

# **DIRECTIVES INNOVANTES POUR LA MAINTENANCE HIVERNALE EN AUTRICHE**

J. NEUHOLD

Bureau du Gouvernement régional de la Basse Autriche, Département de la maintenance des routes,

josef.neuhold@noel.gv.at

P. NUTZ & M. HOFFMANN & R. BLAB

Institut des Sciences du Transport, Université technique de Vienne, Autriche

## **Sujet 5. Approches opérationnelles, équipements et produits pour la viabilité hivernale**

### **RÉSUMÉ**

L'utilisation de la technologie du sel pré-humidifié pour la viabilité hivernale est standardisée en Autriche. Pour améliorer les techniques de maintenance hivernale, les états fédéraux, l'exploitant des autoroutes ASFINAG et le ministère fédéral des transports, de l'innovation et de la technologie (MBVIT) ont financé un projet de recherche à l'Institut des Transports (Université technique de Vienne). Le but était de conduire une recherche sur les quantités et les cadences des apports en sel nécessaires pour optimiser la maintenance hivernale et améliorer la sécurité routière. Le modèle holistique développé permet de déterminer les ratios et la cadence optimale d'application du sel en fonction des ratios des précipitations, du volume du trafic et de la température de la surface de la chaussée sur plusieurs cycles de traitement. Pour l'application des résultats, un résumé abrégé et un guide de viabilité hivernale ont également été développés. Sur la base des conditions routières et météorologiques habituelles en hiver, des recommandations pratiques pour le service hivernal et les ratios d'applications ont été donnés. La directive de viabilité hivernale a été testée pour la première fois lors de l'hiver 2010/2011 sur un échantillon de routes autrichiennes. Sur la base de cette expérience de terrain, les directives de maintenance ont été adaptées et appliquées à toutes les routes majeures en Autriche dès l'hiver 2011/2012. En complément aux principes du traitement, les ratios d'applications pour des scénarios-type basés sur le modèle développé sont présentés. Les scénarios sont illustrés avec des photos des conditions routières-type et une vue d'ensemble des stratégies de viabilité hivernale appropriés et des recommandations pour la conduite routière. Compte tenu de leur cadre général, ces recommandations ne peuvent remplacer l'expertise et la responsabilité des équipes de maintenance hivernale. C'est ainsi que les découvertes issues de la technologie de l'épandage de sel ont été transmises aux équipes lors de sessions de formation organisées au sein de l'Institut des Transports de l'Université technique de Vienne. Une étude complémentaire concernant le personnel de maintenance a permis de remonter leurs réactions. Les résultats de ces expériences pratiques ont également été incorporés. Grâce à un nouveau système de contrôle du salage, il a été possible de calculer à la fois la consommation moyenne de sel et les économies réalisées grâce aux directives de maintenance.

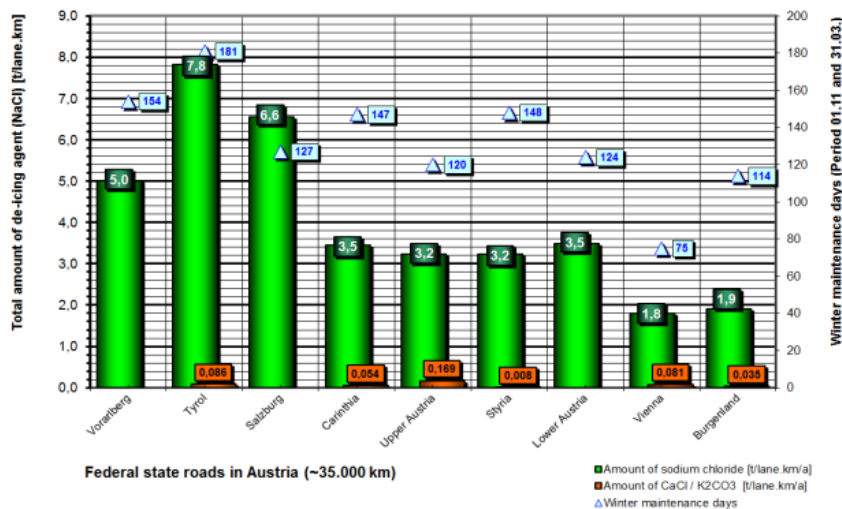
### **1. STANDARDISATION : LA PROCEDURE STANDARD DU SERVICE HIVERNAL**

La répartition du personnel du service hivernal et les ratios d'épandage de sel sont de la responsabilité des autorités routières. Cependant, la décision ultime pour l'implémentation de la viabilité hivernale, en particulier pour l'application locale des ratios en sel, reste sous la responsabilité du conducteur du véhicule de maintenance. Leur appréciation

instantanée des conditions routières leur laisse la possibilité d'ajuster les ratios d'application de sel en fonction de leur expérience subjective. Ce service hivernal fondé sur l'expérience mène à des ratios d'application sans lien rationnel avec des situations comparables. Chaque conducteur est convaincu de sa connaissance des bons ratios d'application, comprise entre 10g/m<sup>2</sup> et 40g/m<sup>2</sup> par intervalle d'application. Si un ratio d'application de 10g/m<sup>2</sup> est suffisant pour abaisser le point de congélation en fonction de la température de la chaussée, un ratio d'application supérieur préviendra également le gel. A cause de la pression publique et juridique, les conducteurs ont tendance à appliquer des quantités de sel nettement supérieures aux besoins immédiats.

L'objectif de la viabilité hivernale optimisée consiste donc à limiter les ratios d'application dans des situations similaires à des quantités nécessaires et d'harmoniser les différentes stratégies de maintenance. Pour atteindre ce but, il est nécessaire de diffuser des recommandations de service hivernal de grande qualité et de former régulièrement le personnel. C'est seulement dans ce cas que les opinions individuelles sur la meilleure approche du combat contre la neige et le verglas peuvent être remplacées par une stratégie uniforme. Pour implémenter une telle stratégie uniforme et optimisée, il faut trouver la réponse à une question essentielle : « Quand faut-il utiliser les chasse-neige et les saleuses et comment les ratios optimaux peuvent-ils être déterminés ? » De plus, les instructions doivent fournir aux conducteurs des moyens de prendre des décisions rapides lors du traitement routinier. Si les inconnues ne peuvent être levées lors des formations et grâce aux directives de maintenance hivernale, le sel est épandu en grande quantité selon le principe « plus on met de sel mieux c'est ». L'utilisation coûteuse de la saumure, sans prendre en compte les limites physiques du service hivernal, résulte dans une surutilisation des ressources et dans des dommages non nécessaires à l'environnement [1].

Le graphique 1 fournit une vue d'ensemble du salage de la période hivernale 2011/2012 sur les routes fédérales autrichiennes. En moyenne, la période nécessitant un service hivernal dure en Autriche du 1<sup>er</sup> novembre au 31 mars. Le nombre de jours de maintenance moyen est de 132 jours avec une moyenne de 4,05 tonnes par km de voies et par an pour le fondant routier principal, le chlorure de sodium. Au total, ces chiffres correspondent à une moyenne de 0,03 tonnes par km de voie ou en gros 9,2 g par m<sup>2</sup> de chaussée et par journée de service hivernal, ce qui est en gros 20% plus bas que la moyenne des 11,7 g/m<sup>2</sup> de la période hivernale de 2004/2005 à 2009/2010 avec le même nombre de journées nécessitant un service hivernal.



Graphique 1 : Quantité totale de jours de maintenance et de salage par km de voie sur les routes des états fédéraux pour la période hivernale 2011/2012 en Autriche.

## 2. LIMITES : LA CAPACITÉ LIMITÉE DU CHLORURE DE SODIUM

Le salage a un impact physique sur la protection température en abaissant la température à laquelle les fondants routiers et les précipitations gèlent la route, et si possible du sous-sol. Le fondant routier le plus utilisé est le chlorure de sodium (NaCl) avec une protection température jusqu' à  $-22,3^{\circ}\text{C}$  quand le saumure est concentré à 23,4%. Baisser ce point eutectique du NaCl n'est pas possible avec le chlorure de sodium. Des tests de laboratoire avec des différentes concentrations de NaCl et  $\text{CaCl}_2$  dans une chambre climatique montre que, contrairement à d'autres expérimentations avec la saumure supersaturée, la protection température n'augmente ni ne baisse.

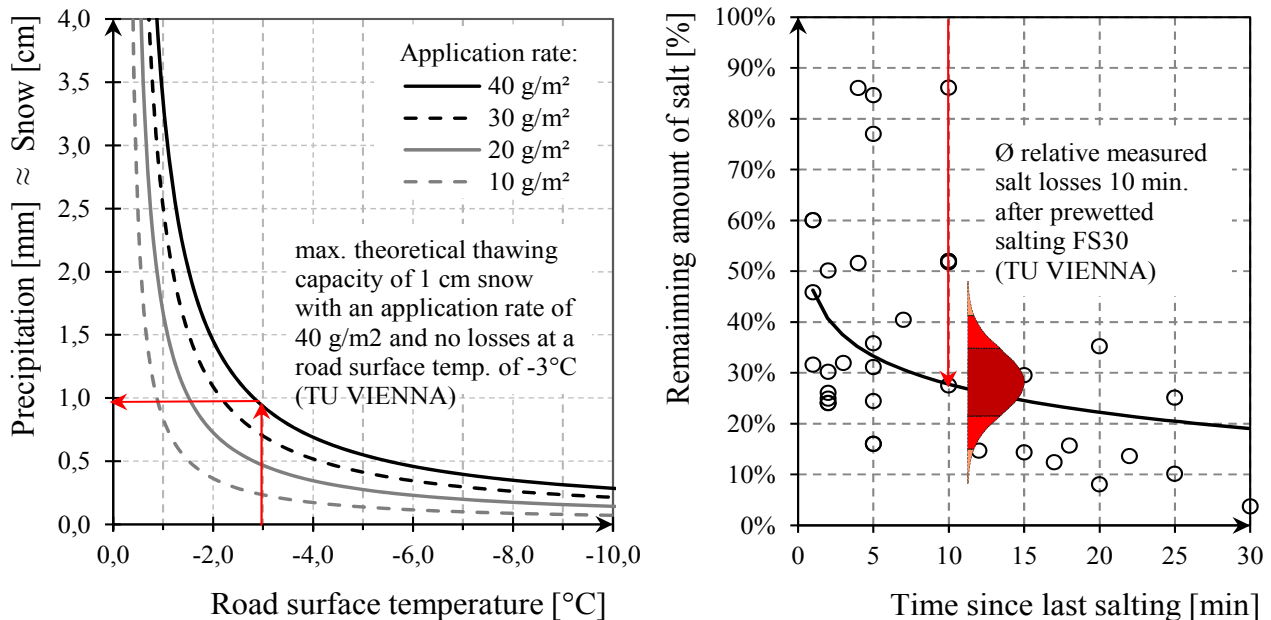
Dans le cas du service hivernal, la quantité de sel appliquée sous forme sèche ou humide fait fondre la neige et le verglas lorsqu'une concentration de saumure est atteinte qui correspond au point de congélation de la saumure égale à la température de la route. Si la quantité de neige pendant la durée du cycle de traitement excède cette limite, les routes ne peuvent être déblayées de la neige ou du verglas pendant le même cycle de traitement et se retrouvent de nouveau verglacées ou graduellement couvertes de neige. L'un des points principaux des formations du personnel sur la maintenance hivernale est de démontrer les limites physiques des fondants routiers. Selon les règlements autrichiens (RVS 12.04.12, déneigement et sablage, août 2010), le traitement réglementaire du cycle doit être inférieur à 180 minutes sur les autoroutes et 300 minutes sur les routes régionales. Cependant, lorsque les chutes de neige sont moyennes à fortes et les cadences nettement inférieures à 90 à 180 minutes, la route ne peut être déblayée de la neige et du verglas, tout simplement pour des raisons physiques.

Dans ces cas, essayer de gérer les précipitations avec un ratio d'application allant jusqu'à  $40 \text{ g/m}^2$  peut être contreproductif, puisque une route couverte de neige possède une meilleure adhérence qu'une route couverte de neige fondue. Ajoutons qu'une route couverte de neige, de manière visible et distincte, entraîne en général une conduite « adaptée ». Ainsi, la stratégie souvent employée du « plus on met du sel mieux c'est » est dans la plupart des cas mal avisée et plus coûteuse. La quantité de neige qui peut être fondue en théorie est indiquée dans le graphique 2, basé sur l'application de ratios de sel et la température de la chaussée. Chaque point sur les lignes correspond à un point de congélation de la saumure avec une concentration résultant du ratio d'application et de la quantité de la précipitation. Selon les calculs, les quantités de neige supérieures à  $1 \text{ cm/m}^2$  ne peuvent être fondus quand les températures se trouvent en dessous de  $-3^{\circ}\text{C}$ , même avec un ratio d'application maximum (des véhicules de maintenance) de  $40 \text{ g/m}^2$  à cause des conditions physiques (graphique 2).

Si l'on prend en considération la perte de sel due aux congères et à la dispersion induite par le trafic, la quantité de sel disponible pour la fonte est bien inférieure. Les mesures des graphiques 1, 2 et 3 ci-dessus montrent que la quantité restante de sel immédiatement après l'application peut être en gros estimée à 50% du ratio d'application initial. Dans le scénario ci-dessus, la quantité des fondants routiers peut être estimée à en gros  $20 \text{ g/m}^2$  avec une capacité physique de fonte de la neige en dessous de  $0,5 \text{ cm/m}^2$ . A cause du volume actuel du trafic entre les cycles de traitement, la quantité de sel restante sur la chaussée est même inférieure. Ainsi, la route ne peut être déneigée ou dégivrée sur les intervalles de traitement selon le scénario mentionné précédemment.

Selon une analyse approfondie de toutes les chutes de neige entre le 1<sup>er</sup> novembre 2005 et le 31 mars 2010, on peut compter sur une moyenne de 11,4 jours d'épisodes neigeux (0-300 MASL) et sur un diamètre de 3,77 cm de neige par jour sur respectivement 18,5

jours d'épisodes neigeux (300-600 MASL) et sur un diamètre de 4,89 cm de neige par jour. Les jours de service hivernal restants sont surtout dus au givre, à la pluie verglaçante et aux activités de maintenance préventive qui ne nécessitent pas plus de  $1 \times 10 \text{ g/m}^2$ . Selon la région et le niveau au-dessus de la mer, il y a en moyenne un à deux jours par période hivernale avec plus de 10 cm de neige chutant par jour. Comme les chutes de neige ne sont pas équitablement réparties, il ne sera pas possible de garder les routes déneigées à tout moment pendant au moins 3 à 4 jours. En général ces quelques épisodes ne posent pas de problèmes si le style de conduite est adapté.



Graphique 2: Capacité théorique de fonte du chlorure de sodium dans le cas courant d'une application d'un ratio de 10 à 40 g/m<sup>2</sup> (à gauche) et pertes de sel corrélées après le traitement employant un salage pré-humidifié (à droite)

### 3. MODÈLE DÉVELOPPÉ : LA BASE D'UN SERVICE HIVERNAL OPTIMISÉ

Un projet de recherche [1] a été lancé pour répondre à la question du ratio et des cadences d'épandage de sel nécessaires à un service hivernal optimisé et à l'amélioration de la sécurité routière. Un modèle mathématique basé sur une recherche approfondie a été développé ; il permet de déterminer le ratio d'application et les cadences des fondants routiers en fonction des chutes de neige, du trafic et de la surface de la chaussée. De plus, l'adhérence qui en résulte et les limitations de vitesse pour garantir une conduite sûre peut être estimée selon le ratio de réserve de matériau qui dépend des occurrences des procédés de congélation. Le modèle préliminaire décrit la perte de sel résiduelle et la qualité de l'eau sur la route selon différents facteurs et la concentration de saumure en fonction du temps qui en résulte. Si la température de la chaussée tombe en dessous du point de congélation de la saumure sur la route, il y a danger de verglas. De plus, en ne prenant que les résultats les plus emblématiques, c'est le cas si la saumure sur la route gèle et que la réserve de texture est insuffisante. La couche de réserve dépend de la macro-texture de la surface de la chaussée et définit la quantité de précipitations gelées nécessaires pour remplir la couche et interrompre le contact direct du pneu avec la route et entraîner une réduction suffisante de l'adhérence.



La quantité de sel résiduelle est déterminée par des mesures de résistance (SOBO 20) à des points de mesure prédéterminés et est en fonction du ratio d'application, du trafic, de

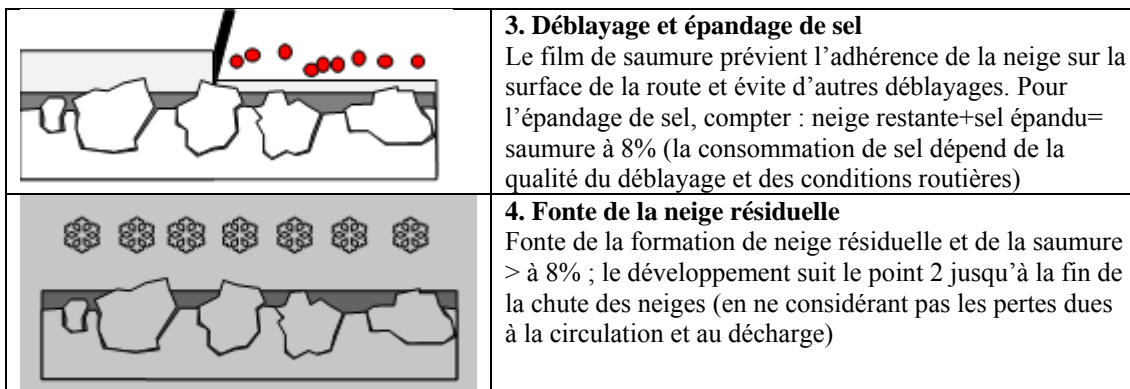
la texture de surface de la chaussée et de la vitesse. L'épaisseur de la couche aqueuse résultant de la précipitation, du trafic et de la température de l'air a été mesurée par Vaisala - Cameras (DSC 111, DST 111). Lors de mesures simultanées, l'adhérence réelle et son développement dans des situations de service hivernal variées avec des indications sur les conditions météorologiques et de précipitations a été examinée sur toute la section du test (Grip Tester MK II). La combinaison de la méthode de l'essai de profondeur au sable, des mesures de texture au laser et des données RoadSTAR pour déterminer la réserve de texture garantit une application étendue du modèle sur toutes les surfaces routières.

#### 4. TRAITEMENT PREVENTIF : MECANISME ET STRATEGIE D'APPLICATION

Le mécanisme de traitement préventif peut dériver de la capacité limitée de fondants routiers ainsi que des corrélations identifiées dans le modèle. Un traitement préventif est une application de fondants routiers avant l'arrivée d'une précipitation. Le but est d'éviter l'éventualité de routes glissantes (comme en cas de gelée blanche) et de faciliter le déblayage de la neige lors du prochain traitement. Ainsi, un traitement préventif doit être appliqué avant toute occurrence de précipitation. En cas de gelée blanche, la vapeur d'eau dans l'air se pose sur la chaussée froide sous forme de verglas. En général, la gelée blanche se forme aux premières heures du jour, entre 2 et 4 heures du matin, et n'excède pas 100 g/m<sup>2</sup>. La chaussée ne devient pas glissante si l'on applique un traitement préventif avec un ratio d'épandage de sel de 10 g/m<sup>2</sup> au moment de la formation de gelée blanche. Cependant, un traitement préventif la veille n'est pas efficace à cause des pertes lors de la décharge et de la dispersion.

Si la capacité de fondants routiers appliqués est dépassée à cause de la quantité de neige chutant entre deux cycles de traitement et à cause de la neige restante après le premier déblayage, la formation de neige fondue ne peut être évitée. Cette neige fondue gèle après une dilatation continue de la saumure sur la route à cause des précipitations continues. Il en résulte une adhérence plus faible que sur une route enneigée. De plus, il est plus facile pour les utilisateurs de la route d'adapter leur style de conduite et leur vitesse à une route couverte de neige qu'à une route couverte de neige fondue en train de se verglaser. Dans ces cas, l'application préventive de 10 g/m<sup>2</sup> est généralement suffisante pour former une couverture de rejet. Cette couverture de rejet doit être renouvelée après chaque traitement pour prévenir l'adhérence de la neige ou du verglas sur la chaussée, sans créer de grandes quantités de neige fondue. Les ratios d'applications nécessaires pour déblayer et décongeler une route en cas de chutes de neige, de températures et de charge de trafic routier prévisibles sont indiqués dans des tableaux (graphique 4).

	<p><b>1. Traitement préventif avant la chute des neiges</b>            Par exemple 10 g/m<sup>2</sup> le soir de la chute des neiges d'1 cm/h            Température de la surface de la chaussée = - 5°C avec un intervalle de traitement = 3h donnant une épaisseur de neige de 3 cm par intervalle de traitement</p>
	<p><b>2. Dilution et formation de 2 phases</b>            1. Phase neige/verglas sur le dessus (0% de neige) densité 0,1-0,9 g/m<sup>3</sup>            2. Phase saumure en-dessous (8% de sel) densité 1,1 g/m<sup>3</sup>. Le sel appliqué est dissout graduellement, jusqu'à ce que la concentration s'équilibre à 8% et -5°C.</p>



Salt



Snowfall



Snow/Ice



Brine

Graphique 3 : Mécanisme d'un traitement préventif pour le service hivernal pour former une couverture de rejet en cas de chutes de neige qui ne peuvent être déblayées lors d'intervalles de traitement habituels.

## 5. RATIOS D'APPLICATION : DÉTERMINATION DES PRINCIPES ET DES QUANTITÉS

Les principes de traitement découlent du cadre juridique et des normes existantes, des études des autorités de la viabilité hivernale et des études antérieures et résultats du modèle holistique du service hivernal :

- Sur les autoroutes, les voies express et leurs bretelles, l'intervalle de traitement maximal (en cycles) est de 3 heures entre 0h et 24h (catégorie A).
- Sur des routes de campagne en hauteur avec un TMJA > à 5000 véhicules par jour, l'intervalle de traitement maximal est de 5 heures entre 4h et 22h (catégorie B).
- Sur des routes de campagne en hauteur avec un TMJA > à 1000 à 500 véhicules par 24 heures, l'intervalle de traitement maximal est de 5 heures entre 5 et 20 heures (catégorie C).
- Le sel pré-humidifié possède une meilleure capacité et une meilleure dispersion que le sel sec, et est appliqué de préférence avec une quantité de saumure de 30% (BADELTE 2007).
- La quantité de neige qui peut être fondue est limitée pour des raisons physiques. Ainsi les routes ne peuvent pas être déblayées et décongelées si les chutes de neige sont abondantes (> 1cm/h) et les températures très basses (<-5°C).
- La réduction des intervalles de traitement augmente toujours les coûts sans améliorer les conditions routières de manière significatives.
- Le ratio d'application des agents de fonte ne devrait pas dépasser un certain montant. Des ratios d'application plus larges induisent des coûts élevés et disproportionnés sans amélioration des conditions routières mais en entraînant des dommages environnementaux évitables.
- Le salage doit se dérouler au plus près des précipitations préalables (environ 5-10 g/m<sup>2</sup> pour une application préventive < d'1 heure avant la précipitation)
- La neige compacte ou le verglas ne peuvent être retirés suffisamment rapidement en appliquant du sel. Un déblayage mécanique doit donc toujours être mis en place avant le salage.

Precipitation 0,0 mm to 0,25 mm - Snow high 0,0 cm to 0,25 cm Hoarfrost or slightly visible snowfall										
Application rate [g/m <sup>2</sup> ]	Road surface temperature [°C]									
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Traffic during interval	250	5	16	26	36	10	10	10	10	10
	500	6	16	27	37	10	10	10	10	10
	1.000	6	17	28	39	10	10	10	10	10
	1.500	6	18	30	10	10	10	10	10	10
	2.000	6	19	31	10	10	10	10	10	10
	2.500	7	20	33	10	10	10	10	10	10
	3.000	7	21	35	10	10	10	10	10	10
	3.500	8	23	37	10	10	10	10	10	10
	4.000	8	24	40	10	10	10	10	10	10

Precipitation 0,25 mm to 0,5 mm - Snow high 0,25 cm to 0,5 cm Very light snowfall										
Application rate [g/m <sup>2</sup> ]	Road surface temperature [°C]									
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Traffic during interval	250	11	32	10	10	10	10	10	10	10
	500	11	33	10	10	10	10	10	10	10
	1.000	12	34	10	10	10	10	10	10	10
	1.500	12	36	10	10	10	10	10	10	10
	2.000	13	38	10	10	10	10	10	10	10
	2.500	14	10	10	10	10	10	10	10	10
	3.000	14	10	10	10	10	10	10	10	10
	3.500	15	10	10	10	10	10	10	10	10
	4.000	16	10	10	10	10	10	10	10	10

Precipitation 0,5 mm to 0,75 mm - Snow high 0,5 cm to 0,75 cm Light snowfall										
Application rate [g/m <sup>2</sup> ]	Road surface temperature [°C]									
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Traffic during interval	250	16	10	10	10	10	10	10	10	10
	500	17	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.000	17	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.500	18	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.000	19	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.500	20	10	10	10	10	10	10	10	10
	3.000	22	10	10	10	10	10	10	10	10
	3.500	23	10	10	10	10	10	10	10	10
	4.000	24	10	10	10	10	10	10	10	10

Precipitation 0,75 mm to 1,0 mm - Snow high 0,75 cm to 1,0 cm Light/moderate snowfall										
Application rate [g/m <sup>2</sup> ]	Road surface temperature [°C]									
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Traffic during interval	250	22	10	10	10	10	10	10	10	10
	500	22	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.000	23	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.500	24	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.000	26	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.500	27	10	10	10	10	10	10	10	10
	3.000	29	10	10	10	10	10	10	10	10
	3.500	31	10	10	10	10	10	10	10	10
	4.000	33	10	10	10	10	10	10	10	10

Graphique 4 : Capacité de fonte du sel en fonction des précipitations, de la température de la chaussée et du trafic, en incluant les pertes dues à la dérive et à la décharge lors d'un cycle de traitement.

Sur la base du modèle holistique, le ratio d'application requis en fonction des précipitations ou de la hauteur de neige, de la température et du volume du trafic est fourni en grammes par mètre carré (graphique 4). Dans la case colorée indiquant un ratio d'application de 40 g/m<sup>2</sup>, la route peut être dégagée de la neige et du verglas pendant l'ensemble de l'intervalle de traitement. Dans les cases grises, un traitement préventif avec 10 g/m<sup>2</sup> est suffisant pour former une couverture de rejet selon la stratégie présentée précédemment. Les ratios d'application donnés par le modèle sont calculés de manière conservatrice, en prenant en compte la limite supérieure des précipitations. Le chauffage induit par les voies tracées par les pneus lors d'un trafic intense, de 0,001°C par voiture et heure a été négligé. Cela a pourtant un effet considérable sur la fonte, en particulier lorsque les températures sont situées entre 0° et -2° Celsius sur des routes très fréquentées. En prenant en compte les réserves et/ou un traitement en cascade, l'aire contrôlable des routes sans neige ni verglas peut être largement étendue. Cependant, cela doit être comparé avec l'augmentation du coût du salage et les impacts environnementaux et les incertitudes locales et n'est donc une option qu'en cas de circonstances particulières ou sur des autoroutes.

## 6. SECURITE ROUTIERE : RECOMMANDATION POUR LA CONDUITE ET LES TRAITEMENTS

En plus des principes de traitement, des ratios d'application pour des scénarios-type basés sur le modèle développé sont présentés. Ces scénarios consistent en des descriptions des conditions routières et développements météorologiques selon leur importance pour la viabilité hivernale des conducteurs des véhicules et des utilisateurs de la route (graphique 5). Ces scénarios sont illustrés avec des images des conditions routières typiques ainsi qu'une vue d'ensemble des stratégies de viabilité hivernale et des recommandations pour la conduite. Les recommandations de traitement basées sur des



situations routières typiques ne devraient pas remplacer l'expertise et la responsabilité des équipes du service hivernal incluant l'adaptation du ratio d'application aux besoins locaux spécifiques (par exemples sur les ponts, l'enrobé drainant, etc.). Cependant, ils peuvent aider à harmoniser l'appréciation de la situation pour obtenir de meilleurs résultats de viabilité hivernale.

Dans le premier scénario comportant des routes sèches, un traitement préventif avec 5 à 10 g/m<sup>2</sup> n'est utile que si les températures attendues tombent en-dessous de 0°C et que la gelée blanche est annoncé. Les routes mouillées ne sont en général pas un problème si la pente et le drainage sont en harmonie et qu'aucun gel n'est prévu. Cependant, si la température de la chaussée est négative et qu'une pluie est attendue, la situation peut devenir très critique et un traitement avec de grandes quantités de sel devient alors crucial. Si la route est déjà enneigée, tout dépend de la poursuite des chutes de neige. Si ces chutes s'arrêtent, le déblayage et l'épandage de sel jusqu'à la disparition de la neige sont appropriés. Si les chutes continuent, tout dépend de la possibilité de déblayer pendant le cycle de traitement. Si la route est déjà gelée (à cause de l'absence de traitement préventif), il vaut mieux envoyer des alertes et travailler à pleine capacité.

Sur une pente minimale et une vue suffisamment large issue des directives de planification en Autriche (par ex. RVS 03.03.23) ainsi que l'adhérence minimale requise, une conduite sûre dans des conditions humides et sèches est possible (graphique 5). Avec de la neige et du verglas sur la route, une conduite adaptée et un ralentissement de la vitesse par rapport aux limites en place est nécessaire. Comme une route enneigée est généralement accompagnée par des chutes de neige et de mauvaises conditions de visibilité, les distances de freinage qui en résultent sont particulièrement problématiques. Dans ces conditions, les distances de freinage ne peuvent être envisagées qu'avec une limitation sévère des vitesses par rapport aux limitations existantes. Sur la base des conditions routières relevées, une bonne approche de la situation devient possible. Avec le modèle holistique, une conduite adaptée à la sécurité routière en accord avec le § 20 de la législation routière - Code de la route (STVO) de 1964 peut être définie. Le conducteur peut évaluer les conditions routières selon les images de référence et devrait donc être capable de réduire sa vitesse en conséquence.

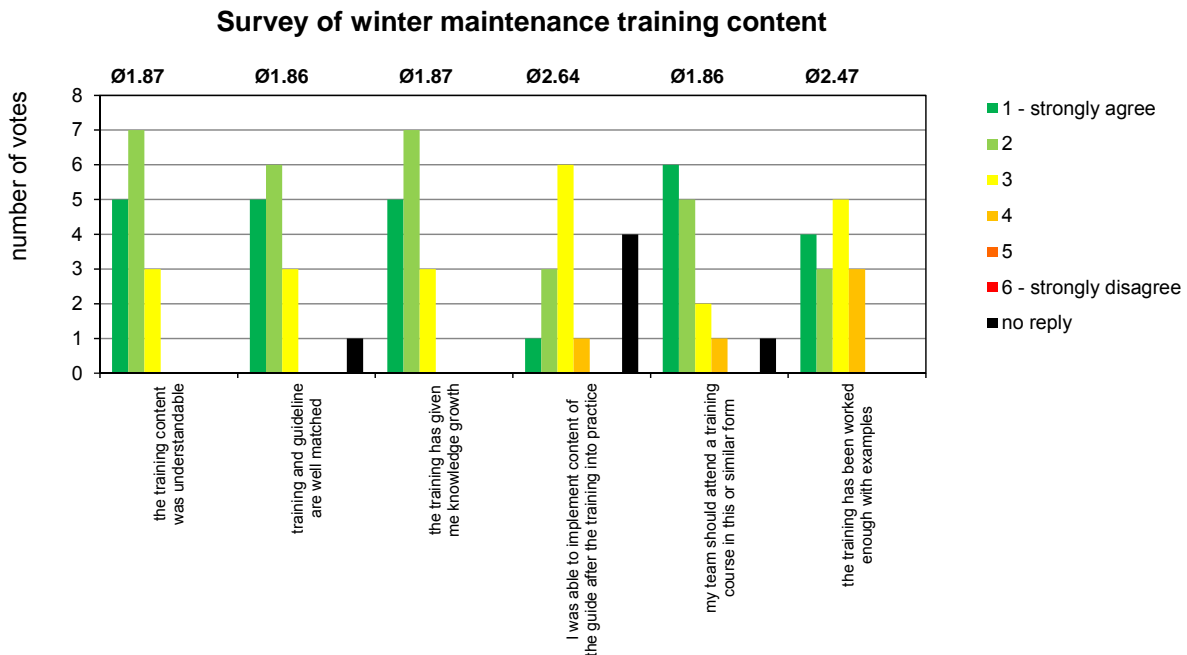


Photos de référence	Conditions routières	Traitement recommandé	Recommandations de conduite
<p>Route sèche :</p> 	<p><b>Très bonnes (habituellement sans problèmes)</b></p> <p>Adhérence importante <math>\mu = 0,7 - 1,0</math> Température de la surface de la route -30°C à +60°C</p> <p>Pas de route glissante due à gelée blanche attendue</p> <p>Route glissante due à la possibilité de gelée blanche</p>	<p><b>Épandage de sel minimal :</b></p> <p>Pas de traitement requis</p> <p>Pas de traitement requis</p> <p>Traitement préventif de 5-10 g/m<sup>2</sup> à l'apparition du givre (généralement entre 2 et 4 heures)</p>	<p><b>Pas de limitation :</b></p> <p>Pas de restriction en dessous des limitations de vitesse</p> <p>La route est généralement sûre dans le cadre des limitations de vitesse La route est généralement sûre après le traitement (considérer la visibilité en cas de brouillard !)</p>
<p>Route humide :</p> 	<p><b>Bonnes (verglas possible !)</b></p> <p>Température de la chaussée <math>\geq 0^\circ\text{C}</math> Pas de projection d'eau Adhérence moyenne <math>\mu = 0,4 - 0,7</math></p> <p>Projection d'eau Adhérence moyenne à basse <math>\mu = 0,3 - 0,6</math></p> <p>Température de la chaussée <math>&lt; 0^\circ\text{C}</math> Risque de verglas : très peu d'adhérence <math>\mu = 0,1 - 0,6</math></p>	<p><b>Traitement seulement si la température est en-dessous de 0°C</b> Pas de traitement requis</p> <p>Vérifier les ornières (risque d'aquaplaning)</p> <p>Traitement préventif crucial ! Déblayage et épandage de sel de 20 à 40 g/m<sup>2</sup> et messages d'alerte</p>	<p><b>Limitation de la vitesse :</b> Adapter la conduite</p> <p>Limitation de vitesse en-dessous de 70 km/h dans le cas d'ornières (autoroutes et routes régionales) Risque de verglas, limitation à moins de 30 km/h ou roulage au pas sont hautement recommandés</p>
<p>Neige près des voies :</p> 	<p><b>Raisonnables (problèmes en cas de changement de voie)</b> Pas de chutes de neige</p> <p>Voies de circulation sèches ou humides. Adhérence <math>\mu=0,3-0,5</math></p> <p>Chutes de neige, neige restant sur les traces des pneus (surface gris-blanche) Peu d'adhérence <math>\mu=0,2-0,4</math></p>	<p><b>Le déblayage et l'épandage de sel sont nécessaires</b> Déblayage et épandage de sel de 20 – 30 g/m<sup>2</sup></p> <p>Déblayage et épandage de sel de 10-20 g/m<sup>2</sup> quand la chute de neige est inférieure à 0,5cm dans l'intervalle de traitement</p> <p>Chutes de neige <math>&gt;0,5</math> cm, déblayage et épandage de sel de 10 g/m<sup>2</sup> jusqu'à leur fin, ensuite 20 g/m<sup>2</sup></p>	<p><b>Conduite adaptée et limitation de vitesse nécessaires</b> Adapter la conduite. Réduction de la vitesse de 20-30%</p> <p>Adapter la conduite. Réduction de la vitesse de 20-30%.</p> <p>Adapter la vitesse aux conditions routières, réduire la vitesse jusqu'à 50%</p>
<p>Neige sur les voies :</p> 	<p><b>Mauvaises (très peu d'adhérence)</b> Pas de chutes de neige, déblayé Basse adhérence <math>\mu=0,2-0,3</math> Température de la chaussée <math>\leq 0^\circ\text{C}</math></p> <p>Chutes de neige déblayées ou non Précipitations <math>&lt; 0,5</math> mm par intervalle de traitement (<math>\approx 3-5</math> mm de neige)</p> <p>Neige <math>&gt; 0,5</math> mm dans l'intervalle de traitement Peu d'adhérence <math>\mu=0,2-0,3</math> Température de la chaussée <math>-0^\circ\text{C}</math> à <math>0^\circ\text{C}</math></p>	<p><b>Déblayage et épandage selon les besoins</b> Traitement par le déblayage et épandage de sel pour dégager la route de la neige</p> <p>Traitement préventif avant la précipitation si possible, ensuite déblayage et épandage de sel</p> <p>Avec des chutes de neige <math>&gt;0,5</math> cm, déblayage et épandage de sel de 10 g/m<sup>2</sup> jusqu'à la fin, ensuite 20 g/m<sup>2</sup> à 30 g/m<sup>2</sup></p>	<p><b>Conduite adaptée et limitation de vitesse nécessaire :</b> Réduire la limitation de vitesse en-dessous de 80 km/h (autoroutes) et 50 km/h (routes régionales)</p> <p>Réduire la limitation de vitesse en-dessous de 70 km/h (autoroutes) et 50 km/h (routes régionales) – Visibilité !</p> <p>Réduire la limitation de vitesse en-dessous de 50 km/h (autoroutes) et 30 km/h (routes régionales) – Visibilité !</p>
<p>Verglas :</p> 	<p><b>Critique (presqu'aucune adhérence)</b></p> <p>Pas de précipitations La surface de la chaussée est satinée à réfléchissante</p> <p>Presque aucune d'adhérence <math>\mu=0,2-0,3</math> Précipitations (neige) Température de la chaussée <math>\leq 0^\circ\text{C}</math></p>	<p><b>Déblayage mécanique et épandage de sel maximum, fermeture de routes :</b> Traitement préventif si possible, épandage maximal des sels sur les parties verglacées. Traitement par étapes. Fermeture des routes uniquement en accord avec la police, ensuite déblayage mécanique combiné à un épandage de sel maximal pour enlever la glace. La meilleure stratégie pour éviter des accidents est de fermer les routes jusqu'à une adhérence suffisante soit de nouveau atteinte.</p>	<p><b>Restrictions de conduite (rouler au pas peut être autorisé)</b> Restreindre la conduite doit pouvoir être envisagé. Les déplacements non urgents doivent être remis. Pendant un voyage continuez exceptionnellement et réduisez la vitesse sur les tronçons dangereux en roulant au pas.</p>

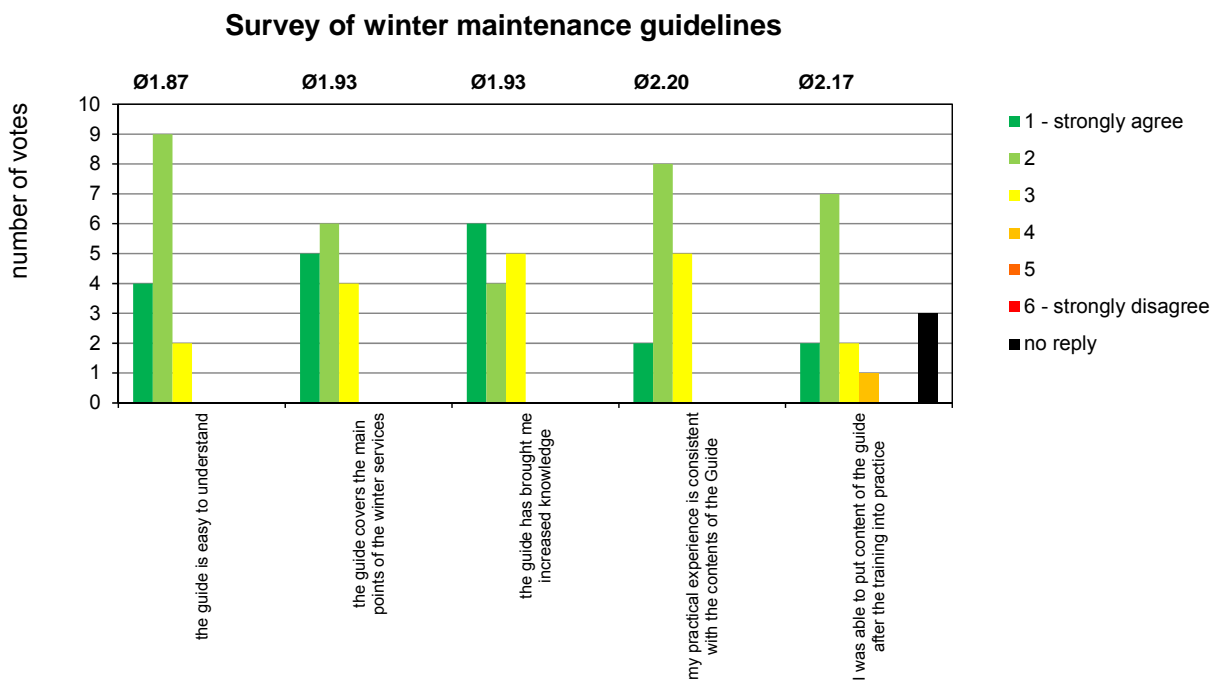
Graphique 5 : Conditions routières et météorologiques type avec un service hivernal et recommandations pour la conduite pour les autoroutes et routes régionales en Autriche [1;4]

## 7. FORMATION ET RETOURS DES EQUIPES DE LA MAINTENANCE HIVERNALE

Des sessions de formation ont été organisées pour les équipes de la maintenance hivernale avant le début de l'hiver. Surtout les conducteurs des saleuses étaient sollicités. Pour une optimisation ultérieure de ce programme de formation, un questionnaire d'évaluation des directives et de la session de formation ont été créés. Le résultat de l'étude de la formation (graphique 6) montre une grande acceptation du contenu de la formation. Les directives de viabilité hivernale (graphiques 7 et 8) ont également été très bien accueillies.

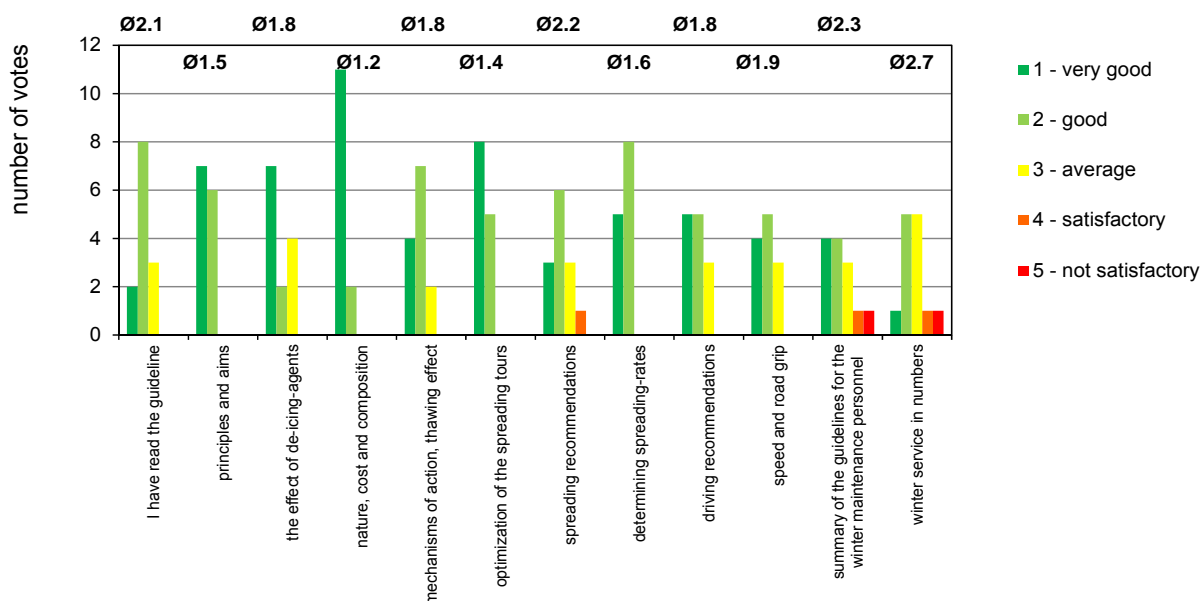


Graphique 6 : Etude sur le contenu de la formation sur le service hivernal pour le personnel de maintenance en Basse Autriche en 2012



Graphique 7 : Etude des directives pour le service hivernal pour les équipes de maintenance des routes en Basse Autriche en 2012 en général

## Survey of individual contents of winter maintenance guidelines



Graphique 8: Etude sur les directives du service hivernal pour le personnel de maintenance des routes en Basse Autriche en 2012 en détail

## 8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En Autriche, les directives pour les autoroutes et les routes régionales minimisent les risques d'accident en cas de conditions routières sèches ou mouillées grâce à l'absence d'adhérence en fonction de l'adaptation des limites de vitesse. Quand la route est enneigée ou verglacée, une conduite adaptée et la réduction de la vitesse par rapport aux limitations est nécessaire. Comme ces conditions sont généralement accompagnées de neige et de mauvaise visibilité, les distances de freinage pour éviter les collisions sont généralement insuffisantes sans ralentissement important de la vitesse. Le but de la viabilité hivernale est d'améliorer l'accessibilité des régions et la sécurité routière pendant les longues périodes hivernales en Autriche. L'impact physique du salage abaisse le point de congélation des solutions de fonte et des précipitations sur la route en-dessous de la température de la chaussée. Pour rendre cela possible, la neige doit être déblayée constamment et les pertes en sel dues à la décharge et la dispersion doivent être remplacées. Grâce au modèle holistique de viabilité hivernale développé, les procédés prenant en considération tous les facteurs influents peuvent être considérés. Grâce à cette simulation, la cadence optimale, le ratio d'application des fondants routiers de fonte nécessaires et les coûts de chaque traitement peuvent être prédits.

Des expérimentations supplémentaires pour vérifier et améliorer le modèle seront conduites l'hiver prochain sur les autoroutes et les routes régionales en Autriche et dans le laboratoire de l'Institut du Transport. Grâce à l'effort conjoint de tous les partenaires du projet, nous serons en mesure d'implémenter les améliorations à venir, qu'elles concernent le modèle ou la pratique de la viabilité hivernale. A moyen terme, notre objectif est d'implémenter le modèle en tant que système de décision semi-automatique pour créer un système de prévision de la viabilité hivernale pour toutes les routes principales en Autriche. Les directives de viabilité hivernale développées sont basées sur les résultats du modèle et sont déjà mis en place sur les autoroutes et les routes nationales en Autriche. Les directives évoluent constamment et ont mené à des résultats prometteurs quant à l'amélioration des conditions routières et la réduction des coûts. Mais même les meilleures

directives ne peuvent remplacer une adaptation soignée des stratégies et des ratios d'application par le personnel de maintenance hivernale des routes. Une conduite responsable et adaptée pour offrir des routes plus sûres à tous les utilisateurs de la route coiffe le tout.

## REFERENCES

1. Hoffmann M. & Nutz P. & Blab R. 2012; Optimization of pre-wetted salting; Research report (German 215 pages) published by the Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology; Vienna; 2012
2. Badelt, H. (2007). Optimization of prewetted salting. Research report the Federal Highway Optimization Institute BAST. Wirtschaftsverlag N. W. Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven.
3. Hausmann, G. (2009). Distribution of road salts on the surface Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Wirtschaftsverlag N. W. Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven. Straßenwesen.
4. Nutz, P. (2010); Prewetted salting, Safecote and skid resistance of roads, Master Thesis, Institute Transportation, Vienna University of Technology