

OPTIMISATION DE LA METHODE D'EPANDAGE DE SEL EN VUE D'UNE REDUCTION DE SA CONSOMMATION

Jens Kr. Fønnesbech

Département de Fionie,

Division de la Maintenance Autoroutière
Ørbækvej 100
DK 5220 Odense SØ, Danemark.
Tél. +45 6556 1974, Fax +45 6556 1933
E-mail: <mailto:jkf@vej.fyns-amt.dk>

Freddy Knudsen

Administration Danoise des ponts et chaussées
Ministère du Transport
Unité d'Opération et de Maintenance
Niels Juels Gade 13
DK 1059 Copenhague K
Tél. +45 3393 3338, Fax +45 3393 2070
E-mail: <mailto:fek@vd.dk>

1. Résumé

Aujourd'hui, le sel (NaCl) est utilisé un peu partout dans le monde pour lutter contre les routes verglacées ou glissantes. Afin de protéger l'environnement, il faut constater qu'une minimisation du déverglaçage préventif permettrait à la fois de diminuer les effets nocifs du sel sur l'environnement et de réduire les coûts des automobilistes. Aussi, la consommation de sel de voirie devrait être limitée au maximum sans pour autant affecter la praticabilité de la route et la sécurité.

Pour atteindre ce but, l'emploi de sel mouillé s'est avérée une excellente méthode pour lutter contre les routes verglacées ou glissantes danoises. Soucieux de réduire davantage sa consommation de sel, l'Administration Danoise des ponts et chaussées et le Département de Fionie ont depuis 1998 mis sur pied un vaste programme de mesure afin de comparer l'emploi de différents sels de voirie, tel que le sel mouillé répandu à l'aide d'une épandeuse à disque et la saumure répandue à l'aide de diffuseurs. En 1998-99, 1800 points ont été mesurés pour détecter la présence de sel résiduel à l'aide de bâtonnets SOBO 20.

Les résultats obtenus jusqu'ici révèlent les avantages suivants pour la saumure:

- La consommation de sel peut être diminuée d'environ 30 % du simple fait que la quantité de sel résiduel est plus élevée en utilisant uniquement d'une saumure saturée.
- La vitesse d'épandage peut être augmentée jusqu'à 80 km/h (vitesse légale pour les camions au Danemark).
- L'épandage est identique sur jusqu'à trois voies simultanément (3 x 3.5 m). L'emploi d'une épandeuse à disque ne permet pas d'obtenir un épandage uniforme. Les deux techniques ont été testées et les résultats montrent que dans 10 cas sur 57 passages avec l'épandeuse à disque, la perte de sel était supérieure à 40% et dans 5 de ces cas, la perte dépassait 50% du fait d'un épandage asymétrique.

Pour obtenir des résultats positifs avec la saumure, plusieurs points semblent importants à retenir:

- Il faut être capable de prévenir et d'empêcher la stratification lors de la production de saumure, car en procédant à un épandage répété d'eau douce au lieu d'empêcher la stratification, les risques d'accidents augmenteront très sensiblement.
- Il faut connaître la vitesse d'épandage à l'arrière à partir des diffuseurs latéraux. La vitesse doit être équivalente ou supérieure à la vitesse des véhicules dans le sens de la circulation.

Le Département de Fionie a eu recours à la saumure pour le déverglaçage d'une partie de son réseau routier, la saumure ayant été le seul produit de sel de voirie utilisé, même dans les situations de verglas et de neige.

Avec la contribution de l'Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement, Epoke, l'Administration Danoise des ponts et chaussées et le Département de Fionie, le champ d'application de ces mesures particulières a été poursuivi et étendu à l'autoroute au sud d'Odense durant la saison d'hiver 2000/2001. En se servant d'une technique permettant de mesurer les valeurs du point de congélation et de la quantité de sel résiduel ainsi que les paramètres pertinents tels que la concentration de sel, l'épaisseur du film d'eau, l'humidité et la température de la surface, 24 capteurs ont été installés afin de recueillir ces éléments de valeur détaillées et précises.

Une observation visuelle a également été rendue possible grâce à l'installation de deux caméras sophistiquées équipées de lumière infrarouge, de manière à pouvoir suivre les opérations d'épandage la nuit. Les deux méthodes d'épandage ont été séparées pour les essais, le côté Est étant réservé au sel mouillé et le côté Ouest à la saumure. Les résultats de ces mesures montrent une nouvelle fois qu'en matière de déverglaçage, la saumure est plus efficace que le sel mouillé.

2. Introduction

Outre le souci de préserver ou d'augmenter la praticabilité et la sécurité routière, l'utilisation de saumure saturée (20 - 23%) pour déverglaçage vise à réduire la consommation de sel (NaCl).

Une nouvelle technique a permis d'épandre la saumure à partir d'un camion roulant à une vitesse de 80 km/h, à la fois sur la voie de conduite que sur les deux voies voisines. Cette technique garantit un épandage uniforme sur toutes les voies.

L'essentiel de cette expérience est d'évaluer la possibilité de diminuer la consommation de sel en ayant recours à une méthode d'épandage améliorée et plus avancée, c'est-à-dire, en comparant la saumure au sel mouillé et en épandant à l'aide soit d'un engin à diffuseurs soit d'une épandeuse à disque.

3. Historique

Au Danemark, l'utilisation de graviers sur les grandes routes a été abandonnée depuis plusieurs années du fait de l'inefficacité de cette méthode.

En effet, les graviers et sols en bordure des chaussées nécessitent une élimination coûteuse par la suite en raison des effets polluants du sol.

Le sel sec est uniquement utilisé en quantités limitées sur les grandes routes au Danemark, et ceci dans des conditions d'enneigement.

Au Danemark, le sel mouillé a remplacé le sel sec. Le sel est dissout dans un mélange de saumure saturée juste avant d'être répandu par l'épandeuse à disque.

Dans certains endroits au Danemark, la saumure saturée est répandue à l'aide d'épanduses multifonctionnelles. Grâce à ces engins, il est possible d'utiliser soit de la saumure soit du sel mouillé. Au Danemark, il est bien connu et admis que l'utilisation de saumure permet de réduire d'avantage le dosage du sel.

Lors du premier essai effectué dans le Département de Fionie, l'utilisation de saumure au dosage de 20 ml/m², soit l'équivalent de 4.6 g NaCl/m² s'est avérée fiable dans la plupart des situations. La stratégie bien définie lors de ces essais était d'utiliser des épanduses à liquides munies de diffuseurs pour répandre la saumure, et sans la possibilité de répandre du sel mouillé. La vitesse d'épandage a pu être augmentée jusqu'à la vitesse légale pour les camions (80 km/h).

Le déneigement ne sera que brièvement abordé.

Le sel mouillé et/ou la saumure est utilisé pour un traitement préventif sur les routes sèches avant les chutes de neiges. Par temps de neige, le déneigement s'effectue à l'aide d'un chasse-neige. Après le passage du chasse-neige, le sel est épandu pour déblayer la neige qui reste. Dans ces situations, on procédait habituellement au déneigement par 15 g/m^2 de sel mouillé et en utilisant de la saumure saturée, nous étions jusqu'ici uniquement capables d'utiliser un dosage de 20 ml/m^2 , mais à l'heure actuelle, nous avons réussi à augmenter la dose à 40 ml/m^2 .

Les essais montrent clairement que le sel sec laisse une quantité de sel résiduel relativement petite sur la route, le sel mouillé une quantité moyenne, alors que la saumure saturée laisse une quantité de sel résiduel relativement élevée.

Ces dernières années, le Département de Fionie a utilisé entre 5,000 et 18,000 tonnes de sel (NaCl) par an pour le déverglaçage. En d'autres termes, cela signifie entre 0.5 et 2 kg par m^2 d'axes routiers par an. L'utilisation de telles quantités est jugée inquiétante pour les eaux souterraines. De plus, des études ont révélé que le sel a un effet néfaste sur la végétation le long des routes.

4. Saumure saturée

L'idée de départ était d'inventer une technique d'épandage garantissant un épandage uniforme sur 3 voies – c.-à-d sur une coupe transversale de 10.5 m – sans perturber la circulation. Cela peut être réalisé grâce à un engin où l'épandage s'effectue à partir d'une barre pour la voie utilisée par le véhicule (environ 3.5 mètres). Des diffuseurs latéraux orientés vers l'arrière assurent l'épandage de saumure sur les deux voies voisines. Afin d'empêcher une vaporisation des jets latéraux, les diffuseurs ont été améliorés pour pouvoir fournir un jet à débit constant ce qui résulte dans de plus grosses gouttes. En outre, les diffuseurs sont adaptés de façon à ce que la vitesse du jet soit équivalente ou supérieure au vent le long du véhicule. Cela diminue l'impact du vent. La vitesse des épanduses est de $70 \ll 80 \gg \text{ km/h}$, cette vitesse étant la limite légale pour les camions au Danemark.

Les options de réglage ont été limitées aux prototypes du matériel d'épandage de saumure utilisés par le Département de Fionie jusqu'à la saison d'hiver 2000/2001. Cela représente une nette amélioration car auparavant nous n'étions uniquement en mesure d'épandre que 20 ml/m^2 et d'utiliser soit tous soit aucun des diffuseurs latéraux sur l'un des côtés du véhicule. Par conséquent, le résultat est un équipement très simple et peu coûteux quand on tient compte des performances d'épanduses de pointe. La vitesse est mesurée à l'aide du système GPS et d'un radar à partir duquel la quantité de sel à épandre est corrigée. Ce système garantit un dosage de sel très précis. A présent, le Département de Fionie et l'Administration Danoise des ponts et chaussées disposent d'équipements permettant d'épandre une quantité de sel située entre 10 ml/m^2 et 40 ml/m^2 .

Le Département de Fionie a construit une installation de mélange doté d'un réservoir de 280m^3 , où l'écoulement se fait de la surface et, en phase de mélange, la saumure est dirigée vers le fond du réservoir. La circulation continue jusqu'à obtenir une concentration en sel de 20% à la surface.

La dissolution du sel s'effectue directement dans le réservoir. Le réservoir est doté d'un agitateur puissant qui se met en marche lorsque la procédé de mélange le nécessite. Quand l'eau douce a été versée dans le réservoir, le sel est ajouté directement devant l'agitateur empêchant ainsi une sédimentation immédiate. En pratique, ce système est efficace bien que l'installation est très simple. Le Département de Fionie utilise du sel raffiné pour la production de saumure.

La stratification est un problème essentiel lors du processus de mélange! La saumure a une densité plus élevée que l'eau douce. Ceci donne une stratification très solide si le mélange de l'eau de mer et de l'eau douce se fait sans contrôle du processus de mélange. Il en est de même si deux portions de saumure de concentration différente sont mélangées.

“Sans posséder le savoir-faire en matière de stratification et sans prévenir la stratification au cours de la phase de mélange, un épandage répété avec de l’eau douce au lieu d’empêcher la stratification augmentera très certainement le risque d’accidents ”

Dans la grande installation de mélange dans le Département de Fionie, l’eau souterraine est utilisée pour la production de saumure pour la simple raison que cette installation est située loin de la mer et que le niveau des nappes phréatiques locales n’est pas jugé inquiétant. Les médias se sont évidemment interrogés sur l’utilisation de “l’eau potable” pour la fabrication de saumure. Au cours de l’hiver 1999/2000, moins de 10.000 m³ d’eau était utilisé pour couvrir envir. 20% de la quantité requise pour les autoroutes.

Dans une installation plus petite située sur l’île d’Ærø, l’eau souterraine a été remplacé par l’eau de mer qui a l’avantage de contenir plus de 3% de salinité. Cette installation fonctionne depuis 2 ans sans incidents.

D’autres sources d’approvisionnement en eau ont également été envisagées. A titre d’exemple, il serait également possible d’utiliser des eaux usées industrielles contenant par exemple du CaCl₂ ou d’autres substances chimiques de déverglaçage.

5. PERIODE D’ESSAIS 1998 - 1999

Les essais se sont déroulés sur des routes à deux voies. Il s’agit d’un climat maritime et les routes se trouvent à moins de 100 m au-dessus du niveau de la mer. Ce sont des routes typiquement danoises construites avec du béton bitumineux posé à chaud avec un revêtement d’usure de gravier de 8 mm max. aux points de prélèvement de mesures. Ces points de mesure sont installés sur les routes de campagne de manière à garantir une régularité acceptable entre les zones testées avec de la saumure et les zones de référence. En vue de respecter les différents paramètres géographiques, la distance jusqu’à la côte, le type et l’âge du revêtement et la densité de circulation, les points sont installés comme suit:

Routes testées avec saumure:

La 206, km 8.0 et 8.5
(Moyenne annuelle de la circulation journalière) MCJ = 7200
(Moyenne journalière équivalente, essieu de 10 tonnes) E₁₀ = 575
La 714 comme référence.
La 602, km 54.0 et 54.5; MCJ = 1300; E₁₀ = 50
La 730 comme référence.

Routes testées avec sel mouillé:

La 714, km 8.8 et 9.3; MCJ = 5300; E₁₀ = 250
La 730, km 3.0 et 3.5; MCJ = 1900; E₁₀ = 110.

Durant les essais dans le Département de Fionie, les directives habituelles d’épandage de sel ont été respectées. Le déverglaçage préventif s’effectue à un dosage de 10 g/m² de sel mouillé (7.6 g NaCl) ou 20 ml/m² de saumure (4.6 g NaCl).

Les mesures sont réalisées à partir de six points de prélèvement sur la route. Ces points sont espacés et se trouvent à ½ m, 1½ m and 2½ m de la ligne médiane de la route. Ensuite, les mesures sont répétées à 500 m des premiers points. Ces mesures sont réalisées 2, 5 et 10 heures après l’épandage de sel/saumure. Pour chaque nouvelle quantité, les points de mesure sont déplacés de 10 mètres pour éviter les interactions avec les mesures antérieures. La quantité de sel résiduel est enregistrée au moyen de la résistance électrique d’un bâtonnet (SOBO 20) SOBO 20 – un dispositif pour la mesure rapide de la quantité de sel sur la surface des chaussées et les résultats sont exprimés en chiffres entiers dans des tableaux selon la formule g/m². Ces résultats sont enregistrés sur papier et par la suite introduits dans une base de données.

6. RÉSULTATS DES ESSAIS 1998-99

En tout, environ 1800 mesures de sel résiduel ont été effectuées au cours de l'hiver 1998/1999. En fonction des méthodes d'épandage utilisées et de la densité de circulation, les résultats de ces mesures ont fait l'objet d'analyses différentes afin de savoir comment se fait la dégradation et l'élimination du sel en fonction de la méthode utilisée et de l'intensité de la circulation.

Les analyses des résultats d'une coupe transversale, ont permis de constater une variation entre 15 et 50%. Les analyses statistiques ci-dessous ont été effectuées dans l'hypothèse où les résultats des coupes transversales espacés de 500 mètres seraient les mêmes en ce qui concerne l'épandage et la dégradation de sel.

Des données recueillies lors des traitements d'épandage préventifs en raison des prévisions de gel ont fait l'objet d'une analyse de variance, dont voici le résultat: 80 % de corrélation et 1 g/m² de variance sur chacune des paires de données. (Cela signifie une bonne corrélation entre les résultats de deux coupes transversales).

Ainsi, il est permis de tirer la conclusion suivante : **“les mesures de sel résiduel illustrent bien les quantités réelles de sel résiduel sur la chaussée”**

Après de nombreuses mesures individuelles réalisées, une analyse statistique collective des méthodes d'épandage et de la distribution de sel a été effectuée simplement en comparant les valeurs moyennes de l'ensemble des mesures de sel résiduel 2 heures après l'épandage.

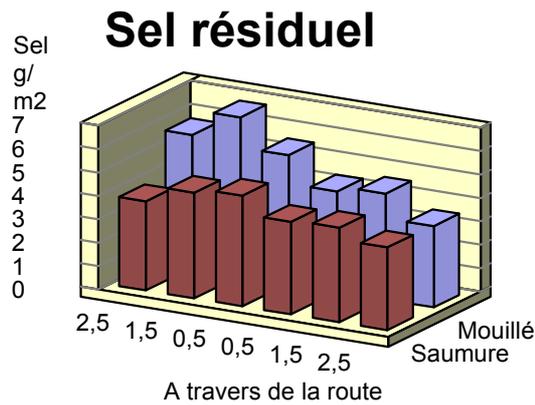


Fig. 1 – Distribution en coupe transversale 2 heures après épandage.

Il y a lieu de noter que le dosage était de 7,6 g de NaCl/m² pour le sel mouillé et seulement de 4,6 g de NaCl/m² pour la saumure.

Il est évident que l'épandeur de saumure assure la distribution la plus uniforme sur la route. Ici, 2 heures après l'épandage, on constate déjà une perte de sel de 20% pour le sel mouillé (contre 5% seulement en utilisant de la saumure) à cause d'un épandage asymétrique (inégal).

Les figures et tableaux suivants sont basés sur la valeur moyenne de 12 mesures avec le bâtonnet (SOBO 20) qui ont été réalisées à la même heure et au même endroit (sans tenir compte de l'épandage asymétrique). Les figures regroupent les données des actions préventives prises contre les routes glissantes, mais pas contre la neige ou le verglas.

La figure relative à la dégradation de sel, destinée principalement à exprimer le facteur temps [2], est une analyse des variations reprenant le numéro de la route, l'heure et un modèle simple de la circulation (seule distinction faite entre les périodes de pointe et les périodes creuses).

La figure ne montre qu'une faible corrélation entre le sel résiduel et la circulation. Voir tableau 1.

Tableau 1 - Quantité de sel résiduel en fonction de l'heure et de la densité de circulation

N° de route / méthode	Périodes creuses			Périodes de pointe		
	2 heures	5 heures	10 heures	2 heures	5 heures	10 heures
206 / saumure	0,89	0,69	0,47	0,84	0,64	0,42
714 / sel mouillé	0,68	0,54	0,38	0,54	0,40	0,25

Les analyses indiquent une significativité statistique étant donné que la valeur moyenne de sel résiduel est plus élevée pour la saumure que pour le sel mouillé.

Une autre analyse effectuée au même point vient renforcer ce résultat. Celui-ci souligne cette significativité (>99%) comme quoi la différence entre les deux méthodes n'est pas une coïncidence et que les résultats obtenus avec la saumure présentent de manière générale une plus grande quantité de sel résiduel sur les routes [3].

Si l'on procède à une analyse de régression linéaire ou exponentielle par rapport au facteur temps, on obtient une courbe régressive pour la dégradation de saumure sur la chaussée [1] pour la route N° 206 (saumure) s'approchant de la formule suivante:

$$Y = 0,88 - 0,042 * X$$

Ce résultat indique qu'environ 85-90 % de la saumure répandue atterrissent sur la chaussée.

De la même manière, la courbe régressive pour la route N° 714 (sel mouillé) s'approche de la formule suivante:

$$Y = 0,63 - 0,030 * X$$

Ce résultat indique que 60-65 % du sel mouillé répandu atterrissent sur la chaussée.

Dans ce tableau, les résultats d'analyses de régression linéaire révèlent un lien significatif entre la densité de circulation (DC) et la quantité de sel résiduel [4], DC représentant le nombre de véhicules sur la route.

Les analyses ont été effectuées séparément sur chaque route. Selon le tableau 2, les résultats obtenus sur les routes N° 206 et 714 montrent clairement que la densité de circulation (DC) a un impact sur la quantité de sel résiduel. Les taux d'explication sont de respectivement 16.0 et 18.1%. De ce fait, la DC est le meilleur facteur individuel d'explication. La DC ne donne pas une explication significative en ce qui concerne les quantités de sel résiduel sur les routes N° 602 et 730 (à faible circulation).

Cette différence d'explication dans les variations, à la fois entre les quantités de sel résiduel et entre les routes à circulation plus ou moins dense peut s'expliquer de la manière suivante:

“Seule une densité de circulation relativement élevée a une influence sur la dégradation du sel. L'impact sur les routes à faible circulation est très réduit comparé aux autres facteurs”

Tableau 2 – Explication des variances de densité de circulation pour la quantité de sel résiduel.

Route N°	Description des variances [%]	Niveau de significativité (Pr>F)
206	16.0	<0,0001
602	0.8	0,57
714	18.1	<0,0001
730	0.2	0,75

Pour la route no 206 (saumure), la quantité de sel résiduel s'exprime selon la formule suivante :

$$\text{Sel résiduel en \%} = - 0,01\% \times \text{DC} + 88\%$$

Pour la 714 (sel mouillé) la quantité de sel résiduel s'exprime selon la formule suivante:

$$\text{Sel résiduel en \%} = - 0,01\% \times \text{DC} + 64\%$$

Visiblement, 85-90% du NaCl provenant de la saumure atterrissent sur la chaussée lors de l'épandage et collent si fort à la surface que les véhicules doivent « nettoyer » la route par l'usure, tandis que seulement 60-65% du NaCl provenant du sel mouillé atterrissent sur la chaussée et collent à la surface, et n'ont pas d'effet bénéfique pour la circulation.

7. Épandage asymétrique (inégal) à l'aide d'une épandeuse à disque

Selon la figure 1, 20% de chaque dose de sel mouillé seront a perdue en raison d'un épandage asymétrique. Ce résultat a pratiquement conduit les autorités routières à focaliser davantage sur le réglage des épanduses, toutefois bien que conscients de la difficulté à obtenir une distribution symétrique avec une épandeuse à disque.

Au cours de l'été 2000, l'Administration Danoise des ponts et chaussées et les Départements de Danemark ont testé différentes techniques d'épandage en se servant de 3 épanduses à disque [5].

Les différents produits testés étaient:

- Sel raffiné sous forme de sel sec, 30 km/h
- Sel raffiné sous forme de sel mouillé, 45 km/h
- Sel raffiné sous forme de sel mouillé, 60 km/h
- Sel de mer sous forme de sel mouillé, 45 km/h
- Sel de mer sous forme de sel mouillé, 60 km/h

Les essais d'épandage symétrique ont eu lieu aux points +2 m à -2 m et aux points +4 m à -4, et les essais d'épandage asymétrique aux points +3 m à -1 m et aux points +6 m à -2 m.

La dimension de la quantité de sel répandue sur la zone testée présentait une valeur de mesure d'un intérêt principal. Contrairement à nos attentes, les résultats ne semblent pas représenter une illustration acceptable d'un épandage symétrique.

En supposant que la définition selon laquelle la quantité de sel mesurée sur une largeur de 2 mètres à travers de la ligne médiane concernée est distribuée de manière régulière sur la route, nous constatons que ***dans 10 cas sur 57 passages avec l'épandeuse à disque, la perte de sel était supérieure à 40% et dans 5 de ces cas, la perte dépassait 50% du fait d'un épandage asymétrique.*** Aucune différence n'a été notée entre le sel sec, le sel mouillé, le sel raffiné ou le sel de mer.

En supposant qu'occasionnellement, cette perte pourrait s'élever à 50% à cause d'un épandage asymétrique, cela signifie que nous devons augmenter de 100% nos besoins de sel pour les routes afin de garantir une quantité de sel suffisante sur les deux cotés de la route.

Une nouvelle mesure et une nouvelle présentation ont été réalisées au moyen d'une camera ultrasophistiquée qui permet d'illustrer la dimension de quantité de sel en pourcentage sur l'ensemble de la zone testée de 10 * 14m². Des mesures de référence ont été réalisées à l'aide de la méthode SOBO 20 immédiatement après épandage avec une épandeuse à disque. Par ailleurs, le tableau ci-dessous montre une perte de sel supérieure à 50% pour les 5 mesures réalisées.

Tableau 3 - Exemples présentant une perte supérieure à 50 % due à un épandage asymétrique avec épandeuse à disque.

Distribution de sel

Zone d'épandage +6 -

2

	+8	+7	+6	+5	+4	+3	+2	+1	-1	-2	-3	-4
Sel mesuré	0,5	0,3	0,3	6,8	59	24,4	4,4	0,6	1,3	1,1	0,6	0,4

Ici, la perte est de 63%

Zone d'épandage +4 -

4

	+6	+5	+4	+3	+2	+1	-1	-2	-3	-4	-5	-6
Sel mesuré	5	13,3	30	30	28,5	15,7	13,7	6,7	4	4	3	1,7

Ici, la perte est de 57%

Zone d'épandage +3 -

1

	+5	+4	+3	+2	+1	-1	-2	-3
Sel mesuré	0	0	1,3	5,7	22	21	11,7	4

Ici, la perte est de 54%

Zone d'épandage +2 -

2

	+4	+3	+2	+1	-1	-2	-3	-4
Sel mesuré	0	1	5,3	18	20	36	23	10,7

Ici, la perte est de 56%

Zone d'épandage +2 -2

	+4	+3	+2	+1	-1	-2	-3	-4
Sel mesuré	1	1,3	4,7	8,7	15,7	18,3	23	16

Ici, la perte est de 57%

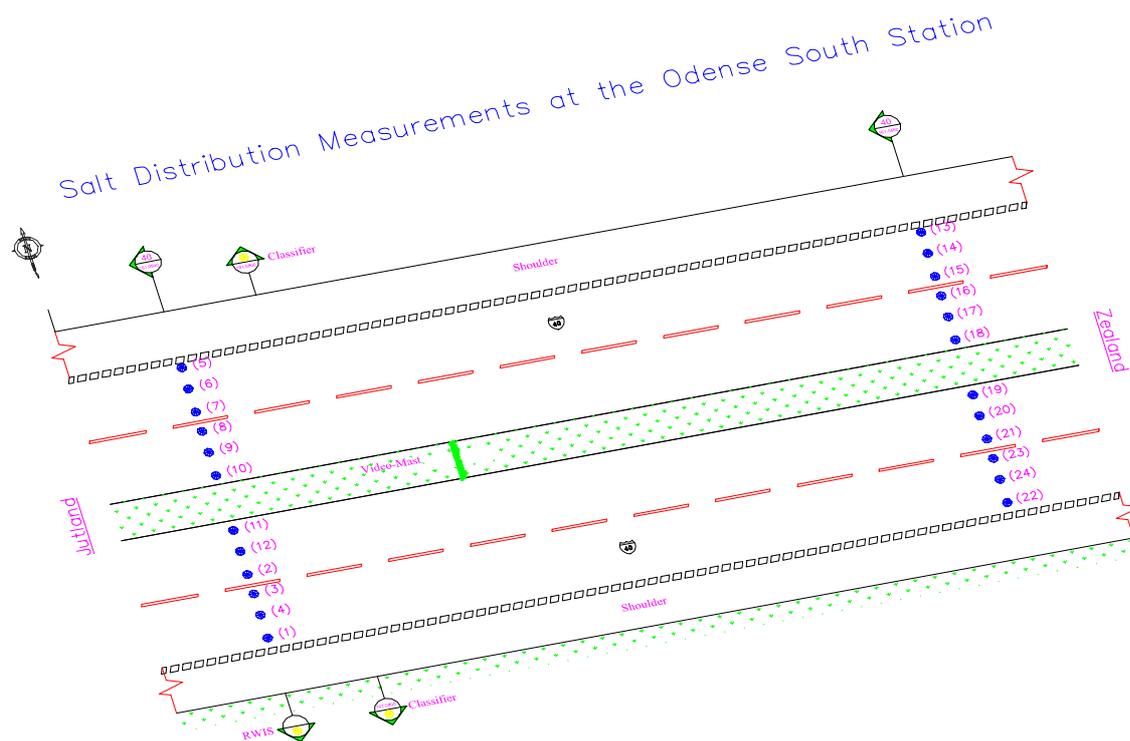
8. RESULTATS DES ESSAIS 2000-2001

Grâce à la contribution de l'Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement, Epoke, l'Administration Danoise des ponts et chaussées et le Département de Fionie, le champ d'application de ces mesures particulières a été poursuivi et étendu à l'autoroute au sud d'Odense durant la saison d'hiver 2000/2001. En se servant d'une technique permettant de mesurer les valeurs du point de congélation et de la quantité de sel résiduel ainsi que les paramètres pertinents tels que la concentration de sel, l'épaisseur du film d'eau, l'humidité et la température de la surface, 24 capteurs ont été installés afin de recueillir ces éléments de valeur détaillées et précises.

Une observation visuelle a également été rendue possible en installant quatre caméras sophistiquées (deux de chaque côté de la route) équipées de lumière infrarouge de manière à pouvoir suivre les opérations d'épandage la nuit.

Les deux méthodes d'épandage ont été séparées pour les essais, le côté est étant réservé au sel mouillé et le côté ouest à la saumure. Les résultats de ces mesures montrent une nouvelle fois qu'en matière de déverglacement, la saumure est plus efficace que le sel mouillé.

Figure 2 - Présentation de la zone testée sur l'autoroute



Les mesures contribueront à compléter et à élargir le modèle créé sur la base de mesures antérieures, et portant sur l'impact de la circulation sur la dégradation du sel. Ceci est dû, entre autres, aux chiffres de circulation pour les voies rapides et les voies lentes de l'autoroute différents beaucoup. Cette réalité pourra également servir pour réduire davantage la consommation de sel.

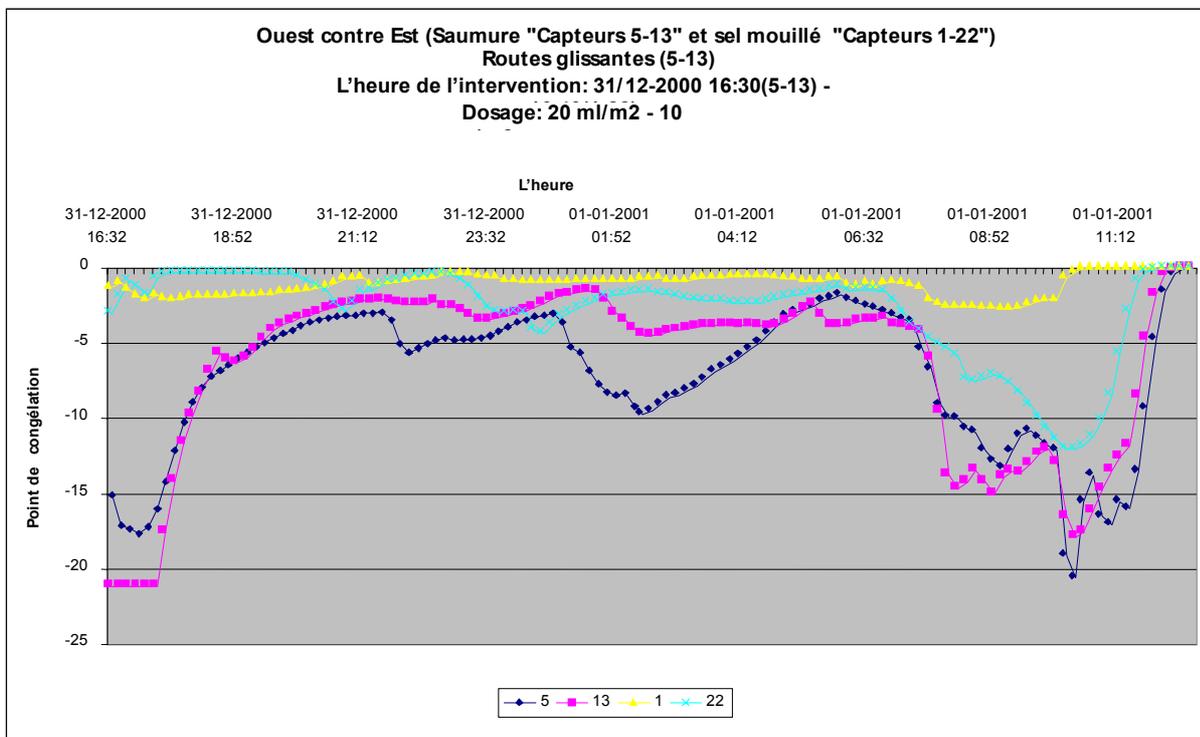


Figure 3 Comparaison des points de congélation pour les deux méthodes de chaque côté et respectivement pour la voie lente

Malheureusement, les valeurs de la quantité de sel ne sont pas encore définitives et nous sommes toujours au stade de la validation. Néanmoins, le résultat et la quantité des points de congélation nous permettent toujours d'examiner cette expérience discutable.

Comme il ressort des deux figures (3-4), les résultats sont plus favorables pour la saumure, si l'on compare une dose de 4,6 g de NaCl/m² de saumure à une dose de 7,6 g de NaCl/m² de sel mouillé.

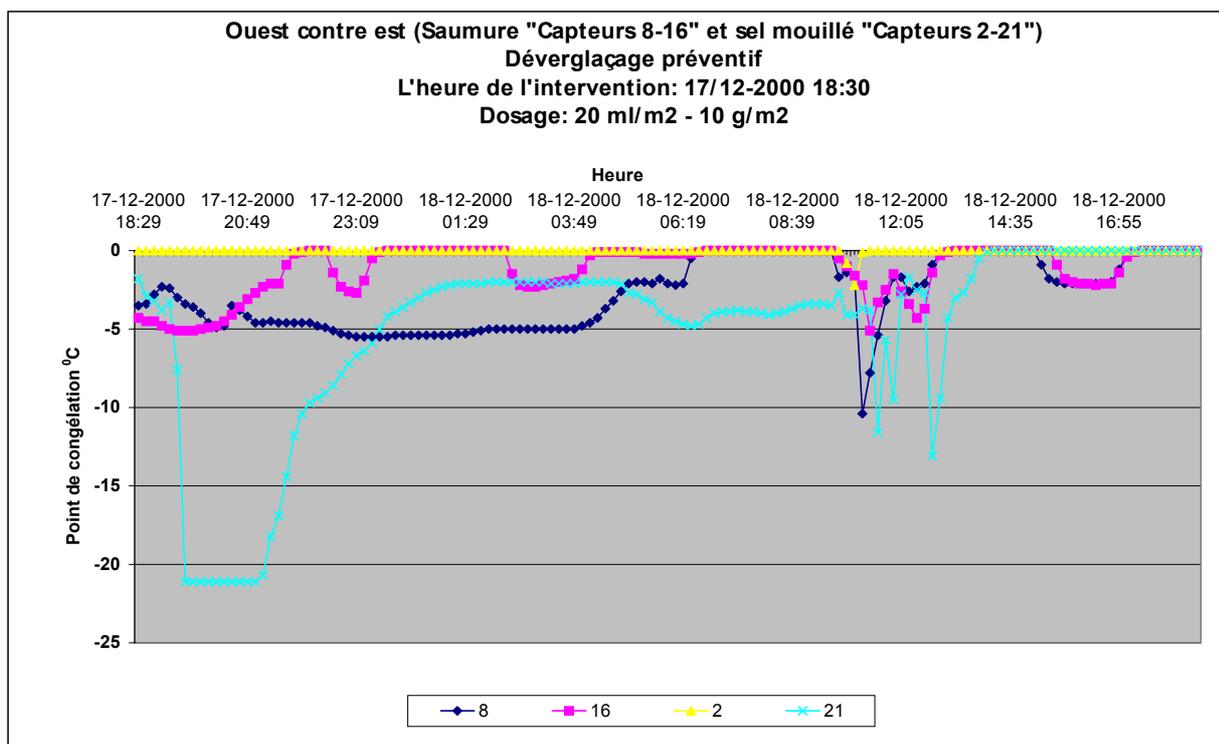


Figure 4 Comparaison des points de congélation pour les deux méthodes de chaque côté et respectivement pour la voie rapide

Le projet étant encore toujours au stade d'analyses, nous contribuons uniquement avec les résultats d'études recueillis jusqu'ici.

8.1 Délibérations supplémentaires

8.1.1 Quantité de sel et correction de données

La quantité réelle et exacte du sel a été introduite.

Dans les situations d'interventions "normales", la dose de saumure répandue sur la voie située à l'ouest, est de 20 ml/m², soit l'équivalent de 4,6 g. de NaCl/m² et le dosage de sel mouillé sur la voie située à l'est, est de 10 g/m², soit l'équivalent de 7,6 g. de NaCl/m².

Dans toute situation d'intervention qualifiée "délicate", la dose de saumure répandue sur la voie située à l'ouest, est de 40 ml/m², soit l'équivalent de 9,2 g. de NaCl/m² et le dosage de sel mouillé sur la voie d'est, est de 15 g/m², soit l'équivalent de 11,4 g. de NaCl/m².

Toutes les interventions et doses sont bien définies et sont utilisées comme point de référence pour toutes les interventions d'épandage.

8.1.2 Délibérations concernant les mesures en coupe transversale

On part de l'hypothèse que la variable statistique Y (distance à l'axe routière) est distribuée normalement avec un épandage égal. Cette supposition permet d'appliquer une valeur moyenne de ces 24 mesures de coupe transversale pour illustrer la quantité moyenne de sel résiduel en coupe transversale.

Les variations existantes entre ces mesures individuelles en coupe transversale peuvent être causées par:

1. La variation de la densité de circulation sur les 4 voies.
2. Une déviation systématique due à l'épandage.
3. Une déviation systématique due au passage de l'épandeuse dans le sens de la circulation.
4. L'impact du vent de travers sur l'autoroute.
5. La pente de la route.
6. La variation entre les deux points de mesure situés à 60 m de distance
7. La variation de l'humidité comme fonction de la température de la route.

"A ce premier stade, il n'y a pas d'intérêt à faire une analyse définitive pour avoir un exposé des variations sus-mentionnées car nous pouvons probablement utiliser les données de mesure enregistrées par les 24 capteurs pour définir les différences entre les deux méthodes d'épandage".

Les données de chacune des mesures correspond à des données relatives. Nous avons calculé les valeurs moyennes et une déviation standard pour chaque paramètre individuel choisi de ces 24 capteurs.

8.1.3 Disposition de la densité de circulation

Basé sur la définition standard de la densité de circulation, cette dernière renvoie initialement à une variable statistique qualitative de 3 niveaux : faible moyenne et dense.

Dans ce projet en particulier, la densité de la circulation intervient uniquement à partir du point où l'épandeur a quitté le champ d'essai. Aussi, la division en 3 niveaux fixes rend le modelage définitive moins solide.

Par conséquent, dans ce cas particulier, nous introduisons le concept de la densité de la circulation "DC" et définissons cette valeur comme un coefficient d'action intégrale de la fonction de la charge de circulation.

9. Références (en danois):

1. L'épandage de sel sur les routes. Département de Fionie 1999/2000, J. Kr. Fønnesbech et Knud Bjørn Prah.
2. Analyses de mesures de sel résiduel, décembre 1999, Henrik Spliid, Danemark.
3. Premières réflexions sur l'impact de la circulation mesurée et les paramètres climatiques sur le sel résiduel. Mars 2000, Thomas Glue, Danemark.
4. L'Impact de la circulation sur le sel résiduel. Mars 2000, Thomas Glue, Danemark.

Les 4 rapports ainsi qu'un fichier Corel Quattro Pro 8 contenant toutes les données enregistrées peuvent vous être adressés en envoyant votre demande par e-mail à l'adresse: jkf@vej.fyns-amt.dk. Ces données sont mises à disposition dans l'espoir que d'autres puissent s'en servir dans leurs efforts pour développer des méthodes améliorées pour la dégradation de sel résiduel.

5. Epandage de sel. Aéroport d'Aarhus, 20-23 juin 2000. Freddy Knudsen et Kim Niels Sørensen. L'Administration Danoise des ponts et chaussées, Danemark, et les Départements de Danemark. ISBN: 87-7923-154-3.

---o0o---