



Guide des bonnes pratiques d'épandage



Édition 2019



Guide des bonnes pratiques d'épandage



Édition 2019



Choisissons
la bonne voie

Québec 

Cette publication a été réalisée par la Direction de l'encadrement et de l'expertise en exploitation et éditée par la Direction des normes et des documents d'ingénierie du ministère des Transports du Québec.

Le contenu de cette publication se trouve sur le site Web du Ministère à l'adresse suivante : www.transports.gouv.qc.ca.

Pour obtenir des renseignements, on peut :

- composer le 511 (au Québec) ou le 1 888 355-0511 (partout en Amérique du Nord)
- consulter le site Web du ministère des Transports au www.transports.gouv.qc.ca
- écrire à l'adresse suivante : Direction des communications
Ministère des Transports
500, boul. René-Lévesque Ouest, bureau 4.010
Montréal (Québec) H2Z 1W7

© Gouvernement du Québec, octobre 2019

ISBN 978-2-550-85137-0 (PDF)

Dépôt légal – 2019
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés pour tous pays. La reproduction par quelque procédé que ce soit et la traduction, même partielles, sont interdites sans l'autorisation des Publications du Québec.

Préface

En période hivernale, quelque 800 000 tonnes de sel de voirie sont épandues annuellement sur le réseau du Ministère. Ce matériau ayant toutefois des impacts connus sur les infrastructures et l'environnement, il apparaît donc primordial d'en faire une utilisation responsable.

Le Ministère a élaboré deux outils afin de permettre au personnel opérationnel de prendre des décisions éclairées dans le cadre des opérations d'épandage de matériaux et d'uniformiser les pratiques : le *Guide des bonnes pratiques d'épandage* ainsi que les chartes d'épandage qui l'accompagnent.

Les chartes d'épandage intègrent les principales notions de la météorologie et sont la résultante de l'expérience de même que des connaissances empiriques des chefs des opérations et du personnel d'entretien du Ministère. Elles constituent donc une base solide pour les opérations d'entretien hivernal. Les chartes d'épandage n'ont toutefois pas la prétention de répondre à toutes les situations qui peuvent survenir sur un réseau routier étendu et complexe. Elles ne remplacent donc pas le jugement et l'expérience de ses utilisateurs.

L'appropriation de ces deux outils est nécessaire à tous les niveaux de l'organisation. J'invite donc les gestionnaires et le personnel opérationnel à s'impliquer dans l'implantation des meilleures pratiques d'épandage afin d'augmenter l'efficacité des opérations d'entretien hivernal et de réduire l'impact du sel de voirie sur l'environnement et les infrastructures.

Anne-Marie Leclerc, ing., M. Ing.
Sous-ministre adjointe

Sous-ministériat à l'ingénierie
et aux infrastructures

Introduction

Au Québec, l'entretien hivernal des routes constitue une activité indispensable pour assurer le maintien d'un réseau routier sécuritaire pour le déplacement des marchandises et des personnes.

En hiver, deux principaux types d'opérations sont essentiels pour que le réseau routier demeure sécuritaire : les opérations de déneigement et les opérations d'épandage de matériaux. A priori, l'épandage de matériaux peut sembler relativement simple. Cependant, il appert que le processus de prise de décision relatif aux opérations d'épandage de matériaux implique l'intégration de plusieurs variables. En effet, ces opérations peuvent être influencées par des paramètres météorologiques et routiers ainsi que par certains paramètres physiques, voire environnementaux.

Chartes d'épandage

Des chartes d'épandage, qui constituent des outils d'aide à la décision, ont été élaborées au ministère des Transports (Ministère) et sont présentées à l'annexe A. L'utilisation de la technique de préhumidification des matériaux a été intégrée dans les chartes. Ces outils ne remplacent pas le jugement ni l'expérience des gestionnaires de réseau. Les chartes d'épandage sont le fruit d'un large processus de concertation auprès du personnel opérationnel et ont été établies à partir de critères simples et en considérant les niveaux de service et le fonctionnement des matériaux.

Objectif du guide

Le présent guide a pour but de soutenir le personnel opérationnel du Ministère dans les opérations d'épandage de matériaux.

Le document traite des divers paramètres à considérer lors de la prise de décision et précise la façon dont ces éléments sont pris en considération dans les chartes d'épandage élaborées.

Enfin, le document traite des matériaux et des mélanges recommandés, des opérations d'épandage ainsi que de la technique de préhumidification des matériaux.

Table des matières

Préface	i
Introduction	iii
1 Facteurs météorologiques qui influencent la prise de décision	1
1.1 Température de surface (T° surface)	1
1.1.1 Outils de mesure	1
1.1.2 Facteurs qui influencent la température de surface du revêtement (T° surface)	3
1.2 Température de l'air (T° air)	4
1.2.1 Diminution de la température de surface du revêtement (lorsque T° air < T° surface)	5
1.3 Température du point de rosée (T° point de rosée)	6
1.3.1 Formation de brouillard	7
1.3.2 Formation de glace sur la chaussée	8
1.4 Vent	9
2 Autres facteurs qui influencent la prise de décision	10
2.1 Trafic	10
2.2 Précipitations	11
2.2.1 Neige	11
2.2.2 Pluie hivernale et verglas	11
2.3 Présence de structures	12
2.4 Présence de points critiques	13
2.5 Qualité du déneigement	13
2.6 Niveau de service	13
2.7 Stade d'intervention	14
2.7.1 Préventif	14
2.7.2 Sécuriser	16
2.7.3 État de surface attendu	17
3 Matériaux utilisés	19
4 Opérations d'épandage	20
4.1 Vitesse d'épandage	20
4.2 Épandage	20
4.2.1 Sel de voirie	22
4.2.2 Abrasif ou mélange sel-abrasif	22
4.3 Régulateurs d'épandage électroniques	22

5	Préhumidification des matériaux	23
5.1	Principes de fonctionnement	23
5.1.1	Objectifs de la préhumidification	23
5.1.2	Bénéfices et limites de cette pratique	23
5.1.3	Méthodes de préhumidification	25
5.2	Précisions sur la technique	26
5.2.1	Types de saumures de préhumidification	26
5.2.2	Matériaux à préhumidifier	26
5.2.3	Modifications des équipements sur les véhicules d'entretien	26
5.2.4	Entretien préventif des systèmes embarqués	27
5.3	Opportunités d'épandage de matériaux préhumidifiés	28
5.3.1	Facteurs météorologiques favorables à la préhumidification	28
5.3.2	Bonnes pratiques d'épandage	29
	Conclusion	30
	Bibliographie	31
	Annexes	35
	Annexe A – Chartes d'épandage	39
	Annexe B – Matériaux	47

Liste des figures

Figure 1 – Station météorologique fixe.	1
Figure 2 – T° surface dans les chartes d'épandage	2
Figure 3 – Pont de la rivière Famine sur l'autoroute 73 à la suite de précipitations le 14 novembre 2013 (avant l'ouverture de la route, aucun entretien réalisé)	4
Figure 4 – Diminution de la température de surface du revêtement lorsque T° air < T° surface.	5
Figure 5 – Tendances prévisionnelles de la T° air dans les chartes d'épandage.	6
Figure 6 – Conditions de T° point de rosée et de T° air pour le brouillard givrant	7
Figure 7 – Brouillard givrant.	7
Figure 8 – Conditions de T° point de rosée et de T° surface et phénomènes associés	8
Figure 9 – Trafic dans les chartes d'épandage	10
Figure 10 – Chartes d'épandage pour la pluie hivernale et le verglas	12
Figure 11 – Stade de traitement «préventif» dans les chartes d'épandage	15
Figure 12 – Stade de traitement «sécuriser» dans les chartes d'épandage cas spéciaux n°s 1 et 2	16
Figure 13 – Stade de traitement «sécuriser» dans les chartes cas généraux et cas spécial n° 3.	17
Figure 14 – Stade de traitement «état de surface attendu»	18
Figure 15 – Endroits d'épandage	20
Figure 16 – Patron d'épandage de matériaux dans les courbes lorsque l'épandeur détient une seule sortie de matériaux.	21
Figure 17 – Patron d'épandage de matériaux dans les courbes lorsque l'épandeur détient une sortie de matériaux de chaque côté du véhicule.	21
Figure 18 – Dispersion du sel non humidifié et humidifié sur la chaussée.	23
Figure 19 – Réservoir de saumure embarqué sur un véhicule de déneigement	25
Figure 20 – Symbole de l'utilisation de la préhumidification dans les chartes d'épandage.	29

1 Facteurs météorologiques qui influencent la prise de décision

Certains facteurs météorologiques prennent une place importante dans la stratégie d'épandage à adopter avant et pendant un événement météorologique ainsi qu'à la suite de celui-ci. Le personnel opérationnel doit donc avoir une bonne connaissance des principaux concepts en météorologie afin de rester à l'affût des changements dans les conditions présentes et futures sur son réseau.

1.1 Température de surface (T° surface)

Le paramètre le plus important à considérer dans la prise de décision relative aux opérations d'entretien hivernal est la température de surface du revêtement. En effet, cette température dicte la façon dont les précipitations vont réagir une fois en contact avec la chaussée. Par exemple, malgré une température de l'air (T° air) supérieure au point de congélation (0°C), la pluie peut geler lorsqu'elle se dépose sur le revêtement si la température de surface est en dessous du point de congélation.

De plus, la température de surface du revêtement est celle qui détermine la réussite ou l'échec d'un épandage de fondants. Enfin, il est à noter que la température de surface peut avoir un écart important avec la température de l'air, soit une différence allant jusqu'à 15°C .

1.1.1 Outils de mesure

Stations météorologiques fixes

La température de surface est une donnée accessible au Ministère. Tout d'abord, elle est mesurée par le parc de stations météorologiques fixes réparties sur le territoire du Québec.

Stations météorologiques mobiles

La température de surface du revêtement est également mesurée par plus de 200 stations météorologiques mobiles installées dans les camionnettes du Ministère. Il importe toutefois de noter que si la surface est entièrement recouverte de neige, la mesure de température correspondra à la température de la neige et non à celle du revêtement.

Thermomètres infrarouges portatifs

Les thermomètres infrarouges portatifs sont des outils qui permettent de mesurer la température de surface du moment où ils sont



Figure 1 – Station météorologique fixe

utilisés à la bonne émissivité de la surface visée et que ceux-ci sont conditionnés à la température ambiante. Ainsi, l'utilisation des thermomètres infrarouges portatifs n'est pas appropriée lors des opérations d'entretien hivernal. En effet, si le thermomètre est gardé à l'intérieur d'une camionnette chauffée, la mesure de la température de surface sera erronée, puisque la température de l'appareil ne sera pas égale à la température extérieure. Aussi, au même titre que les capteurs de température de surface dans les stations météorologiques mobiles, la mesure de température de surface correspondra à celle de la neige si le revêtement en est entièrement recouvert.

Comme stipulé précédemment, le présent document décrit chacun des paramètres à considérer lors de la prise de décision. Les encadrés verts permettent de préciser la façon dont les éléments ont été pris en considération dans les chartes d'épandage présentées à l'annexe A.

La température de surface du revêtement est le principal facteur considéré dans les chartes d'épandage. Plusieurs plages de température de surface y sont définies, notamment en fonction des limites d'efficacité du sel de voirie, comme indiqué à la figure ci-dessous.

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet	Points critiques	Circuit complet
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 50 à 80 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 70 à 100 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km	💧 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 120 à 150 kg/km	💧 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
		↓	Mix A 175 à 225 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km	
	↓	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	💧 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	
-12 à -15°C	↑	↑	SÉCURISER POINTS CRITIQUES →	Abrasif 250 à 350 kg/km	💧 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓			💧 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	↓	↑			Mix A 250 à 300 kg/km
		↓			Mix A 300 à 350 kg/km
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 250 à 350 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km	
	↓	↓		Abrasif 250 à 350 kg/km	
-20°C et moins			Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km

Figure 2 – T° surface dans les chartes d'épandage

1.1.2 Facteurs qui influencent la température de surface du revêtement (T° surface)

La température de surface du revêtement (T° surface) est influencée par divers facteurs. Ces derniers ainsi que leurs effets sont décrits dans les sections suivantes.

Rayonnement

La température de surface du revêtement est fortement influencée par le rayonnement du soleil. Dans une même journée, il est possible d'observer une grande variation de la température de surface, selon la présence de nuages, le moment de l'année et le type de revêtement. De plus, les types de revêtements de chaussée ont différentes capacités d'absorption du rayonnement solaire. La température de surface de la chaussée augmentera donc plus rapidement sur un revêtement en enrobé que sur une surface en béton de ciment.

De plus, le rayonnement du soleil fait augmenter de façon beaucoup plus rapide la température de surface du revêtement que la température de l'air. Ainsi, comme spécifié précédemment, un écart élevé peut être observé entre ces deux températures, particulièrement au début et à la fin de la saison hivernale. En effet, le soleil y est présent sur une plus longue période de la journée. De plus, en décembre et en janvier, le soleil est bas sur l'horizon, réduisant ainsi l'efficacité à réchauffer la surface du revêtement.

Présence de nuages

La présence de nuages le jour ou la nuit aura deux effets contraires sur l'évolution de la température de surface du revêtement.

- Le jour, le soleil réchauffe le revêtement. Toutefois, s'il y a présence de nuages, les rayons du soleil sont bloqués et ne parviennent pas au revêtement. Ce dernier évacue donc plus de chaleur qu'il en reçoit et, de ce fait, la température de surface du revêtement diminue.
- La nuit, la présence possible de nuages limite l'évacuation de chaleur du revêtement. Il en résulte donc des températures de surface plus élevées que lors d'une nuit avec un ciel dégagé.

Corps de la chaussée

La température de surface est également influencée par la température du corps de la chaussée, soit l'ensemble des couches de matériaux placées sous la surface du revêtement. La température du corps de la chaussée varie très lentement, sur plusieurs jours et non sur quelques heures. Le corps de la chaussée peut influencer à la hausse ou à la baisse la température de la surface du revêtement, selon le moment de la saison.

- Au début de la période hivernale, la température du corps de la chaussée est généralement plus élevée que la température de surface du revêtement, influençant à la hausse cette dernière température.
- En fin de période hivernale ou à la suite d'une longue période de basses températures, la température du corps de la chaussée est généralement moins élevée que la température de surface du revêtement, influençant à la baisse cette dernière température.

La température de surface des ponts présente une situation particulière puisqu'il n'y a aucun corps de chaussée à proprement parler sous la surface de roulement. Ces endroits sont donc problématiques puisque les refroidissements qu'on y observe sont plus rapides et que, conséquemment, la température de surface peut y être très différente de celle des approches de la structure. Ce phénomène peut être observé sur la photo ci-contre, prise sur le pont de la rivière Famine sur l'autoroute 73 à la suite de précipitations le 14 novembre 2013. Il est à noter que la photo a été prise avant l'ouverture de cette portion d'autoroute. De ce fait, aucun entretien n'avait été réalisé.



Figure 3 – Pont de la rivière Famine sur l'autoroute 73 à la suite de précipitations le 14 novembre 2013 (avant l'ouverture de la route, aucun entretien réalisé)

Avant l'utilisation de stations météorologiques fixes et mobiles, on considérait la température de l'air ainsi que la présence de soleil et de nuages, le moment de la journée et le moment de l'année pour prendre une décision au regard de l'épandage de matériaux. Comme expliqué précédemment, ces facteurs influencent directement la température de surface du revêtement. De ce fait, il est possible de limiter le nombre de facteurs à considérer dans les chartes d'épandage en utilisant la température de surface du revêtement comme principal critère de décision.

1.2 Température de l'air (T° air)

La température de l'air (T° air) varie plus rapidement que la température de surface du revêtement (T° surface) et souvent de façon plus saccadée. Effectivement, la température de l'air est généralement influencée par les changements des différentes masses d'air qui se déplacent sur un territoire donné, tandis que la température de surface varie selon la combinaison des divers facteurs susmentionnés.

De façon générale, en raison du rayonnement solaire, la température de l'air croît depuis le lever du soleil jusqu'au début de l'après-midi pour ensuite décroître jusqu'au coucher du soleil et même toute la nuit. Cependant, ce profil peut être modifié par l'arrivée de masses d'air aux caractéristiques variées.

Il est déconseillé de se baser sur les températures ambiantes de l'air pour évaluer les besoins en fondants et en abrasifs du réseau routier. Comme vu précédemment, la température de l'air et celle de la surface peuvent être largement différentes.

1.2.1 Diminution de la température de surface du revêtement (lorsque $T^{\circ} \text{ air} < T^{\circ} \text{ surface}$)

Lorsque la température de surface du revêtement est plus élevée que la T° air, la couche d'air à proximité est réchauffée et, conséquemment, le revêtement perd de la chaleur. Puisque l'air chaud est moins dense que l'air froid, la couche d'air réchauffée s'élève et est remplacée par une nouvelle couche d'air plus froide. Ce processus relativement lent s'arrête lorsque la température de surface de la chaussée est égale à la température de l'air.

Les vents influent sur ce phénomène en remplaçant plus rapidement la couche d'air réchauffée par une couche d'air plus froide. Un refroidissement plus rapide de la surface sera donc observé lors de journées venteuses. Le trafic peut également avoir un effet semblable au vent puisqu'il favorise le mélange des couches d'air.

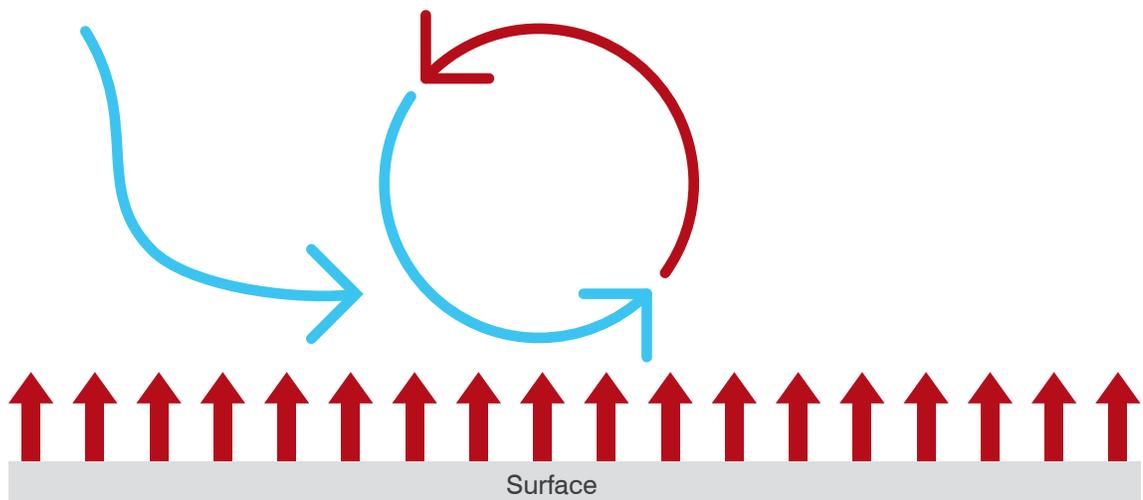


Figure 4 – Diminution de la température de surface du revêtement lorsque $T^{\circ} \text{ air} < T^{\circ} \text{ surface}$

Somme toute, la température de surface varie habituellement dans le même sens que la température de l'air, à un rythme plus ou moins rapide. Ainsi, il est possible d'avoir une idée générale de l'évolution de la température de surface en regardant la prévision de la température de l'air.

Par ailleurs, afin de prendre une décision éclairée, il importe de connaître la tendance de la température de surface. Puisque cette donnée n'est pas facilement accessible, la tendance prévisionnelle de la température de l'air est considérée dans les chartes d'épandage.

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet	Points critiques	Circuit complet
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 50 à 80 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 70 à 100 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 120 à 150 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
		↓	Mix A 175 à 225 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km	
	↓	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	
-12 à -15°C	↑	↑	SÉCURISER POINTS CRITIQUES →	Abrasif 250 à 350 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓			🚰 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	↓	↑			Mix A 250 à 300 kg/km
		↓			Mix A 300 à 350 kg/km
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km
		↓			Abrasif 250 à 350 kg/km
-20°C et moins	↓		Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km

Figure 5 – Tendance prévisionnelle de la T° air dans les chartes d'épandage

1.3 Température du point de rosée (T° point de rosée)

La température du point de rosée est la température à laquelle il y aura condensation de l'eau. En d'autres mots, il s'agit de la température à laquelle l'eau contenue dans l'air sous forme d'humidité passera de l'état gazeux (vapeur) à l'état liquide ou solide (glace).

Cette donnée est mesurée à la fois par les stations météorologiques fixes et mobiles.

La température du point de rosée est un paramètre important, puisqu'en la comparant avec la température de l'air ou de surface du revêtement, le gestionnaire de réseau routier peut anticiper certains phénomènes météorologiques.

1.3.1 Formation de brouillard

Le brouillard se forme lorsque **la température de l'air est égale à la température du point de rosée**; à ce moment, l'air devient saturé d'eau.

Au cours de la saison hivernale, un brouillard qui survient **lorsque la température de l'air est inférieure à 0 °C** est particulier. Effectivement, les gouttelettes d'eau formées peuvent geler au simple contact d'objets. C'est pourquoi ce brouillard est dit «givrant». Le brouillard givrant s'attaque particulièrement aux éléments routiers verticaux (végétation, lampadaire, signalisation, etc.), mais il peut également avoir une incidence sur la chaussée et la couvrir d'une mince pellicule de glace peu visible, ce qui rend les conditions de circulation périlleuses.

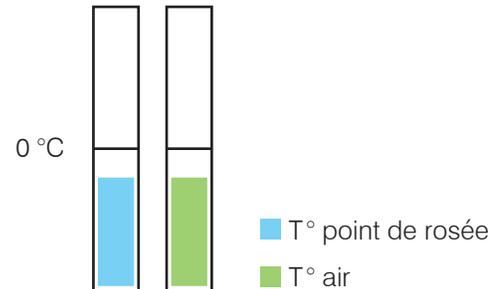


Figure 6 – Conditions de T° point de rosée et de T° air pour le brouillard givrant



Figure 7 – Brouillard givrant

1.3.2 Formation de glace sur la chaussée

Lorsque la température de surface du revêtement atteint une température inférieure à celle du point de rosée, il y a condensation sur la chaussée. Trois phénomènes sont susceptibles de se produire :

- lorsque la température de surface et la température du point de rosée sont supérieures à 0 °C, la chaussée sera humide;
- lorsque la température de surface et la température du point de rosée sont inférieures à 0 °C, il y aura formation de glace blanche;
- lorsque la température de surface est inférieure à 0 °C et que la température du point de rosée est supérieure à 0 °C, il y aura formation de glace noire.

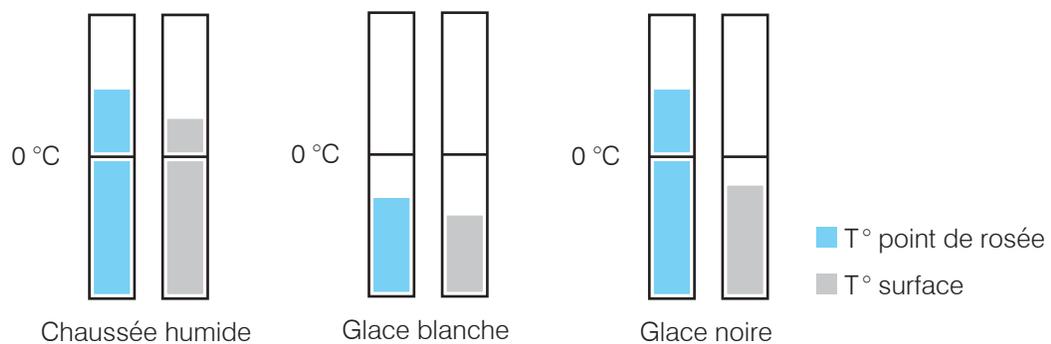


Figure 8 – Conditions de T° point de rosée et de T° surface et phénomènes associés

Le phénomène de formation de glace sans précipitations est plus fréquent sur les ponts. En effet, puisqu'il n'y a pas de corps de chaussée sous un pont favorisant un apport de chaleur, la température de surface est directement liée à la température de l'air et se refroidira donc plus rapidement à l'arrivée d'un front froid. La température de surface de la chaussée est donc plus susceptible de se retrouver sous la température du point de rosée.

La température du point de rosée n'est pas directement considérée dans les chartes d'épandage. D'ailleurs, elle varie énormément à l'échelle d'un territoire. Toutefois, dans les chartes d'épandage, on recommande de réaliser un épandage de matériaux en cas de perte d'adhérence sur la chaussée, même sans précipitations en cours.

En effet, comme stipulé précédemment, de la glace blanche ou noire peut se former sur la chaussée même sans précipitations, lorsque la température de surface descend sous la température du point de rosée.

1.4 Vent

Le vent peut agir de diverses façons en entretien d'hiver. Il peut former de la poudrière, provoquer l'accumulation de neige sur la chaussée ou former des lames de neige, et ce, même par temps clair sans précipitations.

Lorsque la neige n'adhère pas à la chaussée, l'action du vent est souhaitée, puisque cela permet de balayer la neige. Par ailleurs, dans ces conditions particulières, il importe de ne pas épandre de fondants qui auraient pour effet de mouiller la chaussée et, ainsi, de faire coller la neige balayée par le vent, accélérant la formation de glace.

Le vent peut également balayer hors de la chaussée le sel de voirie ou les abrasifs fraîchement épandus, rendant ainsi les opérations d'entretien inefficaces. Par ailleurs, le vent peut permettre d'assécher la chaussée plus rapidement après la fin d'une opération de déglacage. Enfin, le vent influence fortement la visibilité en période de précipitations.

Le vent n'est pas directement considéré dans les chartes d'épandage. Par ailleurs, une période de poudrière y est considérée comme une période de précipitations. L'objectif est donc de sécuriser la chaussée.

Le gestionnaire doit toutefois prendre en compte le vent lors de la prise de décision. Voici quelques questions à se poser :

- *Est-ce que la neige adhère à la chaussée? Est-ce qu'un épandage de sel pourrait mouiller la chaussée et ainsi entraîner des problématiques plus graves (formation de glace)? Est-ce que les opérations de déneigement sont suffisantes?*
- *Considérant la force du vent, est-ce qu'il est judicieux de réaliser un épandage, même à un taux plus élevé?*
- *Est-ce que le vent est assez fort pour balayer tous les matériaux en dehors de la chaussée, rendant ainsi l'épandage inutile?*

2 Autres facteurs qui influencent la prise de décision

2.1 Trafic

L'action du sel de voirie est indéniablement favorisée par le passage des véhicules. En effet, la circulation favorise la fragmentation et l'évacuation de la glace et de la neige présentes sur la chaussée.

Enfin, à l'heure de pointe et sur des routes à très fort débit de circulation, les gaz d'échappement et la chaleur dégagée par le fonctionnement des moteurs des voitures peuvent parfois aider le processus de fonte. Plus la circulation est ralentie, plus le transfert de chaleur est efficace.

Dans les chartes d'épandage, le trafic (faible ou élevé) est le troisième critère considéré, comme indiqué sur la figure ci-dessous :

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet	Points critiques	Circuit complet
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 50 à 80 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 70 à 100 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 120 à 150 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
		↓	Mix A 175 à 225 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
	↓	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
-12 à -15°C	↑	↑		Abrasif 250 à 350 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓			🚰 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	↓	↑		Mix A 250 à 300 kg/km	
-15 à -20°C	↑	↑			Mix A 300 à 350 kg/km
	↓	↓		Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km
-20°C et moins				Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km

SÉCURISER POINTS CRITIQUES →

Figure 9 – Trafic dans les chartes d'épandage

2.2 Précipitations

Le type de précipitations doit être considéré afin d'orienter les opérations d'épandage à réaliser. Quelques exemples de précipitations qui nécessitent un traitement particulier pouvant survenir en période hivernale sont présentés ci-dessous.

2.2.1 Neige

La neige sèche est une neige contenant une très faible proportion d'humidité. C'est généralement le type de neige qui tombe à des températures plus froides, soit $< -7\text{ °C}$. Cette neige peut facilement être déplacée par le passage des véhicules et les opérations de déneigement. De plus, lors de forts vents, il est possible que cette neige soit balayée de la chaussée. Un épandage de fondants est peu recommandé lorsque la neige est sèche. En effet, les fondants rendront la chaussée mouillée, ce qui ferait ainsi coller la neige.

La neige humide ou mouillée est une neige contenant une grande proportion d'humidité. C'est généralement le type de neige qui tombe à des températures plus chaudes, soit $> -7\text{ °C}$. Plus la température est près de 0 °C , plus la neige contient une grande proportion d'eau. La neige humide ou mouillée réagit très bien aux fondants, puisqu'elle contient une grande quantité d'eau et que les températures sont généralement favorables à la dissolution du sel. Toutefois, si cette neige n'est pas traitée, elle a tendance à se compacter et à glacer par l'action du trafic.

La charte d'épandage cas généraux a été élaborée afin de répondre à la majorité des circuits en période de précipitations de neige. Dans cette charte, le type de neige est implicite à la température de surface. En effet, on considère que plus la température de surface est élevée et se rapproche du point de congélation, plus la neige sera humide.

2.2.2 Pluie hivernale et verglas

La pluie hivernale est une précipitation qui arrive sous forme liquide sur la chaussée. Lorsqu'elle entre en contact avec une surface dont la température est sous le point de congélation, il y a formation de glace noire. Cette glace est difficile à détecter et est extrêmement glissante. Par conséquent, la glace noire est très dangereuse pour les usagers du réseau routier.

La pluie verglaçante est une précipitation qui se présente sous forme liquide, mais dont la température est inférieure au point de congélation. Ce type de précipitation est donc composé d'eau dite en « surfusion ».

Une chaussée soumise à une pluie verglaçante représente un risque important pour la circulation routière. En effet, la pluie verglaçante qui entre en contact avec la chaussée forme du verglas, et ce, peu importe si la température de surface est inférieure ou supérieure au point de congélation.

Afin de prendre en compte les précipitations de pluie hivernale et de verglas, deux chartes d'épandage distinctes ont été élaborées :

- cas spécial n° 1 «pluie hivernale»;
- cas spécial n° 2 «verglas».

Dans ces chartes, la température de surface et l'intensité des précipitations sont des facteurs à considérer. En effet, une forte intensité des précipitations risque de «laver» le sel présent sur le revêtement.

T° surface	Intensité	Préventif	Sécuriser	État de surface attendu
		Circuit complet	Circuit complet	Circuit complet
> 0°C	< 2 mm/h	Sel 90 à 110 kg/km Sel 100 à 130 kg/km	Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km) Mix B 130 à 150 kg/km (Mix B 150 à 180 kg/km)	Sel 140 à 160 kg/km (Sel 160 à 190 kg/km)
	> 2 mm/h			
< 0°C	< 2 mm/h	Sel 90 à 110 kg/km Sel 100 à 130 kg/km	Mix B 150 à 180 kg/km (Mix B 180 à 210 kg/km) Mix B 210 à 260 kg/km (Mix B 250 à 300 kg/km)	Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	> 2 mm/h			

Figure 10 – Chartes d'épandage pour la pluie hivernale et le verglas

2.3 Présence de structures

La présence de structures constitue un élément important à surveiller. La température de surface des structures est généralement plus froide que celle des routes attenantes, car elles ne disposent pas de réserve de chaleur dans le corps de chaussée.

Ainsi, comme stipulé précédemment, les structures sont plus sujettes à la formation de glace sans précipitations. Il est donc important de surveiller de près l'évolution de la température du point de rosée par rapport à celle de la surface de la structure.

2.4 Présence de points critiques

Dans le cadre des opérations d'entretien hivernal, il importe de traiter les points critiques avec attention, tels que les courbes, les pentes, les intersections, les ponts et ponts d'étagement, et les approches de passage à niveau.

Dans le cadre des opérations d'épandage de matériaux, il importe de prêter une attention particulière aux points critiques afin d'assurer la sécurité des usagers de la route.

Par ailleurs, afin de répondre aux circuits avec des points critiques particulièrement problématiques, la charte d'épandage cas spécial n° 3 « fortes pentes avec arrêts et/ou courbes prononcées et/ou transport lourd » a été élaborée.

2.5 Qualité du déneigement

L'efficacité de l'opération de déglacage est intimement liée à la qualité de l'intervention de déneigement sur le réseau routier. Ainsi, moins il restera de neige sur la chaussée, plus une opération de déglacage bien dimensionnée sera efficace. La route retrouvera alors plus rapidement les conditions de chaussées attendues.

Un déneigement efficace est la base des opérations d'entretien hivernal. D'ailleurs, il est parfois préférable de seulement déneiger, sans appliquer de matériaux. En effet, le déneigement a moins d'impacts sur l'environnement et les infrastructures routières que l'épandage de matériaux. Avant d'utiliser les chartes d'épandage, il importe donc de notamment considérer la durée, l'intensité et le type de précipitations afin de statuer sur la nécessité et le gain d'un épandage de matériaux.

2.6 Niveau de service

Au Ministère, trois niveaux de service sont définis :

- la chaussée dégagée sur toute la largeur;
- la chaussée partiellement dégagée (chaussée dégagée sur 3 m dans les sections droites et sur 5 m aux points critiques et dans les courbes);
- la chaussée entretenue sur fond de neige durcie.

Ces niveaux de service prescrivent un état de surface attendu ainsi qu'un délai pour l'atteindre. Le niveau de service attendu influence donc directement le type et la quantité de matériaux à épandre sur la chaussée.

Les chartes d'épandage cas généraux et cas spéciaux n° 1 « pluie hivernale » et n° 2 « verglas » ont été élaborées en fonction de chacun des niveaux de service.

Par contre, la charte d'épandage cas spécial n° 3 « fortes pentes avec arrêts et/ou courbes prononcées et/ou transport lourd » est seulement offerte pour les niveaux de service « dégagée » et « partiellement dégagée ».

2.7 Stade d'intervention

Les matériaux et les taux de pose utilisés seront différents selon les divers stades d'intervention décrits ci-dessous :

- préventif (au début de l'événement, pour certains réseaux et certains événements seulement);
- sécuriser (durant l'événement);
- état de surface attendu (à la fin de l'événement).

2.7.1 Préventif

L'objectif principal des interventions réalisées en stade préventif est d'empêcher la formation de glace sur la chaussée ou de limiter la force du lien qui unira la couche de glace ou de neige à la surface de la route, facilitant ainsi son élimination ultérieure. En effet, si le lien est brisé en début de précipitations, une quantité globale moindre de sel sera requise pour amener la route à son état de surface attendu à la fin des précipitations.

Lorsque des interventions sont effectuées en stade préventif, les matériaux, généralement uniquement du sel de voirie, sont épandus sur la chaussée le plus près possible du début du phénomène hivernal. Un épandage préventif est utilisé dans des circonstances particulières, notamment lors de pluie hivernale ou verglaçante.

Pour réaliser un épandage préventif, il importe que la chaussée ne soit pas complètement sèche, afin que les matériaux y adhèrent plus facilement. Il faut donc attendre que les précipitations aient commencé. De plus, étant donné que ce type d'intervention demande beaucoup d'organisation, de ressources et d'effectifs, les routes à fort débit de circulation sont privilégiées.

Pour réaliser des opérations d'épandage en stade préventif, il est nécessaire que les camions soient disposés à des endroits stratégiques du circuit, permettant de couvrir ce dernier très rapidement dès le début des précipitations.

Les chartes d'épandage cas spécial n° 1 «pluie hivernale» et cas spécial n° 2 «verglas» pour les routes de niveau de service «dégagée» comprennent le stade de traitement «préventif». L'épandage y est prescrit sur le circuit complet.

T° surface	Intensité	Préventif	Sécuriser	État de surface attendu
		Circuit complet	Circuit complet	Circuit complet
> 0°C	< 2 mm/h	 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km)	 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km)	 Sel 140 à 160 kg/km (Sel 160 à 190 kg/km)
	> 2 mm/h		 Mix B 130 à 150 kg/km (Mix B 150 à 180 kg/km)	
< 0°C	< 2 mm/h	 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km)	 Mix B 150 à 180 kg/km (Mix B 180 à 210 kg/km)	 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	> 2 mm/h		 Mix B 210 à 260 kg/km (Mix B 250 à 300 kg/km)	

Figure 11 – Stade de traitement «préventif» dans les chartes d'épandage

2.7.2 Sécuriser

Ce stade d'intervention se situe au moment des précipitations ou en période de poudrière, lorsque l'objectif est de sécuriser la chaussée. Il importe toutefois de considérer la durée des précipitations. En effet, si les précipitations sont de courte durée, il peut être judicieux d'aller directement au stade de traitement «état de surface attendu».

Le déneigement de la chaussée à l'aide d'un chasse-neige est la base des opérations à réaliser à ce stade. Aussi, puisque l'objectif est de sécuriser le réseau routier, l'utilisation d'abrasifs est privilégiée. L'épandage de fondants doit être limité pour les raisons suivantes :

- selon l'intensité des précipitations, la saumure créée par l'épandage de fondants pourrait se retrouver trop diluée pour agir efficacement et ainsi occasionner des problèmes de glace sur la chaussée traitée;
- les fondants prennent un certain temps à agir. Les matériaux pourraient donc être retirés de la chaussée par les opérations de déneigement avant d'être efficaces;
- en période de poudrière ou de neige sèche, lorsque le vent suffit à balayer les précipitations de la chaussée, les fondants rendraient la chaussée mouillée et y feraient adhérer la neige.

En général, dans les chartes d'épandage, lorsque l'objectif est de sécuriser la chaussée, les matériaux sont épandus aux points critiques seulement, y compris les surfaces glacées.

Il y a cependant deux exceptions où l'épandage est réalisé sur le circuit complet :

- dans les chartes d'épandage cas spécial n° 1 «pluie hivernale» et cas spécial n° 2 «verglas».

T° surface	Intensité	Préventif	Sécuriser	État de surface attendu
		Circuit complet	Circuit complet	Circuit complet
> 0°C	< 2 mm/h	🚰 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km)	🚰 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km)	🚰 Sel 140 à 160 kg/km (Sel 160 à 190 kg/km)
	> 2 mm/h		🔥 Mix B 130 à 150 kg/km (Mix B 150 à 180 kg/km)	
< 0°C	< 2 mm/h	🚰 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km)	🔥 Mix B 150 à 180 kg/km (Mix B 180 à 210 kg/km)	🚰 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	> 2 mm/h		🔥 Mix B 210 à 260 kg/km (Mix B 250 à 300 kg/km)	

Figure 12 – Stade de traitement «sécuriser» dans les chartes d'épandage cas spéciaux n°s 1 et 2

- dans les chartes d'épandage cas généraux et cas spécial n° 3 « fortes pentes avec arrêts et/ou courbes prononcées et/ou transport lourd », pour le niveau de service « dégagée », dans certaines plages de température de surface, lorsque le débit journalier moyen hivernal (DJMH) est supérieur à 10 000 véhicules/jour.

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet	Points critiques	Circuit complet
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 50 à 80 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 70 à 100 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 120 à 150 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
		↓	Mix A 175 à 225 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km	(Sel 120 à 150 kg/km)
	↓	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	(Sel 150 à 180 kg/km)
-12 à -15°C	↑	↑	SÉCURISER POINTS CRITIQUES →	Abrasif 250 à 350 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓			🚰 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	↓	↑			Mix A 250 à 300 kg/km
		↓			Mix A 250 à 300 kg/km
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 250 à 350 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km	
	↓	↓		Abrasif 250 à 350 kg/km	
-20°C et moins			Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	

Figure 13 – Stade de traitement « sécuriser » dans les chartes cas généraux et cas spécial n° 3

2.7.3 État de surface attendu

Le présent stade de traitement se situe à la fin des précipitations, au moment où les efforts sont déployés à rendre la chaussée au niveau de service souhaité, ou en cas de perte d'adhérence (lors de la formation de glace sans précipitations).

Avant d'épandre des matériaux, il importe de déneiger la chaussée à l'aide d'un grattage efficace. En effet, moins il y a de neige sur la chaussée, moins de fondants seront requis.

L'épandage, au cours de ce stade, doit être réalisé sur la totalité du parcours, sauf pour les chaussées sur fond de neige durcie où l'épandage est réalisé aux points critiques et aux endroits glacés. Si la température de surface et les conditions météorologiques favorisant son action le permettent, un épandage de sel de voirie est privilégié, puisqu'il permet de ramener la surface à l'état attendu. Par ailleurs, si les conditions ne permettent pas l'utilisation du sel de voirie, l'épandage d'un mélange sel-abrasif ou uniquement d'abrasifs est privilégié, permettant ainsi d'obtenir des conditions intermédiaires acceptables. Un épandage de fondants sera réalisé par la suite, lorsque les conditions météorologiques seront favorables, afin d'atteindre l'état de surface attendu.

Ainsi, plusieurs épandages et opérations de déneigement peuvent être nécessaires pour atteindre l'état de surface attendu. Il importe donc de faire attention à ne pas évacuer le sel de voirie qui n'a pas encore fait effet.

À la fin des précipitations, le revêtement doit pouvoir s'assécher rapidement, grâce à l'action combinée ou non du vent, du trafic ou du soleil. En effet, de la glace noire est créée lorsque l'eau présente sur la chaussée gèle à nouveau.

Enfin, après la fonte complète de la neige, le sel ayant été épandu en excédent sur la chaussée formera un dépôt poudreux blanchâtre à mesure que la chaussée s'assèche. Ce dépôt peut être un apport positif lors des précipitations suivantes, mais peut tout aussi bien faire coller la neige à la chaussée selon les conditions et ainsi être désavantageux. Le sel résiduel sur la chaussée occasionnera une condensation hâtive, soit avant que la température de surface atteigne la température du point de rosée.

Dans les chartes d'épandage, lorsque l'objectif est d'atteindre l'état de surface attendu, les matériaux sont épandus sur le circuit complet :

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet	Points critiques	Circuit complet
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 50 à 80 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 70 à 100 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 120 à 150 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
		↓	Mix A 175 à 225 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km	🚰 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
	↓	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
-12 à -15°C	↑	↑	SÉCURISER POINTS CRITIQUES →	Abrasif 250 à 350 kg/km	🚰 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓			🚰 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	↓	↑			Mix A 250 à 300 kg/km
		↓			Mix A 250 à 300 kg/km
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 250 à 350 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km	
	↓	↓		Abrasif 250 à 350 kg/km	
-20°C et moins			Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	

Figure 14 – Stade de traitement « état de surface attendu »

Par ailleurs, pour la charte d'épandage cas généraux et le niveau de service « sur fond de neige durcie », les matériaux sont épandus aux points critiques seulement, y compris les surfaces glacées.

3 Matériaux utilisés

Dans les chartes d'épandage, seuls les matériaux et mélanges suivants doivent être privilégiés :

- sel de voirie;
- abrasifs;
- mix A : mélange volumétrique 1 sel (25%) pour 3 abrasifs (75%);
- mix B : mélange volumétrique 3 sel (75%) pour 1 abrasif (25%).
 - Il est à noter que ce mélange est seulement utilisé dans les chartes d'épandage cas spécial n° 2 « verglas » et cas spécial n° 3 « fortes pentes avec arrêts et/ou courbes prononcées et/ou transport lourd ».

De l'information supplémentaire concernant le fonctionnement des matériaux est présentée à l'annexe B du présent document.

4 Opérations d'épandage

4.1 Vitesse d'épandage

L'opérateur doit ajuster la vitesse de son véhicule de façon à ne pas disperser les matériaux épandus hors de la chaussée. La vitesse maximale d'épandage est de 40 km/h. Toutefois, il est parfois recommandé de diminuer la vitesse, notamment aux points critiques.

4.2 Épandage

De façon générale, les matériaux utilisés doivent être épandus sur la chaussée seulement et non sur les accotements, même si ces derniers sont asphaltés.

Les taux d'épandage indiqués dans les chartes d'épandage sont en kg/km linéaire. Il faut donc réaliser un épandage au taux prescrit sur chaque ligne médiane ou discontinue indiquée par une flèche rouge sur la figure ci-dessous.

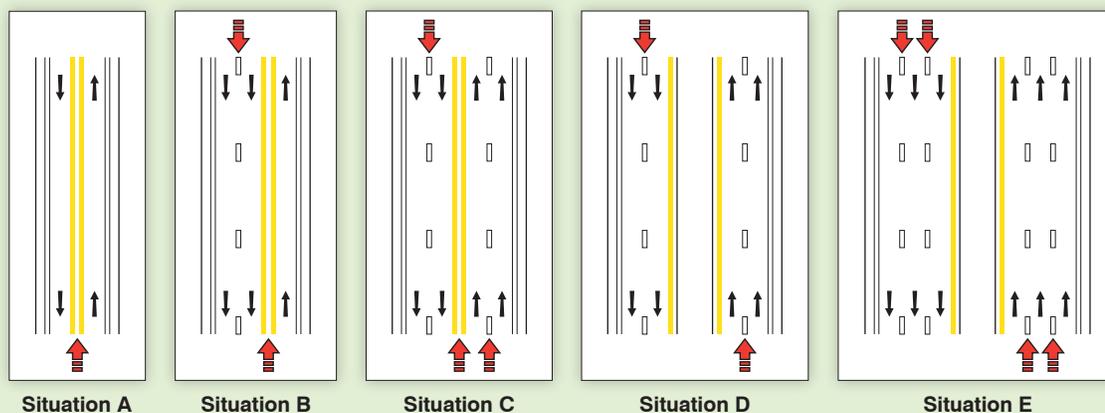


Figure 15 – Endroits d'épandage

Il est à noter que pour la ligne médiane sur les chaussées contiguës, par exemple la situation A, l'application doit être réalisée au retour pour éviter de gratter les matériaux épandus.

En présence de courbes, les matériaux doivent être épandus aux endroits indiqués sur la figure suivante :

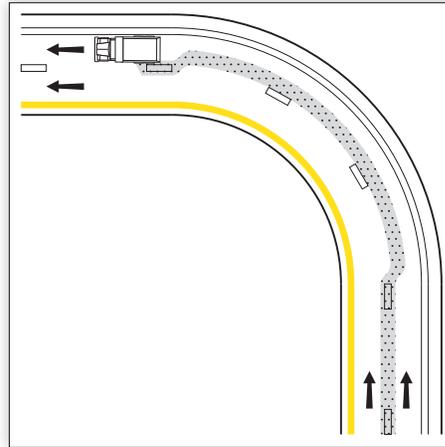


Figure 16 – Patron d'épandage de matériaux dans les courbes lorsque l'épandeur détient une seule sortie de matériaux

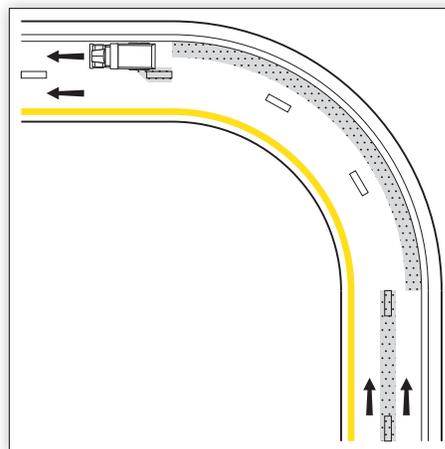


Figure 17 – Patron d'épandage de matériaux dans les courbes lorsque l'épandeur détient une sortie de matériaux de chaque côté du véhicule

4.2.1 Sel de voirie

La pratique recommandée pour l'épandage de fondants est d'appliquer ces matériaux sur une largeur de 1 m à l'endroit le plus élevé, soit sur chaque ligne médiane et discontinue indiquée par une flèche rouge sur la figure 15.

Pour le sel de voirie, le plateau de dispersion (roulette) ne doit pas être utilisé. Cette pratique concentre le sel sur une petite largeur lui permettant de faire fondre la neige ou la glace à cet endroit spécifique. Par la suite, la pente ainsi que le trafic vont répandre la saumure sur toute la largeur de la chaussée. Cette pratique permet également de réduire les pertes de sel sur l'accotement ou dans les fossés.

Dans des cas particuliers, comme dans les pentes ou aux intersections, le plateau de dispersion peut être utilisé pour épandre le fondant sur une étendue plus large. La vitesse doit alors être réduite afin d'éviter la dispersion du matériau sur les accotements.

4.2.2 Abrasif ou mélange sel-abrasif

Il est recommandé d'épandre les abrasifs et les mélanges sel-abrasif sur presque toute la largeur de la chaussée à l'aide du plateau de dispersion. En effet, l'objectif est d'ajouter de la friction entre les pneus et le revêtement, et ce, sur toute la largeur de la route.

4.3 Régulateurs d'épandage électroniques

Les régulateurs d'épandage électroniques sont des équipements essentiels pour optimiser l'utilisation des matériaux épandus. Il s'agit d'équipements embarqués qui permettent d'épandre avec précision la quantité de matériaux désirée.

Toutefois, afin d'épandre la quantité voulue, les régulateurs d'épandage électroniques doivent être étalonnés minimalement une fois en début de saison hivernale. De plus, il est important de vérifier l'étalonnage de ces équipements au cours de la saison hivernale, puisqu'ils peuvent se dérégler en cours d'utilisation.

Par ailleurs, l'étalonnage des régulateurs est directement lié à la masse volumique des matériaux utilisés. Il est donc essentiel de sélectionner le matériau ou mélange utilisé lors de l'épandage. De plus, l'étalonnage est réalisé en fixant à une valeur nominale la hauteur de la porte d'épandage. Celle-ci doit donc être réglée à la même hauteur lors des opérations d'épandage.

5 Préhumidification des matériaux

La préhumidification des matériaux est un procédé qui consiste à pulvériser une saumure sur du sel, sur des mélanges sel-abrasif ou sur des abrasifs. L'ajout de la saumure peut se faire au moment de l'épandage, à bord du camion, ou lorsque les matériaux sont mis en pile au centre d'entreposage et de manutention.

5.1 Principes de fonctionnement

5.1.1 Objectifs de la préhumidification

Comme indiqué à la section 1.2 de l'annexe B, une étape importante consécutive à l'épandage de sel est la mise en solution des cristaux de sel avec un apport d'humidité provenant généralement de l'environnement pour obtenir une saumure (eau salée créée par la mise en solution des cristaux de sel). La préhumidification des matériaux consiste donc à fournir, dans certaines situations, l'humidité requise pour cette mise en solution, l'accélérateur et permettant à l'épandage de faire fondre la neige ou la glace plus rapidement après le passage du véhicule d'entretien.

5.1.2 Bénéfices et limites de cette pratique

Le fait que les cristaux de sel se dissolvent plus rapidement dans l'eau pour produire une saumure réduit le déplacement des matériaux hors de la chaussée par la circulation des véhicules. Par exemple, dans le cas d'une autoroute avec un fort débit de circulation, le vent créé par le passage des véhicules balaie le sel hors de la chaussée, nuisant ainsi à l'efficacité de l'épandage. Plus vite le sel se transforme en saumure, plus vite celle-ci va s'infiltrer sous la neige ou sous la glace. Si le sel reste sous forme granulaire trop longtemps, un pourcentage variable est déplacé hors des voies de circulation dans les emprises.

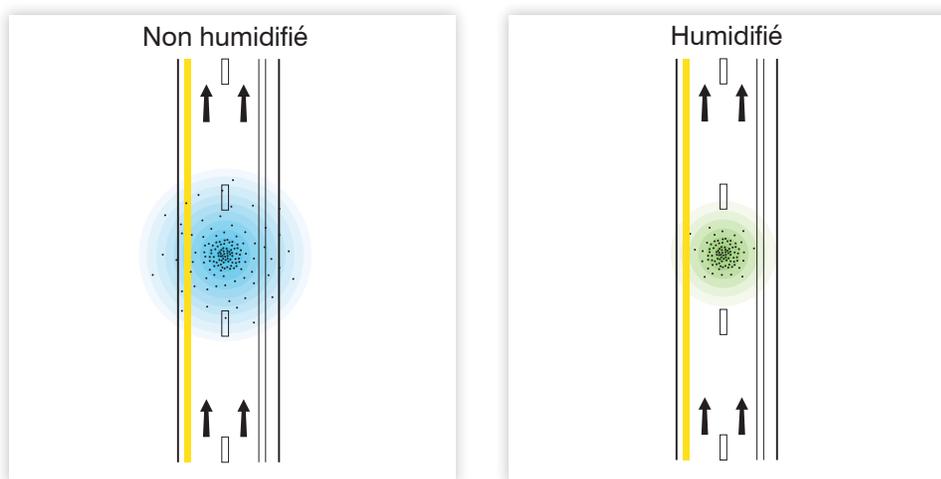


Figure 18 – Dispersion du sel non humidifié et humidifié sur la chaussée

Ainsi, puisque les pertes de sel sont diminuées, la consommation de sel de voirie est optimisée. Selon les projets pilotes réalisés au Ministère, lorsque la préhumidification est utilisée dans les conditions météorologiques et routières favorables à la diminution de consommation de sel de voirie, une réduction de 20 % des quantités de sel a été notée.

La préhumidification des matériaux ne permet pas toujours de réduire les rebonds du sel au moment de l'épandage; cette diminution dépend de la vitesse du camion et de la configuration de la sortie des épandeurs sur le camion. En revanche, comme le sel agit plus rapidement, celui-ci reste mieux en place.

Pour des températures plus basses que $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, un épandage de sel sec agit, mais a besoin de plus de temps. La préhumidification du sel dans ces conditions accélère la mise en solution et permet de dégager la chaussée plus rapidement. Toutefois, il est important d'éviter de forcer l'activation du sel lorsqu'il fait trop froid (à partir de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$), car l'eau de fonte constituée de sel dissous (chlorure de sodium dissous) risque de se transformer en glace.

Il faut souligner que l'ajout de saumure augmente la rapidité d'action du sel épandu, mais n'augmentera pas la capacité de fonte du sel, puisque la quantité de saumure ajoutée est négligeable par rapport à la quantité de sel de voirie dissous. En revanche, l'amorce de la dissolution du sel est accélérée par la présence d'eau de fonte à la suite de l'action de la saumure, car les chlorures présents dans la saumure ajoutée au moment de la préhumidification commencent à agir avant la mise en solution du sel. Cette particularité offre ainsi des bénéfices à des températures plus froides comparativement à l'utilisation seule du sel sec.

Les bénéfices de la préhumidification des épandages à base de sel sont donc :

- *de minimiser les pertes de sel dispersé par la circulation;*
- *d'augmenter la sécurité routière en offrant plus rapidement le niveau de service à atteindre;*
- *d'optimiser la consommation de sel de voirie;*
- *de réduire les effets négatifs sur l'environnement;*
- *d'accélérer l'action du sel à des températures où il agit plus lentement.*

5.1.3 Méthodes de préhumidification

La préhumidification peut être utilisée selon deux méthodes :

- « lors de la mise en pile » : traitement des matériaux avec la saumure au moment de leur mise en pile dans le centre d'entreposage et de manutention;
- « à bord des camions » : ajout de la saumure lors de l'épandage en utilisant un système de préhumidification sur le camion d'entretien.



Figure 19 – Réservoir de saumure embarqué sur un véhicule de déneigement

Pour la méthode « lors de la mise en pile », les matériaux sont mélangés avec une saumure avant leur entreposage sous l'entrepôt. La saumure alors mélangée doit présenter un coefficient de viscosité suffisant pour éviter qu'elle percole à la base de la mise en réserve de sel au fil des semaines. Lorsque la technique de préhumidification des matériaux doit être utilisée en appliquant les matériaux sur la chaussée, les matériaux préhumidifiés sont alors chargés dans le camion, puis épandus par les équipements d'épandage standard du camion. Cette technique est donc assez simple pour les opérations.

Dans le cas d'une préhumidification des matériaux « à bord des camions », de la saumure est injectée sur les matériaux à leur sortie de la benne, au moment de l'épandage. Le véhicule d'entretien doit disposer des équipements requis, notamment des réservoirs embarqués sur les camions. Pour ce faire, des buses d'aspersion situées à proximité de la chute des matériaux d'épandage vont projeter de la saumure. Cette méthode permet de préhumidifier les matériaux au moment requis et seulement aux endroits du circuit le nécessitant. Ainsi, si les conditions météo ne requièrent pas de préhumidification, le système n'est pas activé.

Le taux d'ajout de saumure aux matériaux recommandé par le Ministère est de 40 L/t pour la méthode « lors de la mise en pile » et de 35 L/t pour la méthode « à bord des camions ».

5.2 Précisions sur la technique

5.2.1 Types de saumures de préhumidification

Divers produits sont disponibles sur le marché et leurs principaux constituants sont toujours à base de chlorure (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, chlorure de calcium ou mélange de chlorures).

Il est important de respecter les spécifications techniques du produit afin de s'assurer de l'utiliser convenablement.

La saumure de préhumidification fournit l'humidité au sel pour amorcer la mise en solution. Ainsi, elle doit être principalement composée d'eau. Elle doit résister aux basses températures afin d'éviter que le liquide gèle dans les réservoirs ou que le sel humidifié gèle dans la mise en réserve (formation de blocs de sel). Le point de congélation est alors un paramètre important qui doit être assez faible pour que la saumure résiste au gel (températures froides). Enfin, la viscosité est également un critère important pour la technique « lors de la mise en pile » afin d'éviter la percolation de la saumure au bas de la pile.

5.2.2 Matériaux à préhumidifier

Le rôle principal de la préhumidification des matériaux est d'accélérer la mise en solution du sel. C'est la raison pour laquelle les chartes d'épandage du Ministère recommandent exclusivement la préhumidification du sel et du mix B, qui contient une plus forte proportion de sel.

Lorsque la surface de la chaussée est glacée, le sel épandu est projeté hors de la chaussée par la circulation (selon le type, le débit et la vitesse de la circulation). Dans ces conditions rares, le mix A et les abrasifs peuvent être préhumidifiés pour adhérer à la chaussée et offrir plus d'adhérence aux véhicules tout en réduisant le nombre de passages du camion.

5.2.3 Modifications des équipements sur les véhicules d'entretien

Lorsque la méthode de préhumidification « à bord du camion » est suivie, le camion doit être équipé d'un système essentiellement composé de réservoirs à saumure, d'une pompe à saumure, d'un débitmètre et de dispositifs d'aspersion. Ce système est activé à partir de la console du système d'épandage. Le taux d'humidification des matériaux doit être constant, peu importe la vitesse d'épandage des matériaux. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de bien calibrer le système de régulation d'épandage pour que le taux de saumure réel injecté corresponde en toutes circonstances à celui demandé.

Lorsque la méthode de préhumidification « lors de la mise en pile » est suivie, aucun ajout d'équipement n'est requis sur le véhicule d'entretien.

5.2.4 Entretien préventif des systèmes embarqués

Au même titre que les autres équipements d'épandage, les systèmes de préhumidification embarqués doivent faire l'objet d'un entretien régulier. Les buses d'aspersion situées à proximité de la chute des matériaux d'épandage se composent de deux parties distinctes :

- un gicleur pour diriger et uniformiser le jet de saumure (dans la partie basse de la buse);
- une soupape pour maintenir une pression interne et éviter que le liquide s'écoule en continu à l'arrêt du système (dans la partie haute de la buse).

Il est important de vérifier régulièrement que le gicleur n'est pas obstrué. Des particules peuvent s'y loger ou des dépôts de cristallisation peuvent en réduire le diamètre. La soupape, quant à elle, doit pouvoir bouger librement pour jouer son rôle.

Pour ces raisons, des tests doivent être effectués sur une base régulière, idéalement à chaque utilisation du système de préhumidification. Pour ce faire, le système doit être activé et une vérification visuelle doit être effectuée pour s'assurer de l'écoulement normal de la saumure venant des buses. En cas de mauvais fonctionnement, les buses doivent être nettoyées ou réparées. Au retour d'un épandage avec préhumidification, les buses devraient être nettoyées en même temps que le camion.

Il est essentiel que les composants du système de préhumidification (pompes, débitmètre, gicleurs, etc.) soient dimensionnés selon le taux de préhumidification voulu. Ainsi, toute anomalie concernant les parties du système qui s'endommagent doit être signalée.

5.3 Opportunités d'épandage de matériaux préhumidifiés

5.3.1 Facteurs météorologiques favorables à la préhumidification

La préhumidification a pour principal objectif d'accélérer la mise en solution des cristaux de sel. Ce sont donc les facteurs météorologiques qui ralentissent la mise en solution qui détermineront les opportunités de préhumidification, notamment lorsque la température de la surface de la chaussée ne permet pas l'apport suffisant en humidité, que les réactions chimiques ralentissent et que la mise en solution du sel a besoin de se faire plus rapidement.

Lorsque l'image présentant une goutte est illustrée sur les chartes d'épandage, il y a une opportunité de procéder à un épandage de matériaux préhumidifiés.

Les facteurs qui sont considérés pour réaliser un épandage avec préhumidification sont les suivants :

- *verglas : la glace formée par la pluie verglaçante est sèche et le sel doit disposer d'humidité pour être en mesure de briser le lien entre la glace et la surface de la chaussée;*
- *température de la surface de la chaussée inférieure à -7 °C : la mise en solution du sel est plus lente avec une température plus basse et un apport d'humidité permet d'accélérer ce processus;*
- *température de la surface de la chaussée supérieure à -15 °C : les limites d'efficacité du sel sec sont atteintes à -15 °C. Puisque la préhumidification ne permet pas d'augmenter cette propriété, les risques de regel sont importants sous cette température.*

La préhumidification des matériaux n'est pas recommandée pendant les précipitations, car la dilution de la saumure sera plus rapide en raison de l'apport constant de neige ou de pluie hivernale et occasionnera des risques plus importants de formation de glace. Toutefois, lors d'un épisode de verglas qui correspond à une glace sèche, un épandage de sel sec fonctionnera difficilement et l'humidification du matériau permettra une action plus rapide.

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet	Points critiques	Circuit complet
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 50 à 80 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 70 à 100 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km	 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 120 à 150 kg/km	 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km)
		↓	Mix A 175 à 225 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km	 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
	↓	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
-12 à -15°C	↑	↑	SÉCURISER POINTS CRITIQUES →	Abrasif 250 à 350 kg/km	 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km)
		↓			 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km)
	↓	↑			Mix A 250 à 300 kg/km
		↓			Mix A 300 à 350 kg/km
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	
	↓	↓			
-20°C et moins			Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	

Figure 20 – Symbole de l'utilisation de la préhumidification dans les chartes d'épandage

5.3.2 Bonnes pratiques d'épandage

Il est très important de respecter les mêmes pratiques d'épandage avec ou sans méthode de préhumidification. La vitesse du camion doit être aussi faible que possible, comme pour l'épandage de matériaux secs (section 4.1 «Vitesse d'épandage»), étant donné que la préhumidification ne réduit pas les rebonds : c'est l'accélération de mise en solution qui permet de conserver plus de sel sur la chaussée qu'un épandage de matériaux secs.

Les conditions d'utilisation de la roulette et le patron d'épandage sont également les mêmes que pour un épandage sans préhumidification (section 4.2 «Épandage»).

Conclusion

Somme toute, afin de réaliser des opérations d'épandage efficaces, il importe que le personnel opérationnel ait acquis les connaissances décrites dans le présent guide :

- les facteurs météorologiques et les autres facteurs à considérer lors de la prise de décision;
- les matériaux à utiliser et leur fonctionnement;
- les opérations d'épandage à réaliser;
- la technique de préhumidification des matériaux à utiliser lorsque requis.

Par ailleurs, quelques-uns des facteurs à prendre en compte lors de la prise de décision sont directement considérés dans les chartes d'épandage élaborées et présentées à l'annexe A, soit :

- la température de surface du revêtement;
- la tendance de la température de l'air;
- le trafic;
- le niveau de service et le stade de traitement;
- le type de précipitations.

Il est à noter que dans une optique où l'on souhaite un outil simple d'utilisation et convivial, les chartes d'épandage ne peuvent pas prendre en compte tous les facteurs qui influencent la prise de décision. Les chartes d'épandage sont des outils d'aide à la décision et ne remplacent donc pas le jugement ni l'expérience des responsables de l'entretien du réseau en période hivernale.

Bibliographie

ALLIED CHEMICAL, *Calcium Chloride*, Technical and Engineering Service Bulletin No. 16, Morristown (New Jersey), 1978, 98 p.

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE DES CONGRÈS DE LA ROUTE, *Actes du VIII^e Congrès international de la viabilité hivernale*, 2 volumes, Tromso (Norvège), 14-16 mars 1990, 273 et 278 p.

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE DES CONGRÈS DE LA ROUTE, *Rapport du Comité de l'entretien et de la gestion*, Tromso (Norvège), 14-16 mars 1990, pagination multiple.

BOGREN, J. et T. GUSTAVSSON, *A Method for the Development of a Local Climatological Model for Prediction of Slipperiness on Roads*, Guni Report 20, Département de géographie physique, Université de Goteborg (Suède), (Sweden), 1986, 54 p.

BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, *Norme-Chlorure de calcium*, BNQ 2410 100, ministère de l'Industrie, du Commerce et du Tourisme, 1982, 13 p.

BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, *Norme-Chlorure de calcium*, BNQ 2410 200, ministère de l'Industrie, du Commerce et du Tourisme, 1982, 8 p.

CELANESE CANADA A. INC., *Sodium Formate De-Icer for Sidewalk, Street and Highway Applications*, Technical Information Bulletin, Edmonton (Alberta), 1989, 12 p.

CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES DE L'ÉQUIPEMENT DE L'EST, *Verglas mode d'emploi/Guide pédagogique*, Service d'études techniques des routes et autoroutes, Bagneux (France), 1989, pagination multiple.

CHOUINARD, A., *Camion épandeur (opération) – Techniques de déglçage*, Service des équipements, ministère des Transports, Québec, 1989, 28 p. et annexes.

COLE, F. W., *Introduction to Meteorology*, John Wiley and Son Inc., New York, 1970, 387 p.

DONALD WALKER, P.E., *Salt and Highway for the Winter maintenance, The Truth about Sand and Salt for Winter Maintenance*, vol. 42, n° 2, Salt Institute, été 2005, 4 p.

GEIGER, R., *The Climate near the Ground*, Harvard University Press, Cambridge, 4^e édition, 1973, 611 p.

GERVAIS, J. P. et D. MAHEUX, *L'influence de la salinité de la glace sur le temps de fonte*, Direction de l'entretien, ministère des Transports, Québec, 1981, 28 p. et annexes.

GIGUÈRE, A., *Camion de déneigement*, Service des équipements, ministère des Transports, Québec, 1989, 22 p. et annexes.

GODART, O., *Éléments d'astronomie et de géophysique*, Vander, Louvain (Belgique), 1972, 183 p.

GRAY, D. M. (éd.), *Handbook on the Principles of Hydrology*, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, 1970, 570 p. approx. (pagination multiple).

GRAY, D. M. et D. H. MALE (éd.), *Handbook of Snow, Principles, Processus, Management and Use*, Pergamon Press of Canada, Toronto, 1981, 776 p.

GUSTAFSON, K., *Highway Snow and Ice Control, State-of-the-Art*, VTI Report, n° 276A, Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping, 1985, 124 p.

HUFTY, A., *Introduction à la climatologie*, coll. « La géographie et ses problèmes », Magellan, Paris, 1976, 264 p.

INFRASTRUCTURE AND TRANSPORTATION SERVICES, *WO2.02 – Salt Smart Level 1, Lesson Plan V1.0.0*, 84 p.

INFRASTRUCTURE AND TRANSPORTATION SERVICES, *WO2.02 – Salt Smart Level 1, Manual*, Maintenance Career Training Program, 55 p.

INFRASTRUCTURE AND TRANSPORTATION SERVICES, *WO2.04 – Basic Winter Maintenance Operation*, 38 p.

KAUFMAN, D. W., *Sodium Chloride, the Production and Property of Salt and Brine*, American Chemical Society, Washington, 1960, 710 p.

KEYSER, J. H. et L. CARRIER, *Fondants chimiques et abrasifs, État des connaissances*, École polytechnique de Montréal, EP73-R-25, 1973, 64 p.

LEDUC, R. et R. GERVAIS, *Connaître la météorologie*, Presses de l'Université du Québec, 1985, 299 p.

LLIBOUTRY, L., *Traité de glaciologie*, 2 volumes, Masson, Paris, 1964-1965, 1 033 p.

LOWRY, W. P., *Weather and Life*, Academic Press, Londres, 1969, 315 p.

MANNING, D. G., *Issues Relating to the Use of De-icing Chemicals*, Direction de la recherche et du développement, ministère des Transports, Downsview, 1990, 13 p.

MINISTÈRE DE LA VOIRIE, *Étude sur la technique d'application des fondants et abrasifs*, Direction générale de l'entretien, Québec, 1970, 27 p.

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, *Dictionnaire de l'entretien routier*, Volume 4 : Viabilité hivernale, Observatoire national de la route, France, 1998, 222 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS, *Devis général d'entretien d'hiver pour contrat en appel d'offres public*, Direction de l'entretien, Québec, 1991, 25 p. (non publié).

MINISTÈRE DES TRANSPORTS, *Formation 1987-1988*, Service de l'entretien d'hiver et des structures, Québec, 1986, 34 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS, *Norme de viabilité hivernale*, Service de l'exploitation d'hiver, Québec, 1978, pagination multiple.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS, DE LA MOBILITÉ DURABLE ET DE L'ÉLECTRIFICATION DES TRANSPORTS, *Cahier des charges et devis généraux*, Les Publications du Québec, Québec, 2016, pagination multiple.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DE L'ONTARIO, *De-icer Fact Sheet*, Direction de la recherche et du développement, Downsview, 1990, 10 p.

MINSK, L. D., *Optimizing Deicing Chemical Application Rates*, Cold Region Research and Engineering Laboratory, Report 82 18, Federal Highway Administration, Washington D.C., 1982, 55 p.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES, *Dégâts hivernaux causés aux chaussées*, Groupe de recherche routier de l'OCDE, Paris, 1972, 91 p.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES, *Intempéries, visibilité restreinte et sécurité routière*, Groupe de recherche de l'OCDE, Paris, 1976, 106 p.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES, *Réduction de l'utilisation des fondants dans l'entretien hivernal*, OCDE, Paris, 1989, 131 p.

PLAMONDON, M., *Étude des tempêtes de neige survenues dans la ville de Québec (1965-1975) et de leur incidence sur la circulation routière*, Thèse de maîtrise, Université Laval, 1979, 262 p.

PROULX, H. et collab., *Climatologie du Québec méridional*, Direction de la météorologie, ministère de l'Environnement du Québec, M. P. 65, 1987, 198 p.

SCHAERER, P. A., *Compaction or Removal of Wet Snow by Traffic*, NRCC 11796, réimpression à partir de HRB special report No. 115, 1971, 9 p.

SCHAERER, P. A., *Melting Snow and Ice by Heating Pavments*, Building Research Note No. 55, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, 12 p.

SCHNEIDER, T. R., *Snowdrifts and Winter Ice on Roads*, Technical Translation 1038, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, 1962, 200 p.

SCHNEIDER, T. R., *The Calculation of the Amount of Salt Required to Melt Ice and Snow on Highways*, Technical Translation 1004, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, 1962, 42 p.

SELLERS, W. D., *Physical Climatology*, University of Chicago Press, 1965, 272 p.

TURGEON, A., *Température de l'air ambiant et température de la chaussée*, Division de la normalisation, ministère des Transports, 1976, 7 p.

UNIVERSITÉ DE LOWA, NIXON, W. A. et A. GERARD, *Development of chloride reduction training*, Illinois Department of Transportation, Illinois Center for Transportation, Research Report No. FHWA-ICT-15-010, avril 2015, 14 p.

U.S. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, *Snow Research and Ice Control Research*, Special Report No. 185, National Academy of Sciences, Washington, 1979, 355 p.

VILLENEUVE, G.O., *Glossaire de météorologie et de climatologie*, Presses de l'Université Laval, 1974, 560 p.

WISCONSIN TRANSPORTATION INFORMATION CENTER, *Wisconsin Transportation bulletin*, n° 6, Université de Wisconsin-Madison, 2005, 4 p.

Annexes



Annexes

Table des matières

Annexe A – Chartes d'épandage	39
Annexe B – Matériaux	47
1 Chlorure de sodium (NaCl)	48
1.1 Objectif du sel	48
1.2 Deux éléments essentiels à l'action du sel : l'eau et la chaleur	48
1.3 Comment agit le sel?	49
1.4 Capacité de fonte	49
1.5 Diagramme des phases	50
1.6 Utilisation du sel de voirie : pièges à éviter	52
1.7 Impacts sur l'environnement et les infrastructures	52
2 Abrasifs	53
3 Mélanges sel-abrasif	54
3.1 Mélanges recommandés	54

Liste des figures

Figure B.1 – Diagramme des phases d'une solution d'eau et de chlorure de sodium. . . .	50
Figure B.2 – Coloration blanche de la chaussée causée par l'excès de sel de voirie à la suite de l'évaporation de l'eau	51

Annexe A – Chartes d'épandage

Niveau de service – Dégagée

Cas généraux

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet ⁽¹⁾	Points critiques ⁽²⁾	Circuit complet ⁽³⁾
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 50 à 80 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 70 à 100 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km	💧 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km) ⁽⁴⁾
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 120 à 150 kg/km	💧 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km) ⁽⁴⁾
		↓	Mix A 175 à 225 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km	
	↓	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	💧 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km) ⁽⁴⁾
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	
-12 à -15°C	↑	↑	SÉCURISER POINTS CRITIQUES →	Abrasif 250 à 350 kg/km	💧 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km) ⁽⁴⁾
		↓			💧 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km) ⁽⁴⁾
	↓	↑			Mix A 250 à 300 kg/km
		↓			
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 250 à 350 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km	
		↓		Abrasif 250 à 350 kg/km	
↓	↑				
	↓				
-20°C et moins			Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km	

1. Traitement sur le circuit au complet, **au besoin**.

2. Traitement des points critiques, incluant les surfaces glacées, **au besoin**.

3. Traitement sur tout le circuit à la fin des précipitations (selon les délais) OU traitement sur tout le circuit en cas de perte d'adhérence.

4. Taux de pose sans préhumidification : l'application de matériaux indiquée est 15% plus élevée que le taux de pose préhumidifié.

SEL de voirie pur

MIX A : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

ABRASIF de type AB-10 ou AB-5

PRÉHUMIDIFICATION (35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Niveau de service – Partiellement dégagée

Cas généraux

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser	État de surface attendu
			Points critiques ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Mix A 150 à 200 kg/km	Sel 70 à 100 kg/km
	↓		Mix A 200 à 250 kg/km	💧 Sel 80 à 100 kg/km (Sel 90 à 120 kg/km) ⁽³⁾
-7 à -12°C	↑	↑	Mix A 200 à 250 kg/km	💧 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km) ⁽³⁾
		↓		
	↓	↑	Mix A 250 à 300 kg/km	💧 Sel 110 à 140 kg/km (Sel 130 à 160 kg/km) ⁽³⁾
		↓		
-12 à -15°C	↑	↑	Mix A 250 à 300 kg/km	💧 Sel 110 à 140 kg/km (Sel 130 à 160 kg/km) ⁽³⁾
		↓	Abrasif 250 à 350 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km
	↓	↑		Abrasif 250 à 350 kg/km
		↓	↓	Abrasif 250 à 350 kg/km
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 250 à 350 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km
		↓		Abrasif 250 à 350 kg/km
	↓			Abrasif 250 à 350 kg/km
-20°C et moins			Abrasif 250 à 350 kg/km	Abrasif 250 à 350 kg/km

1. Traitement des points critiques, incluant les surfaces glacées, **au besoin**.

2. Traitement sur tout le circuit à la fin des précipitations (selon les délais) OU traitement sur tout le circuit en cas de perte d'adhérence.

3. Taux de pose sans préhumidification : l'application de matériaux indiquée est 15% plus élevée que le taux de pose préhumidifié.

SEL de voirie pur

MIX A : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

ABRASIF de type AB-10 ou AB-5

💧 PRÉHUMIDIFICATION (35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Niveau de service – Sur fond de neige durcie

Cas généraux

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser	État de surface attendu
			Points critiques ⁽¹⁾	Points critiques ⁽¹⁾
0°C et plus				Au besoin Mix A 175 à 225 kg/km
0 à -7°C	↑		Abrasive 250 à 350 kg/km	Mix A 200 à 250 kg/km
	↓			Abrasive 300 à 400 kg/km
-7 à -12°C	↑	↑	Abrasive 250 à 350 kg/km	Abrasive 300 à 400 kg/km
		↓		
	↓	↑		
		↓		
-12 à -15°C	↑	↑	Abrasive 250 à 350 kg/km	Abrasive 300 à 400 kg/km
		↓		
	↓	↑		
		↓		
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasive 250 à 350 kg/km	Abrasive 300 à 400 kg/km
		↓		
	↓			
-20°C et moins			Abrasive 250 à 350 kg/km	Abrasive 300 à 400 kg/km

1. Traitement des points critiques, incluant les surfaces glacées, **au besoin**.

ABRASIF de type AB-10 ou AB-5 **MIX A** : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Niveau de service – Dégagée

Cas spécial n° 1 – Pluie hivernale

T° surface	T° air	Intensité	Préventif	Sécuriser	État de surface attendu
			Circuit complet ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾	Circuit complet ⁽³⁾
> 0°C	↑				Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
	↓			Sel 50 à 80 kg/km	Sel 50 à 90 kg/km
< 0°C		< 2 mm/h	Sel 50 à 90 kg/km	Sel 50 à 90 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km
		> 2 mm/h	Mix A 150 à 200 kg/km	Mix A 150 à 200 kg/km	

Cas spécial n° 2 – Verglas

T° surface	Intensité	Préventif	Sécuriser	État de surface attendu
		Circuit complet ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾	Circuit complet ⁽³⁾
> 0°C	< 2 mm/h	 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km) ⁽⁴⁾	 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km) ⁽⁴⁾	 Sel 140 à 160 kg/km (Sel 160 à 190 kg/km) ⁽⁴⁾
	> 2 mm/h		 Mix B 130 à 150 kg/km (Mix B 150 à 180 kg/km) ⁽⁴⁾	
< 0°C	< 2 mm/h	 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km) ⁽⁴⁾	 Mix B 150 à 180 kg/km (Mix B 180 à 210 kg/km) ⁽⁴⁾	 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km) ⁽⁴⁾
	> 2 mm/h		 Mix B 210 à 260 kg/km (Mix B 250 à 300 kg/km) ⁽⁴⁾	

1. Si possible, traiter tout le circuit dès le début des précipitations.

2. Traitement sur tout le circuit, **au besoin**, selon l'adhérence de la chaussée pendant les précipitations.

3. Traitement sur tout le circuit à la fin des précipitations, selon les délais.

4. Taux de pose sans préhumidification : l'application de matériaux indiquée est 15% plus élevée que le taux de pose préhumidifié.

 SEL de voirie pur

 MIX A : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

 MIX B : 3 portions de sel (75%) pour 1 portion d'abrasif (25%)

 PRÉHUMIDIFICATION (35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

 PRÉHUMIDIFICATION (35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Niveau de service – Partiellement dégagée

Cas spécial n° 1 – Pluie hivernale

T° surface	T° air	Intensité	Sécuriser	État de surface attendu
			Circuit complet ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾
> 0°C	↑			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
	↓			Sel 50 à 90 kg/km
< 0°C		< 2 mm/h	Sel 50 à 90 kg/km	Sel 90 à 120 kg/km
		> 2 mm/h	Mix A 150 à 200 kg/km	

Cas spécial n° 2 – Verglas

T° surface	Intensité	Sécuriser	État de surface attendu
		Circuit complet ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾
> 0°C	< 2 mm/h	Mix A 250 à 300 kg/km	 Sel 110 à 140 kg/km (Sel 130 à 160 kg/km) ⁽³⁾
	> 2 mm/h		
< 0°C	< 2 mm/h	Mix A 250 à 300 kg/km	 Sel 160 à 190 kg/km (Sel 190 à 220 kg/km) ⁽³⁾
	> 2 mm/h		

1. Traitement sur tout le circuit, **au besoin**, selon l'adhérence de la chaussée pendant les précipitations.

2. Traitement sur tout le circuit à la fin des précipitations, selon les délais.

3. Taux de pose sans préhumidification : l'application de matériaux indiquée est 15% plus élevée que le taux de pose préhumidifié.

 **SEL** de voirie pur

 **PRÉHUMIDIFICATION** (35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

 **MIX A** : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Niveau de service – Sur fond de neige durcie

Cas spécial n° 1 – Pluie hivernale

T° surface	T° air	Intensité	Sécuriser	État de surface attendu
			Circuit complet ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾
> 0°C	↑		Au besoin Mix A 250 à 300 kg/km	Au besoin Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Mix A 250 à 300 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
< 0°C		< 2 mm/h	Mix A 250 à 300 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km
		> 2 mm/h	Abrasif 250 à 300 kg/km	

Cas spécial n° 2 – Verglas

T° surface	Intensité	Sécuriser	État de surface attendu
		Circuit complet ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾
> 0°C	< 2 mm/h	Mix A 250 à 300 kg/km	 Sel 140 à 160 kg/km (Sel 160 à 190 kg/km) ⁽³⁾
	> 2 mm/h		
< 0°C	< 2 mm/h	Mix A 250 à 300 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km
	> 2 mm/h		

1. Traitement sur tout le circuit, **au besoin**, selon l'adhérence de la chaussée pendant les précipitations.

2. Traitement sur tout le circuit à la fin des précipitations, selon les délais.

3. Taux de pose sans préhumidification : l'application de matériaux indiquée est 15% plus élevée que le taux de pose préhumidifié.

 SEL de voirie pur

 MIX A : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

 ABRASIF de type AB-10 ou AB-5

 PRÉHUMIDIFICATION (35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Niveau de service – Dégagée

Cas spécial n°3 – Fortes pentes avec arrêts et/ou courbes prononcées et/ou transport lourd

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser		État de surface attendu
			DJMH > 10 000 véh./jour Circuit complet ⁽¹⁾	Points critiques ⁽²⁾	Circuit complet ⁽³⁾
0°C et plus			Au besoin Sel 70 à 100 kg/km	Au besoin Sel 70 à 100 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Sel 100 à 130 kg/km	Sel 100 à 150 kg/km	Sel 100 à 130 kg/km
	↓		Sel 130 à 160 kg/km	Mix B 130 à 160 kg/km	💧 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km) ⁽⁴⁾
-7 à -12°C	↑	↑	Sel 150 à 200 kg/km	Mix B 130 à 160 kg/km	💧 Sel 100 à 130 kg/km (Sel 120 à 150 kg/km) ⁽⁴⁾
		↓		Mix B 150 à 180 kg/km	
	↓	↑	Sel 200 à 250 kg/km	Mix B 180 à 210 kg/km	💧 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km) ⁽⁴⁾
		↓		Mix B 200 à 230 kg/km	
-12 à -15°C	↑	↑	Sel 200 à 250 kg/km	Mix B 200 à 230 kg/km	💧 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km) ⁽⁴⁾
		↓		Mix A 250 à 300 kg/km	
	↓	↑	Sel 250 à 300 kg/km	Mix A 250 à 300 kg/km	💧 Sel 150 à 180 kg/km (Sel 180 à 210 kg/km) ⁽⁴⁾
		↓		Mix A 300 à 350 kg/km	
-15 à -20°C	↑	↑	Mix A 300 à 350 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km	Mix A 250 à 350 kg/km
		↓	Mix A 300 à 400 kg/km	Mix A 350 à 400 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km
	↓		Abrasif 400 à 500 kg/km	Abrasif 400 à 500 kg/km	Abrasif 400 à 500 kg/km
-20°C et moins			Abrasif 400 à 500 kg/km	Abrasif 400 à 500 kg/km	Abrasif 400 à 500 kg/km

1. Traitement sur le circuit au complet, **au besoin**.

2. Traitement des points critiques, incluant les surfaces glacées, **au besoin**.

3. Traitement sur tout le circuit à la fin des précipitations (selon les délais) OU traitement sur tout le circuit en cas de perte d'adhérence.

4. Taux de pose sans préhumidification : l'application de matériaux indiquée est 15% plus élevée que le taux de pose préhumidifié.

SEL de voirie pur

MIX A : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

PRÉHUMIDIFICATION

ABRASIF de type AB-10 ou AB-5

MIX B : 3 portions de sel (75%) pour 1 portion d'abrasif (25%)

(35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Niveau de service – Partiellement dégagée

Cas spécial n°3 – Fortes pentes avec arrêts et/ou courbes prononcées et/ou transport lourd

T° surface	T° air	Trafic	Sécuriser	État de surface attendu
			Points critiques ⁽¹⁾	Circuit complet ⁽²⁾
0°C et plus			Au besoin Sel 50 à 80 kg/km	Au besoin Sel 50 à 80 kg/km
0 à -7°C	↑		Mix B 100 à 130 kg/km	Sel 70 à 100 kg/km
	↓		Mix B 130 à 150 kg/km	💧 Sel 80 à 100 kg/km (Sel 90 à 120 kg/km) ⁽³⁾
-7 à -12°C	↑	↑	Mix B 150 à 180 kg/km	💧 Sel 90 à 110 kg/km (Sel 100 à 130 kg/km) ⁽³⁾
		↓		
	↓	↑	Mix B 180 à 210 kg/km	💧 Sel 110 à 140 kg/km (Sel 130 à 160 kg/km) ⁽³⁾
		↓		
-12 à -15°C	↑	↑	Mix A 200 à 300 kg/km	💧 Sel 130 à 150 kg/km (Sel 150 à 180 kg/km) ⁽³⁾
		↓		Mix A 300 à 350 kg/km
	↓	↑	Mix A 300 à 400 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km
		↓		Abrasif 400 à 500 kg/km
-15 à -20°C	↑	↑	Abrasif 400 à 500 kg/km	Mix A 300 à 350 kg/km
		↓		
	↓			Abrasif 400 à 500 kg/km
-20°C et moins			Abrasif 400 à 500 kg/km	Abrasif 400 à 500 kg/km

1. Traitement des points critiques, incluant les surfaces glacées, **au besoin**.

2. Traitement sur tout le circuit à la fin des précipitations (selon les délais) OU traitement sur tout le circuit en cas de perte d'adhérence.

3. Taux de pose sans préhumidification : l'application de matériaux indiquée est 15% plus élevée que le taux de pose préhumidifié.

SEL de voirie pur

MIX A : 1 portion de sel (25%) pour 3 portions d'abrasif (75%)

💧 PRÉHUMIDIFICATION

ABRASIF de type AB-10 ou AB-5

MIX B : 3 portions de sel (75%) pour 1 portion d'abrasif (25%)

(35 L/t ou 40 L/t selon la méthode)

Note : les taux d'épandage et les matériaux sont proposés pour une intensité de précipitation, un temps de parcours du circuit et des vents moyens.

Annexe B – Matériaux

Le climat nordique du Québec est rigoureux et le maintien des activités de la population est un enjeu de premier plan.

Deux types de matériaux sont principalement utilisés au Ministère, comme chez la majorité des gestionnaires de réseau : de l'abrasif et du chlorure de sodium. L'abrasif est utilisé sous forme de sable, de gravier ou de pierres concassées afin de sécuriser le réseau. De plus, pour déglacer la route, le chlorure de sodium (NaCl), communément appelé *sel de voirie*, est le fondant le plus utilisé sur les routes du Québec. En effet, il n'existe actuellement aucun substitut économiquement viable au chlorure de sodium.

Par ailleurs, les principaux types de fondants utilisés en Amérique du Nord sont les suivants :

- le chlorure de sodium (NaCl), aussi appelé *sel de voirie*;
- le chlorure de calcium en paillettes (CaCl₂);
- les mélanges de NaCl et CaCl₂;
- les solutions aqueuses contenant du chlorure de magnésium, du chlorure de calcium ou du chlorure de sodium;

Important : Le présent guide ainsi que les chartes d'épandage qui l'accompagnent ne traitent que du chlorure de sodium (*sel de voirie*), de l'abrasif et de certains mélanges possibles de ces deux matériaux (*sel-abrasif*).

1 Chlorure de sodium (NaCl)

1.1 Objectif du sel

L'épandage de sel de voirie permet la fonte de la neige et de la glace. Toutefois, l'objectif principal du sel est de briser le lien entre la couche de neige ou de glace et le revêtement. Pour ce faire, la saumure qui se forme lors de la dissolution du sel s'insère entre cette couche de neige ou de glace et le revêtement.

Le sel de voirie ne doit pas être épandu dans le but de faire fondre l'entièreté de la neige ou de la glace présente sur la chaussée. Cela nécessiterait des quantités considérables de fondants ainsi qu'une longue période de temps.

1.2 Deux éléments essentiels à l'action du sel : l'eau et la chaleur

Pour agir, le chlorure de sodium doit d'abord se dissoudre et produire une saumure. Pour amorcer la dissolution, le sel a besoin d'eau et de chaleur.

Besoin en chaleur (énergie) – mise en solution du sel

Pour se dissoudre, donc pour passer d'un état sec à un état hydraté, le chlorure de sodium a d'abord un besoin initial d'énergie, qu'il absorbe sous forme de chaleur. Si cette énergie n'est pas disponible au départ, le grain de sel ne se dissoudra jamais pour former la saumure nécessaire à l'amorce de la fusion de la glace ou de la neige.

De façon générale, la chaleur nécessaire pour amorcer la mise en solution du sel provient du soleil, de la chaussée, de l'action de la circulation, de l'air ou de la neige elle-même. Ainsi, la non-disponibilité d'une source de chaleur adéquate peut entraver et même empêcher la formation de la saumure indispensable à la fonte de la glace. Il est donc fortement suggéré d'éviter l'épandage de ce fondant aux endroits et aux moments où les sources d'énergie sont moins disponibles. En ce sens, les épandages de chlorure de sodium la nuit ne sont pas souhaitables.

Besoin en eau – mise en solution du sel

Pour passer en solution, le sel doit trouver, en plus de la chaleur, de l'eau à l'état liquide dans son environnement immédiat. Ces deux besoins (chaleur et eau) sont indispensables à l'amorce de la réaction de dissolution du chlorure de sodium. Heureusement, ce fondant est légèrement hygroscopique, ce qui veut dire qu'il présente certaines dispositions à attirer l'eau présente sous forme liquide dans son environnement immédiat.

De façon générale, l'eau liquide nécessaire à la mise en solution du sel est extraite du milieu environnant, soit la neige, la glace ou l'eau disponible sur la chaussée. Elle peut aussi provenir de l'air ambiant si l'humidité relative de l'air (U) est supérieure à 75%. Cependant, lorsque l'eau à l'état liquide n'est disponible que dans l'air, le processus de dissolution du sel est lent. Il a d'ailleurs été remarqué que le sel semble plus efficace durant les jours de forte humidité parce que l'eau (neige fondue) présente sur la route s'évapore beaucoup moins vite lorsque l'air est déjà humide. Elle demeure donc disponible pour favoriser la dissolution de tout le sel.

Besoin en chaleur (énergie) – fusion de la neige ou de la glace

Lorsque le processus de dissolution est amorcé, c'est-à-dire que le grain de sel a commencé à se dissoudre pour former une saumure (début du processus de fonte), un second besoin d'énergie survient afin de faire fondre la neige ou la glace. Ce besoin en chaleur est d'ailleurs beaucoup plus important que celui nécessaire à la mise en solution du sel. Plus précisément, cette énergie absorbée permet à la neige ou à la glace de passer de l'état solide à l'état liquide.

Il est à noter que puisque la chaleur est absorbée par le sel pour se dissoudre et qu'un besoin en chaleur est nécessaire à la fusion de la neige et de la glace, un abaissement de température de la chaussée de quelques degrés à la suite de l'épandage peut être observé.

1.3 Comment agit le sel?

Comme mentionné précédemment, le sel est dissous, produisant une saumure, grâce à la chaleur et à l'eau disponible dans le milieu environnant. La saumure produite a un effet déglaçant caractéristique du chlorure de sodium. Cette propriété est expliquée dans les prochains paragraphes.

Le point de congélation de l'eau pure se situe à 0 °C. Toutefois, lorsque l'eau est mélangée au sel sous forme de saumure, le point de congélation de la solution diminue, favorisant le maintien de la solution liquide.

D'ailleurs, plus la solution est concentrée en sel, plus la température de congélation est abaissée, et ce, jusqu'à ce que la concentration optimale (23 %) soit atteinte. À cette concentration en sel, la température de congélation du mélange est à sa valeur la plus basse (-21,1 °C); cette température s'appelle *température eutectique du mélange*.

1.4 Capacité de fonte

Il importe de noter que plus il fait froid, plus la dissolution du sel est longue puisque la disponibilité en eau et en chaleur (énergie) est moindre.

En laboratoire, le sel permet la fonte de la neige ou de la glace jusqu'à une température de -21,1 °C. Le temps de fonte n'est toutefois pas limité et à cette température, il peut parfois se passer plusieurs heures avant qu'une quantité appréciable de glace ou de neige fonde.

En effet, l'action du chlorure de sodium n'est pas immédiate, surtout lorsqu'il est utilisé dans des conditions où la température de la surface de la chaussée est basse et que l'humidité se fait rare, notamment à de basses températures. Dans ces conditions, l'action du chlorure de sodium nécessite beaucoup plus de temps.

1.5 Diagramme des phases

Le phénomène d'abaissement de la température de congélation peut être illustré par le diagramme des phases d'une solution d'eau et de chlorure de sodium (NaCl) présenté à la figure suivante.

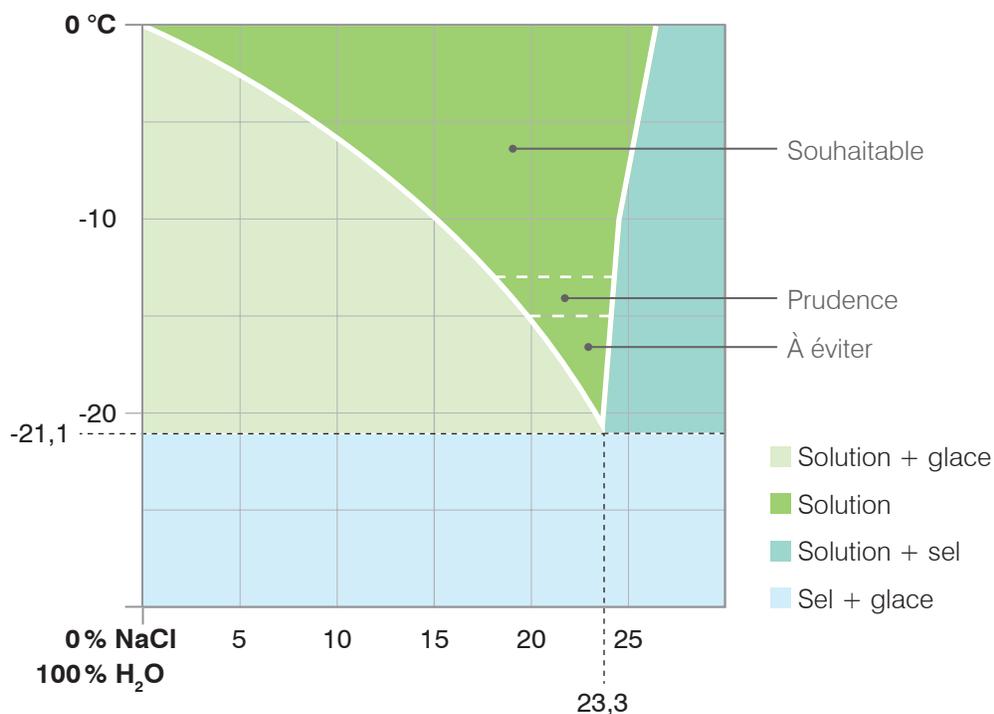


Figure B.1 – Diagramme des phases d'une solution d'eau et de chlorure de sodium

Ce diagramme est subdivisé en quatre sections qui présentent des phases bien différentes. Ces phases sont liées aux concentrations en sel et aux températures atteintes distinctes. Les sections du graphique sont décrites ci-après.

Solution + glace

Cette section présente un mélange de glace et de saumure (NaCl + eau). Dans cette portion du graphique, la concentration en chlorure de sodium (NaCl) n'est pas assez importante par rapport à la température, ce qui a pour effet de faire geler une portion du mélange.

Par exemple, la concentration en sel de 14% ne permet pas à la solution de rester à l'état liquide à une température de -13 °C.

Les molécules d'eau quittent donc l'état liquide pour l'état solide, et ce, jusqu'à ce que la solution soit suffisamment concentrée pour demeurer en équilibre à cette température. Un tel état se retrouve fréquemment en période hivernale sur le revêtement.

Solution

Dans cette section, la solution est suffisamment concentrée en sel par rapport à la température pour demeurer à l'état liquide. Par exemple, la solution concentrée à 20% et à une température de -11 °C sera à l'état liquide.

Il est important de rappeler que sur le plan théorique, le chlorure de sodium permet d'abaisser le point de congélation jusqu'à une température de -21,1 °C, et ce, pour une solution concentrée à 23% en chlorure de sodium (NaCl), comme représenté sur la figure B.1.

Par ailleurs, il est à noter que plus la température est basse, moins la marge de manœuvre est grande en ce qui a trait à la concentration en sel. De plus, comme décrit à la section 1.4 de l'annexe B, la capacité de fonte du sel de voirie diminue lorsque la température s'abaisse. Il est donc plus risqué d'utiliser du sel de voirie à des températures basses.

Sur la figure B.1, la zone « souhaitable » représente des températures auxquelles le sel de voirie est efficace. Par ailleurs, dans la zone « prudence », il est possible d'utiliser du sel de voirie lorsque les conditions météorologiques favorisant son action sont présentes (présence de soleil, présence de trafic, température à la hausse). Enfin, il n'est pas souhaitable d'utiliser le sel de voirie dans la zone « à éviter ».

Solution + sel

Cette section représente une solution dont la concentration en sel est en excès. Dans ce contexte, le surplus de sel retournera à l'état solide, et ce, jusqu'à ce que la solution atteigne un équilibre. La figure B.2 présente cette situation. La coloration blanche de la chaussée résulte de la présence en grande quantité de sel. Il est important de noter que sur cette photographie, l'évaporation totale de la phase liquide est pratiquement terminée.



Figure B.2 – Coloration blanche de la chaussée causée par l'excès de sel de voirie à la suite de l'évaporation de l'eau

Sel + glace

Dans cette section, la température est tout simplement trop froide. Ainsi, peu importe la concentration du sel, il y a présence uniquement de glace et de sel à l'état solide.

1.6 Utilisation du sel de voirie : pièges à éviter

Il est important de connaître les limites de l'utilisation du sel de voirie afin d'éviter les problèmes de regel.

Diminution de la concentration en sel

La saumure a un point de congélation de $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ lorsque la solution est concentrée à 23% en chlorure de sodium. Plus la concentration en sel est faible, plus le point de congélation de la solution se rapproche de celui de l'eau pure.

Pendant le processus de dissolution, la saumure se forme et la glace commence à fondre. La saumure à proximité du grain de sel est saturée. Cependant, la fonte de la glace se poursuit, produisant de l'eau et diluant ainsi la saumure. Ce processus s'arrête lorsqu'il n'y a plus de glace à faire fondre ou encore lorsque la solution n'est plus suffisamment concentrée. Dans ces situations, la glace peut se former à nouveau.

Il est d'autant plus important de limiter l'utilisation de sel de voirie lors de précipitations importantes. En effet, la saumure se dilue rapidement et a donc tendance à geler.

Diminution de la température

Comme mentionné précédemment, le sel absorbe de la chaleur pour se mettre en solution et de la chaleur est nécessaire à la fusion de la glace ou de la neige. Il est donc possible d'observer un abaissement momentané de température de la chaussée de quelques degrés à la suite de l'épandage et, ainsi, un gel de la saumure.

De plus, comme indiqué à la section 1.4 de l'annexe B, l'action du chlorure de sodium nécessite beaucoup plus de temps à de basses températures.

Ainsi, malgré le fait que la solution peut avoir un point de congélation aussi bas que $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ lorsque sa concentration en sel est optimale (23%), il est peu recommandé d'utiliser le sel à des températures aussi basses.

1.7 Impacts sur l'environnement et les infrastructures

Le sel doit être utilisé en quantité suffisante. Un excès n'améliore pas la sécurité routière et est néfaste pour l'environnement et les infrastructures. Considérant les impacts de l'utilisation des fondants chimiques, il est donc important de bien cibler les conditions propices à leur utilisation.

2 Abrasifs

Afin de sécuriser le réseau routier en période de précipitations ou lorsque les conditions ne permettent pas l'utilisation du sel de voirie, l'épandage d'abrasifs sur la chaussée est priorisé. Les abrasifs n'ont pas d'effet sur la fonte de la neige ou de la glace. Leur rôle consiste à générer de la friction entre la chaussée et les pneus des véhicules.

Le succès de ce type d'intervention est intimement lié au suivi des conditions météorologiques et routières permettant d'assurer un épandage efficace d'abrasifs. En effet, l'épandage d'abrasifs sur une surface trop durcie par le froid ne lui permettra pas de s'enfoncer dans la glace. Cet abrasif sera donc chassé de la chaussée. Par contre, si on effectue l'épandage d'abrasifs trop tôt sur une surface encore ramollie par la chaleur de la journée, ils s'enfoncent dans la couche et restent en place, mais perdent beaucoup de leur efficacité lorsque le froid durcit la surface.

Afin de rester maniables lors de l'entreposage, et ce, tout au long de la saison hivernale, les abrasifs sont généralement mélangés à 5 % de sel de voirie. Si le mélange est homogène, l'abrasif ne s'agglomérera pas et ne formera pas de blocs gelés.

3 Mélanges sel-abrasif

L'utilisation d'un mélange sel-abrasif permet de combiner l'effet déglaçant du sel de voirie à celui de friction de l'abrasif afin de sécuriser la route. Si de tels mélanges peuvent s'avérer parfois utiles, ils risquent de n'avoir aucun effet positif notable dans certains cas, provoquant ainsi un gaspillage des matériaux.

En effet, il est important de préciser que dans un mélange, les abrasifs et le sel peuvent travailler l'un contre l'autre. Par exemple, si l'objectif est de sécuriser la route avec des abrasifs et qu'on utilise un mélange sel-abrasif, il est possible que le sel amorce la fonte de la neige ou de la glace et que l'abrasif s'enfonce dans cette dernière. Ce faisant, l'abrasif n'a plus d'effet sur la friction puisqu'il n'est plus situé à la surface de la chaussée. De plus, une portion d'abrasif dans un mélange visant à faire fondre la neige ou la glace aura pour effet de piéger la saumure produite sur la chaussée et de retarder l'assèchement de cette dernière.

Enfin, puisque le taux d'épandage est augmenté lors de l'utilisation d'un mélange par rapport au sel pur, il importe d'utiliser les mélanges dans les conditions qui s'y prêtent afin de ne pas surconsommer du sel de voirie en plus d'abrasifs.

Ainsi, il est important de bien choisir les proportions de sel-abrasif dans les mélanges et les conditions dans lesquelles ils sont appliqués.

3.1 Mélanges recommandés

Recommandé : mélange 1 sel (25%) pour 3 abrasifs (75%)

Le mélange 1 sel (25%) pour 3 abrasifs (75%) offre une forte proportion d'abrasifs. Il est recommandé pour sécuriser le réseau routier lorsque les fondants atteignent leur limite d'efficacité.

En situation de précipitations, l'utilisation de ce mélange est recommandée aux points critiques afin de conserver un dégagement partiel du réseau. Il est très utile pour combattre la compaction de la neige sur le revêtement effectuée par une lourde circulation. La faible proportion de fondants limite la création d'un fort volume de saumure sur le revêtement et évite un regel dû à la dilution.

De plus, à la suite de précipitations, ce mélange ne doit pas être utilisé lorsque l'objectif est de faire fondre de la neige ou de la glace et de ramener le réseau à l'état de surface attendu, mais bien dans les situations qui sont à la limite d'efficacité du sel de voirie. La faible proportion de sel permet de fixer l'abrasif à la chaussée et de briser la couche de neige aux points critiques.

Recommandé : mélange 3 sels (75%) pour 1 abrasif (25%)

Le mélange 3 sels (75%) pour 1 abrasif (25%) offre une forte proportion de fondants. De ce fait, ce mélange doit être utilisé pour sécuriser le réseau, dans une plage d'efficacité similaire au sel de voirie.

Ce mélange est recommandé pour traiter des points critiques particuliers, soit de fortes pentes :

- avec arrêts; ou
- avec courbes prononcées; ou
- avec une forte proportion de transport lourd.

Dans ces situations particulières, le mélange 75 % sel permet de conserver un dégagement partiel sur ces points critiques particuliers, en plus de laisser au sol une proportion d'abrasifs qui aide à augmenter le coefficient de friction entre les pneus et la chaussée.

Il importe de noter que ce mélange ne doit pas remplacer l'utilisation de sel pur dans les conditions normales. En effet, l'abrasif est gaspillé s'il n'est pas nécessaire pour le maintien de la viabilité du réseau.

Non recommandé : mélange 1 sel (50%) pour 1 abrasif (50%) ou tout autre mélange intermédiaire

Il n'est pas recommandé d'utiliser, par exemple, le mélange 1 sel (50%) pour 1 abrasif (50%) ou tout autre mélange en dehors de ceux qui sont susmentionnés. En effet, dans ce mélange, les deux matériaux agissent souvent l'un contre l'autre. L'utilisation d'un mélange 50/50 induit qu'un des deux matériaux est gaspillé, selon l'objectif recherché (sécuriser ou ramener la route à l'état de surface attendu). Ce mélange n'est pas le produit à appliquer en cas de doute.



Le *Guide des bonnes pratiques d'épandage* traite des divers paramètres à considérer dans la prise de décision relative à l'épandage en période hivernale. En outre, il précise la façon dont ces éléments sont pris en considération dans les chartes d'épandage élaborées.

L'appropriation de ce guide est nécessaire afin d'augmenter l'efficacité des opérations d'entretien hivernal. Ces bonnes pratiques permettent ainsi de réduire l'impact des sels de voirie sur l'environnement et les infrastructures tout en assurant la sécurité des usagers de la route.