

EFFICACITÉ DES DIVERS SELS FONDANTS

Dr. Franz Goetzfried

Suedwestdeutsche Salzwerke AG, Salzgrund 67, 74076 Heilbronn

TEL.: 0049-7131-959-218, FAX: 0049-7131-959-290, e-mail: franz.goetzfried@salzwerke.de

et

Horst Badelt

Institut Fédéral de Recherches Routières (BASt), Filiale de Inzell, Bauhofstr. 2, 83334 Inzell

TEL.: 0049-8665-9884-17, FAX: 0049-8665-9884-32, e-mail: bast.inzell@t-online.de

1. Sommaire

L'élimination du verglas sur la chaussée exige une certaine quantité de sels fondants selon la quantité de la neige ou de la glace. En raison d'un manque de connaissances à ce propos, il n'existe que des recommandations très imprécises concernant le taux d'épandage à observer à l'intention du personnel du service hivernal. Le taux d'épandage dépendra de facteurs entre lesquels peuvent exister de nombreuses interactions. Ces facteurs principaux sont les suivants:

- Verglas existant
- Situation et l'état de la chaussée
- Facteurs météorologiques
- Circulation
- Technique d'épandage
- Qualité des sels de déneigement

Pour apprécier le facteur constitué par la qualité du sel fondant sur la base d'essais de laboratoires reposant sur le procédé de la plaque verglas, méthode utilisée à Inzell, l'Institut Fédéral des Recherches Routières a déterminé la capacité de fusion des sels fondants suivants:

- Chlorures de sodium dans les différentes fractions granulométriques
- Chlorure de calcium
- Solutions contenant du chlorure de sodium, du chlorure de calcium et de magnésium.

4 grammes du sel fondant respectif à l'état sec et 4 grammes de sels fondants dans une solution aqueuse à 20% ont été placés sur des plaques de glace de dimensions 24x18x3 cm. Après une durée d'action prédéfinie à des températures et des degrés d'humidité différents, la quantité de glace fondue ainsi que le sel antigel sont enlevés de la plaque de glace. La différence entre la masse de glace avant et après l'opération permet de définir la capacité de fusion. Les résultats mettent en évidence, entre autres, les propriétés suivantes des différents matériaux:

- Pour toutes les substances utilisées, la capacité de fusion diminue lorsque la température baisse. Comparée à la capacité de fusion atteinte à une température de -2°C , la capacité de fusion diminue d'environ 20 à 25 % à une température de -15°C .
- Les chlorures de sodium grossiers (Fraction granulométrique $>2,5-3,15$ mm) réagissent nettement plus lentement que les chlorures de sodium à grains fins (Fraction granulométrique <2 mm).
- Les chlorures de sodium à grains fins (Fraction granulométrique de 0,8 à 1,0 mm) ne donnent pas non plus des résultats inférieurs, même à des températures de -15°C , à ceux des chlorures de calcium d'usage pour le service hivernal.
- L'humidité de l'air n'influence les résultats que dans une très faible mesure.
- S'il est vrai que le chlorure de sodium préhumidifié donne de moins bons résultats en laboratoire que le chlorure de sodium sec, il est toutefois plus efficace parce qu'il peut être beaucoup mieux réparti sur la chaussée. De plus, il est possible de réduire à un minimum, les pertes imputables au fait que les grains rebondissent et sont projetés à côté de la chaussée.

2. Introduction

Dans la République Fédérale Allemande, caractérisée par un trafic très intense, les embouteillages et les entraves à la circulation imputables au verglas conduisent à des pertes importantes sur le plan économique. C'est pourquoi les services de la voirie s'efforcent d'éviter la formation de verglas ou de l'éliminer rapidement en déployant des moyens importants. L'emploi de sels fondants s'est avéré, en corrélation avec l'évacuation mécanique de la neige et du verglas, bien plus efficace que l'utilisation d'abrasifs routiers.

Une certaine quantité de sel fondant est nécessaire selon la quantité de neige ou de glace. Cependant, en raison d'un manque de connaissances en la matière, il n'existe que des recommandations très imprécises à l'intention du personnel du service hivernal quant au taux d'épandage.

Les épandages de sels importants occasionnent des coûts élevés et peuvent aussi conduire à des pollutions qui devraient être évitées, surtout dans les villes.

Le comportement des différents sels antigels a fait l'objet de recherches détaillées en laboratoire. Les résultats devraient permettre de donner à l'utilisateur des recommandations plus exactes conduisant à des économies de fondants routiers.

3. Sel routiers déterminant le taux d'épandage nécessaire

Le taux d'épandage dépend des facteurs principaux suivants qui, à leur tour, peuvent, dans une large mesure, s'influencer réciproquement:

- Verglas existant (Type et quantité)
- Situation et état de la chaussée
- Influences météorologiques (Température, humidité de l'air, précipitation, vent)
- Circulation (Nombre et vitesse des véhicules)
- Technique d'épandage (Répartition des fondants et abrasifs routiers)
- Qualité des fondants (Composition chimique, grosseur des grains et préhumidification des matériaux secs)

4. Sel routiers utilisés en Allemagne

En Allemagne, on utilise seulement le chlorure de sodium, le chlorure de calcium et de magnésium comme fondants:

Le chlorure de sodium (Teneur de NaCl > 96 %) est le sel fondant le plus utilisé en raison de son coût réduit. Le chlorure de calcium (Teneur de CaCl₂ 79 %) est utilisé sporadiquement pour lutter contre le verglas comme fondant solide dans le cas de températures extrêmement basses. Le chlorure de magnésium n'est pas utilisé comme sel fondant à l'état solide.

Le chlorure de sodium est surtout utilisé sous deux formes principales:

- Le sel gemme (Proportion en Allemagne > 95 %) à grains fins (Grosseur des grains < 2 mm) et à gros grains (Grosseur des grains allant jusqu'à 5 mm au maximum)
- Sel raffiné (Sel à grains fins, grosseur des grains < 1 mm)

Le procédé du sel préhumidifié est mis en œuvre la plupart du temps, le chlorure de sodium est alors humidifié sur le plateau de dispersion de l'épandeuse à l'aide d'une solution. En général le rapport est le suivant : 70 % du poids est constitué par le matériau sec, 30% du poids par la solution. Les trois chlorures sont utilisés pour la production de solutions aqueuses.

Il existe des avis divergents aussi bien pour ce qui est des avantages et des inconvénients des chlorures de sodium à gros grains ou à grains fins que pour ce qui est des questions concernant leur efficacité respective.

5. Détermination de la capacité de fusion

La capacité de fusion des fondants est déterminée en Allemagne depuis de nombreuses années à l'Institut Fédéral des Recherches Routières à l'aide du procédé de la plaque de glace, une méthode utilisée à Inzell.

Dans ce procédé on applique, dans une chambre froide (Dimensions: 8 m x 6 m x 2,2 m), un échantillon représentatif de 4 gr du sel à analyser sur une plaque de glace de dimensions 24x18 cm et d'une épaisseur d'environ 3,5 cm. Le fondant agit pendant une durée prédéfinie et à une température prédéfinie. Ensuite le fondant et la glace fondue sont enlevées de la plaque. La quantité de glace fondue est représentée par la différence de poids de la plaque avant et après l'opération. Les valeurs permettant de déterminer la capacité de fusion seront définies comme le poids de la glace fondue par gramme de sel utilisé.

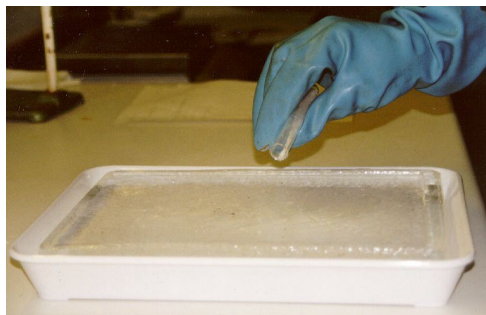


Illustration 1: Epandage de sel sec sur la plaque de glace

Les examens effectués pour les fournisseurs de sels fondants et les services de la voirie sont réalisées à des températures de -2°C et -10°C moyennant une durée d'action respective de 10 et 60 min. L'humidité de l'air s'élève à 60%. Les fondants solides sont toujours utilisés à l'état sec. La précision du procédé est de $\pm 5\%$ pour les solvants solides.

En plus des examens standard, des études approfondies ont été réalisées à des températures, des degrés d'humidité de l'air et des durées d'action différents.

6. Résultats

6.1 Comparaison des chlorures de sodium dans les différentes fractions granulométriques

Des échantillons de 4gr prélevés spécialement pour ces recherches ont été utilisés dans les fractions granulométriques suivantes: 0,16 – 0,4 mm, 0,8 – 1,6 mm, 1,6 – 2,0 mm, 2,5 – 3,15 mm, 3,15 – 4,0 mm, 4,0 – 5,0 mm

A moins que d'autres indications ne soient fournies à ce propos, les essais ont été effectués à un degré d'humidité relative de l'air de 60%.

6.1.1 Capacité de fusion en fonction de la durée d'action

Au bout de 10 minutes de durée d'action les chlorures de sodium à grains fins montrent une capacité de fusion nettement supérieure comparée à celle des chlorures de sodium à gros grains. Les différences diminuent lorsque la durée d'exposition augmente (Figure 1). Ce comportement s'explique par le fait que les grains de sel plus fins offrent une surface de contact nettement plus grande.

Lors de ces essais, les gros grains s'enfoncent dans la plaque si bien que la surface de contact avec la glace augmente considérablement. Les gros grains s'enfoncent dans la plaque et la traversent au bout d'un certain temps. La solution aqueuse qui se forme peut aussi dissoudre, par en dessous, la glace se trouvant sur la chaussée, si bien que celle-ci est rapidement projetée sur le bas-côté de la route par les pneus de voiture. Toutefois, les couches de glace n'ont, pour la plupart du temps, que quelques dixièmes de millimètres d'épaisseur. C'est pourquoi l'efficacité des gros grains de sel devrait être moindre que celle qui apparaît lors des essais effectués selon le procédé de la plaque de glace.

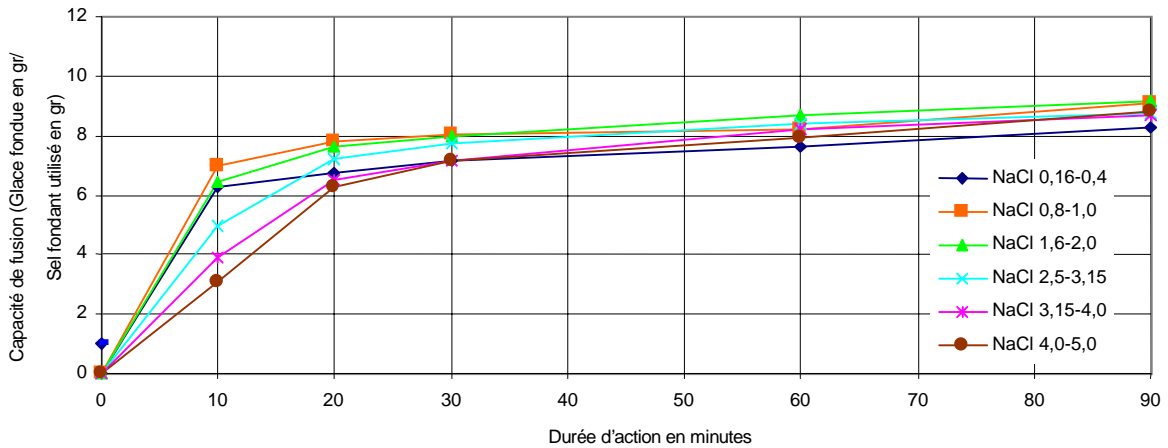


Figure 1: Capacités de fusion des chlorures de sodium de différentes fractions granulométriques pour une température de la plaque de glace de -5°C en fonction de la durée d'action

6.1.2 Capacité de fusion en fonction de la température de la glace

La capacité de fusion dépend pour une grande part de la température de la glace. Plus la température de la glace est basse et plus la capacité de fusion baisse parce que l'énergie cinétique des ions de sels en solution aqueuse diminue nettement et par conséquent leur propension à se mélanger. C'est ainsi, par exemple, que, comparée aux résultats obtenus à une température de -2°C , la capacité de fusion des chlorures de sodium à grains fins pour une durée d'action de 10 minutes diminue de moitié environ à une température de -10°C et tombe jusqu'au tiers à -15°C .

Comparée à la capacité de fusion des chlorures de sodium à grains fins (0,8-1,0 mm) la capacité de fusion des chlorures de sodium à gros grains (4,0-5,0 mm) pour une durée d'action de 10 minutes diminue encore plus rapidement. Si ces derniers atteignent encore à peu près 50% de la capacité de fusion des chlorures de sodium à grains fins à -2°C , au bout de 10 minutes de durée d'action, ils tombent à environ 35% pour une température de -10°C et à moins de 25% pour une température de -15°C . Ces résultats s'expliquent par la différence de comportement des grains de grosseurs différentes sur la plaque de glace.

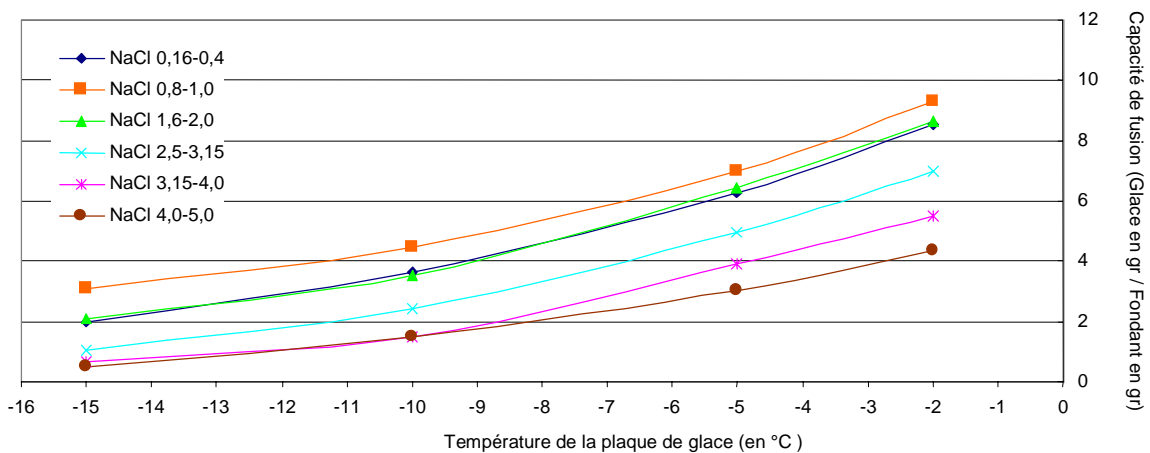


Figure 2: Capacité de fusion des chlorures de sodium de différentes fractions granulométriques au bout de 10 minutes de durée d'action en fonction de la température de la plaque de glace

6.1.3 Capacité de fusion en fonction de l'humidité de l'air

Très souvent les utilisateurs sont d'avis que l'efficacité initiale des fondants augmente nettement avec l'humidité de l'air.

Les résultats fournis par le procédé de la plaque de glace (méthode utilisée à Inzell) obtenus à un degré d'humidité relative de l'air allant jusqu'à 70% ne permettent pas de confirmer cette conception (Figure 3). Les capacités de fusion des différents chlorures oscillent dans les limites de la précision de la mesure. De manière générale, on peut distinguer une tendance : la capacité de fusion augmente légèrement en corrélation avec l'augmentation de l'humidité relative de l'air. Toutefois cette augmentation peut être négligée pour les applications pratiques. Il n'existe pas de résultats concernant les degrés d'humidité relative de l'air très élevés.

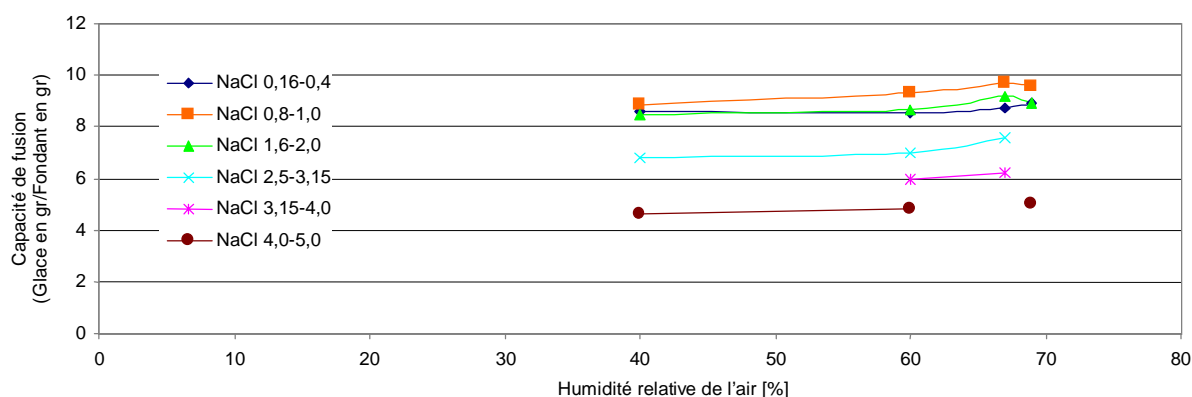


Figure 3: Capacités de fusion des chlorures de sodium dans différentes fractions granulométriques pour une température de la plaque de glace de -2°C au bout de 10 minutes de durée d'action en fonction de l'humidité relative de l'air

6.2 Comparaison de solutions aqueuses de sels fondants avec les chlorures de sodium et les chlorures de calcium l'état solide

Des solutions aqueuses de 20% de chlorures de sodium, de chlorures de calcium et de magnésium ont été utilisées pour ces essais. 20 grammes des solutions respectives ont été appliqués sur la plaque de sorte à ce que 4 gr agissent aussi lors de ces essais. Pour faire les comparaisons, on a utilisé quatre échantillons de 4gr d'une fraction granulométrique fine (0,8-1,0 mm) et 4gr d'une fraction granulométrique grossière de chlorures de sodium ainsi qu'un chlorure de calcium d'usage dans le commerce de 79%.

Lorsque les températures baissent, les capacités de fusion des solutions aqueuses tombent nettement au bout de 10 minutes de durée d'action comparées à celle du chlorure de sodium à grains fins (figure 4). Au-dessous de -10°C , l'utilisation de solutions aqueuses comme fondant unique n'est pas recommandable. Lors de l'essai destiné à déterminer la capacité de fusion d'une solution aqueuse de chlorure de sodium à -19°C , la solution elle-même a gelé. Le poids de la plaque a augmenté.

Les capacités de fusion des formes solides sont supérieures à celle des solutions parce que l'eau de la solution contracte une liaison avec la glace dans la recherche de l'équilibre entre la glace et la solution.

Les solutions aqueuses atteignent presque leur entière capacité de fusion à des températures situées au-dessous de -10°C dès que 10 minutes de durée d'action sont écoulées (Comparer les figures 4 et 5).

Par rapport aux chlorures de sodium et de calcium à grains fins, il n'existe pas de grandes différences jusqu'à une température de -15°C . C'est seulement à partir de températures plus basses que le chlorure de calcium solide permet de faire fondre des quantités de glace nettement plus importantes.

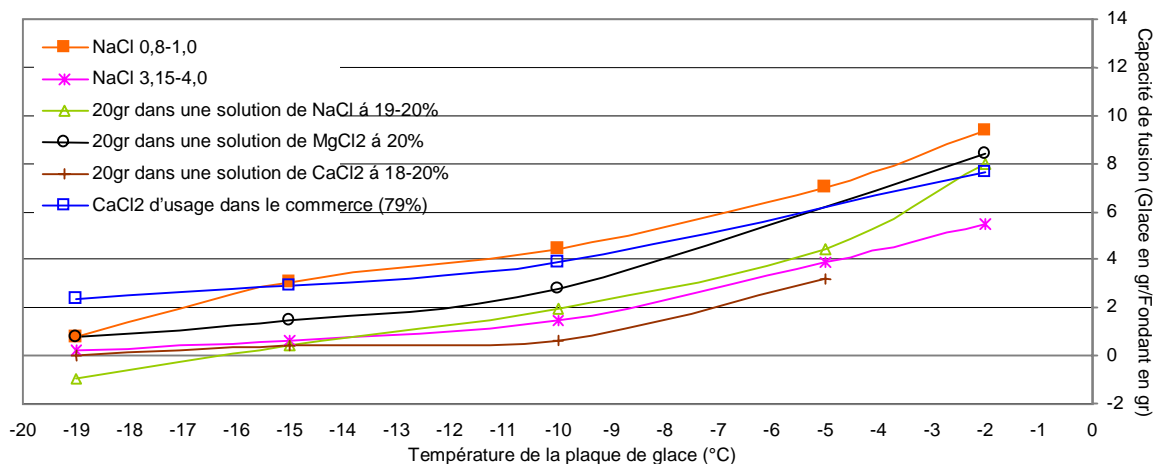


Figure 4: Capacités de fusion de solutions aqueuses de sels fondants par rapport au chlorure de sodium et de calcium sous forme solide au bout de 10 minutes de durée d'action en fonction de la température de la plaque de glace

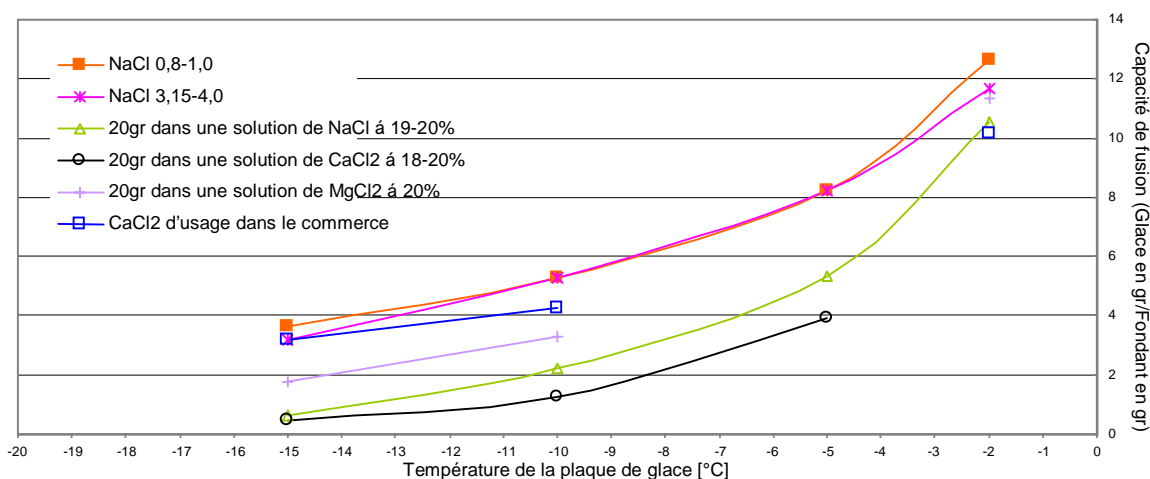


Figure 5: Capacités de fusion de solutions aqueuses de sels fondants par rapport au chlorure de sodium et de calcium sous forme solide au bout de 60 minutes de durée d'action en fonction de la température de la plaque de glace

6.3 Capacité de fusion des chlorures de sodium préhumidifiés

L'idée selon laquelle les chlorures de sodium préhumidifiés réagissent nettement plus vite que les chlorures de sodium secs est largement répandue. Les essais effectués selon le procédé de la plaque de glace montrent toutefois que la réaction de fonte résultant de l'utilisation de sels secs commence dès l'épandage. Un petit amas de sel qui se forme sur la plaque de glace ne peut plus être dispersé au bout de quelques secondes. Le sel humide reste collé sur la surface de l'objet utilisé pour le répartir.

Les échantillons utilisés pour ces essais étaient constitués de 2,8 grammes de chlorure de sodium sous la forme de sels raffinés qui avaient été préhumidifiés à l'aide d'une solution aqueuse respective de 20% contenant 1,2 grammes. Le contenu total de sel était ainsi de x grammes par échantillon. (Réalisation des essais, cf. illustrations 2-4)

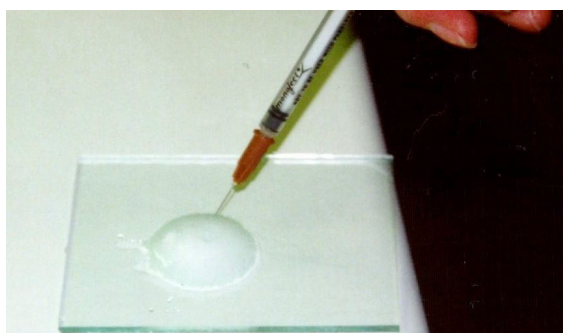


Illustration 2: Préhumidification du chlorure de sodium sec par une solution aqueuse sur une plaque de verre



Illustration 3: Application du sel pré-humidifié sur la plaque de glace



Illustration 4: Répartition du sel préhumidifié sur la plaque de glace à l'aide d'une spatule dentée

Compte tenu des tolérances du procédé, le chlorure de sodium sec ne montre pas de capacités de fusion inférieures à celles du chlorure de calcium contenant 1% d'humidité au moment de la livraison. Ils sont égaux à peu de chose près. Les deux matériaux réagissent immédiatement sur la plaque de glace (Tableau 1).

Fondant	Capacité de fusion [Glace en gr / Fondant en gr]
Chlorure de sodium sec	5,23
Chlorure de sodium dans l'état de la livraison (1% d'humidité env.)	5,29
Chlorure de sodium sec avec une part de solution aqueuse à 30% de NaCl (FS30)	4,38

Tableau 1: Capacités de fusion de sel raffiné à différents degrés de préhumidification (-6°C, 10 min.)

Comparés aux deux autres formes de chlorure de sodium, les échantillons obtenus après mise en œuvre du procédé FS30 n'atteignent que 83% de la capacité de fusion. Reporté à la quantité de chlorure de sodium utilisée (76%) la capacité de fusion est un peu plus élevée que pour les autres formes. Le figure 6 montre que le type de sel utilisé dans la solution n'est pas important (NaCl, MgCl₂, CaCl₂).

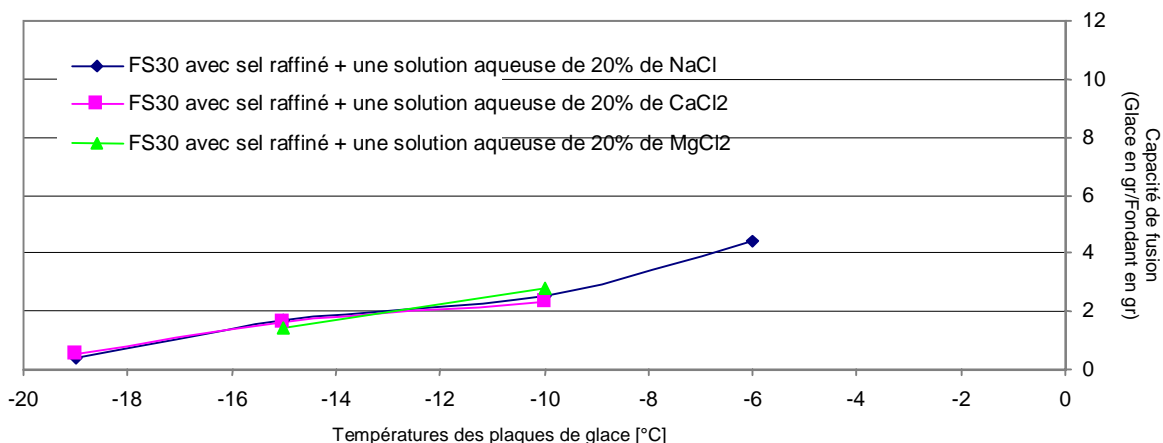


Figure 6: Capacité de fusion de différents chlorures de sodium préhumidifiés au bout de 10 minutes de durée d'action en fonction de la température de la plaque de glace

7. Essais calorimétriques

La rapidité de la réaction de fonte de sels fondants secs peut être facilement mise en évidence dans un récipient à isolation thermique (calorimètre). Dans un récipient (Volume environ 2 l) on mettra 200 grammes de grains de glace d'un diamètre de < 2mm. Après avoir réglé le calorimètre à une température constante, on mélangera à la glace en agitant des échantillons de 4 grammes provenant des différents types de chlorures. Lors de ce processus entièrement automatisé la température de la glace est mesurée et enregistrée.

Dans le calorimètre la température tombe en raison de l'absorption de chaleur résultant du processus de fonte. Le tableau 10 montre, à partir de l'évolution de la température, que la réaction commence déjà quelques secondes après l'ajout de sel et est déjà terminée quelques minutes plus tard. Dans le cas de chlorures de sodium à grains fins, (Fraction granulométrique < 2 mm), la température tombe plus vite au début de la réaction qu'avec des chlorures de sodium à gros grains (Fractions granulométriques allant jusqu'à 5 mm). Cet effet s'explique ici encore une fois par la grandeur de la surface de réaction. Après écoulement d'une certaine durée nécessaire à la compensation des températures dans le calorimètre, les températures finales atteintes par les chlorures de sodium à grains de grosseurs différentes sont à peu près les mêmes.

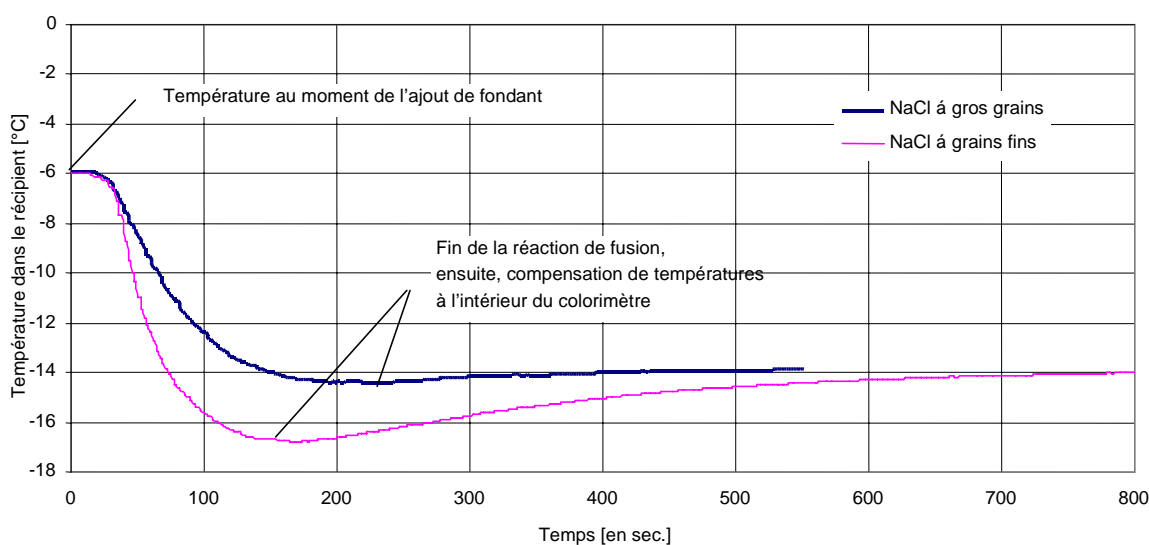


Figure 7: Evolution des températures dans un calorimètre après avoir ajouté 4 grammes de chlorure de sodium à grains fins ou 4 grammes de chlorure de sodium à gros grains à 200 grammes de glace finement moulue

8. Avantages de l'épandage de sels préhumidifiés

Pour quelles raisons l'épandage de sels préhumidifiés atteint-il quand même une efficacité plus grande que l'épandage de sels secs ?

Lorsqu'on observe le processus d'épandage, on remarque clairement que les fondants avec les fractions granulométriques caractérisées par de petits grains sont nettement emportées par le vent. (Illustration 5). Ceux-ci ne tombent pas, comme souhaité, finement répartis sur la chaussée, même si celle-ci est mouillée. Ils sont emportés sur le bas côté avant d'atteindre la chaussée ou bien sont répartis inégalement. Cet effet augmente encore avec la vitesse du véhicule.



Illustration 5: Epandage de sel sec (Sel salin à grains fins, environ 30 g/m² à environ 50 km/h)

Dans le cas de fractions granulométriques plus grossières, cet effet n'est pas aussi marqué. Les grains les plus gros tombent sur la voie et rebondissent ou encore roulent comme des balles.

Que se passe-t-il lorsque des grains de fraction granulométrique fine sont humidifiés ?

Les grains fins sont humidifiés sur le plateau d'épandage. Plusieurs grains s'agglomèrent de manière assez lâche. Pendant la phase de vol ces grains agglomérés possèdent une masse plus élevée et sont ainsi moins sensibles aux effets du vent. En touchant la chaussée ils rebondissent moins en raison de leur forme plus plate. La circulation répartit alors les grains finement de sorte à ce qu'ils puissent agir sur la chaussée dans sa totalité.

Pour qu'une humification effective soit possible, il est nécessaire que les grains de sel soient coulables. Les grumeaux de chlorure de sodium ne peuvent être extraits du silo de sel du véhicule d'épandage et répartis sur la chaussée que d'une manière très inégale. C'est pourquoi le chlorure de sodium doit avoir seulement une humidité initiale réduite. Plus la grosseur des grains est faible, plus la teneur en eau de chlorure de sodium doit être réduite pour que la coulabilité soit suffisante.

Les grains de sels antigels préhumidifiés adhèrent mieux une fois tombés sur la chaussée et sont, pour cette raison, rejetés moins vite sur le bas côté par la circulation.

Ainsi l'inconvénient que présente la moindre capacité de fusion du sel préhumidifié est compensée : les pertes dues au vent lors de l'épandage sont moins élevées, la circulation ne projette plus aussi facilement les grains sur le bord de la voie. Comme l'utilisation de sel préhumidifié permet d'obtenir le même taux d'épandage en utilisant 25% de moins de sel fondant, la technologie du sel préhumidifié est moins polluante.

9. Conclusions pour la pratique

Compte tenu des résultats on peut faire les assertions suivantes pour la pratique:

- Dans le cas de couches de glace minces, les chlorures de sodium fin d'une grosseur de grain allant jusqu'à 2 mm agissent beaucoup plus vite que les sels à gros grains. C'est pourquoi les chlorures de sodium à grains fins devront aussi être recommandés pour un épandage préventif.
- Dans le cas de basses températures, il sera nécessaire de recourir à des taux d'épandage nettement plus élevés comparés à ceux utilisés lorsque la température est légèrement au-dessous de 0°C.
- Jusqu'à une température de -15°C l'utilisation de chlorure de calcium ne présente pas d'avantages comparée à celle du chlorure de sodium à grains fins. Dans plusieurs cas il n'est donc pas nécessaire de recourir au chlorure de calcium plus onéreux.
- L'humidité de l'air joue un rôle négligeable pour la détermination du taux d'épandage.
- Le type de la solution aqueuse (NaCl, CaCl₂ ou MgCl₂) n'a pas d'influence sur la capacité de fusion lors de l'épandage de sels préhumidifiés.
- Le chlorure de sodium préhumidifié atteint dans les conditions de laboratoire des résultats inférieurs à ceux du chlorure de sodium sec, toutefois il est plus efficace parce qu'il est moins susceptible d'être emporté par le vent ou d'être projeté hors de chaussée par la circulation.
- Le déverglaçage réalisé à l'aide de solutions aqueuses de sels exige des taux d'épandage (g/m²) plus élevés et peut être utilisé tout plus jusqu'à des températures allant jusqu'à -10 °C (épandage préventif, gel, glace de faible épaisseur).

Les connaissances obtenues devraient permettre de mieux optimiser le taux d'épandage que par le passé et de rendre ainsi le service hivernal moins cher et moins polluant. Les recommandations correspondantes ont été reprises dans les dispositifs réglementaires concernant l'achat de fondants et d'abrasifs routiers.

Références

- Badelt, H.; Moritz, K.;
Herpertz, St.; Häusler, G. Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur Ermittlung der Wirksamkeit von Tausalzen, Compte rendu final du projet de l'Institut Fédéral de Recherches Routières N° 87612, Bergisch Gladbach/Inzell 03/99.
- Badelt, H.; Pohle, G.;
Wendl, A.; Häusler, G. Entwicklung einer relativen Beurteilungsgröße der Tauleistung und die Bestimmung der Wiederholbarkeit für Inzeller Tauleistungsmeßwerte, Compte rendu final du projet de l'Institut Fédéral de Recherches Routières N° 94651, Bergisch Gladbach/Inzell 02/98.
- Chappelow, C.;
et al. Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers. Strategic Highway Research Programm, Washington DC, 1992 (SHRP-H-332).
- Öberg, G.; Gustafson, K.;
Axelson, L. More effective de-icing with less salt. Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping 1991 (VTI-Rapport 369 SA).
- Pohle, G.,
Breitenstein, J. Entwicklung eines Standardverfahrens zur Ermittlung der Wirksamkeit von Taustoffen, Compte rendu final du projet de l'Institut Fédéral de Recherches Routières N° 87614, Inzell, 1/1993.