences entre le personnel expérimenté et inexpérimenté et entre les entrepreneurs et le personnel de l'ANRP.

Mais il s'agissait également d'une tâche longue et coûteuse tant pour l'ANRP que pour les contractants, et certains estimaient qu'il était inutile que tous les opérateurs, y compris les opérateurs expérimentés, doivent suivre un long cursus tous les cinq ans lorsqu'un nouveau contrat démarre.

Au cours de la même période, l'Administration suédoise des transports et la NPRA, en coopération avec les entrepreneurs, ont lancé un projet de compétences intitulé Scandinavian Infrastructure Competence, dont l'objectif était d'établir des exigences communes en matière de compétences et un système de vérification des compétences sur une base individuelle.

Depuis 2015-2016, ces exigences en matière de compétences de service hivernal ont été incluses dans les contrats d'entretien basés sur la performance. En Norvège, il existe différentes exigences en matière de compétences pour la gestion de l'exploitation (dirigeants et superviseurs) et pour les opérateurs (conducteurs de camions et de machines). Il existe également des exigences différentes pour les opérateurs qui épandent du sel et ceux qui n'en utilisent pas. Ils doivent tous réussir un test théorique de 40 questions (choix multiple avec 4 réponses alternatives), en fonction des compétences requises pour les trois groupes. Pour réussir le test, ils doivent avoir 75 % de bonnes réponses. S'ils échouent, ils peuvent passer un nouveau test plus tard, mais ils doivent le passer avant l'hiver. Les tests sont organisés par l'ANORP et se déroulent dans les stations de gestion du trafic local.

Selon les nouvelles exigences contractuelles, les entrepreneurs eux-mêmes sont maintenant responsables de l'éducation et de la formation de leur personnel de service hivernal, comprenant au moins une journée de formation pratique sur l'équipement de service hivernal utilisé dans le contrat. De plus, tout le personnel d'entretien doit participer à une réunion hivernale d'une journée portant sur les exigences contractuelles, la santé, l'environnement, la sécurité et la sécurité routière organisée par la NPRA avant le début de l'hiver.

L'ANRP est toujours responsable de la mise à jour du manuel d'entretien hivernal et des présentations PowerPoint, ainsi que de la production des questions pour l'examen théorique. Toutes les questions font l'objet d'un contrôle de qualité par un groupe d'experts composé de membres du personnel de l'ANRF et des contractants.

#### **4.7 SYSTEMES FIXES AUTOMATISES DE PULVERISATION**

Aux États-Unis [steven.lund@state.mn.us], le North Dakota Department of Transportation (NDDOT) a installé deux systèmes fixes automatisés de pulvérisation de fondants (FAST). Un système est installé au pont Buxton de l'Interstate 29 (I-29) (près de Buxton, ND), tandis que le second est installé au pont de la rivière Rouge de l'Interstate 94 (I-94) entre Fargo, ND et Moorhead, MN.

Une étude a été réalisée pour évaluer les deux systèmes FAST existants afin de déterminer si d'autres systèmes sont faisables. Cette étude a trois objectifs principaux : 1) décrire le fonctionnement des systèmes FAST ; 2) documenter le rendement des systèmes actuels du NDDOT

FAST en ce qui concerne le traitement des tabliers du pont ; et 3) analyser les avantages et les coûts des systèmes.

Les deux systèmes FAST du Dakota du Nord sont exploités et entretenus par le NDDOT — District de Fargo. La courbe d'apprentissage de ces systèmes étant très resserrée, l'aide des fournisseurs a été très importante au cours de la première saison hivernale. Depuis l'installation au pont Buxton en 2002, le personnel du district a acquis une expérience précieuse avec ces systèmes. Le personnel du district de Fargo pense que les deux systèmes FAST sont très efficaces pour traiter les structures du pont, surtout en cas de gel, qui se produit pendant plusieurs semaines à l'automne et au printemps. De plus, le givre se forme habituellement tard le soir ou tôt le matin, ce qui est en dehors des heures normales d'opération pour le personnel de maintenance. Le personnel du district est également satisfait de la capacité du système à traiter les conditions de verglas.

Les deux systèmes fonctionnent comme prévu en termes de pulvérisation au bon moment, d'application de la bonne quantité d'agent chimique et d'obtention de la bonne pression du système. De plus, le district estime que les deux systèmes sont fiables à au moins 95 %. Bien que les deux systèmes NDDOT FAST fonctionnent très bien dans l'ensemble, ces systèmes ont certaines limites, notamment de ne pas pulvériser lorsque le vent est supérieur à 15 mi/h et lorsque la température de la chaussée tombe sous les 12oF.

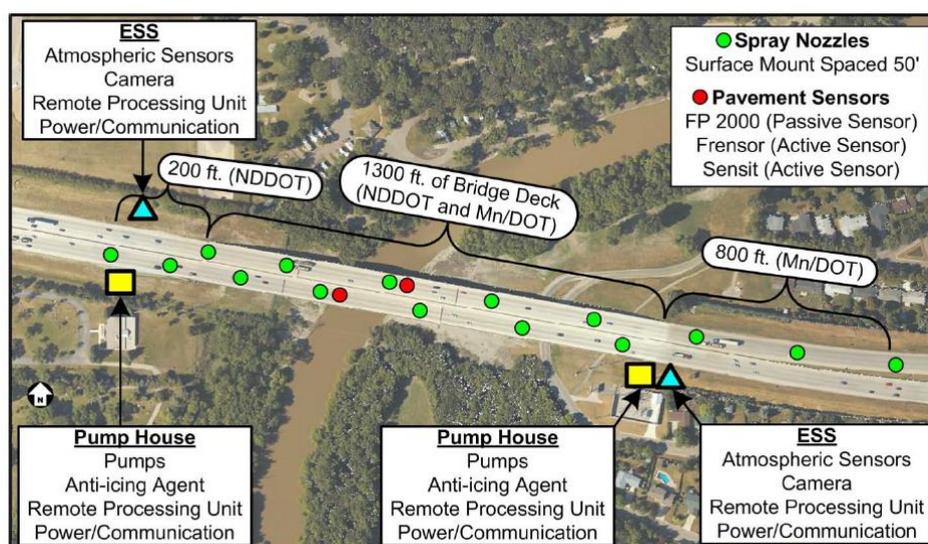


Illustration 33 : Composants du système FAST de la rivière Rouge dans le Dakota du Nord (États-Unis)

Une réduction importante des accidents a été observée aux deux endroits après l'installation des systèmes FAST. Le système FAST du pont Buxton a permis une réduction totale des accidents de 66 %. Les collisions liées aux dommages matériels ont été réduites de 62 % et les collisions entraînant des blessures ont été réduites de 75 % (6,5 saisons d'hiver avant et 5,5 saisons d'hiver après la mise en œuvre). Ces réductions d'accidents ont contribué au retrait de ce lieu d'accident de la liste des lieux d'accident les plus fréquents (point noir), où il s'était toujours classé parmi les cinq premiers. Le pont de la rivière Rouge a également connu une réduction des collisions après l'installation du système FAST. Les réductions d'accidents combinées pour les systèmes du Minnesota et du Dakota du Nord ont permis d'observer une réduction totale des accidents de 50 % (9,5 saisons d'hiver avant et 2,5 saisons d'hiver après la mise en œuvre).

Les analyses coûts-avantages ont donné des résultats favorables pour les deux installations du système FAST. Les principaux avantages des systèmes FAST sont liés à la réduction des coûts sociétaux (résultant des accidents de véhicules) et des coûts des agences de transport (activités d'entretien). Les coûts des systèmes FAST comprennent la mise en œuvre initiale, les produits chimiques d'antigivrage et l'entretien annuel. L'analyse avantages-coûts du système FAST du pont Buxton a fourni un ratio avantages-coûts de 4,3 avec un avantage net de 1 257 869 \$. L'analyse avantages-coûts du système FAST du pont de la rivière Rouge a donné un ratio avantages-coûts de 1,3 et un avantage net de 675 184 \$.

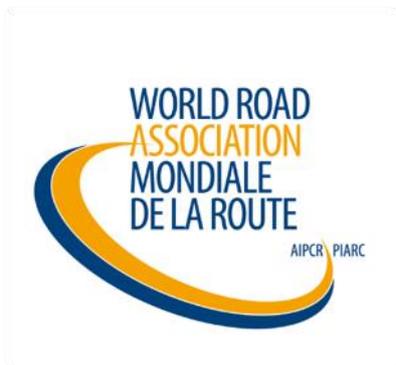
Les deux installations du système ND FAST semblent fonctionner comme prévu, d'après les commentaires du personnel du NDDOT — District de Fargo et des résultats des analyses avantages-coûts. Plusieurs facteurs contribuent à la réussite de ces systèmes, comme le choix de l'emplacement approprié pour les systèmes FAST (principalement en fonction des données sur les accidents en hiver) et la présence d'un personnel compétent et dévoué pour aider à la conception et à la mise en œuvre du système, pour surveiller son fonctionnement et pour effectuer les procédures de maintenance requises.

## 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Partout dans le monde, des projets scientifiques et des approches pratiques sont menés concernant les fondants routiers et leur application. Parmi les différents projets présentés, deux constatations principales ont été faites indépendamment l'une de l'autre. L'utilisation de la saumure, que ce soit par l'application de sel préhumidifié ou de saumure, a été un succès. En particulier pour les traitements préventifs, la saumure a convaincu les utilisateurs.

Aussi, l'étude des méthodes d'application montre que la saumure est de plus en plus utilisée ces dernières années dans le monde entier, en particulier pour des actions préventives. Cette tendance se poursuivra au cours des prochaines années. En plus de l'épandage pré-humidifié, il existe la méthode standard d'entretien hivernal pour les actions curatives, en particulier en cas de chute de neige. Tous les pays utilisent la pré-humidification, la plupart depuis de nombreuses années et ces pays ont donc beaucoup d'expérience. Des expériences très positives ont été signalées dans les pays en ce qui concerne l'épandage préventif, l'épandage de saumure et l'épandage pré-humidifié. Grâce à ces méthodes, la viabilité hivernale pourra faire un pas de plus dans la lutte contre la neige et la lutte contre le verglas les accidents et les congestions, tout en réduisant les quantités de sel et l'impact écologique.





*Copyright by the World Road Association. All rights reserved.*

*World Road Association (PIARC)*

*La Grande Arche, Paroi Sud, 5e étage, F-92055 La Défense cedex*

*ISBN : 978-2-84060-513-3*