

Les

références

VIABILITÉ HIVERNALE

Définir une stratégie
de traitement des routes

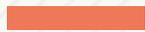


RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

VIABILITÉ HIVERNALE

Définir une stratégie
de traitement des routes



Collection « Les références »

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire...), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage, oeuvre collective du Cerema, a été piloté par le réseau technique Viabilité Hivernale (Cerema).

Ont contribué à sa rédaction :

- Philippe Bernard (Cerema),
- Luc Duriez (Cerema),
- Stéphanie Gaudé (Cerema),
- Michel Graff (Cerema),
- Didier Giloppe (Cerema),
- Etienne Hombourger (Cerema),
- Ethel Jacquot (Cerema),
- Heidi Kauffmann (Cerema),
- Aurélie Lelandais (Cerema),
- Laurent Michel (Cerema),
- Rémi Reiff (Cerema),
- Olivier Richard (Cerema),
- Bruno Saintot (Cerema),
- Thomas Thiébaud (Cerema),
- Damien Vaillant (Cerema).

Comment citer cet ouvrage :

Cerema. *Viabilité hivernale.*

Définir une stratégie de traitement des routes.

Bron : Cerema, 2022.

Collection : Les références.

ISBN : 978-2-37180-574-3 (pdf)

Sont remerciés pour leur relecture :

- Nadia Almonte (Société Rock),
- Christine Bruschi (Météo France),
- Jean-Michel Chalons (Direction interdépartementale des routes (DIR) Est),
- Richard Cleveland (Evolis),
- Pierre-Alain Cornus (Société Boschung),
- Cyril Dupont (Cerema),
- Arnaud Escal (Cerema),
- Gilles Galland (Conseil départemental (CD) 71),
- Frédéric Giere (CD 67),
- Serge Michel (CD 73),
- Matthieu Obach (CD 67),
- Laurent Peiffer (Cerema),
- Jean-Pierre Reversat (DIR Massif-Central).

CRÉDITS PHOTOS

Couverture : Godon/Pascal Deloche (stock.adobe.com).

Photos intérieures : Cerema.

ILLUSTRATIONS

Cerema (Réseau Technique Viabilité Hivernale), Gaëlle Bouché.

Sommaire

Remerciements	2
----------------------	----------

CHAPITRE 1

Introduction	7
---------------------	----------

1.1 - Ambition du guide	8
1.2 - Les objectifs des interventions	9
1.3 - La notion de consigne	10

CHAPITRE 2

Stratégies d'intervention	13
----------------------------------	-----------

2.1 - Stratégies de salage	14
2.2 - Stratégie de traitement de la neige	16

CHAPITRE 3

Les différents phénomènes météo-routiers	19
---	-----------

3.1 - Les verglas	20
3.2 - Les différents types de neige	27
3.3 - Influence des conditions atmosphériques sur la température de surface	30

CHAPITRE 4

Les produits de viabilité hivernale	31
--	-----------

4.1 - Les fondants routiers	32
4.2 - Les autres types de fondants	33
4.3 - Les abrasifs	33
4.4 - Impacts sur l'environnement	34

CHAPITRE 5

Les matériels	37
----------------------	-----------

5.1 - Épandage	38
5.2 - Élimination de la neige	39
5.3 - Stations automatiques d'aspersion de saumure	42
5.4 - Nouvelles technologies	42

CHAPITRE 6

Les consignes de traitement

6.1 - Les verglas

6.2 - Les neiges

43

44

47

CHAPITRE 7

Organisation - qualité de la décision

7.1 - Préformater la consigne

7.2 - Choisir et préciser la consigne en situation

7.3 - Formaliser la consigne

53

54

54

55

Bibliographie

57

Annexes

61

Annexe 1 - Outils d'aide à la décision

62

Annexe 2 - Principe de fonctionnement des fondants routiers

68

Annexe 3 - Les matériels

78

Annexe 4 - Influence du trafic

83

Annexe 5 - Les revêtements / Couches de roulement - adhérence

85

Annexe 6 - Fiche d'aide à la décision du responsable d'intervention (RI)

88

Annexe 7 - Fiche patrouille

92

Annexe 8 - Forme et contenu de la main courante

93

Annexe 9 - Glossaire / Terminologie relative aux phénomènes météo-routiers

95



CHAPITRE 1

Introduction

UN GUIDE POUR AIDER À DÉFINIR UNE STRATÉGIE DE TRAITEMENT

Ce guide a pour but d'amener les gestionnaires à s'interroger sur leurs pratiques et à définir leur stratégie et leurs consignes de traitement. Les valeurs, notamment celles figurant en annexe, restent des exemples.

Il comprend dans sa partie principale des notions théoriques et pratiques issues de l'expérience de la communauté technique intéressée par la viabilité hivernale. Il s'agit des concepts développés par des laboratoires ou des structures de recherche, de l'expérience acquise et codifiée par les gestionnaires, de réflexions issues des contacts internationaux et de divers congrès.

L'idée est de proposer des informations pratiques, parfois nouvelles au moins dans leur forme et présentation, et qui soient facilement applicables par les exploitants.

Fixer la terminologie et le vocabulaire employé est nécessaire afin que chacun utilise le même langage. C'est l'ambition du glossaire qui a été inséré dans ce guide. Il s'agit de faire le lien avec les travaux de normalisation français et européens et de disposer d'un langage commun et partagé.

Des annexes concluent ce document afin de compléter l'information sur certains points et de proposer des fiches pratiques directement transposables au contexte opérationnel du lecteur.

Il convient également de rappeler que ce guide n'est pas un document réglementaire.

1.1 - AMBITION DU GUIDE

Intervenir en service hivernal est un exercice relativement complexe puisque les situations météorologiques et météo-routières sont diverses. Les enjeux en termes de niveaux de service, liés le plus souvent à la densité du trafic, varient en fonction des réseaux, des horaires, des jours de la semaine, du climat ou de l'hiver. Tout ceci dans un contexte où la préservation de l'environnement et des ressources financières est recherchée.

Pendant longtemps la stratégie consistait à « traiter plus » en pensant « traiter mieux ». Les interventions préventives, lorsqu'elles n'étaient pas totalement ignorées, paraissaient plus difficiles à gérer que les interventions curatives. La présence ou l'apport d'eau étaient considérés comme à éviter plutôt que des alliés potentiels.

Plusieurs décennies d'expérience ont remis en question certaines de ces croyances et pratiques :

- répandre une grande quantité de fondant n'est pas nécessairement une bonne solution ;
- d'un point de vue purement physique, il est plus facile et moins consommateur d'énergie d'empêcher un phénomène de se produire que d'essayer de le combattre après sa parution ;
- l'eau, en permettant une meilleure action du sel, est bien souvent un atout, en particulier dans le traitement de la neige.

L'exercice du traitement en service hivernal est d'autant plus difficile que le produit est épandu par un véhicule circulant à plusieurs dizaines de km/h, avec des conditions météorologiques souvent difficiles. L'opérateur ne voit pas directement et précisément ce qu'il est en train de faire, la seule référence objective dont il dispose est un boîtier sur lequel sont inscrits des dosages, ce qui reste relativement abstrait.

Il est donc important de définir des consignes afin de ne pas multiplier la tendance naturelle qui consiste à en mettre un peu plus parce que l'on ne sait jamais...

La consigne doit être définie clairement par écrit et ne doit pas être fluctuante. De plus, pour être respectée, elle doit être bien comprise et intégrée par les opérateurs, ce qui implique un travail d'explicitation et de formation.

Les situations hivernales nécessitant des interventions sont relativement nombreuses et diverses. Ces interventions ont pour objectifs d'éviter la diminution d'adhérence des chaussées dans le cadre des interventions préventives ou précuratives, ou d'améliorer celle-ci dans le cadre des interventions curatives.

L'enjeu est relativement important puisqu'il s'agit :

- de préserver la sécurité des usagers ;
- d'améliorer l'écoulement du trafic ;
- de répandre, chaque année, plusieurs centaines de milliers de tonnes de fondants routiers, ce qui représente des enjeux financiers et environnementaux notables.

Maîtriser les épandages signifie donc intervenir à bon escient mais aussi économiser des fondants routiers et préserver l'environnement.

La plupart des pays dans le monde mènent des réflexions sur le sujet des traitements et des dosages. Les conclusions de ces travaux sont relativement convergentes (cf. *Travaux du comité 3-2 du PIARC* (Agence mondiale de la route) : *stratégie / consignes*).

L'objectif du présent guide technique est de faire le point des connaissances concernant le choix des traitements et les consignes à mettre en œuvre. Il fait référence aux autres documents édités par le Sétra et le Cerema et s'adresse à tous les personnels qui ont à organiser les interventions d'épandage.

La consigne de traitement peut être vue comme l'aboutissement d'un processus combinant décisions et actions (cf. le guide du Sétra [Anticipation des risques routiers hivernaux](#)). La décision d'intervention se base sur l'analyse du risque météo-routier et va se traduire par une consigne d'intervention déclinée en consignes de traitement.

1.2 - LES OBJECTIFS DES INTERVENTIONS

Indépendamment de la stratégie d'intervention, l'objectif « physique » des interventions est directement lié aux phénomènes météorologiques et à leurs conséquences sur les chaussées. Il s'agit de maîtriser la dégradation des conditions de conduite pour un retour à une condition de référence dans un temps déterminé.

Illustration 1 : Dégradation de l'état de surface et retour à l'état de référence



Les termes les plus appropriés pour parler des objectifs des interventions sont « Éviter », « Limiter », « Retarder », « Faciliter », « Éliminer ».

Les moyens utilisés pour arriver à ces objectifs sont le raclage et l'épandage de fondants routiers.

Les fondants sont utilisables sous diverses formes : solide, bouillie à des taux de mouillage adaptés et saumure. L'utilisation dépend aussi des températures rencontrées et de la possibilité de mobiliser de l'eau. Certaines situations en particulier de températures très basses nécessitent d'autre type de fondants que le chlorure de sodium.

Tableau 1 : Explication des objectifs pour la neige et le verglas

	Éviter	Retarder	Limiter	Faciliter	Éliminer
Neige	Le collage de la neige à la surface de la chaussée.	Le compactage de la neige sous le trafic.	L'épaisseur de la couche de neige. Le transport de la neige par le vent.	La décohéation de la neige.	La neige en masse. La neige résiduelle après raclage.
Verglas	La formation de verglas de faible épaisseur (condensation, congélation d'humidité préexistante...).	L'adhésion des verglas de forte épaisseur (pluie sur sol gelé, pluie en surfusion, etc.).	L'adhésion du verglas issu de pluie en surfusion ou de brouillard.	L'élimination du verglas résiduel. L'élimination d'une quantité de glace importante.	La glace présente sur la chaussée.

Sans fixer de règles absolues et en analysant les usages, certains types de fondants et certaines méthodes apparaissent comme plus adaptés et plus efficaces pour certains niveaux de trafic ou types de traitements (préventif / curatif). L'eau est une alliée, aussi les traitements à la saumure se développent de plus en plus. Ils permettent de réduire de façon notable les quantités de fondants mises en œuvre, ils nécessitent toutefois un matériel spécifique.

Du point de vue de l'efficacité et de la réduction des quantités de fondant épandus, les interventions précuratives et l'utilisation de saumure doivent être développées.

1.3 - LA NOTION DE CONSIGNE

Afin d'analyser plus finement le processus mis en œuvre lors d'une action opérationnelle de viabilité hivernale, il est nécessaire de distinguer différents niveaux : la stratégie d'intervention, la consigne d'intervention et la consigne de traitement.

Selon le dictionnaire *Larousse*, la consigne est « une instruction formelle donnée à quelqu'un, qui est chargé de l'exécuter ».

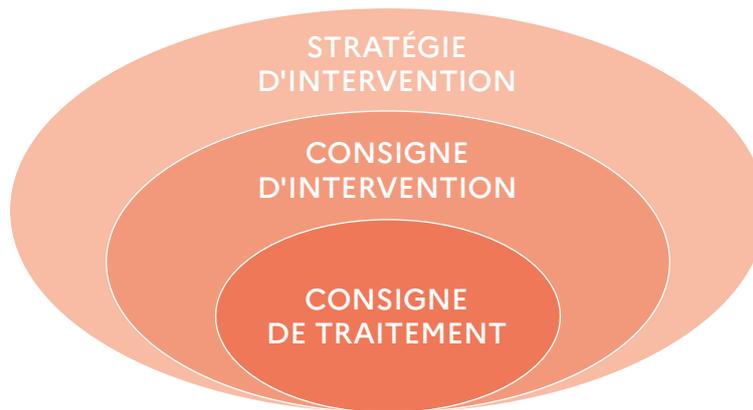
La consigne, qu'elle soit d'intervention ou de traitement, est donc une information précise qui est donnée à un opérateur afin d'agir dans le cadre d'une stratégie d'intervention.

Stratégie d'intervention : La stratégie d'intervention découle de l'organisation de la viabilité hivernale déclinée dans le document d'orientation (Niveaux de services, etc.). Cette stratégie est à élaborer par la maîtrise d'ouvrage (des guides du Sétra existent à ce sujet). Les notions de stratégie d'intervention, d'entretiens précuratif, préventif et curatif doivent y figurer, car ces considérations sont liées aux niveaux de service, à l'organisation et aux moyens dévolus.

Consigne d'intervention : Le maître d'œuvre, représenté par le responsable d'intervention, est responsable du suivi temporel des conditions météo-routières, sur la base duquel il définit la consigne d'intervention. Il donne ainsi l'instruction d'intervenir ou non sur le réseau et précise la stratégie d'intervention à appliquer (traitement précuratif, préventif ou curatif) en fonction du type de phénomène attendu et de son intensité.

Consigne de traitement : La consigne de traitement consiste en une déclinaison opérationnelle de la consigne d'intervention. Elle comprend les instructions relatives aux secteurs d'intervention (traitement généralisé ou ponctuel), au mode de raclage (choix du type de lame) et au mode d'épandage (type de fondant, dosage...).

Illustration 2 : Hiérarchisation entre la stratégie et les consignes



Stratégie et consignes d'intervention et de traitement sont déclinées dans le temps. La stratégie d'intervention est définie en amont et fait partie du mode d'organisation. Les consignes d'intervention et de traitement sont des actions opérationnelles en situation.

De la stratégie d'intervention et de l'objectif des interventions vont découler des consignes d'intervention et des consignes de traitement. On retrouvera un descriptif du processus décisionnel dans le guide *Anticipation des risques routiers hivernaux*.

Pour définir la consigne d'intervention il est nécessaire de s'appuyer sur les documents techniques et l'expérience des agents. Ces éléments doivent être déclinés dans des documents locaux (plan d'Exploitation de la Viabilité Hivernale PEVH, fiches aide-mémoire etc.) disponibles pour le responsable d'intervention, le veilleur, le patrouilleur et l'intervenant.

Les consignes de traitement doivent être traduites en éléments clairs : heure, lieu, utilisation des outils de raclage, nature des fondants, dosage, type d'épandage.

Différentes approches peuvent être envisagées pour la définition et l'utilisation de la consigne d'intervention.

Un mode systématique : dans une approche systématique, un maximum de paramètres sont prédéterminés. La réflexion préalable est largement favorisée et la prise de décision bien balisée. Cela peut se traduire par l'utilisation d'un tableau de consignes dans lequel ont été renseignées les situations météo-routières et définies des interventions types.

Cette approche nécessite un recueil d'expériences itératif pour affiner la prise de décisions et décliner les consignes d'intervention. Elle doit être construite en lien étroit avec les intervenants locaux et prendre en compte les spécificités de chaque réseau.

Un mode souple : sur la base des stratégies d'intervention, plus de latitude est laissée au responsable d'intervention pour définir une consigne qui soit la plus pertinente possible en fonction de la situation météo-routière. Cette approche se décline plutôt sous forme de la construction d'un raisonnement en temps réel. Cette méthode plus fine permet d'optimiser les interventions, de les décliner en fonction des caractéristiques du réseau et de favoriser l'expertise du décideur. L'expérience de l'équipe est un critère déterminant pour la réussite de cette approche.

Quelle que soit la stratégie arrêtée, il est indispensable d'assurer la traçabilité des décisions et d'effectuer un bilan des situations. L'objectif est d'améliorer les tableaux de consignes et l'expertise du responsable d'intervention et de l'ensemble des intervenants.

CHAPITRE 2

Stratégies d'intervention

STRATÉGIES D'INTERVENTION

2.1 - STRATÉGIES DE SALAGE

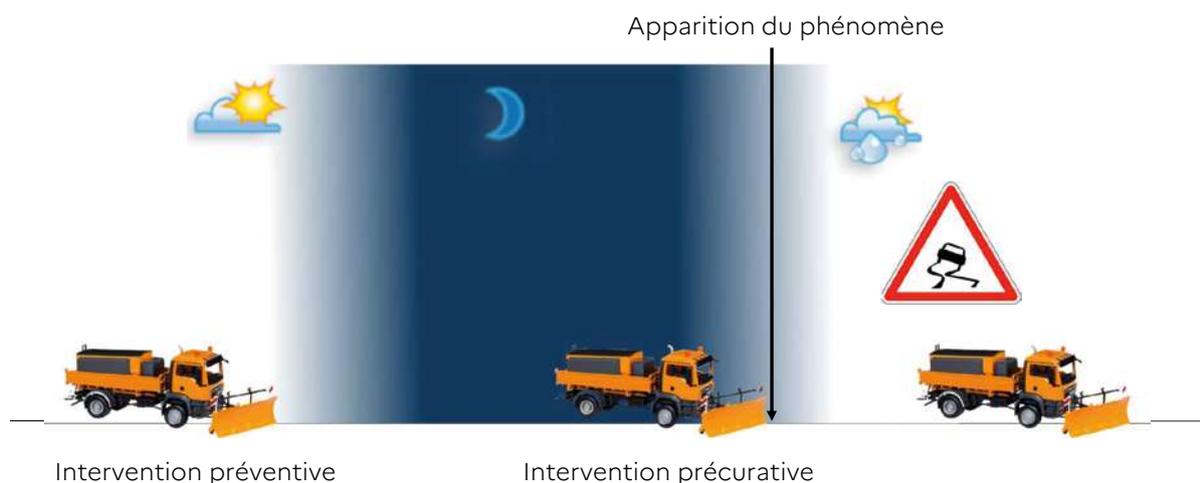
Pour assurer la viabilité hivernale des chaussées et combattre un phénomène météo-routier hivernal on distingue trois types d'interventions :

- préventive ;
- précurative ;
- curative.

Ces trois types d'interventions ne sont pas tous adaptés à tous les événements météo-routiers. L'adéquation entre choix du traitement et phénomènes est détaillée au chapitre 6 de ce guide.

Le choix entre ces trois modes sera aussi fonction des enjeux, moyens humains, moyens matériels et capacité d'anticipation de chaque gestionnaire.

Illustration 3 : Notions d'interventions préventive, précurative et curative



2.1.1 - INTERVENTION PRÉVENTIVE

Elle consiste à épandre le fondant sur la surface de la chaussée afin d'abaisser le point de congélation de l'eau déjà présente ou apportée par un hydrométéore. À cette intervention est associée en général une notion d'anticipation relativement longue, de plusieurs heures, entre l'intervention et le phénomène à traiter. Cela correspond souvent au salage opéré en soirée pour prévenir un phénomène glissant attendu pendant la nuit ou en fin de nuit.

Avantages :

- sous réserve de l'importance et du type de phénomène à combattre, la formation de verglas est empêchée par les fondants déjà présents sur la chaussée ;
- en particulier en présence d'eau préexistante, empêcher la congélation favorise le bilan énergétique et limite la quantité de fondant utilisée ;
- comme l'apparition du verglas est censée être empêchée, la sécurité des usagers est préservée ;
- ce type de traitement présente moins de contraintes dans la gestion des équipes et notamment des temps de travail.

Inconvénients :

- une grande part du fondant peut être balayée, nébulisée et rejetée par le trafic. Il est possible que la concentration en fondant restant sur la chaussée soit très réduite lors de l'arrivée du phénomène ;
- si le phénomène attendu ne se confirme pas, le traitement a été inutile ;
- le traitement peut être inapproprié par rapport au phénomène qui va réellement se produire.

Ce type d'intervention est souvent lié à des problématiques d'exploitation particulières, notamment des pics de trafic qui ne permettent pas d'agir efficacement en période de pointe.

2.1.2 - INTERVENTION PRÉCURATIVE

Pour limiter les pertes éventuelles de fondants et améliorer l'efficacité de leurs traitements, les services d'exploitation ont introduit le concept d'« intervention précurative » qui consiste à intervenir au plus près du phénomène. Le traitement se fait approximativement dans l'heure qui précède.

Avantages :

- comme le fondant est épandu sur la chaussée au plus près du phénomène, les pertes sont fortement réduites et la quasi-totalité du produit reste disponible ;
- sous réserve de l'importance et du type de phénomène à combattre, la formation de verglas est empêchée par les fondants déjà présents sur la chaussée ;
- en particulier en présence d'eau préexistante, empêcher la congélation favorise le bilan énergétique et limite la quantité de fondant utilisée ;
- comme l'apparition du verglas est censée être empêchée, la sécurité des usagers est préservée ;
- en cas de neige, les opérations de raclage ultérieures sont facilitées ;
- le traitement peut être adapté en fonction de l'évolution des prévisions météo-routières. Cela contribue à un dosage optimal des fondants assurant à la fois la sécurité des usagers et une minimisation des impacts environnementaux.

Inconvénients :

- des relevés terrain (patrouille, stations météo-routières) ainsi que la mise en place d'une cellule de veille et des compétences en météorologie routière ainsi que des données précises sont essentiels ;
- l'organisation doit être adaptée, pour que les équipes soient disponibles au moment le plus adapté tout en respectant les garanties minimales en termes de temps de travail.

2.1.3 - INTERVENTION CURATIVE

À l'inverse des deux stratégies précédentes, le traitement curatif consiste à intervenir sur un phénomène avéré. Ce type de traitement peut être imposé par le phénomène. À titre d'exemple, il est impossible de traiter la neige avant qu'elle ne soit tombée.

Avantages :

- la totalité du fondant déposé sur chaussée participe au traitement du phénomène sous réserve qu'il soit bien choisi et adapté à ce dernier ;
- les moyens de surveillance à mettre en œuvre sont réduits ;
- le traitement curatif peut être adapté pour des réseaux de niveaux de service faibles qui sont traités après les réseaux de priorité plus élevée.

Inconvénients :

- dans l'attente du traitement, le verglas ou la neige se déposent sur la chaussée avec une augmentation significative des risques pour l'utilisateur et le trafic (blocage d'un itinéraire) ;
- la fonte du verglas ou de la neige nécessite une énergie importante. La température de surface de chaussée peut alors chuter et entraîner une recongélation et donc la réapparition de verglas ;
- la quantité de fondant à mettre en œuvre est plus importante.

2.2 - STRATÉGIE DE TRAITEMENT DE LA NEIGE

2.2.1 - PRÉPARATION

La première étape consiste à estimer l'intensité et la durée de la précipitation ainsi que le type de neige attendue. Si cet exercice est difficile et parfois aléatoire, il convient néanmoins d'être vigilant pour estimer si la situation est courante (au vu du dimensionnement des moyens du gestionnaire) ou exceptionnelle.

Les stratégies et consignes prédéfinies dans le DOVH (Dossier d'Organisation de la Viabilité Hivernale) et les PEVH (Plans d'Exploitation de la Viabilité Hivernale) sont alors à mettre en œuvre.

Pour les situations courantes :

- choisir la stratégie d'intervention (traitement précuratif ou non, type de fondant) ;
- gérer les moyens humains (astreintes, sous-traitance, etc.) ;
- choisir et installer les outils de raclages et lames d'usures adaptés à la qualité de la neige et au type de réseau ;
- préparer les fondants (chargement des engins de service hivernal, ESH ; centrale à saumure) ;
- rappeler l'organisation : traitement prioritaire de certaines zones de chaussées, traitement différencié des voies, interdictions locales de stationnement, identification des zones de stockage de la neige.

Pour les situations exceptionnelles :

- prévoir la mutualisation de moyens ou la mobilisation de personnels supplémentaires ;
- activer le dispositif de pré-crise (mise en veille de la cellule de crise).

2.2.2 - TRAITEMENT DE LA NEIGE

Sur un évènement neigeux courant, les lames sont en général pré-montées en amont du phénomène pour un raclage dès que la chaussée devient blanche. En effet, même pour des précipitations de l'ordre de 1 cm/h, il convient d'anticiper la durée du circuit et les conditions de surface à venir.

Si la précipitation s'intensifie ou a une durée prolongée, les moyens matériels et humains sont à organiser pour garantir un niveau de service minimal.

Lorsqu'il y a un risque d'atteinte de la situation météorologique limite définie dans les documents organisationnels, une mutualisation des moyens, voire une concentration sur les secteurs critiques, doit être mise en œuvre.

L'appel à des renforts, voire à des réquisitions, en fonction des prérogatives des préfets, est envisageable dès lors que les conditions météorologiques n'apparaissent plus maîtrisables.

En situation de crise, les modalités comme l'abandon d'une voie, l'utilisation de matériels plus performants peuvent être nécessaire.

Le temps et les actions nécessaires pour revenir à la normale ne sont pas à négliger.

Les retours d'expériences (RETEX) systématiques à l'issue de phénomènes particuliers doivent intégrer les aspects de la gestion des matériels et de leur utilisation.

Illustration 4 : Exemple de schéma temporel des actions à mettre en œuvre

VEILLE	Prise d'info météo Choix des lames Montage des lames
INTERVENTION	Consigne de raclage Surveillance évolution météo
PRÉ-CRISE	Concentration des moyens Mutualisation, abandon zones 2 et 3 Envisager appel renfort, réquisition
CRISE	Abandon d'une voie Appel à renforts Mise en action turbines, fraises Réquisition matériels de TP (niveleuses, chargeurs,...)
RETOUR CONDITION RÉFÉRENCE	Retour à la situation normale Dégagement en tandem, dégagement zones 2 et 3
RETEX	Formalisation du retour d'expérience Décisions, réorganisation, adaptations, etc.



CHAPITRE 3

Les différents phénomènes météo-routiers

LES DIFFÉRENTS PHÉNOMÈNES MÉTÉO-ROUTIERS

L'objectif de ce chapitre est de présenter les différents phénomènes météo-routiers, leur mode d'apparition et leurs conséquences sur l'exploitation hivernale des infrastructures de transport. Les situations abordées sont les plus courantes et concernent la majorité des phénomènes de neige et de verglas. L'annexe 1 traite des outils de mesure et des systèmes d'aide à la décision. Elle peut être utilement complétée par une lecture du guide *Viabilité hivernale - Approche globale et des Fiches pratiques Viabilité hivernale / série 1*.

3.1 - LES VERGLAS

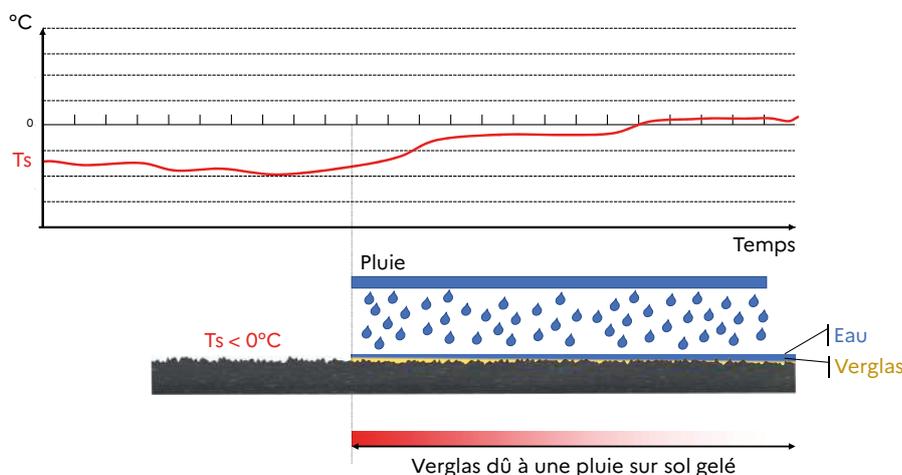
On a coutume de distinguer 5 types de verglas qui se forment suite à des précipitations, par congélation d'eau préexistante ou encore par condensation.

3.1.1 - LA PLUIE SUR SOL GELÉ

La pluie sur sol gelé se forme par congélation d'une précipitation liquide sur une chaussée à température négative.

Ce phénomène arrive en général lors des phases de redoux. Un film de glace se forme alors sur la chaussée pendant les précipitations. La perte d'adhérence est très importante, la pluie lubrifiant la glace formée préalablement.

Illustration 5 : Pluie sur sol gelé : contexte météorologique et impact sur l'adhérence



Échelle de risque en termes d'adhérence	
Pas de risque	Fort risque

$T_s < 0\text{ }^\circ\text{C}$ fortement + Précipitations (pluie) La glace est lubrifiée au fur et à mesure => perte d'adhérence très importante.

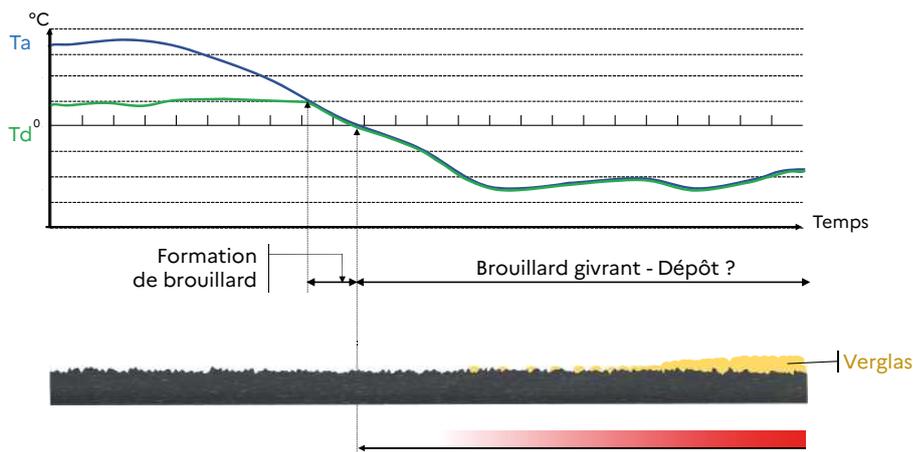
Petite pluie – Gros ennuis
Grosse pluie – le verglas disparaît rapidement

La durée du phénomène est généralement courte, proportionnelle à l'intensité de la pluie. Une pluie intense apporte l'énergie nécessaire pour réchauffer la chaussée qui va passer en température positive. À l'inverse, dans le cas de faibles précipitations sur de longues périodes, la chaussée ne dispose pas d'assez d'énergie pour se réchauffer, les quantités de glace déposées peuvent alors être importantes.

3.1.2 - LE BROUILLARD GIVRANT

Le brouillard givrant est constitué de gouttelettes d'eau surfondues (liquides et à température négative) et de cristaux de glace. Lorsqu'il est suffisamment dense, il peut précipiter sur la chaussée. De formation lente, il est donc favorisé par des temps calmes et vent faible (< 3 m/s).

Illustration 6 : Brouillard givrant : contexte météorologique et impact sur l'adhérence



Échelle de risque en termes d'adhérence	
Pas de risque	Fort risque

Brouillard : Saturation de l'air : $T_a = T_d$ (température du point de rosée)
 Brouillard givrant : $T_a = T_d < 0$ °C
 Certains brouillards givrants ne nécessitent pas d'intervention : le brouillard givrant doit être suffisamment dense pour précipiter.

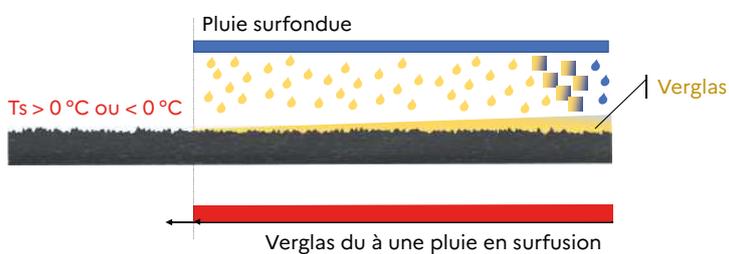
Il est admis que son apparition devient probable lorsque la visibilité est faible (inférieure à 200 m). Son apparition est fonction de l'environnement (cours d'eau, zones boisées, etc.) où la température de l'air et l'hygrométrie peuvent varier. Le phénomène peut donc être localisé ou généralisé.

Les zones à fort trafic sont moins exposées, car le trafic crée des perturbations qui empêchent les gouttelettes d'atteindre une taille suffisante pour précipiter.

3.1.3 - LA PLUIE EN SURFUSION (VERGLAS MÉTÉOROLOGIQUE)

La pluie en surfusion se produit lorsque les gouttes d'eau de la précipitation sont à l'état liquide mais à une température négative (état de surfusion). Ces gouttes se transforment instantanément en glace au moindre choc, notamment lors du contact avec le sol.

Illustration 7 : Pluie en surfusion : contexte météorologique et impact sur l'adhérence



Échelle de risque en termes d'adhérence	
Pas de risque	Fort risque

Pluie (liquide) à température négative. Se transforme en glace au moindre impact.

Le traitement préventif en produit solide est inutile : les grains sont vitrifiés au contact de l'eau en surfusion et ne disposent pas d'assez d'eau pour entamer leur action.

Ce phénomène est peu fréquent mais particulièrement violent. Il est assez bien prévu par les météorologues et se produit généralement en phase de redoux.

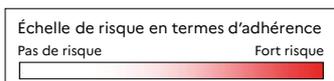
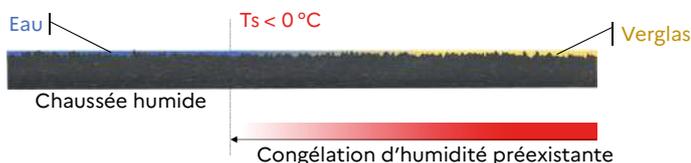
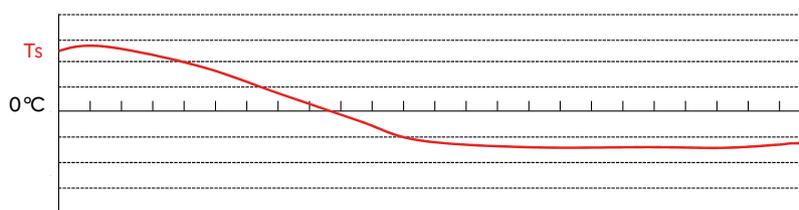
La pluie en surfusion se transforme en pluie lorsque la température de l'air augmente.

Exceptionnellement, la situation peut devenir très délicate lorsque le phénomène se produit sur une chaussée à température négative et/ou lorsqu'il est suivi de chutes de neige recouvrant le verglas.

3.1.4 - LA CONGÉLATION D'EAU RÉSIDUELLE / D'HUMIDITÉ PRÉEXISTANTE

C'est le type de verglas le plus courant, sa formation résulte de la congélation d'eau préexistante à la surface du revêtement. Cette eau peut provenir de précipitations antérieures, de condensation liquide, d'un événement accidentel (rupture d'une canalisation...) ou encore de la fonte de la neige sur les accotements. Ce phénomène peut aussi se produire lors d'un refroidissement marqué après une période humide. Les ciels avec trouée nocturne et chute de T_s sont particulièrement à surveiller. Ce verglas peut être difficile à détecter, car la chaussée peut être partiellement humide et le verglas localisé.

Illustration 8 : Congélation d'humidité préexistante : contexte météorologique et impact sur l'adhérence



État de surface **humide à mouillé** suivi de $T_s < 0^\circ\text{C}$.

Attention aux ciels de traîne !

Sans vent : peut se produire avec $T_a > 3$ à 4°C

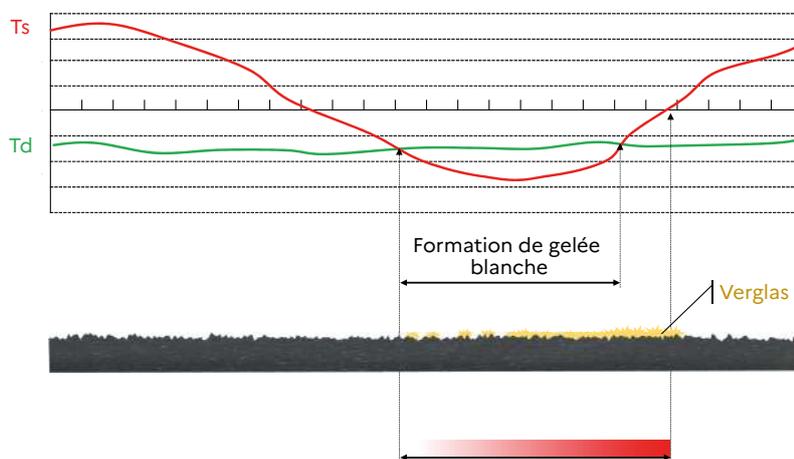
Avec vent : peut se produire avec $T_a > 1$ à 2°C

La présence de sel recristallisé sur chaussée sèche peut provoquer un verglas de congélation d'humidité existante : le sel va s'hydrater avec l'eau contenue dans l'air, et cette eau va humidifier la chaussée ($HR > 75\%$)

3.1.5 - LA GELÉE BLANCHE

La gelée blanche se forme par condensation solide d'une partie de la vapeur d'eau contenue dans une fine couche d'air à proximité du sol (il n'y a pas de phase liquide). Des « aiguilles » (dendrites) de glace se déposent au sommet des granulats (zones les plus froides). Ce phénomène est visible par l'utilisateur.

Illustration 9 : Gelée blanche : contexte météorologique et impact sur l'adhérence



Échelle de risque en termes d'adhérence	
Pas de risque	Fort risque

Le point de rosée Td est négatif et Ts passe sous Td : $T_s < T_d < 0\text{ °C}$

Peu ou pas de vent, froid sec.

La présence de gelée blanche sur les éléments métalliques (signalisation, glissières, pare-brise...) n'induit pas sa formation sur la chaussée. Les structures aériennes se refroidissent beaucoup plus vite.

La gelée blanche se produit lorsque la température de surface est à la fois négative et inférieure ou égale à la température du point de rosée. La vapeur d'eau présente dans l'air se condense alors sous forme solide directement sur la chaussée sans passer par l'état liquide. Le phénomène apparaît préférentiellement sur les zones où la température de chaussée est plus froide, comme les ouvrages d'art, et à proximité de zones plus humides (proximité d'un cours d'eau, zones humides, etc.)

À noter que le trafic diminue l'adhérence. Les pneumatiques cassent les dendrites de glace qui se sont formées aux sommets des granulats. Ces fragments de dendrites viennent alors combler la microtexture induisant les pertes d'adhérence.

3.1.6 - SYNTHÈSE DES VERGLAS

Le tableau 2 présente les caractéristiques des différents types de verglas.

Tableau 2 : Caractéristiques des différents types de verglas

Type de verglas	Pluie sur sol gelé	Brouillard givrant	Pluie en surfusion	Congélation d'humidité préexistante	Gelée blanche
Zone préférentielle	Généralisée	Généralisée ou localisée (fonction des conditions micro-climatiques (cours d'eau, zones humides...))	Généralisée	Localisée ou généralisée	Généralisée ou localisée (fonction des conditions micro-climatiques (cours d'eau, zones humides...), ouvrages d'art)
Période préférentielle et situation météo	Redoux après une période de froid intense. Arrivée d'une perturbation pluvieuse balayant une masse d'air froid.	Début d'hiver, petite période de froid.	Conflit entre un front froid et un front chaud. Exemples : descente d'air froid du nord en même temps qu'arrivée d'un redoux par le sud ; ou air très froid maintenu par un flux d'est et une perturbation arrivant par l'ouest.	Début des périodes de grand froid. Ciel clair de nuit, chaussées humides. Ciel de traîne.	Fin d'automne, début du printemps, ciel clair, vent faible. Phénomène généralement observé en fin de nuit / petit matin.
Aspect visuel	Verglas très brillant et vitreux.	Transparent	Transparent, brillant.	Translucide	Les cristaux solides blancs et cotonneux . la surface de la chaussée.
Quantité d'eau mobilisée	Assez importante, en fonction de la quantité des perturbations.	Faible	Variable (moins de 50 g/m ² à plus de 40 kg/m ²).	Variable, dépend en partie de la macrorugosité de la surface et de l'importance du trafic (de 50 à 400 g/m ²).	Généralement faible (inférieures à 50 g/m ²).
Variation d'adhérence induite par le phénomène	Très importante (la glace est lubrifiée par la pluie).	Limitée, sauf en cas de dépôt important.	Très forte et instantanée.	Forte, essentiellement problématique si le phénomène est localisé (ouvrage d'art, sous-bois...)	Faible, sauf pour des phénomènes d'ampleur exceptionnelle.
Impact du trafic	Impact négatif : compactage du verglas en cours de formation.	Impact positif : le trafic empêche ainsi les gouttelettes d'atteindre la taille critique et donc de se déposer.	Faible	Impact positif : par nébulisation, le trafic diminue les quantités d'eau sur le revêtement et réchauffe la surface.	Impact négatif : casse les dendrites et comble la microtexture des pneus.

Le tableau 3 présente la compatibilité entre les différents phénomènes.

Tableau 3 : Compatibilité entre les différents phénomènes

Type de verglas	Pluie sur sol gelé	Brouillard givrant	Pluie en surfusion	Congélation d'humidité préexistante	Gelée blanche
Les phénomènes compatibles	Pluie en surfusion ; Neiges.	Congélation d'eau préexistante ; Gelée blanche.	Pluie sur sol gelé ; Neiges.	Brouillard givrant ; Gelée blanche.	Congélation d'humidité existante ; Brouillard givrant.
Les phénomènes incompatibles	Brouillard givrant ; congélation d'humidité existante ; gelée blanche.	Pluie sur sol gelé ; pluie en surfusion ; neiges.	Gelée blanche ; brouillard givrant.		Neiges ; Pluie en surfusion ; Pluie sur sol gelé.

3.1.7 - CAS PARTICULIER DE LA PLAQUE DE GLACE

Le terme de « plaque de glace » couvre une notion juridique plutôt qu'un type de verglas. Il s'agit en réalité d'un verglas de congélation d'eau préexistante localisé, l'origine de l'eau étant anthropique (débordement d'un ouvrage hydraulique, éclatement d'une conduite) ou liée à la fonte des andins de neige.

Un usager peut être surpris par sa présence et engager la responsabilité du gestionnaire au titre du Défaut d'Entretien Normal (DEN). Dès que ce dernier en a connaissance, il est indispensable d'intervenir pour supprimer ou limiter les risques pour la sécurité routière, d'informer l'utilisateur de la présence de la plaque en apposant un panneau de type AK4 et de demander au responsable d'agir pour corriger le problème. Toutes ces actions doivent être consignées par écrit dans une main courante.

3.1.8 - CAS PARTICULIER DES PERTES D'ADHÉRENCES SUR ROUTES SÈCHES ET SALÉES

Ce cas particulier rare intervient sur chaussées salées et peut induire des pertes d'adhérence très importantes, essentiellement au niveau des bandes de roulement.

Une des hypothèses réside dans la formation de dihydrate de sodium, c'est-à-dire une sursaturation en sel au niveau de la chaussée. Ce phénomène s'aggrave sous l'effet :

- de températures de l'air et de surface fortement négatives (< -5°C) sur une longue durée ;
- d'une hygrométrie faible (< 75 %) ;
- d'un apport en sel via des traitements récurrents ou par les pneumatiques des véhicules le transportant d'une zone humide vers la zone considérée.

Ce phénomène disparaît par lessivage naturel de la chaussée (pluie) ou par lavage de cette dernière.

La Fiche n° 10 de la série 3 Viabilité hivernale « *Phénomène de perte d'adhérence sur des chaussées sèches et traitées au chlorure de sodium* » donne des informations complémentaires.

3.2 - LES DIFFÉRENTS TYPES DE NEIGE

3.2.1 - LES NEIGES EN CHUTE

Le terme de « neige en chute » est utilisé pour qualifier la neige atmosphérique n'ayant pas encore interagi avec la chaussée.

La connaissance de la typologie et de l'intensité de la neige en chute est déterminante pour le choix de la stratégie (anticipation de la crise, traitement précuratif ou non, engagement des moyens humains, etc.)

Les techniciens routiers ont pris l'habitude de classer les qualités de neige en chute en fonction de leur comportement sur la chaussée en présence de trafic. Ils distinguent ainsi trois types de neige :

Illustration 10 : Les différents types de neige en chute



Neige sèche

Cette neige est caractérisée par une teneur en eau libre inférieure à 1 % et elle apparaît en conditions très froides, aux alentours de -3 ou -4 °C. Elle est facilement déplacée par le vent et soulevée par le trafic. Elle est peu glissante avant d'être transformée.

Le principal problème lié à cette typologie de neige est la formation de congères. Un salage préventif/précuratif a pour effet de la faire tenir sur la chaussée.



Neige humide

Elle a une teneur en eau libre comprise entre 1 et 10 % et se produit généralement aux alentours de 0 °C. Elle est facilement compactable, notamment sous l'effet du trafic.



Neige mouillée

Sa teneur en eau libre est supérieure à 10 % et ces chutes de neige se produisent à températures généralement positives. À température de surface positive de 0 °C, elle est projetée sous la pression des pneumatiques et est ainsi progressivement éliminée par la circulation.

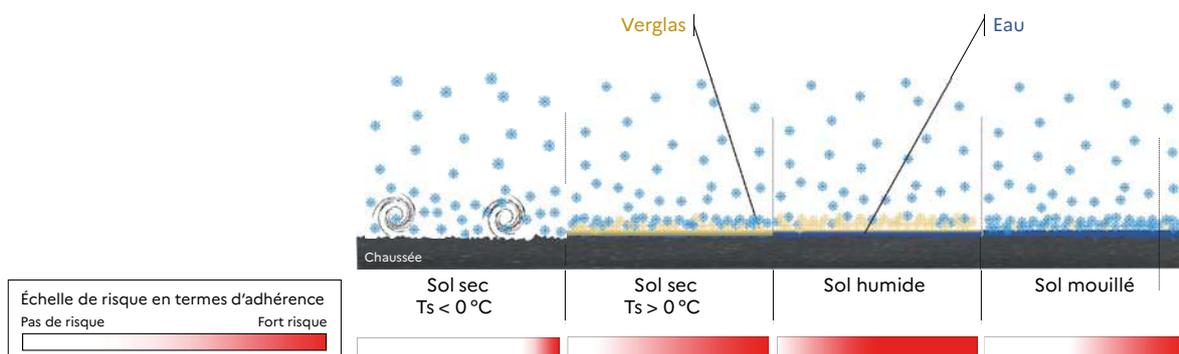
3.2.2 - LES NEIGES ROUTIÈRES

Les neiges atmosphériques décrites ci-dessus arrivent au sol avec certaines caractéristiques concernant la température, la teneur en eau liquide, la masse volumique, la grosseur des flocons et la forme des cristaux. Or, elles évoluent au contact du support sur lequel elles tombent et selon les contraintes qu'elles subissent. On parle alors de « neiges routières ».

De manière très schématique, les éléments suivants influent sur les caractéristiques de la neige routière :

Influence de l'état de surface : la présence d'eau sur la chaussée augmente sa teneur en eau libre, faisant ainsi évoluer une neige sèche vers une neige humide et une neige humide vers une neige mouillée. À noter que la présence de sel résiduel sur la chaussée a le même effet, transformant quelques flocons en eau liquide et augmentant ainsi la teneur en eau libre de la neige.

Illustration 11 : Influence de l'état de surface lors d'une chute : exemple d'une neige sèche



Influence de la température de surface : sur chaussée à température négative, l'eau libre de la neige congèle. C'est pourquoi une neige sèche est dite « volante », la faible proportion d'eau libre ne permettant pas à la couche de tenir au sol. Inversement, une neige mouillée aura tendance à se transformer en verglas généralisé.

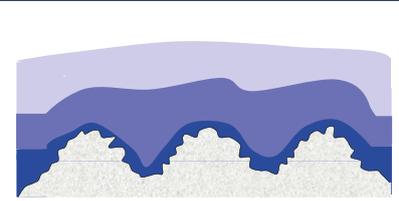
Influence du trafic : La densité du trafic, mais aussi sa composante de trafic poids lourds, perturbent les mécanismes naturels d'échange d'énergie entre un revêtement et son environnement, notamment par :

- la convection forcée (perturbation de la masse d'air à proximité de la route) ;
- le contact et frottement des pneumatiques qui apportent de l'énergie et augmentent la teneur en eau libre de la neige, la faisant ainsi fondre dans les bandes de roulement ;
- les gaz d'échappement (particulièrement dans les bouchons) ;
- la réduction des échanges thermiques par rayonnement du fait de la forte concentration de véhicules.

À noter que la maîtrise de la composante poids lourds est essentielle lors du salage de la neige, car elle permet de brasser le mélange fondant/neige et accélère le mécanisme de fusion. Cependant, les poids lourds étant particulièrement sensibles aux conditions enneigées, le risque de blocage de l'itinéraire est important.

Les cinétiques de transformation sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4 - Influence de l'état de surface et du trafic

Couche	Influence de l'état de surface	Influence du trafic	Vitesse de transformation
 Couche C (5 cm et +)	Nulle	Faible	Lente
Couche B (≈ 3 cm)	Moyenne	Forte	Assez lente
Couche A (≈ 1 cm)	Très forte	Forte	Très rapide

Les paramètres présentés ci-dessus possèdent, pour la transformation de la neige, une cinétique différente et propre à chaque contexte. L'état de surface peut faire évoluer très rapidement la neige. Le trafic peut modifier la structure de la neige sur plusieurs jours. À cela s'ajoutent les apports d'eau externes sous forme d'eau résiduelle, de vapeur d'eau ou de précipitations et toutes les actions mécaniques des équipements spéciaux, des lames d'usure des outils de raclage.

En conclusion, pour un même phénomène neigeux, les « neiges routières » rencontrées peuvent être multiples, de teneur en eau différente et de qualité variable. Il est difficile de prévoir l'évolution des neiges une fois tombées sur la chaussée, pour cela une bonne compréhension des phénomènes physiques en jeu est primordiale.

3.2.3 - LES CONGÈRES

Une congère est une accumulation de neige qui se forme sous l'action cumulée de trois facteurs : la neige, le vent et le relief.

Concernant le facteur climatique, la formation de congères dépend de la nature et l'intensité de la chute de neige, de la vitesse et la direction du vent et de la température ambiante.

Le vent transporte la neige de surface sous forme de grains de petits diamètres (1/10^e de mm). Même très froide, cette neige est caractérisée par sa densité (0,25 à 0,35 mm) et sa cohésion élevée. Elle se dépose lorsqu'elle rencontre des obstacles (murets, route en déblai, végétation, etc.) qui créent une zone tourbillonnaire où la neige s'accumule.

La formation de congères peut se produire au moment de la chute de neige (tableau 5) ou par déplacement de la neige au sol (tableau 6).

Tableau 5 : Formation des congères

T° Air	Doux (0°C < et <+ 3 °C)	Froid (-5 °C < et <+ 0 °C)	Très froid (<-5 °C)
Neige sèche	Situation impossible.	Congères importantes et peu tassées.	Formation rapide et importante de congères peu tassées.
Neige humide	Formation lente de congères, lourdes, facilement compactables et difficiles à traiter.	Formation rapide de congères.	Situation impossible.
Neige mouillée	Peu de probabilité de formation de congères.	Formation de congères très compactables si vent violent.	Situation impossible.

Tableau 6 - Action du vent lorsque la neige est au sol

T° Air	Doux (0° C < et <+ 3 °C)	Froid (-5 °C < et <+ 0 °C)	Très froid (<-5 °C)
Neige sèche	Formation de congères mouillées, compactées et glissantes.	Formation plus rapide de congères tassées de densité moyenne.	Formation très rapide de congères très tassées avec apparition de croûte en surface quand la congère est à son maximum.
Neige humide	Pas de formation de congères.	La neige séchée en surface est soufflée par le vent et forme des congères.	
Neige mouillée	Pas de formation de congères.		

3.2.4 - LA NEIGE ISOTHERMIQUE OU PHÉNOMÈNE D'ISOTHERMIE

La neige isothermique ou phénomène d'isothermie est un phénomène particulier d'abaissement de la limite pluie/neige en dessous de la limite habituelle (environ 300 m sous l'isotherme 0 °C). Cet abaissement est dû au refroidissement de l'air par la fusion consommatrice d'énergie de la neige en chute, favorisé par des quantités de précipitations importantes, durables et l'absence de vent ne permettant pas le brassage au sein de la masse d'air qui se refroidit sur place.

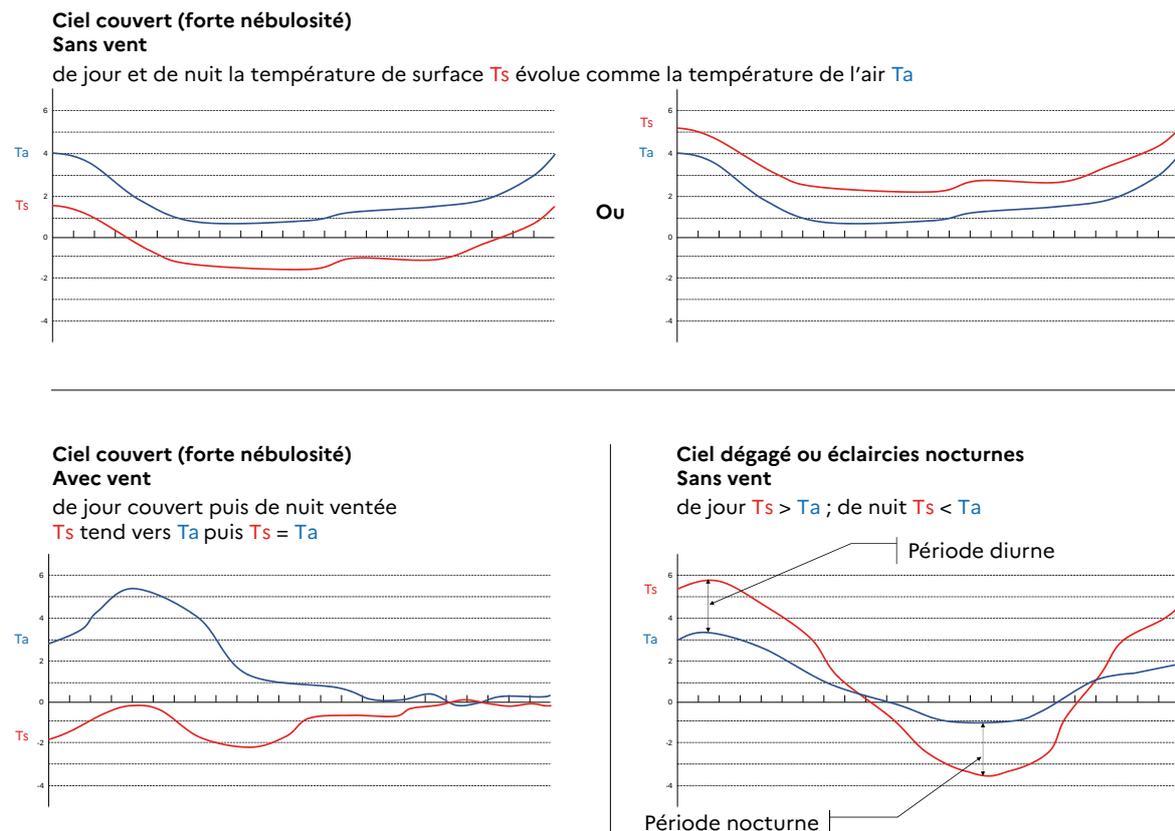
Un exemple de cas courant d'isothermie se produit par front chaud dans les vallées des Alpes intérieures abritées du vent, mais tous les secteurs peuvent être concernés.

Le phénomène, souvent observé à l'automne ces dernières années, est difficilement prévisible du fait des paramètres pris en compte (vent, température, intensité des précipitations). Si le phénomène est durable, la neige tiendra au sol même si les valeurs de température de surface sont positives en début d'épisode.

3.3 - INFLUENCE DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES SUR LA TEMPÉRATURE DE SURFACE

Les conditions atmosphériques et notamment de nébulosité influent sur l'évolution de la température de surface en fonction de la température de l'air.

Illustration 12 : Influence des conditions atmosphériques sur la température de surface



CHAPITRE 4

Les produits de viabilité hivernale

LES PRODUITS DE VIABILITÉ HIVERNALE

4.1 - LES FONDANTS ROUTIERS

Un fondant routier est un produit destiné à éviter la formation de glace et/ou à assurer la fusion de la glace ou de la neige. Il peut se présenter sous forme solide, liquide ou d'un mélange. De nombreux produits chimiques, naturels ou non, ont la propriété d'abaisser le point de congélation de l'eau ou de provoquer la fusion de la glace à des températures inférieures à 0 °C.

Parmi ceux-ci figurent notamment les chlorures (sodium, calcium, magnésium). Le chlorure de sodium est le fondant routier le plus couramment utilisé sur le territoire national (> 99 %) ; Les normes NF EN 16811-1 (chlorure de sodium) et NF EN 16811-2 (chlorure de calcium et de magnésium) décrivent les exigences et les méthodes d'essai : ces exigences diffèrent selon l'usage, le stockage et le type de distribution (épandage ou aspersion de saumure).

La note d'information *Choisir un fondant routier* vise à présenter le nouveau cadre normatif européen pour les fondants à usage routier et propose des règles simples permettant d'analyser son besoin au travers de quelques critères d'usage. Le guide *Stockage des fondants routiers* apporte des éléments supplémentaires, notamment sur les aspects environnementaux et les conditions de stockage.

Les fondants de type chlorure de sodium peuvent être utilisés sous différentes formes :

- grains : granules de produits solides ;
- saumure : solution aqueuse de fondant (liquide) ;
- sel humidifié : principe qui consiste à épandre simultanément ou consécutivement du sel sec et de la saumure. Il existe diverses possibilités d'épandage, avec un taux de mouillage¹ variant de 0 à 100 %.
 - épandage de sel en grain et de saumure en faible proportion appelé « bouillie de sel », terme utilisé uniquement en France et non référencé dans les corpus réglementaires et normatifs,
 - épandage de saumure et de sel sec en faible proportion appelé « saumure sursaturée ».

Le mode de fonctionnement des fondants routiers est présenté en Annexe 2.

Le traitement différencié consiste à faire varier les types de traitement en fonction des phénomènes météo-routiers (saumure, saumure sursaturée, bouillie de sel, sel en grain). Cela sous-entend de disposer du matériel nécessaire mais également d'un système prédictif concernant la température de surface, évitant ainsi tout risque de dilution et de recongélation. Il est plutôt réservé à des hauts niveaux de service.

Tableau 7 : Caractéristiques principales des fondants dérivés du NaCl

Forme de fondants	Caractéristiques	Limites de dosage
Grains	Démarrage lent. Action de longue durée.	10 à 40 g/m ²
Sel en grain + saumure « bouillie de sel »	Tenue sur le revêtement. Démarrage peu rapide de l'action. Action de longue durée.	5 à 30 g/m ² grains + 10 à 30 % de saumure
Saumure + sel en grain « saumure sursaturée »	Tenue sur le revêtement. Démarrage rapide de l'action. Action de moyenne durée.	20 à 60 g/m ² saumure + 5 à 10 g/m ² grains
Saumure	Démarrage très rapide de l'action. Action de courte durée.	10 à 80 g/m ²

¹ Le taux de mouillage est défini dans la norme NF EN 15597-1 *Équipement de viabilité hivernale - Épanduses - Partie 1*.

4.2 - LES AUTRES TYPES DE FONDANTS

Il existe d'autres types de fondants routiers qui trouvent leur intérêt dans des applications spécifiques liées à la nature de l'ouvrage à traiter ou à son environnement (ouvrages d'art, points singuliers sur un réseau, climatologie locale particulière, etc.). On retrouve dans ce cadre :

- les acétates (acétate de potassium, acétate de sodium, acétate de calcium...);
- les formiates (formiate de sodium, formiate de potassium).

La spécification technique XP CEN TS 16811-3 définit des critères de performance destinés à apprécier la valeur d'usage du fondant tout en prenant en considération les aspects liés à la sécurité des usagers et à la protection de l'environnement et de l'ouvrage routier.

Avant tout emploi, il convient d'apprécier les éléments suivants :

- efficacité du matériau en traitement préventif/curatif sur les différents phénomènes météorologiques routiers (verglas/neige) - dosages à mettre en œuvre ;
- compatibilité avec le parc matériel (étalonnage des épanduses) ;
- variation d'adhérence induite par la présence du matériau sur la chaussée ;
- aspect juridique ;
- aspect environnemental (bilan carbone) ;
- coût.

4.3 - LES ABRASIFS

L'épandage d'abrasifs, la méthode la plus ancienne d'entretien hivernal, a retrouvé un regain d'intérêt ces dernières années pour des raisons environnementales. Dans les régions où les hivers sont rigoureux avec de longues périodes de fortes chutes de neige, par exemple dans le nord de la Scandinavie ou dans les Alpes, cette technique a toujours conservé son importance.

Les abrasifs utilisés sont généralement des granulats de granulométrie de 4/6 à 6/10 mm. Les sables, gravillons, déchets de carrière, pouzzolanes sont également utilisés.

Épandus sur de la neige ou du verglas, les abrasifs ont pour objectif d'augmenter l'adhérence des pneumatiques au revêtement. Le traitement n'est efficace que lorsque les granulats restent enchâssés dans la couche du contaminant.

Les abrasifs peuvent être perçus comme une alternative aux fondants routiers. Il faut cependant tenir compte :

- du coût élevé de la technique compte tenu des quantités épandues (jusqu'à 300 g/m²). Un traitement par abrasif peut nécessiter jusqu'à dix fois plus de passage qu'un traitement par sel ;
- du coût énergétique de production et de mise en œuvre et de la rareté du granulat ;
- de l'obligation de détenir du matériel adapté (soit matériel dédié, soit réglage spécifique des matériels existants) ;
- de l'élimination des granulats après la fonte du contaminant (balayage, recyclage, stockage) ;
- du risque d'accident (obstruction des ouvrages d'assainissement, gravillons projetés dans les pare-brise) ;
- des niveaux de services (délais de retour aux conditions de référence).

Les abrasifs trouvent donc leur intérêt uniquement en traitement curatif et sont surtout utilisés localement, sur routes à faible trafic, routes de haute altitude, en agglomération, à des points particuliers (rampes, intersections, zones particulièrement sensibles...)

En cas de températures très négatives (< -8 °C), lorsque les fondants tels que le chlorure de sodium ne sont plus efficaces, l'utilisation d'abrasifs peut être utile pour rétablir des conditions d'adhérence acceptables

Les dosages usuellement utilisés figurent dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Dosages usuels en abrasifs

Verglas	Neige verglacée ou glace	Neige
20 à 50 g/m ² de sable	50 à 100 g/m ² de sable ou de mélange sable (40 %) granulat (60 %)	50 à 200 g/m ² de granulats

Pour plus d'informations se référer à la fiche 9 de la série Viabilité Hivernale du Cerema sur l'usage des abrasifs en viabilité hivernale.

4.4 - IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Il convient au préalable de préciser que tous les produits épandus ont un impact sur différents compartiments environnementaux (eau, biodiversité, végétation, sol) qui dépend de leur nature (inorganique, organique). Une certitude : les fondants routiers sont par définition solubles et le vecteur majeur est l'eau.

4.4.1 - LE SEL NACL, ET AUTRES FONDANTS IONIQUES

Les impacts du chlorure de sodium sont parmi les plus étudiés car son utilisation est plus courante. Il a des effets :

- sur les sols : l'augmentation de la concentration de sodium dans le sol a tendance à augmenter la mobilité des cations K⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺, ce qui peut entraîner des carences en nutriments dans certains types de sols. Le sodium peut également favoriser la libération de métaux lourds éventuellement présents dans les sols des bords de route (relargage) ;
- les eaux de surface (eaux stagnantes et courantes) sont davantage touchées par les activités d'entretien hivernal. Cette pression polluante saline peut entraîner une perte de biodiversité dans les écosystèmes aquatiques, selon la durée, la fréquence d'exposition et la sensibilité des écosystèmes récepteurs ou provoquer des dépérissements importants sur les plantations en bords de route (réduction de la photosynthèse, etc.) ;
- les grands réservoirs d'eau souterraine peuvent être sensibles à une éventuelle contamination par le sel en fonction de leur volume et de leur débit ;
- le ferrocyanure, agent anti-agglomérant contenu dans le sel, n'est pas persistant dans l'environnement et est éliminé par précipitation, photolyse, volatilisation et dégradation biologique ;
- la poussière fine de chlorure de sodium se dissout dans les muqueuses mais ne présente pas de risque pour la santé.

Les fondants ioniques, à haute conductivité, comme le sel, peuvent affecter les métaux tels que l'acier, le zinc, etc. Grâce à une sélection correcte des matériaux de construction et à une protection adaptée, les dommages causés sur les véhicules et les infrastructures routières ne sont plus un problème majeur aujourd'hui. Avec le chlorure de sodium, seule une attaque extrêmement faible est à prévoir sur les routes et les infrastructures routières construites avec des bétons non conformes aux normes actuelles.

4.4.2 - LES PRODUITS ORGANIQUES

Concernant les autres produits, leur impact sur l'environnement doit encore être étudié en raison de leur grande variété. Les déverglaçants utilisés dans les zones aéroportuaires (formiate, acétate, urée) sont issus de la chimie organique. Bien qu'ils soient mentionnés comme biodégradables, il faut néanmoins tenir compte de la quantité d'oxygène nécessaire à leur dégradation. Cet oxygène consommé peut asphyxier l'environnement et entraîner une perte de biodiversité. Leurs impacts sur les eaux, les sols, la végétation doivent encore être étudiés en fonction de leur composition (potassium, sodium, additifs...).

4.4.3 - LES ABRASIFS

Avec les abrasifs, la formation de poussières fines (PM10) due aux effets du trafic doit être prise en compte. Le broyage des abrasifs épanchés sur la chaussée dans un environnement urbain peut augmenter la pollution par les PM10 pendant les mois d'hiver.

4.4.4 - LES SOLUTIONS DE TRAITEMENT

La question de l'élimination ou du traitement des effluents routiers contenant des produits de viabilité hivernale dépend de la nature de ces derniers. Une partie des eaux de ruissellement est collectée dans des bassins de rétention. Pour réguler la qualité des eaux contenant des chlorures (NaCl, CaCl₂, MgCl₂...), des recherches sont en cours pour tester des plantes halophiles pour le dessalement des eaux de ruissellement des routes.

Pour les déverglaçants organiques, tels que le formiate ou l'acétate, le principal impact environnemental est la consommation d'oxygène. Leur dégradation nécessite un traitement dans des installations de traitement des eaux usées.

Concernant les matériaux abrasifs en milieu urbain, le balayage est nécessaire pour éviter le colmatage des réseaux d'assainissement, la production de particules fines et les pertes d'adhérence dues aux matériaux résiduels. Le recyclage et la réutilisation des abrasifs collectés sont possibles, en tenant compte toutefois de leur teneur en polluants.

4.4.5 - CYCLE DE VIE DU PRODUIT

La question de l'impact environnemental doit également prendre en compte le cycle de vie du produit. La consommation d'énergie fossile pour la fabrication du NaCl est plus faible que pour les autres fondants. Ce dernier étant naturel, il ne nécessite pas de processus industriel pour son élaboration (de même que les abrasifs d'origine naturelle provenant de carrières). La consommation d'énergie pour l'épandage est liée aux dosages, donc prédominante pour les abrasifs et plus importante pour les fondants liquides. L'émission de gaz à effet de serre peut être minimisée par une production locale de sel (transport sites de production/utilisation), et le bon choix des moyens de transport.



CHAPITRE 5

Les matériels

LES MATÉRIELS

Les matériels d'intervention utilisés ont deux fonctions principales : l'évacuation de la neige ou du verglas et l'épandage. Ces fonctions peuvent éventuellement être réunies sur un même matériel porteur ou tracteur et réalisées simultanément ou non. Pour le choix des matériels on se référera au guide Stratégies de choix des outils de raclage et d'épandage.

5.1 - ÉPANDAGE

En viabilité hivernale, l'épandage consiste à déposer un fondant (liquide ou solide) sur les chaussées en vue de maintenir ou rétablir l'adhérence des roues des véhicules. L'association de produits liquides et solides peut être utilisée durant une même opération de viabilité hivernale.

Il existe des machines différentes selon les types de matériaux à épandre :

- les épanduses, destinées à répandre des matériaux solides (sel et/ou abrasifs) ;
- les saumureuses destinées à épandre des matériaux liquides uniquement ;
- les épanduses mixtes, destinées à répandre des matériaux solides ou de la bouillie de sel. Il s'agit en général d'épanduses équipées de réservoirs de saumure et d'un système de pompe et de tuyauteries permettant le traitement au sel humidifié ;
- les machines combinées qui allient les aptitudes d'une épanduse de produit solide humidifié ou non à celles d'une saumureuse. Ainsi, il est possible d'épandre de manière indépendante : du sel sec, du sel additionné de saumure (bouillie de sel), de la saumure seule, du sel ou de la bouillie de sel en concomitance avec de la saumure en grande quantité (saumure sursaturée).

Ces machines peuvent être de différents niveaux, allant de la saleuse que l'on peut pousser à la main pour traiter les zones piétonnes jusqu'aux machines de très grandes capacités destinées au traitement des autoroutes ou aéroports, en passant par les épanduses montées sur remorques ou celles attelées aux tracteurs agricoles.

Les technologies d'extraction et d'épandage sont désormais éprouvées, la précision de l'épandage peut se commander au gramme près sur les machines les plus perfectionnées. Des équipements additionnels permettent de moduler en direct la quantité de fondant épandue en fonction de la température de surface de la chaussée à traiter.

Il en ressort néanmoins que ces matériels, aussi performants soient-ils, ont des fonctionnements mécaniques sujets à l'usure et au dérèglement. Il est important de contrôler la précision de l'épandage le plus souvent possible, au moins une fois par campagne ou à chaque changement de fondant.

Les consignes de traitements et les matériels doivent donc être en adéquation. Dans le cas où le matériel est existant, il conviendra d'adapter les consignes et/ou d'envisager une politique de renouvellement du parc.

L'acquisition de ces matériels doit bien sûr être accompagnée de formations et d'une réflexion approfondie sur les stratégies et les consignes de traitement.

Tableau 9 : Les différents matériaux utilisables et les types de machines associés

	Sel en grain	Sel humidifié (bouillie de sel)	Saumure seule	Saumure sursaturée	Abrasifs
Épandeuse	Adapté	Inadapté	Inadapté	Inadapté	Adapté
Épandeuse mixte	Adapté	Adapté	Inadapté mais possible	Inadapté	Adapté
Saumureuse	Inadapté	Inadapté	Adapté	Inadapté	Inadapté
Épandeuse combinée	Adapté	Adapté	Adapté	Adapté	Adapté

5.2 - ÉLIMINATION DE LA NEIGE

L'opération de raclage est prépondérante dans la lutte contre la neige, l'épandage de fondants ou d'abrasifs ne constitue qu'une aide (chimique ou mécanique) aux actions mécaniques principales de raclage ou d'évacuation.

Le traitement de la neige vise un triple objectif :

- éviter son accumulation pour ne pas risquer de bloquer l'itinéraire et éviter des problèmes importants au moment du dégel ;
- maintenir un niveau d'adhérence satisfaisant en fonction du niveau de service à maintenir ou à rétablir ;
- faciliter le retour à l'état de référence après la chute - en général retour au noir.

5.2.1 - LE CHOIX DU MATÉRIEL

Comme vu précédemment, la neige peut tomber sur la chaussée sous différents états, puis évolue plus ou moins rapidement selon les contraintes auxquelles elle est soumise (état de surface, conditions météorologiques, trafic).

Le choix du matériel se fait en fonction :

- du type de réseau (autoroutes, réseau secondaire, milieu urbain, etc.) et du niveau de service (fréquence de rotation) ;
- des occurrences et des intensités des précipitations neigeuses (zone de montagne, congères, etc.), de même qu'à la typologie de neige la plus fréquemment rencontrée.

Le guide *Viabilité hivernale - Stratégies de choix des outils de raclage et d'épandage* référence les principaux types de matériels et présente une grille d'analyse pour aider les exploitants à choisir leur matériel.

Ces choix sont effectués au moment de l'acquisition du matériel, et vont conditionner les stratégies d'intervention.

Tableau 10 : Les différents matériels utilisables et les types de neige associés - neige fraîche en chute

Type de neige	Neige fraîche en chute					
	Sèche		Saumure seule		Abrasifs	
	Faible	Forte	Faible	Forte	Faible	Forte
Épaisseur						
Lame	Adapté	Adapté	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible
Étrave	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté
Balai	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté	Adapté	Inadapté
Évacuateur (fraise, turbine)	Inadapté	Adapté	Inadapté	Adapté	Inadapté	Adapté
Chargeur	Inadapté	Inadapté mais possible	Inadapté	Adapté	Inadapté	Adapté
Niveleuse	Inadapté	Inadapté mais possible	Inadapté	Adapté	Inadapté	Adapté

Tableau 11 : Les différents matériels utilisables et les types de neige associés - neige évoluée sur chaussée

Type de neige	Neige évoluée sur chaussée							
	Fondante		Tassée		Gelée		Pulvérulente	
	Faible	Forte	Faible	Forte	Faible	Forte	Faible	Forte
Épaisseur								
Lame	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible
Étrave	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté
Balai	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté	Inadapté	Inadapté	Adapté	Inadapté mais possible
Évacuateur (fraise, turbine)	Inadapté	Adapté	Inadapté	Inadapté mais possible	Inadapté	Adapté	Inadapté	Adapté
Chargeur	Inadapté	Inadapté mais possible	Adapté	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté	Inadapté	Inadapté mais possible
Niveleuse	Inadapté	Adapté	Adapté	Adapté	Adapté	Adapté	Inadapté mais possible	Adapté

5.2.2 - LES ÉLÉMENTS D'USURE

À l'interface outil/chaussée, les éléments d'usure assurent le décollement de la neige et participent à son évacuation.

Pour les outils de type lame ou étrave, ce sont des pièces interchangeables que l'on peut monter plus ou moins facilement. Leur composition/qualité est indépendante du type de matériel sur lequel ils sont installés. Les lames bi-raclage possèdent deux types de lame d'usure, généralement une tendre (caoutchouc) et une plus dure (acier). Il est possible d'y ajouter une lame supplémentaire qui vient améliorer la finesse du raclage.

Illustration 13 : Lame de raclage

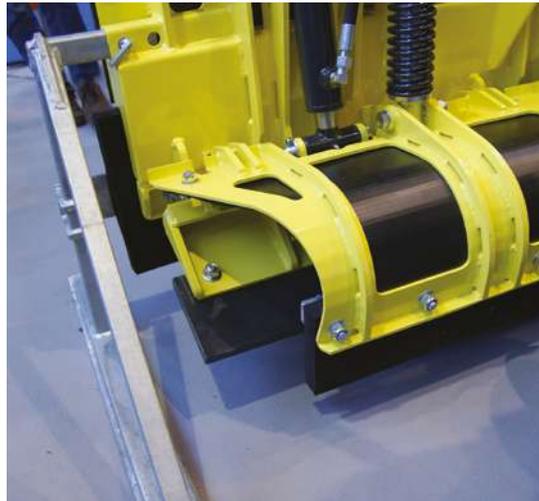


Tableau 12 : Avantages et inconvénients des différents types de lames

	Lame d'usure				
	Acier	Polyuréthane (avec talon)	Caoutchouc	Mixte (acier/caoutchouc)	Céramique
Avantages	Neige tassée / verglas. Angle d'attaque positif.	Efficacité sur tout type de neige. Angle d'attaque positif. Qualité de déneigement. Vitesse 50 km/h.	Passe-partout. Prix. Limitation du bruit. Vitesse 50 km/h.	Tout type de neige. Angle d'attaque positif.	Qualité du déneigement. Usure réduite. Angle d'attaque positif. Bruit.
Inconvénients	Vitesse limitée à 30 km/h. Étincelles, bruit. Agressivité vis-à-vis du marquage au sol et du revêtement.	Sensible aux aspérités, saillies. Coût. Utilisation en sustentation, sinon, usure rapide.	Qualité du déneigement. Angle d'attaque négatif. Moins efficace sur la neige tassée/glacée. Utilisation en sustentation, sinon, usure rapide.	Coût. Étincelles. Bruit.	Coût.

D'autres types de lames d'usure combinées sont aussi disponibles. Ces combinaisons sont destinées à donner une plus grande longévité. On distingue notamment : le corindon/caoutchouc, l'acier caoutchouc et corindon, le métal dur intégré (carbure de tungstène), etc.

Les balais frontaux ou d'empattement possèdent différentes qualités de brins adaptés au matériau à évacuer.

5.3 - STATIONS AUTOMATIQUES D'ASPERSION DE SAUMURE

Les stations automatiques d'aspersion de saumure ou système de giclage sont des dispositifs fixes permettant d'épandre des fondants sur zones très localisées (quelques dizaines de mètres) :

- ces systèmes sont très bien adaptés pour des phénomènes de légers verglas et sur certains points très particuliers du réseau routier (ouvrages d'art, rampes et pentes importantes, profils délicats de la route, environnements aggravants, zones de trafic important, etc.) ;
- le système d'aspersion ne prétend pas résoudre tous les phénomènes météo-routiers tels qu'une forte épaisseur de verglas (pluie en surfusion par exemple) ou une forte épaisseur de neige ;
- ils ne peuvent être généralisés du fait de leur coût ;
- ils peuvent être associés à une station météo-routière permettant des déclenchements automatiques. Si ces stations améliorent la réactivité, elles n'affranchissent cependant pas des opérations de patrouillage ou des éventuels traitements complémentaires (raclage).

Les stations d'aspersion automatique de saumure ou systèmes de « giclage » peuvent être :

- entièrement automatique (une station météo-routière pilote une instruction de fonctionnement) ;
- semi-automatique (l'information d'un risque est donnée au responsable d'intervention qui décidera de traiter ou non) ;
- manuelle (la décision peut être entièrement du ressort du responsable d'intervention).

5.4 - NOUVELLES TECHNOLOGIESE

Les technologies et les pratiques innovantes font que les matériels sont en constante évolution. Les nouvelles machines peuvent en être équipées de série, mais il est aussi possible de les installer sur des équipements plus anciens. Au moment de la rédaction de ce guide, les technologies suivantes existent :

- traitements différenciés : Les saieuses combinées permettent de multiplier les possibilités de traitement par la maîtrise des dosages et des taux de mouillage. L'acquisition de ces matériels doit bien sûr être accompagnée de formations et d'une réflexion approfondie sur les stratégies et les consignes de traitement ;
- géolocalisation : Il s'agit d'un dispositif de plus en plus utilisé pour des raisons de sécurité, généralement liées à la traçabilité juridique et au passage à la conduite à une seule personne en cabine. Cet outil, qui peut aussi servir à la protection des travailleurs isolés, ne peut cependant être mis en place sans une importante communication interne ;
- le pilotage par GPS permet de préprogrammer l'épandage des fondants en fonction de certains critères : géométrie de la route, présence d'ouvrage, zone plus froide ou plus humide, zone de rampe. Ce type d'outil nécessite une connaissance approfondie du réseau et de son comportement thermo-hydrigue ;
- le suivi des interventions : l'ensemble des commandes effectuées sur l'ESH sont enregistrées et/ou transmises sur un serveur distant. Ces données peuvent être : la durée de l'intervention, la position de la lame, le dosage et cumul des valeurs épandues, la position du véhicule, etc. ;
- installation de capteurs embarqués sur les épanduses :
 - capteurs de température de surface : L'utilisateur renseigne l'état de surface de la chaussée puis le dosage est fixé automatiquement par le logiciel en fonction de la température de surface. Ce système est cependant peu adapté pour les traitements préventifs ou précuratifs,
 - capteurs de conditions de surface : Sur la base du relevé de données (état de la surface, quantité d'eau, de glace, température de l'air et du sol, etc.), ils modulent la consigne de dosage préalablement définie.

L'introduction de ces systèmes vise une meilleure maîtrise de la consommation de fondants, mais peut être ressentie comme une limitation de l'initiative des chauffeurs. La communication et la formation des agents, en les rendant acteurs du projet, sont indispensables.

CHAPITRE 6

Les consignes de traitement

LES CONSIGNES DE TRAITEMENT

6.1 - LES VERGLAS

Sont présentés dans ce paragraphe les traitements les plus opportuns des situations de verglas les plus courantes. Ces consignes permettent de constituer une base de référence lors de la prise de décision, elles seront à adapter suivant les choix organisationnels, les objectifs et le matériel disponible.

Le verglas se traite principalement à l'aide de fondant chimique. L'utilisation d'une lame peut s'avérer nécessaire sur les verglas les plus épais.

Ne sont abordés ici que les traitements précuratifs et curatifs.

6.1.1 - CHOIX DES TRAITEMENTS

Le choix du type de **traitement précuratif** se fait en essentiellement fonction de l'état de surface et du phénomène attendu.

Un traitement précuratif est particulièrement efficace pour les verglas de faible épaisseur. Pour verglas de fortes épaisseurs, il peut être insuffisant, mais facilitera l'intervention curative ultérieure avec lame ou salage complémentaire.

Tableau 13 : Traitement précuratif - Tenue sur la chaussée et dilution des différents types de traitements

Traitement précuratif		Saumure	Saumure sursaturée	Bouillie de sel	Sel en grain	
État de surface		Tenue sur la chaussée				
Sec	Humidité de l'air < 75 %	PARFAITE (moyenne après séchage)	BONNE TENUE	ASSEZ BONNE TENUE	TRÈS MAUVAISE TENUE	
	Humidité de l'air U > 75 %	PARFAITE	PARFAITE	BONNE TENUE	MAUVAISE TENUE	
Humide		Dilution	DILUTION TRÈS IMPORTANTE	PARFAITE	ASSEZ BONNE TENUE	
Mouillé			DILUTION TRÈS IMPORTANTE	DILUTION IMPORTANTE	PARFAITE	
Ruisselante			PERTE D'EFFICACITÉ	PERTE D'EFFICACITÉ	DILUTION TRÈS IMPORTANTE	DILUTION IMPORTANTE
		Dilution				
		PARFAITEMENT ADAPTÉ	ADAPTÉ SOUS RÉSERVE	INADAPTÉ MAIS POSSIBLE	INADAPTÉ	

Le choix du type de **traitement curatif** (sel en grain, bouillie, saumure) et des dosages à appliquer se fait en fonction du type de verglas. Le dosage en sel en grain et/ou en saumure sera adapté à la quantité d'eau présente et à la température de chaussée.

Le travail avec saumure uniquement a un intérêt en traitement curatif sur les verglas de faibles épaisseurs et secs (certains cas de congélation d'eau résiduelle, gelée blanche). Il permet d'accroître la vitesse de fusion de la glace et de réduire la diminution de température de chaussée due au traitement.

Tableau 14 : Traitement curatif - Efficacité du traitement en fonction des différents types de verglas

Traitement curatif		Saumure	Saumure sursaturée	Bouillie	Sel en grain
Type de verglas					
Sans précipitation	Congélation d'eau préexistante	EFFICACE IMMÉDIATEMENT si faible épaisseur	EFFICACE IMMÉDIATEMENT	EFFICACE presque immédiatement	EFFICACE avec RETARD IMPORTANT
		Risque de recongélation	Risque de recongélation si $T_s << 0\text{ °C}$		
	Gelée blanche	EFFICACE IMMÉDIATEMENT	EFFICACE IMMÉDIATEMENT	EFFICACE	EFFICACE avec RETARD
		Risque de dilution si le dépôt se poursuit	EFFICACE, plutôt pour les gelées importantes	Risque de réhumidification de la chaussée par hydratation du sel recristallisé la nuit suivante	
Avec précipitation	Pluie sur sol gelé	INEFFICACE, dilution très rapide	EFFICACE si très faible précipitation	EFFICACE, bonne résistance à la dilution	EFFICACE avec RETARD (verglas formé)
			Risque de dilution		
	Pluie en surfusion	EFFICACE uniquement en traitement d'attaque	EFFICACE sur du COURT TERME	EFFICACE, en complément du traitement d'attaque	INEFFICACE (pas d'eau disponible pour dissoudre le sel)
		Dilution rapide			
	Précipitation de brouillard givrant	EFFICACE IMMÉDIATEMENT (faible dépôt)	EFFICACE IMMÉDIATEMENT (dépôt moyen)	EFFICACE presque immédiatement	EFFICACE avec RETARD
		Risque de dilution si le dépôt se poursuit			
PARFAITEMENT ADAPTÉ		ADAPTÉ SOUS RÉSERVE	INADAPTÉ MAIS POSSIBLE	INADAPTÉ	

6.1.2 - EXEMPLES

Ces tableaux de préconisations de dosages sont donnés comme base à la prise de décision. Les dosages sont à affiner par les gestionnaires en fonction de leurs contraintes, leur connaissance du territoire, leurs matériels.

En fonction du matériel, les dosages en saumure ne s'expriment pas tous de la même manière.

Dans le tableau suivant, en fonction de la nature du traitement, les dosages sont exprimés de la manière suivante :

- saumure : en g/m^2 de saumure pure. Un dosage de 40 g/m^2 de saumure fabriquée à 22% contient un équivalent de 10 g/m^2 de sel sec épandu ;

- saumure sursaturée : en g/m² de saumure auquel on ajoute le dosage de sel sec en g/m². Une saumure sursaturée 15 g/m² + 10 g/m² correspond à 15 g/m² de saumure et 10 g/m² sel sec ;
- bouillie : en g/m² de sel en grain en précisant en % le taux de mouillage de ce sel en grain par la saumure. Une bouillie 15 g/m² + 20 % correspond à 15 g/m² de sel en grain auquel sera ajouté 20 % en masse de saumure.

Tableau 15 : Traitement précuratif du verglas - dosages préconisés

	Pas d'intervention / surveillance	Saumure	Saumure sursaturée	Bouillie	Sel en grain
Gelée blanche		15g/m ²	15g/m ² + 0	10g/m ² + 30 %	INADAPTÉ
Congélation d'eau préexistante		INADAPTÉ	20g/m ² + 5g/m ²	15g/m ² + 20 %	15g/m ²
Brouillard givrant - sol sec		15g/m ²	15g/m ² + 0	10g/m ² + 30 %	INADAPTÉ
Brouillard givrant - sol humide		INADAPTÉ	20g/m ² + 5g/m ²	10g/m ² + 20 %	10g/m ²
Pluie sur sol gelé		INADAPTÉ	INADAPTÉ	20g/m ² + 20 %	20g/m ²
Pluie en surfusion		50 g/m ²	40g/m ² + 10g/m ²	20g/m ² + 20 %	INADAPTÉ

PARFAITEMENT ADAPTÉ	ADAPTÉ SOUS RÉSERVE	INADAPTÉ MAIS POSSIBLE	INADAPTÉ
---------------------	---------------------	------------------------	----------

L'objectif d'un traitement préventif / précuratif est d'éviter la formation d'un léger verglas ou de fragiliser la couche d'un verglas plus épais pour faciliter un éventuel raclage ultérieur.

Tableau 16 : Traitement curatif du verglas - dosages préconisés

	Saumure	Saumure sursaturée	Bouillie	Sel en grain
Gelée blanche	40 g/m ²	30 g/m ² + 5 g/m ²	10 g/m ² + 30 %	10 g/m ²
Congélation d'eau préexistante	40 g/m ²	30 g/m ² + 5 g/m ²	15 g/m ² + 30 %	20 g/m ²
Brouillard givrant	40 g/m ²	30 g/m ² + 5 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	15 g/m ²
Pluie sur sol gelé	INADAPTÉ	40 g/m ² + 10 g/m ²	20 g/m ² + 20 %	30 g/m ²
Pluie en surfusion	50 g/m ²	40 g/m ² + 10 g/m ²	30 g/m ² + 20 %	30 g/m ²

PARFAITEMENT ADAPTÉ	ADAPTÉ SOUS RÉSERVE	INADAPTÉ MAIS POSSIBLE	INADAPTÉ
---------------------	---------------------	------------------------	----------

Sur les verglas de très forte épaisseur, l'utilisation de lames de raclage peut s'avérer nécessaire (lame acier voire déglaceuse).

6.2 - LES NEIGES

L'opération de raclage est prépondérante dans la lutte contre la neige.

L'épandage de fondants ne constitue qu'une aide chimique aux actions mécaniques principales de raclage ou d'évacuation. Il permet de faire évoluer la neige vers une neige facilement « raclable » et de faire fondre la pellicule résiduelle de neige en fin d'intempérie.

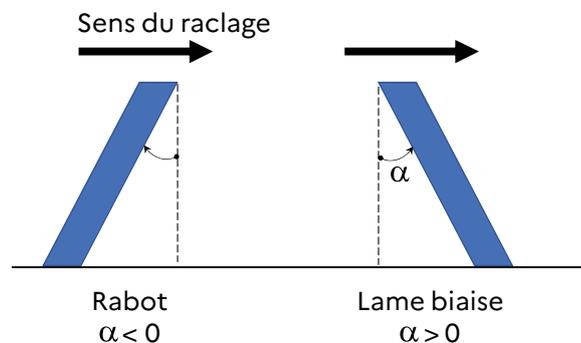
Pour les réseaux dont l'objectif est un retour à la condition C1 (au noir), les lignes directrices sont :

- effectuer un salage précuratif en fonction des états de surface et de l'évolution des températures. Ce type de traitement vise à faire évoluer la première couche de neige ;
- intervenir en raclage dès le début de la chute de neige ;
- ne pas saler systématiquement, à chaque passage des engins ;
- si la chute se poursuit, augmenter les fréquences de rotation des engins pour maintenir la condition minimale ;
- toujours racler au plus près de la chaussée pour obtenir une couche résiduelle la plus fine possible ;
- saler la chaussée en fin d'intempérie ;
- gérer les cordons de neige et/ou des congères résiduelles.

6.2.1 - CHOIX DE LA TECHNIQUE DE RACLAGE

Le guide Sétra *Viabilité hivernale - Stratégie de choix des outils de raclage et d'épandage* donne des éléments de choix sur les outils de raclage à utiliser et identifier les lames d'usures les mieux adaptées en fonction des caractéristiques de l'état de surface enneigée.

Illustration 14 : Type de lames et inclinaison



α = angle orienté entre la lame d'usure et la verticale

Une neige mouillée est glissante, lourde et sa dynamique d'éjection est pénalisée. Il convient de racler cette neige avec une lame d'usure douce (caoutchouc) avec un angle d'inclinaison négatif compris entre 0 et -15° :

- si l'angle est plus faible, la pression au sol est accrue mais l'usure est plus rapide et l'outil a tendance à vibrer ou sauter ;
- si l'angle est plus prononcé, la pression au sol diminue, mais l'usure au sol est réduite et il y a absence de vibration.

Une neige humide adhère facilement à la chaussée et le raclage peut la compacter (échauffement et compactage par écrasement de la couche résiduelle). La lame d'usure doit être mi-dure à dure selon l'angle d'inclinaison positif de 0 à 60° :

- plus l'angle d'inclinaison est prononcé, meilleur est le raclage, plus forte est l'usure ;
- plus l'angle d'inclinaison est faible, plus faible seront la pression au sol et l'usure.

Une **neige fine et sèche** est légère et soufflée facilement. Le raclage peut être réalisé avec une lame de nature quelconque avec une vitesse de déneigement élevée, l'effet de souffle étant le plus important. Le balayage de ce type de neige est possible.

Le trafic assure également à lui seul le nettoyage de la chaussée, sauf si la chaussée est humide ou si un traitement précuratif a eu lieu (augmentation de la teneur en eau de la neige).

Pour une chute nocturne accumulée et sans trafic, la lame acier à angle d'inclinaison nettement positif est préconisée.

Gestion des congères

En **mesure préventive**, il convient de recenser les zones problématiques et de provoquer l'accumulation de la neige en dehors des zones à enjeux, soit en fixant la neige dans des endroits choisis, soit en modifiant les circuits de circulation de la neige.

Trois types de solutions existent : les aménagements géométriques de la route, les barrières à neige et les plantations pare-congères.

La fiche pratique « aide-mémoire » en viabilité hivernale n° 6 de la série II détaille ces moyens de lutte contre la formation des congères.

L'**action curative** consiste à éliminer la neige accumulée sur la route par le vent. L'épaisseur de neige accumulée oblige souvent à utiliser un outil de raclage frontal symétrique, de type étrave, voire un évacuateur.

En faible épaisseur, le choix du côté de dépôt de la neige par rapport au vent est prépondérant pour limiter la reconstitution de la congère. Si ce choix implique un dépôt à gauche, des règles de gestion du trafic peuvent s'avérer nécessaires.

Pour le déverglacement en forte épaisseur, il existe des lames spéciales, utilisées essentiellement en montagne, appelées « déglaceuses ». Elles sont en général installées sous l'engin pour un meilleur appui sur la surface à déverglacer.

6.2.2 - CHOIX DE LA TECHNIQUE D'ÉPANDAGE

Le choix du traitement se fait en fonction de :

- l'évolution de la température de l'air T_a ;
- l'état de surface (sèche, humide) qui influera sur l'évolution et la tenue de la neige au sol. À titre d'exemple, un flocon sur un sol humide fond instantanément. La tenue de la neige au sol n'est pas immédiate ;
- la qualité de la neige en chute et sa Teneur en Eau Liquide (TEL) qui, combinée à l'état et à la température de surface, permet d'estimer le type de neige « routière » ;
- la température de surface T_s et son évolution après raclage et après intempérie : La température de surface suivra la même tendance que la température de l'air (ciel couvert). Ce point permet d'anticiper la formation éventuelle d'un verglas après intempérie.

Traitement précuratif

Des interventions précuratives sont possibles. Elles ont un impact direct sur la première couche de neige et ont pour objectif la faire évoluer pour :

- minimiser l'adhésion entre la première de neige et le revêtement de chaussée ;
- faciliter le raclage ou l'évacuation par le trafic ;
- faire évoluer la neige à venir ;
- éventuellement faire fondre sans raclage des chutes de très faible importance.

La décision d'un traitement précuratif est donc essentiellement fonction de l'état de surface de la chaussée et du type de neige en chute attendue. L'Annexe 4 donne des éléments sur l'évolution de l'état de surface lors de traitement précuratif, en fonction des typologies de neige en chute et du trafic.

Tableau 17 : Type de traitement les plus adaptés en fonction des états de surface et des types de neige attendues

Neige attendue	Sèche (fine et froide)	Humide	Mouillée
État de surface		Saumure sursaturée ou bouillie	Bouillie
Sol sec	Pas d'intervention	Risque de recongélation	Intervention uniquement si Ta > 0 Risque de recongélation
Sol humide	Bouillie	Bouillie Intervention uniquement si Ta > 0	Bouillie Intervention uniquement si Ta > 0
Sol mouillé	Pas d'intervention	sel sec Intervention uniquement si Ta > 0	Pas d'intervention

PARFAITEMENT ADAPTÉ	INADAPTÉ
---------------------	----------

Traitement curatif

L'ajout d'un fondant routier en curatif a pour objectif de faciliter le raclage ou l'évacuation par le trafic et non de faire fondre la couche de neige. Il s'agit donc, par un moyen chimique, de transformer la neige au sol en une neige mouillée (sloche).

Tableau 18 : Efficacité des types de traitement curatifs sur différents types de neige en chute

Traitement curatif	Saumure	Saumure sursaturée	Bouillie	Sel en grain
Neige en chute	Pas de traitement si sol sec et gelé (neige volante - uniquement raclage) - risque de compactage en cas de fort trafic poids lourd			
Sèche (fine et froide)	EFFICACE à très court terme, faible durée	EFFICACE à court terme	EFFICACE	EFFICACE avec retard
	DERNIER PASSAGE	EFFICACE	EFFICACE presque immédiatement	EFFICACE avec retard
Risque de recongélation si Ts > 0 : curatif verglas				
Humide	EFFICACE à très court terme, faible durée	EFFICACE immédiatement	EFFICACE	EFFICACE avec retard
	DERNIER PASSAGE	EFFICACE à court terme	EFFICACE	EFFICACE presque immédiatement
Risque de recongélation si Ts > 0 : curatif verglas				
Mouillée	Pas de traitement si chaussée humide à mouillée			
	INEFFICACE (trop d'eau)	EFFICACE à court terme	EFFICACE	EFFICACE avec retard
	DERNIER PASSAGE	EFFICACE à court terme	EFFICACE à court terme	EFFICACE
Risque de recongélation si Ts > 0 : curatif verglas				
EFFICACE	ADAPTÉ DANS CERTAINES CONDITIONS	INADAPTÉ MAIS POSSIBLE	INADAPTÉ	

6.2.3 - EXEMPLE DE TABLEAUX DE CONSIGNES

Ces tableaux de préconisations de dosages sont donnés à titre indicatif. Les dosages sont à affiner par les gestionnaires en fonction de leurs contraintes, leur connaissance du territoire, leurs matériels.

Dans le tableau suivant, en fonction de la nature du traitement, les dosages sont exprimés de la manière suivante :

- saumure : en g/m² de saumure pure. Un dosage de 40 g/m² de saumure fabriquée à 22 % contient un équivalent de 10 g/m² de sel sec épandu ;
- saumure sursaturée : en g/m² de saumure auquel on ajoute le dosage de sel sec en g/m². Une saumure sursaturée 15 g/m² + 10 g/m² correspond à 15 g/m² de saumure et 10 g/m² sel sec ;
- bouillie : en g/m² de sel en grain en précisant en % le taux de mouillage de ce sel en grain par la saumure. Une « bouillie 15 g/m² + 20 % » correspond à 15 g/m² de sel en grain auquel sera ajouté 20 % en masse de saumure.

Tableau 19 : Traitement précuratif de la neige - dosages préconisés

État du sol	Type de neige annoncé	Saumure	Saumure sursaturée	Bouillie	Sel en grain
Sol sec et Ts < 0 °C	Sèche	INADAPTÉ	INADAPTÉ	INADAPTÉ	INADAPTÉ
	Humide	30 g/m ²	20 g/m ² + 10 g/m ²	10 g/m ² + 20 %	10 g/m ² *
	Mouillée	30 g/m ²	20 g/m ² + 10 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	15 g/m ² *
Sol sec et Ts > 0 °C Si Ta diminue fortement	Sèche	40 g/m ²	20 g/m ² + 10 g/m ²	10 g/m ² + 20 %	10 g/m ² *
	Humide	30 g/m ²	20 g/m ² + 10 g/m ²	10 g/m ² + 20 %	10 g/m ² *
	Mouillée	30 g/m ²	20 g/m ² + 10 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	15 g/m ² *
Sol humide	Sèche	40 g/m ²	20 g/m ² + 10 g/m ²	10 g/m ² + 20 %	10 g/m ²
	Humide avec Ta diminuant fortement	40 g/m ²	20 g/m ² + 15 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	10 g/m ²
	Mouillée avec Ta diminuant fortement	50 g/m ²	20 g/m ² + 15 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	15 g/m ²
Sol mouillé	Sèche	INADAPTÉ	INADAPTÉ	INADAPTÉ	INADAPTÉ
	Humide avec Ta diminuant fortement	INADAPTÉ	INADAPTÉ	INADAPTÉ	15 g/m ²
	Mouillée	INADAPTÉ	INADAPTÉ	INADAPTÉ	INADAPTÉ

* Le sel sec n'est que très peu efficace sur sol sec, cependant, faute de mieux pour les gestionnaires qui n'auraient pas de saumure, les dosages indiqués peuvent être appliqués.

EFFICACE	ADAPTÉ DANS CERTAINES CONDITIONS	INADAPTÉ MAIS POSSIBLE	INADAPTÉ
----------	----------------------------------	------------------------	----------

Tableau 20 : Traitement curatif de la neige et dernier passage - dosages préconisés

RAPPEL : dans tous les cas le raclage est prioritaire et un épandage de fondant n'est pas nécessaire à chaque passage

Neige au sol	Neige en chute	Saumure	Saumure sursaturée	Bouillie	Sel en grain
Neige fondante	Sèche	40 g/m ²	25 g/m ² + 10 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	10 g/m ²
	Humide	30 g/m ²	15 g/m ² + 15 g/m ²	10 g/m ² + 20 %	10 g/m ²
	Mouillée	Raclage et surveillance - Pas de salage			
Neige fondante	Sèche	50 g/m ²	25 g/m ² + 10 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	10 g/m ² *
	Humide	40 g/m ²	25 g/m ² + 10 g/m ²	15 g/m ² + 20 %	10 g/m ² *
	Mouillée	30 g/m ²	15 g/m ² + 15 g/m ²	10 g/m ² + 20 %	10 g/m ²
Neige pulvérulente	Sèche	Raclage et surveillance - Pas de salage - Attention aux congères			
	Humide	Cas inexistant			
	Mouillée				
EFFICACE		ADAPTÉ DANS CERTAINES CONDITIONS	INADAPTÉ MAIS POSSIBLE	INADAPTÉ	



CHAPITRE 7

Qualité de la décision

QUALITÉ DE LA DÉCISION

La construction d'une consigne s'apparente à une course contre la montre où les échéances se réduisent à mesure que le phénomène arrive.

7.1 - PRÉFORMATER LA CONSIGNE

Cette phase doit être réalisée en amont de la période de viabilité hivernale. Idéalement, il s'agit d'établir des consignes types, sous forme de tableaux / réglettes. Des préconisations figurent au chapitre 6. Ces consignes doivent être en adéquation avec les objectifs de qualité, les outils d'aides à la décision (prévisions météorologiques, stations d'observation et de prévision), le matériel (type d'ESH, station de saumure, etc.) et les moyens humains (régie et sous-traitance) dont dispose le gestionnaire.

7.2 - CHOISIR ET PRÉCISER LA CONSIGNE EN SITUATION

De trop nombreuses organisations basent encore aujourd'hui leur stratégie de lutte contre les événements météorologiques hivernaux sur la seule prévision de la température de l'air. Ce paramètre, certes important, n'est pas exclusif et ne représente pas à lui seul la complexité des phénomènes météo-routiers. D'autres éléments (prévisions et/ou données de la température de surface, humidité relative, état de surface, etc.) sont à prendre en compte dans le processus de prise de décision.

La mission du responsable d'intervention est de décider et de piloter localement la mise en œuvre du plan d'exploitation hivernale.

Cette mission se décline en trois phases :

Phase 1 : Veille qualifiée météorologique et de mise en alerte. Cette phase est, pour les plus grosses structures, dédiée à un centre de gestion qui réalise la veille pour l'ensemble des responsables d'intervention. Pour les plus petites structures, la fonction de veilleur peut être cumulée avec celle de responsable d'intervention.

Phase 2 : Suivi météorologique rapproché et décision de surveillance des routes.

Phase 3 : Analyse fine des risques routiers débouchant ou non sur une décision d'intervention.

Pour plus de détails sur l'ensemble des missions associées à ces phases, il convient de se référer au guide *Viabilité hivernale - Approche globale*.

L'annexe 1 référence les outils à disposition permettant de mener à bien ces activités. Ces outils sont mobilisés selon des temporalités différentes et exigent, pour certains, un socle de connaissances acquises au travers de formations spécifiques.

Dans chacune de ces phases il est primordial d'anticiper et d'évaluer la durée et l'intensité du phénomène pour s'assurer d'une disponibilité de moyens suffisante. Au fur et à mesure de l'évolution du phénomène, un processus itératif (« projeter », « réaliser », « évaluer ») est à décliner.

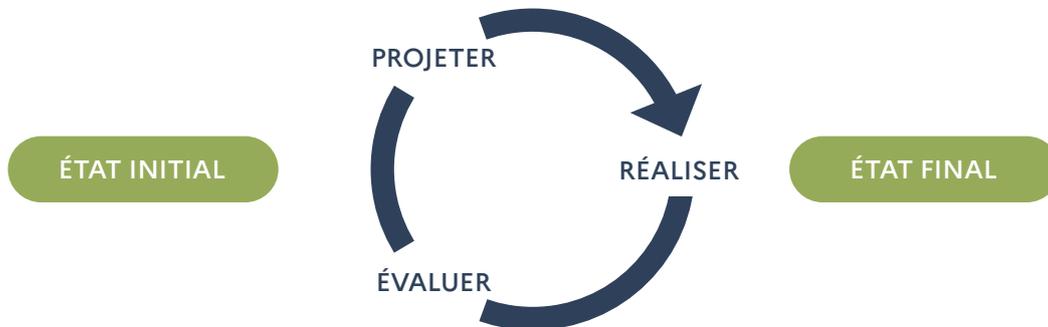
Évaluer l'état initial comprend les notions d'états de chaussées, de températures de surface et de trafic.

Projeter vers l'état attendu consiste à définir l'heure, le type, l'intensité et la durée du phénomène à venir ainsi que l'évolution du trafic, sur un réseau défini avec ses objectifs de qualité associés. La consigne se définit à cette étape en prenant compte le meilleur moment d'intervention (prise en compte du trafic, période nocturne, diurne).

Réaliser consiste à mettre en application la consigne.

Évaluer le nouvel état permet de vérifier que l'état attendu est atteint ou, le cas échéant, de définir un nouvel état initial.

Illustration 15 : Processus d'adaptation des consignes de traitement



7.3 - FORMALISER LA CONSIGNE

Chaque niveau décisionnel (cadre d'astreinte, veilleur, responsable d'intervention...) veille à la bonne transmission des décisions et à la traçabilité du processus ayant mené à la décision. Ainsi, le responsable d'intervention formalise sur une main courante son analyse du risque et la traduit en consignes pour chaque conducteur d'ESH.

L'intervenant, qui ne dispose pas d'une vision globale, se doit d'appliquer les consignes. Il consulte le responsable d'intervention s'il estime qu'une adaptation est nécessaire au vu de la situation sur le terrain et ne prend pas la décision seul. Dans les cas exceptionnels où il devrait déroger à la consigne lors de sa mise en œuvre, il sait en justifier les raisons.

Le développement de nouveaux équipements relevant en continu des informations comme les températures (surface et air), les états de surface des chaussées, la salinité résiduelle, tout en permettant un géoréférencement permet de compléter la patrouille, de faciliter la prise d'information et d'en assurer la traçabilité.

La traçabilité est fondamentale pour des raisons juridiques. Elle permet de justifier la décision d'intervenir ou non par des éléments factuels.

Lorsque, *a posteriori*, il est constaté que la décision prise n'était pas adaptée, la traçabilité permet d'en identifier la/les causes lors de retours d'expérience et/ou de couvrir le responsable d'intervention si la/les causes ne sont pas de son fait.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

CORPUS RÉGLEMENTAIRE

- NF EN 16 811-1 « Matériels de viabilité hivernale - Fondants routiers - Partie 1 : chlorure de sodium - Exigences et méthodes d'essai » - Novembre 2016
- NF EN 16 811-2 « Matériels de viabilité hivernale - Agents fondants - Partie 2 : chlorure de calcium et chlorure de magnésium - Exigences et méthodes d'essai » - Novembre 2016
- XP CEN 16811-3 « Matériels de viabilité hivernale - Agents fondants - Partie 3 : Autres agents fondants liquides et solides - Exigences et méthodes d'essai » - Septembre 2020
- NF EN 17443 « Matériels de viabilité hivernale - Unités de production de saumure - Exigences et méthodes d'essai » - Août 2021
- NF P99-320 « Météorologie routière - Recueil des données météorologiques et routiers » - Avril 1998

BIBLIOGRAPHIE

- Journées Techniques GEMCEA, octobre 2012, Guillaume DEROMBISE, CETE de l'Est - LRPC Nancy, Veille technologique sur les abrasifs.
- Détermination de la quantité résiduelle de fondants routiers par une technique spectroscopique sans contact. M. Marchetti, AIPCR Congrès VH, Québec, 2010
- Calcium chloride handbook - A guide to properties, forms, storage and handling, 2003
- Viabilité hivernale sur enrobés drainants. Étude rhéologique de solutions salines et mise au point d'un perméamètre pour la viabilité hivernale. Maleck Jouni. LGM, 1992
- US Department of transportation - Federal Highway Administration - Manual of Practice for An Effective Anti-Icing Program - 1996
- Calcium chloride handbook - A guide to properties, forms, storage and handling - 2003
- Consignes de traitement - Contribution à l'établissement d'une doctrine sur le traitement de la neige - 2007. J. Livet - S. Poissonnier
- Réduction de l'utilisation des fondants dans l'entretien hivernal - OCDE - 1989.
- Dictionnaire de l'entretien routier - Volume 4 : Viabilité hivernale. Observatoire National de la Route, 1998
- Base de données sur la neige et le verglas. AIPCR, Comité technique B5 Viabilité hivernale, 2010
- Development of pre-wetted and full wet salt spreading in Germany. Dr.-Ing. Horst Hanke, German Road Administration, Saarbrücken (Germany)

RÉFÉRENCES

- [Viabilité hivernale - Approche globale](#). Guide méthodologique. Sétra, 2009
- [Anticipation des risques routiers hivernaux](#). Guide technique. Sétra, 2006
- [Viabilité hivernale - Stratégies de choix des outils de raclage et d'épandage](#). Guide technique. Sétra, 2009
- [Le stockage des fondants routiers - gestion et dimensionnement](#). Guide technique. Cerema, 2016
- [Viabilité hivernale - Fiches techniques - Approche globale](#). Sétra, 2010
- [L'exploitation hivernale des ponts - Un comportement hivernal particulier, des contraintes spécifiques d'exploitation](#). Note d'information n°131. Sétra, 2009
- [Systèmes d'aide à la décision pour le service hivernal - Aide à l'implantation des stations de météorologie routière](#). Note d'information n° 135. Sétra, 2010
- [L'achat des fondants routiers](#) - Guide technique Références. Cerema, 2018
- [Viabilité hivernale - Fiches pratiques « aide-mémoire » - série I](#) : Document technique / Fiche et note d'information, Sétra 2012
- [Viabilité hivernale - Fiches pratiques « aide-mémoire » - série II](#), Sétra 2013
- [Viabilité hivernale - Fiches pratiques « aide-mémoire » - série III](#), Cerema 2020
- [Analyse de la jurisprudence - Accidents en présence de verglas ou de neige](#). Version actualisée au 30 septembre 2015, Guide technique Cerema 2016
- [Choisir un fondant routier. Le bon usage des normes NF EN 16811-1, NF EN 16811-2 et spécification technique NF TS 16811-3](#). Note d'information n° 33. IDRRIM, 2017
- [L'impact des fondants routiers sur l'environnement - État des connaissances et pistes d'action](#). Note d'information Sétra n°94, mars 2011

SITE INTERNET

www.viabilite-hivernale.developpement-durable.gouv.fr



Annexes

Annexe 1 - Outils d'aide à la décision	62
Annexe 2 - Principe de fonctionnement des fondants routiers	68
Annexe 3 - Les matériels	78
Annexe 4 - Influence du trafic	83
Annexe 5 - Les revêtements / Couches de roulement - adhérence	85
Annexe 6 - Fiche d'aide à la décision du responsable d'intervention (RI)	88
Annexe 7 - Fiche patrouille	92
Annexe 8 - Forme et contenu de la main courante	93
Annexe 9 - Glossaire / Terminologie relative aux phénomènes météo-routiers	95

ANNEXE 1

Outils d'aide à la décision

LA CONNAISSANCE DU RÉSEAU

Le préalable à la construction d'une stratégie d'intervention est de connaître le comportement du réseau. Il s'agit bien évidemment de connaître la climatologie mais aussi la façon dont va réagir ce réseau et quels types de phénomènes météo-routiers vont en résulter.

Cette connaissance se construit à partir de l'expérience des agents de terrain, des statistiques météorologiques, de l'accidentologie, des caractéristiques physiques du réseau (revêtement, exposition, etc.) et de profils thermohydrauliques permettant de caractériser l'itinéraire.

OUTILS ET PRODUITS D'AIDE À LA DÉCISION

Les tableaux 21 et 22 référencent les outils à disposition permettant de mener à bien ces activités. Ces outils sont mobilisables selon différentes temporalités et exigent, pour certains, un socle de connaissances acquis au travers de formations spécifiques.

Symboles :

Qualité et richesse de l'information au regard de l'usage météo-routier (pertinence, précision, etc.)

* indication simple et très générale

** indication plus adaptée à l'exploitation de la route

*** indication élaborée et professionnalisée destinée aux applications de viabilité hivernale

Exigence en matière de connaissances et de formation pour garantir une bonne appropriation des données et de leur usage

◆ accessible aux non-spécialistes

◆◆ accessible après une formation minimale

◆◆◆ nécessite une formation approfondie pour en tirer totalement parti

Tableau 21 : Outils d'assistance météorologique produits par les prestataires météo

Action	Phase 1 : veille qualifiée météorologique et décision de mise en alerte				Phase 2 Suivi météorologique rapproché et décision de surveillance des routes		Phase 3 Analyse fine des risques routiers et décision d'intervention		Exigences en matière de connaissances et de formation
	Temporalité	72h / 12h				12h / 6h-4h		6h-4h / 0h	
Fonctions	Analyser les prévisions météorologiques	Rassembler des informations sur les conditions météorologiques locales observées	Établir une première ébauche du risque routier potentiel	Évaluer si le phénomène météorologique prévu sera « nor-mal » ou « exceptionnel »	Activer un suivi météorologique rapproché	Effectuer surveillance des routes	Caractériser et localiser les risques routiers	Choisir une stratégie d'intervention	
Médias télévisuels	*		*	*					◆
Carte de vigilance	*	*		**					◆
Tableaux de prévision pour la route	***	**	***	***	***			**	◆◆◆
Prévision de la température de surface de chaussée	*	*	*		*	*	**	**	◆◆◆
Imagerie satellitaire dans le visible	*		*	*	**				◆◆
Imagerie satellitaire dans l'infrarouge	*	*		*	**				◆◆
Imagerie radar de précipitations	*	*	*	*	**	*	***	*	◆◆◆
Suivi fusion de l'imagerie satellitaire et des autres sources d'information	*	*	**	***	**	**	**	**	◆◆◆
Imagerie radar de précipitations	*	*			*		**		◆◆

Tableau 22 : Outils d'aide à la décision des services gestionnaires d'infrastructures

Action	Phase 1 : veille qualifiée météorologique et décision de mise en alerte				Phase 2 Suivi météorologique rapproché et décision de surveillance des routes		Phase 3 Analyse fine des risques routiers et décision d'intervention		Exigences en matière de connaissances et de formation
Temporalité	72h / 12h				12h / 6h-4h		6h-4h / 0h		
Fonctions	Analyser les prévisions météorologiques	Rassembler des informations sur les conditions météorologiques locales observées	Établir une première ébauche du risque routier potentiel	Évaluer si le phénomène météorologique prévu sera « normal » ou « exceptionnel »	Activer un suivi météorologique rapproché	Effectuer surveillance des routes	Caractériser et localiser les risques routiers	Choisir une stratégie d'intervention	
Capteurs mobiles et embarqués (Ta, Ts, états de surface,...)	*	*			**	***	***	***	◆◆◆
Paramètres météo- routiers relevés par les stations routières	*	*			**	***	*	***	◆◆
Prévisions (Ts et/ou état) asso-ciées aux stations routières			*		**	***	**	***	◆◆◆
Suivi de l'état du réseau par caméras						*	**	***	◆
Données de trafic par les stations d'analyse du trafic				**		*	**	***	◆◆
Connaissance des points singuliers hivernaux de son réseau (à dire d'expert)			**		***	***	***	**	◆◆◆
Cartographie thermique hivernale de son réseau (par relevé de l'empreinte thermique)			*		**	***	**		◆◆◆
Cartographie thermique hivernale de son réseau (par relevé de l'empreinte thermique)			*		**	***	**		◆◆◆

LES APPAREILS DE MESURES MOBILES

Les appareils de mesure mobiles peuvent être portatifs ou embarqués. Ils permettent au patrouilleur d'effectuer des mesures sur les points caractéristiques et/ou particuliers d'un itinéraire.

Parmi les appareils de mesure mobiles, figurent :

- les appareils de mesure de température de surface ;
- les appareils de mesure de température de l'air et d'humidité relative de l'air et/ou de la température du point de rosée de l'air ;
- les dispositifs de mesure de la salinité résiduelle ou du point de congélation ;
- les appareils de mesures de l'état de surface.

La qualité du recueil des données conditionne en partie la qualité et la prise de décision qui s'ensuit.

LES STATIONS MÉTÉO-ROUTIÈRES

Une station météo-routière ou SAD (Système d'Aide à la Décision) est un dispositif de recueil automatique de données en continu permettant de relever des paramètres atmosphériques et routiers sur un point précis d'un itinéraire. Le choix du positionnement de ces stations est étudié dans la note d'information Sétra n° 135 *Système d'aide à la décision pour le service hivernal - Aide à l'implantation des stations météorologie routière*.

Les paramètres atmosphériques relevés peuvent être :

- la température de l'air ;
- l'humidité relative et température du point de rosée ;
- les précipitations (nature, intensité, quantité) ;
- la visibilité ;
- la vitesse et direction du vent ;
- etc.

Les paramètres routiers relevés peuvent être :

- la température de surface ;
- la température de congélation ;
- l'état de surface (sec, humide, mouillé, ruisselant, givré, verglacé) ;
- la salinité résiduelle ou du point de congélation ;
- etc.

Le croisement des données des stations météo-routières avec celles des prévisions météorologiques permet d'obtenir un système prédictif à plus courte échéance et spécifique à un point donné du réseau.

LES PRESTATIONS MÉTÉOROLOGIQUES POUR LA ROUTE

Le marché offre aujourd'hui aux gestionnaires de réseau routiers nombre de prestations météorologiques permettant d'anticiper des événements hivernaux à court et moyen terme.

Il s'agit d'offres d'abonnement plus ou moins personnalisées, adaptées au réseau du gestionnaire.

Elles permettent d'accéder à des données et à des prévisions, présentées sous forme de tableaux ou de cartes, sur une zone définie pour les paramètres suivants :

- phénomènes météorologiques ;
- température de l'air ;
- température du point de rosée et/ou humidité relative de l'air ;
- couverture nuageuse ;
- limite pluie-neige ;
- intensité et direction du vent ;
- prévision température de surface ;
- etc.

LES AUTRES OUTILS

Certaines données nécessaires pour gérer du trafic ou informer les usagers trouvent leur utilité lors de la définition des consignes et de la prise de décision. Elles sont issues des caméras, des stations de comptage automatique, d'éléments recueillis lors des patrouilles, d'éléments tels que les échos radars et les images satellitaires.

À titre d'exemple, les données relatives au trafic (historique ou en temps réel) contribuent aux décisions pour :

- intervenir de manière préventive en fonction du couple prévision de précipitation/trafic ;
- interdire les dépassements sur certaines sections ;
- mettre en place (ou lever) des mesures de stockage de poids lourds ;
- fermer des bretelles d'accès ;
- etc.

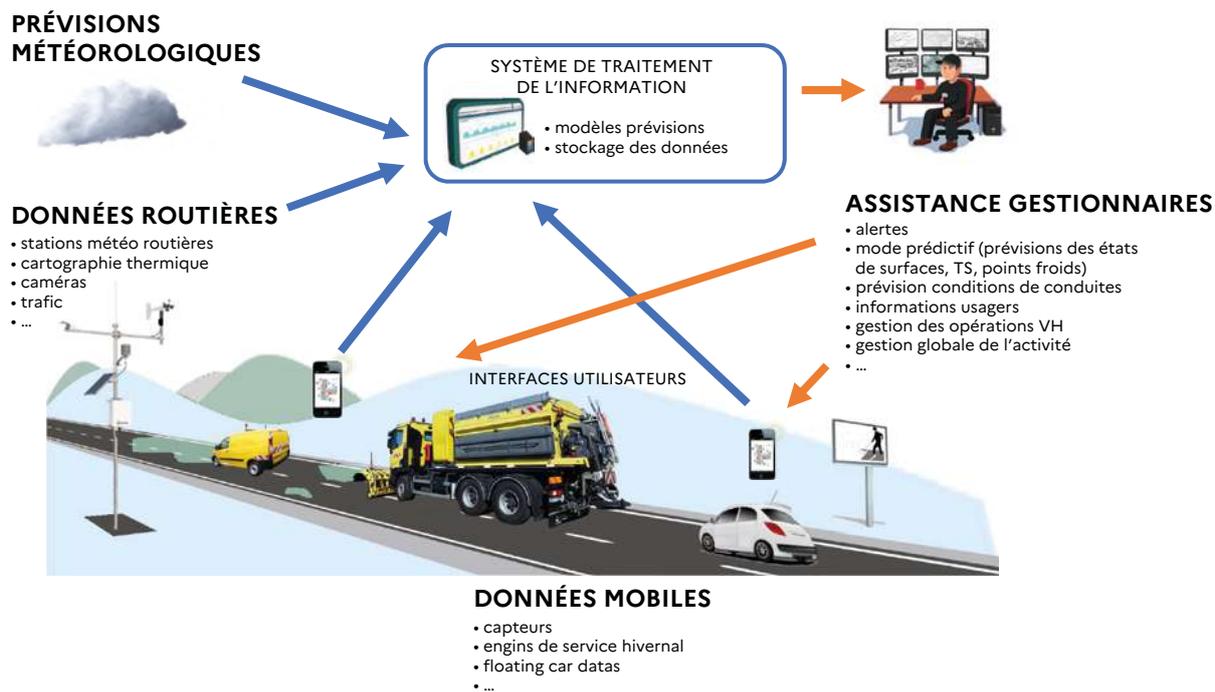
RWIS

Des outils de plus en plus performants et imbriqués sont développés pour gérer les réseaux routiers. Les RWIS (Road Weather Information System) sont des systèmes globaux de prise en compte des facteurs météorologiques et routiers pour l'exploitation de la route.

L'objectif des systèmes RWIS est d'intégrer ces différents facteurs pour enrichir l'information routière en temps réel à destination :

- des usagers de la route (individuels, flotte de poids lourds, etc.) ;
- des exploitants (patrouilles, surveillance à distance, pilotage du matériel, etc.) ;
- des maîtrises d'ouvrage.

Illustration 16 : Principes de fonctionnement des RWIS



ANNEXE 2

Principe de fonctionnement des fondants routiers

LES ÉTATS DE L'EAU

L'eau présente dans l'atmosphère ou sur le revêtement de la chaussée peut être dans différents états, en fonction des paramètres ambiants : solide (neige, verglas), liquide (humidité du revêtement, pluie, bruine, rosée) ou gazeux (vapeur d'eau dans l'air).

Le passage d'un état à un autre dépend de nombreux paramètres : température de l'air, de la surface du revêtement, pression, quantité d'eau dans l'atmosphère, etc. Chaque changement d'état mobilise de l'énergie. Par exemple, le passage de l'état solide à l'état liquide nécessite environ 334 J/g d'eau, c'est un phénomène endothermique. Cette énergie, appelée chaleur latente de fusion, est prise dans le milieu environnant, ce qui a pour effet, dans le cas de la fonte d'un verglas ou d'une neige, de faire baisser la température de surface du revêtement.

Illustration 17 : Les trois états de l'eau

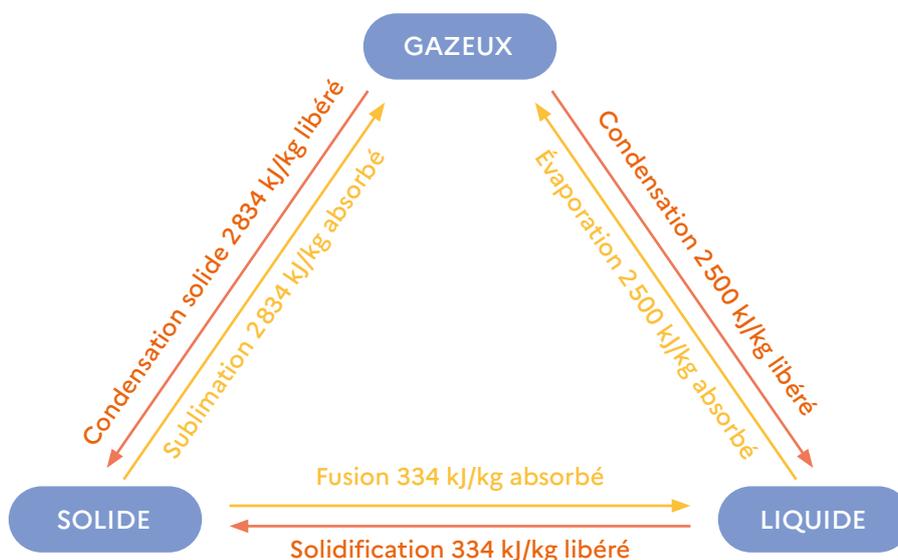
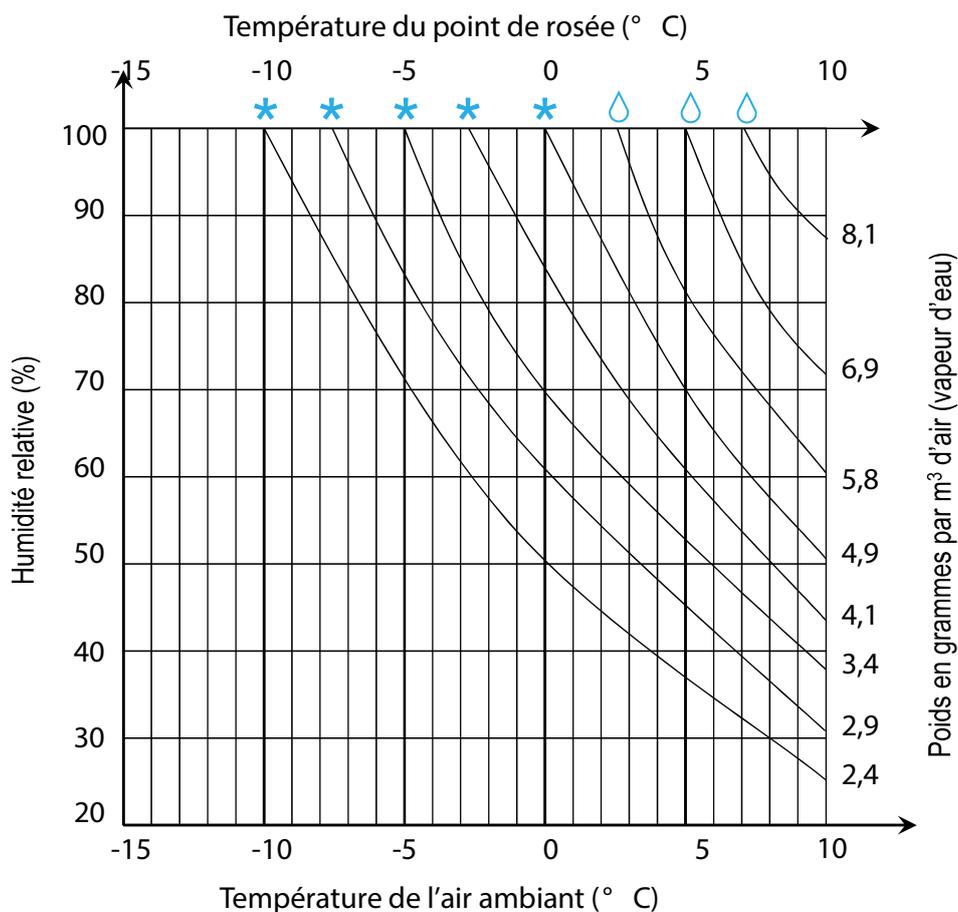


Illustration 18 : Diagramme de Mollier



L'air contient naturellement de l'eau sous forme de gaz : la vapeur d'eau. La condensation de cette vapeur d'eau (passage de l'état gazeux à l'état liquide) peut intervenir par augmentation de la quantité d'eau dans l'air, par diminution de la température de la masse d'air, ou par les deux simultanément. Le brouillard est dû à la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique en gouttelettes qui restent en suspension dans l'air en quantité suffisante pour réduire la visibilité.

L'apparition de bruine/brouillard, ou le dépôt d'eau sur le revêtement, peut être anticipé par le suivi de la température du point de rosée de l'air : c'est la température à laquelle, tout en gardant inchangées les conditions barométriques courantes, l'air devient saturé en vapeur d'eau. Le diagramme de l'air humide, ou diagramme de Mollier, permet de déterminer le point de rosée d'une masse d'air suivant l'humidité relative et la température.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN FONDANT ROUTIER

Un produit fondant est un produit soluble dans l'eau qui permet d'abaisser le point de congélation de l'eau et/ou de faire fondre la glace. Pour l'eau pure, le point de congélation est 0 °C et correspond à l'équilibre des tensions de vapeur d'eau des phases gazeuse, solide et liquide. Il est possible de modifier le mécanisme de fusion de la glace grâce aux propriétés d'un soluté qui abaisse la tension de vapeur de la solution. Ainsi l'équilibre entre les phases liquide et solide est déplacé au profit de la phase liquide. Le nouveau point d'équilibre est d'autant plus bas que le titre massique de la solution est élevé, jusqu'au point d'eutexie qui constitue la limite à partir de laquelle tout le mélange se cristallise.

Si la température du milieu est supérieure à la température de congélation de la solution (eau + fondant), cette dernière reste à l'état liquide. De même, de la glace au contact de cette solution va progressivement fondre, ce qui diminue son titre massique et conduit alors la tension de vapeur à un nouvel équilibre. Ainsi au contact d'un produit fondant, la glace peut se transformer, plus ou moins rapidement, en fonction de la nature du produit, de son titre massique, de sa quantité, et, dans le cas des fondants solides, de sa facilité de ces derniers à s'hydrater.

LE CHLORURE DE SODIUM

Comme tous les autres fondants, le chlorure de sodium a besoin d'eau pour agir.

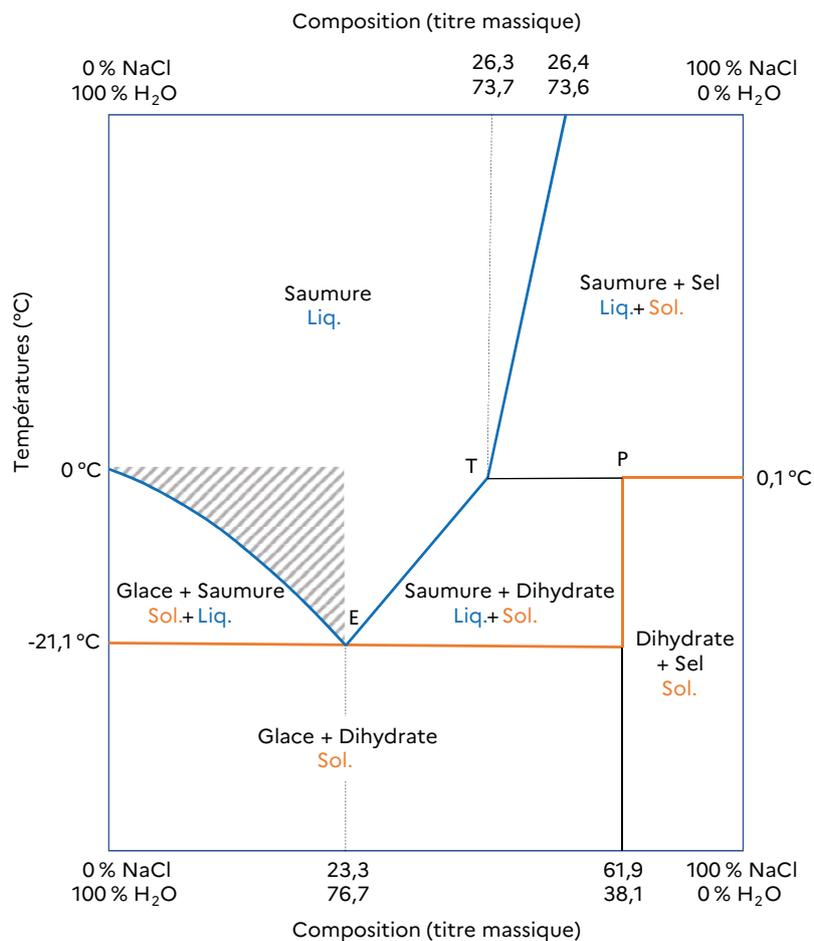
Cette eau peut provenir :

- de l'humidité contenue dans l'air si l'humidité relative est supérieure à 75 % ;
- des précipitations ;
- de l'eau déjà présente sur la chaussée (humidification de la chaussée, eau contenue dans la neige, épandages antérieurs, etc.) ;
- d'un apport artificiel : c'est le cas de la bouillie de sel ou de la saumure.

Diagramme de phases

Le diagramme de phases illustre le comportement du chlorure de sodium sur la chaussée.

Illustration 19 : Diagramme de phases Eau-NaCl



La courbe bleue représente le liquidus, au-delà de laquelle il n'y a que du liquide. La courbe orange représente le solidus en deçà de laquelle il n'y a que du solide. Entre les deux, il y a coexistence de liquide et de solide.

La phase liquide correspond à de la saumure.

Les phases solides peuvent être de plusieurs types :

- glace (H_2O solide) ;
- chlorure de sodium - sel ($NaCl$) ;
- dihydrate parfois appelé hydrohalite. C'est un mélange de composition définie (61,9 % $NaCl$, 38,1 % d'eau) de formule ($NaCl \cdot 2H_2O$). Le dihydrate fond de manière particulière à $+0,1$ °C en un liquide (saumure) et un solide ($NaCl$) (Point P appelé Péritectique). Le dihydrate peut également former des plaques glissantes sur la chaussée.

L'effet de l'augmentation du titre massique (ou concentration) de $NaCl$ est le suivant :

- entre 0 et 23,3 %, plus il y a de $NaCl$, plus la température de fusion est basse. Dans cette zone, si les températures sont inférieures à la courbe bleue, de la glace se mélange à la saumure. La température minimale, en dessous de laquelle il n'y a que du solide (c'est-à-dire que le sel ne peut plus faire fondre la glace), est de $-21,1$ °C. Elle est atteinte pour un titre massique en $NaCl$ de 23,3 %, ce point est appelé « Eutectique » (E) ;
- entre 23,3 % et 26,3 %, la température de fusion augmente si la quantité de $NaCl$ augmente. Dans cette zone, si les températures sont inférieures à la courbe bleue, du dihydrate de sodium solide (potentiellement glissant) se mêle à la saumure. Lorsque le titre massique atteint 26,3 %, la température de fusion est de 0 °C. Il s'agit du point Triple (T), où coexistent trois phases : la saumure liquide, le $NaCl$ solide et le dihydrate ;
- au-dessus de 23,3 %, même à températures positives, il y a présence de liquide (saumure) et de solide ($NaCl$) sur la chaussée. En cas de refroidissement important, une partie du sel dissout va recristalliser sous forme de dihydrate. Sur les chaussées cela peut induire un phénomène glissant. Dans les unités de production de saumure, le dihydrate se dépose dans les cuves, pompes, buses... entraînant des dysfonctionnements. Pour éviter ce phénomène, on limite le titre massique à 21-23 % dans les unités de production de saumure.

L'objectif en exploitation hivernale est d'adapter le dosage afin de se situer dans la zone grisée.

Influence de l'humidité de l'air

Lorsque l'humidité relative de l'air est supérieure à 75-80 %, le chlorure de sodium s'hydrate, absorbe la vapeur d'eau contenue dans l'air et passe en solution. Il abaisse ainsi le seuil de congélation du milieu dit « température de protection ».

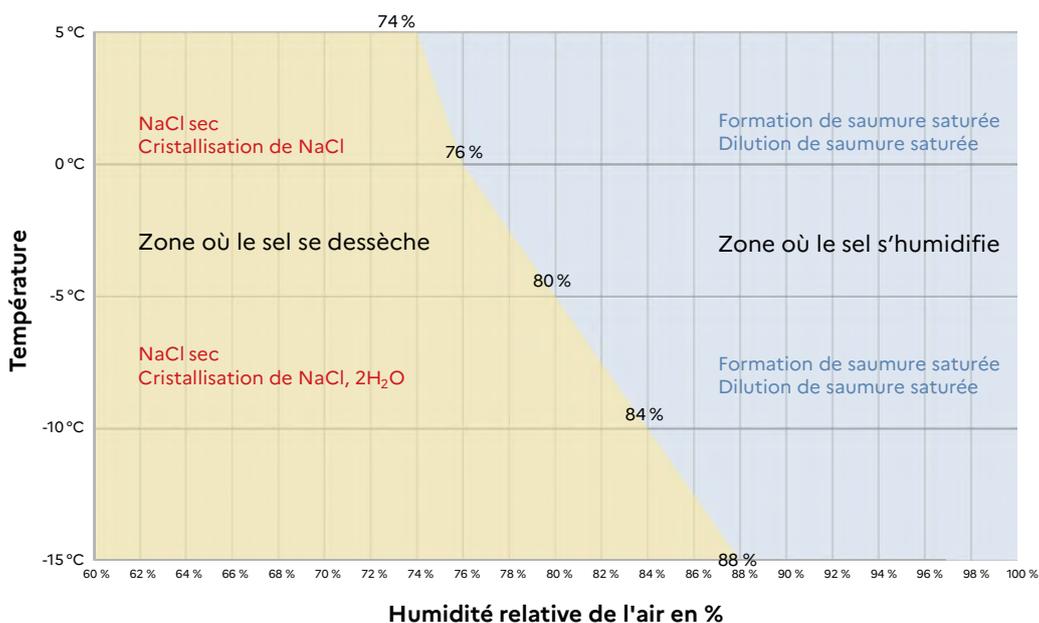
Mais la saumure ainsi formée voit son titre massique diminuer par absorption de l'eau présente dans le milieu à traiter et de la vapeur contenue dans l'air. Cette dilution a pour conséquence une augmentation progressive de la température de protection.

Ainsi, à 0 °C avec une humidité relative de l'air d'environ 85 %, une saumure saturée voit son titre massique diminuer jusqu'à 18 %, soit une température de protection théorique de -15 °C. Avec 95 % d'humidité relative de l'air, cette saumure saturée voit son titre massique diminuer jusqu'à 8 %, soit une température de protection théorique de -5 °C.

Inversement, si l'humidité relative de l'air est inférieure à 75 %, la saumure s'assèche par évaporation d'eau et le chlorure de sodium se recristallise sur la chaussée.

Pour amorcer le processus de fonte, le chlorure de sodium en grain capte donc l'eau dont il a besoin pour agir. Il s'écoule alors un certain délai après épandage pour que le fondant passe en solution et devienne actif (20 à 30 minutes dans des plages de températures faiblement négatives).

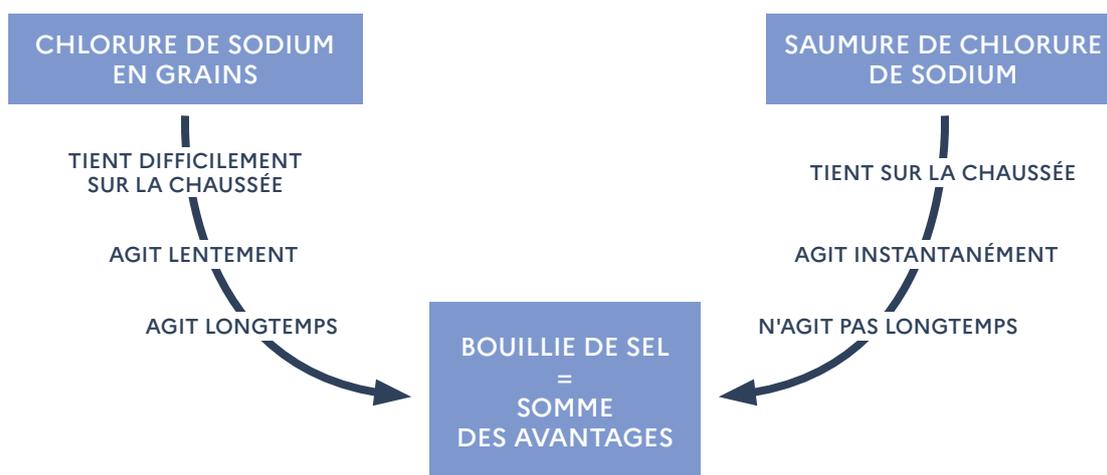
Illustration 20 : Influence de l'humidité relative sur le chlorure de sodium



LA TECHNIQUE DE LA BOUILLIE DE SEL

En dessous de -7° C / -8 °C, la teneur en eau libre est trop faible pour amorcer convenablement le processus de fonte. Pour éviter cet inconvénient, une solution consiste à dissoudre le chlorure de sodium et à le répandre directement sous forme de saumure. Le sel ainsi dissout agit rapidement, mais la saumure épandue va voir son titre massique diminuer par l'apport d'eau provenant de la fonte de la glace, de la neige traitée et/ou de l'eau contenue dans l'air. Son action est donc limitée dans le temps. La bouillie de sel, qui consiste à épandre simultanément du chlorure de sodium en grain et de la saumure, conjugue les avantages des deux procédés.

Illustration 21 : Comparaison avantages sel en grain / saumure / bouillie de sel



LE CHLORURE DE CALCIUM

L'argumentaire de vente le plus courant du chlorure de calcium est son point eutectique très bas : -51 °C pour un titre massique de 29,6 %. Or, les courbes de congélation des solutions de chlorure de sodium et chlorure de calcium sont quasiment identiques jusqu'à une température d'environ -10 °C. En conséquence, le chlorure de calcium trouve son intérêt pour les températures de surface inférieures à -10 °C.

L'utilisation de chlorure de calcium doit être accompagnée de certaines considérations :

- C'est un matériau nettement plus hygroscopique que le chlorure de sodium (humidité relative d'équilibre 45 %), ce qui a pour conséquence :
 - le maintien d'une humidité sur la chaussée ;
 - lors d'un mélange solide NaCl et CaCl₂, un risque de prise en masse du chlorure de sodium qui se déshydrate au profit du chlorure de calcium ;
 - la nécessité de le stocker à l'abri de l'humidité.
- La saumure du chlorure de calcium possède une viscosité dynamique deux fois supérieure à celle du chlorure de sodium (pour des saumures saturées à -5 °C).

LES AUTRES TYPES DE FONDANTS ROUTIERS

Il existe d'autres types de fondants routiers. On peut citer les acétates et formiates, de sodium ou de potassium. Ces fondants sont généralement complétés par des additifs : composés chimiques ou organiques destinés à leur conférer diverses propriétés fonctionnelles telles que :

- l'abaissement de la température de congélation ;
- des propriétés anticorrosives ;
- des additifs colorés.

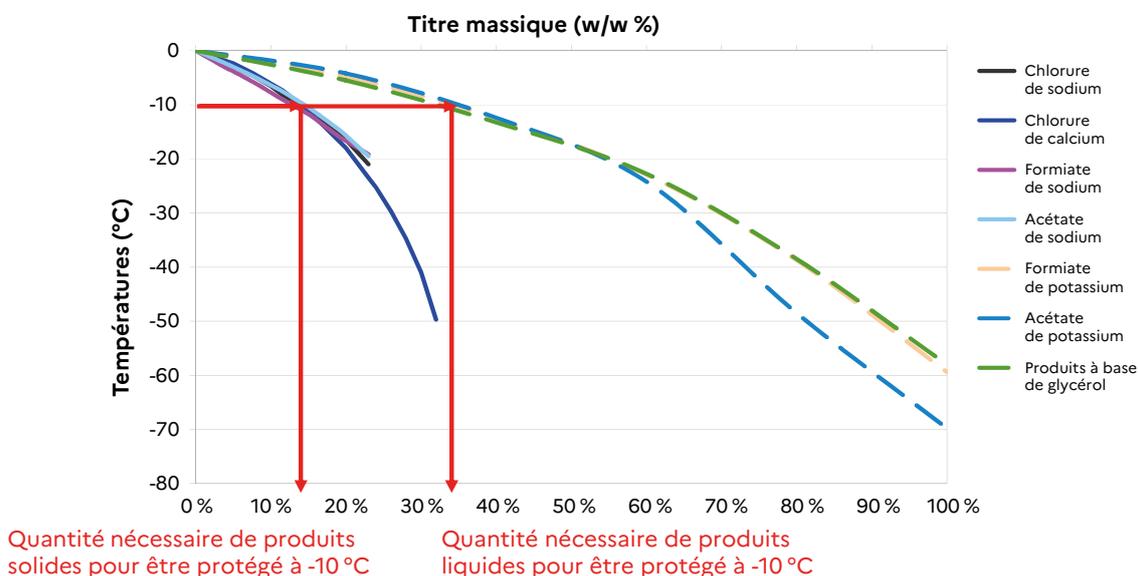
Certains produits peuvent, en fonction de leurs conditions d'élaboration industrielle, se présenter sous forme de mélange ou comporter des éléments inactifs au sens de la viabilité hivernale (faibles quantités ou traces) comme des métaux lourds, des hydrocarbures, des composés chimiques divers... Il convient de se référer à la spécification technique CEN TS 16 811-3 pour évaluer les propriétés performantielles, physico-chimique et environnementales de ces nouveaux produits.

LES LIMITES D'EFFICACITÉ INTRINSÈQUE DU PRODUIT

UN FONDANT NE PEUT AGIR QUE SOUS FORME DE SOLUTION

En fonction des caractéristiques de leur diagramme de phases et de leur forme (solide ou liquide), les fondants ont des limites d'efficacité différentes, la principale difficulté étant de mobiliser de l'eau pour entrer en solution. Pour les températures rencontrées en France (entre 0 et -20 °C), les différents fondants ont une efficacité comparable à forme identique.

Illustration 22 : Diagrammes de phase de différents fondants commercialisés



Plus les températures sont basses, moins il y a d'eau mobilisable et le processus de dilution des produits solides est plus lent. C'est pourquoi il est d'usage de borner les températures d'utilisation du chlorure de sodium solide à -7/-8 °C. L'ajout de saumure est un apport d'eau artificiel qui permet d'utiliser le chlorure de sodium jusqu'à environ -12 °C. En deçà, il est possible de recourir à d'autres produits.

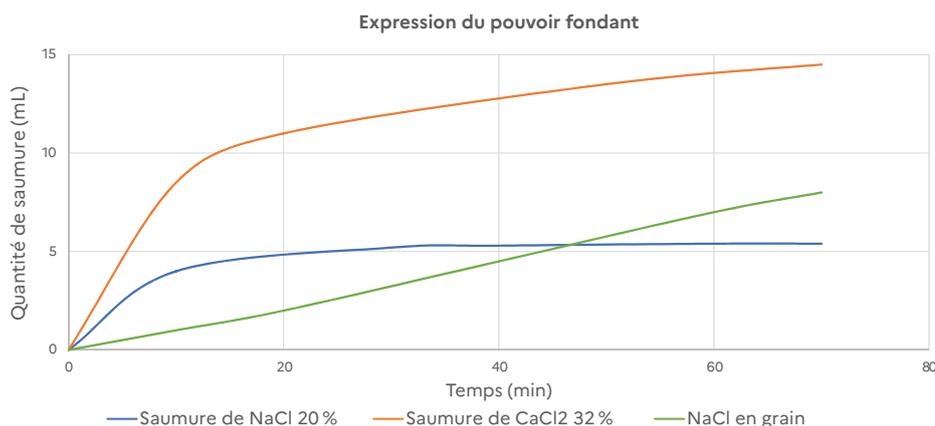
UN FONDANT A BESOIN DE TEMPS POUR AGIR

Un fondant routier ne peut assurer la fusion de la glace que sous forme de solution aqueuse :

- lorsqu'il est épandu sous forme de grains ou de granulés, il doit s'hydrater. La capacité à s'hydrater dépend à la fois des propriétés physico-chimiques du produit et de la disponibilité en eau du milieu à traiter : eau de surface, vapeur d'eau dans l'atmosphère. Certains phénomènes ne contiennent pas ou très peu d'eau libre (eau en surfusion solidifiée, glace vive, neige sèche). Dans ce cas les grains ou granulés de fondant sont généralement inefficaces. Enfin, plus la surface spécifique des grains ou granulés est importante, plus le mécanisme de mise en fusion est rapide ;
- lorsque le produit fondant est sous forme de soluté (produit solide dissout ou produit liquide), il peut alors entamer son action de fusion de la glace. Ce phénomène entraîne la dilution de la solution par apport d'eau de fonte (diagramme des phases). Cette dilution amoindrit les propriétés de la solution.

Ainsi, un produit solide agit dans la durée, tandis qu'un produit liquide aura une rapidité d'action plus prononcée.

Illustration 23 : Pouvoir fondant en fonction du temps



L'ACTION D'UN FONDANT MOBILISE DE L'ÉNERGIE

Chaque changement d'état d'un composé chimique mobilise de l'énergie. Cette quantité d'énergie est définie par la notion d'enthalpie qui correspond à la quantité de chaleur nécessaire à une unité de quantité de matière d'un corps pour qu'il change d'état, à pression constante. L'énergie indispensable à ces transformations est toujours prise directement dans la chaussée.

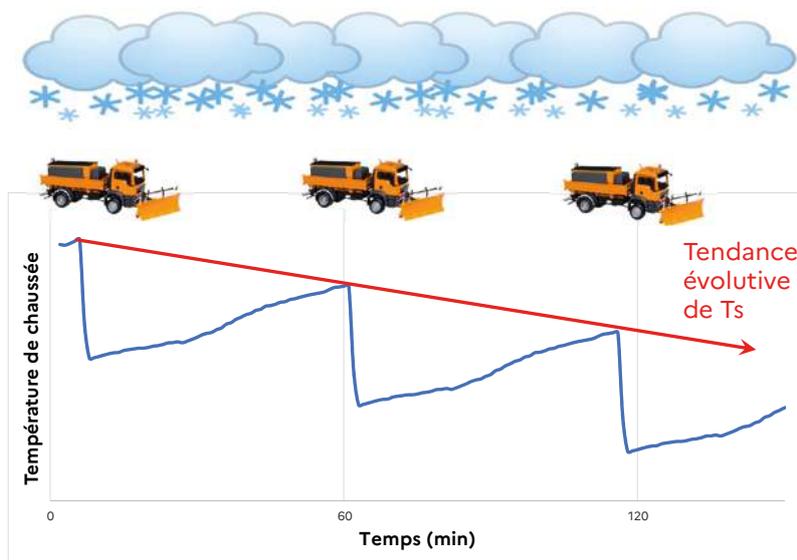
En exploitation hivernale, deux phénomènes sont en jeu :

- la fusion de la glace (verglas, neige) : l'enthalpie de fusion est également appelée « chaleur latente » de fusion de la glace (334 J/g). La quantité d'énergie est directement proportionnelle à la quantité de glace fondue. Ce phénomène est endothermique, ce qui a pour effet de refroidir la surface de la chaussée ;
- l'hydratation du fondant solide : fonction du composé chimique, cette enthalpie de dissolution peut être positive ou négative. On parle alors respectivement de réaction endothermique et exothermique.

Si on compare les quantités en jeu, par exemple traitement d'un film de verglas de 0,5 mm d'épaisseur (soit 0,5 kg/m²) par une application de 20 g de fondant, le principe d'action lié à l'aspect endothermique ou exothermique d'un fondant ne représente qu'une part faible dans le bilan énergétique de la réaction. Dans ce cas d'exemple, le bilan demandera 1 % d'énergie de plus à la chaussée pour un traitement au chlorure de sodium NaCl solide. Ce bilan sera réduit de 9 % pour du chlorure de calcium CaCl₂ solide. L'aspect exothermique d'un produit n'est donc pas un argument prépondérant en exploitation hivernale.

Le fait de réaliser des traitements précuratifs efficaces évite de mobiliser l'énergie liée à la fonte de la glace et donc de faire chuter la température de surface. A contrario, des traitements successifs, lors d'épisodes neigeux par exemple, auront pour conséquence de mobiliser successivement cette énergie. Comme l'indique la modélisation ci-dessous (illustration 24), il peut en résulter une chute de la température de surface et, si la température de protection n'est plus assurée (trop d'eau pour pas assez de fondant), il y a un blocage du processus de fusion et le risque de regel de l'ensemble du contaminant est réel.

Illustration 24 : Simulation de l'évolution de la température de surface lors d'épandages successifs sous précipitations neigeuses continues (sans raclage)



MODE D'ACTION D'UN FONDANT ROUTIER EN FONCTION DE LA NATURE DU PHÉNOMÈNE TRAITÉ ET DE SA MISE EN ŒUVRE

LE TRAITEMENT CURATIF DU VERGLAS

L'action d'un fondant sous forme liquide se fait par « érosion/fusion » progressive de la surface du verglas. La solution qui se forme se dilue généralement rapidement et s'écoule latéralement du fait des profils transversaux de la chaussée.

L'action d'un fondant sous forme solide comporte plusieurs phases. Outre le mécanisme d'hydratation, les grains ou granulés s'enchaînent dans la pellicule de glace et la perforent. Lorsque les grains ou granulés atteignent le revêtement de chaussée, la solution diffuse à l'interface et décolle localement le verglas, ce qui facilite éventuellement son élimination mécanique ultérieure.

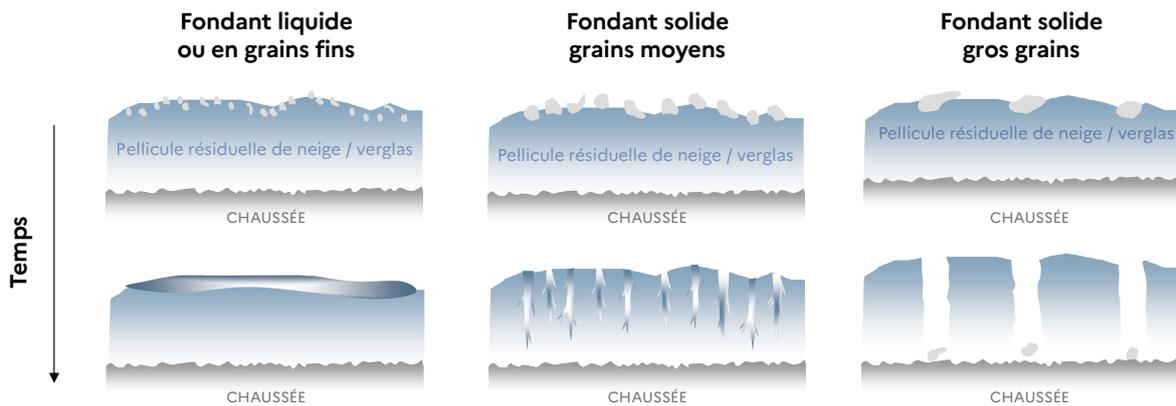
LE TRAITEMENT CURATIF DE LA NEIGE

Le traitement de la neige à l'aide d'un fondant routier ne se fait qu'après raclage. Ce traitement vise donc à mettre en fusion la pellicule résiduelle de neige derrière le dispositif de raclage.

L'action d'un fondant sous forme liquide se fait par percolation / diffusion / fusion au travers de la matrice poreuse de la pellicule de neige. Ce mécanisme conduit à la fois à une dilution rapide de la solution qui se forme et à une mobilisation d'une grande quantité d'énergie (chaleur latente de fusion).

L'action d'un fondant sous forme solide se fait par perforation / mitage localisé de la pellicule de neige. Les grains ou granulés de déverglaçant perforent la pellicule de neige rapidement et, si leur taille granulaire est suffisante, atteignent rapidement la surface du revêtement où ils poursuivent leur hydratation et diffusent à l'interface (si ces grains sont très fins, ils peuvent ne pas atteindre la chaussée, ce qui peut entraîner un regel de la couche). En l'absence de brassage assuré par le trafic, l'efficacité de ce type de traitement est généralement limitée.

Illustration 25 : Évolution d'un fondant sur la chaussée



DÉTERMINATION DES QUANTITÉS DE FONDANT RÉSIDUELLES

Déterminer les quantités de fondants résiduels sur une chaussée consiste à évaluer la quantité qui subsiste après épandage. Les mécanismes majeurs contribuant au départ des fondants sont :

- les précipitations qui évacuent ceux-ci vers les fossés ou exutoires ;
- le trafic qui a tendance à déplacer le fondant des bandes de roulement vers l'axe de la voie ou vers les accotements.

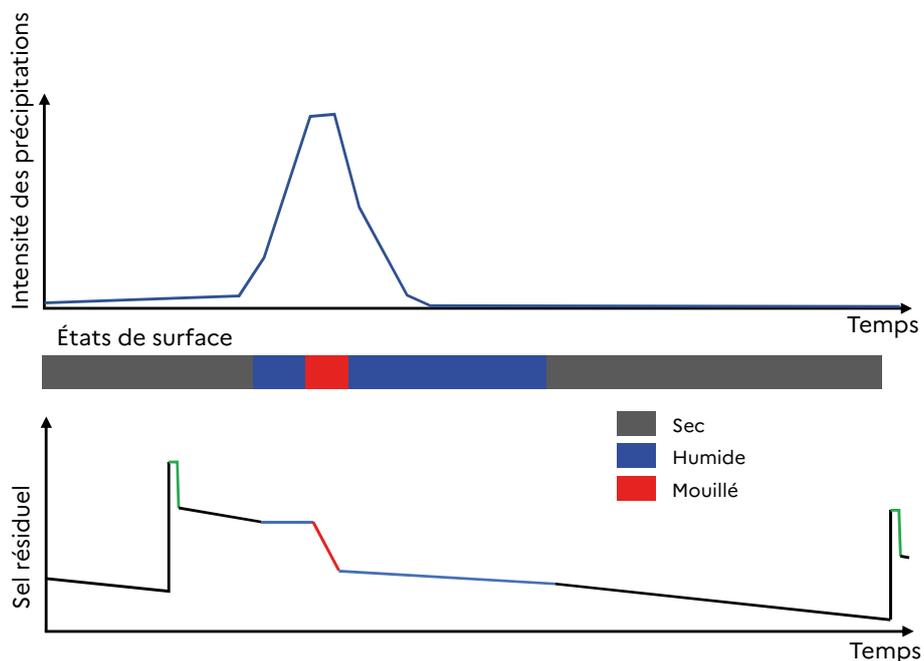
L'expérience montre que la bouillie et surtout la saumure pure demeurent plus facilement sur la chaussée.

Après le passage d'environ 1 000 véhicules (VL), il est estimé que la part de fondant initialement présent sur la chaussée et perdu est de :

- 50 % pour la bouillie ;
- 25 % pour de la saumure pure. (Attention toutefois, les quantités de produits actifs dans la saumure restent faibles.)

Il est donc important de prendre en compte ces pertes potentielles lorsque l'on réalise un traitement préventif et d'essayer d'ajuster au mieux l'horaire d'intervention.

Illustration 26 : Représentation du comportement du sel sur une surface routière



Les principaux outils pour déterminer les quantités résiduelles sont :

- les stations météo-routières (intrusives ou non, actives ou non) ;
- les dispositifs SOBO 20 ou SOBO 3+ ;
- les Réactifs colorés.

D'autres méthodes sont actuellement au stade de la recherche.

L'aspect visuel d'une chaussée peut être parfois trompeur. Une surface blanche et « talquée » n'implique pas forcément que la chaussée soit suffisamment protégée.

INFLUENCE DES TRAITEMENTS PRÉCURATIFS SUR LA QUALITÉ DE LA NEIGE EN CHUTE

L'objectif des traitements précuratifs pour une précipitation neigeuse est soit de faire fondre une très faible précipitation, soit de créer un film entre le revêtement et la première couche de neige.

Cependant, cette opération engendre des modifications de la qualité de cette première couche en y apportant une certaine quantité d'eau. Cette couche transformée évolue également en fonction de l'état de surface (neige fondante), de la température de surface (risque de transformation en neige glacée...) et du trafic (neige compactée...).

Seule la prise en compte de tous ces paramètres permet de juger au cas par cas de la pertinence d'intervention précuratives. Les seules certitudes sont :

- une intervention précurative est contre-productive sur neige sèche à température négative, car elle a pour effet de coller la neige sur la chaussée et de créer un film de verglas ;
- une intervention précurative est inutile sur neige mouillée et à température positive : la neige fond par elle-même sous l'effet du réchauffement et devient fondante.

ANNEXE 3

Les matériels

Le guide *Stratégies de choix des outils de raclage et d'épandage* a pour objectif d'apporter une aide aux décideurs pour l'acquisition de matériel d'intervention. Il convient de s'y référer pour plus de détails. Cette annexe ne porte que sur quelques éléments généraux et actualisés.

CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

La normalisation européenne établit les exigences de conception et de construction des matériels utilisés pour la viabilité hivernale, ainsi que les exigences concernant les essais sur les aptitudes intrinsèques à chaque type de matériel et les systèmes de sécurité et de protection. Pour la garantie d'acquies du matériel de qualité, il convient de s'assurer que celui-ci répond aux normes en vigueur le concernant.

La réglementation française fixe les conditions de circulation et d'utilisation de ces matériels. Le Code de la route reconnaît, pour quelques associations matériels/porteurs, le statut spécifique d'Engin de Service Hivernal (ESH). Un arrêté décrit précisément les porteurs et les outils associés, ainsi que les limites maximales de poids et de dimensions pouvant leur être accordées. Ces engins bénéficient de dérogations particulières à certaines règles du Code de la route. Les matériels qui ne répondent pas aux critères évoqués ne peuvent pas bénéficier des mêmes prérogatives, le Code de la route s'applique alors sans condition.

Le Code du travail indique que la conduite de ces engins est soumise à autorisation de conduite délivrée par l'employeur après formation et vérification de l'aptitude du conducteur.

Les fiches pratiques Aide-mémoire en viabilité hivernale - Série 3 expliquent dans le détail les lois et règlements qui s'attachent à chaque type de porteur ou tracteur utilisé pour la viabilité hivernale.

ÉPANDAGE DES FONDANTS

LES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉPANDEUSES

L'épandage de fondants solides humidifiés (bouillie de sel) ou non, ou de matériaux (abrasifs) s'effectue à l'aide d'épanduses dont les différents types sont précisés sur le schéma suivant.

Illustration 27 : Schémas d'épanduses

<p>Épanduse portée : son centre de gravité est situé entre les essieux du porteur</p>		<p>Épanduse tractée semi-portée : la partie d'épandage est tractée et le stock de fondants est porté sur le véhicule tracteur</p>	
<p>Épanduse tractée : repose sur un essieu et est tractée comme une remorque</p>		<p>Épanduse accrochée : fixée à l'extrémité de la benne d'un porteur ou attelée sur un tracteur (3 points), elle peut éventuellement comporter un essieu</p>	 

Ces appareils sont constitués :

- d'une trémie permettant de stocker ou réceptionner le fondant solide à épandre ;
- d'un dispositif de convoyage du fondant vers le mécanisme d'épandage. À noter que certaines machines issues du monde agricole disposent d'une trémie directement au-dessus du disque d'épandage, le produit arrivant par gravité.

et accessoirement :

- d'un système d'humidification du fondant, pour la préparation de la « bouillie de sel » ;
- de cuves ou citernes pour le stockage de la saumure nécessaire à la bouillie ;
- d'une tuyauterie et d'un dispositif de pompage et dosage de la saumure.

L'épandage de fondants liquides s'effectue à l'aide de saumureuses. Ces machines peuvent être portées ou tractées. Elles sont constituées d'un important réservoir, de tuyauteries, d'une pompe de dosage et d'une rampe d'épandage.

Des machines combinées sont désormais disponibles sur le marché. Elles allient les capacités d'une épandeuse de produit solide humidifié à celles d'une saumureuse.

La capacité de stockage influe sur la longueur des circuits de traitement. Ce facteur est déterminant lors du choix du type d'épandeuse.

Un boîtier de commande au poste de conduite permet les différents réglages de quantité, largeur et variation des associations des fondants solide et liquide. L'épandage est généralement asservi à la vitesse d'avancement du véhicule et aux différents réglages demandés.

L'épandage peut se faire de façon entièrement automatisée en programmant les caractéristiques du circuit et l'épandage, via un GPS associé au boîtier d'asservissement de la saleuse.

LES TAUX DE MOUILLAGE POUR LES TRAITEMENTS AU SEL HUMIDIFIÉ

Les épanduses conformes à la norme NF EN 15597-1 sont en capacité d'épandre indifféremment du sel sec ou de la bouillie de sel, à différents dosages possibles, le pourcentage de saumure étant lui aussi définissable depuis le module de commande de la machine.

La norme, dans son annexe B, propose pour le travail à la bouillie de sel, trois systèmes pour la répartition des fractions massiques des différents composants (sel et saumure). Ces systèmes sont issus des pratiques historiques dans les différents pays européens dont sont originaires les constructeurs. Ainsi, chaque constructeur peut continuer à fournir des machines dosant la bouillie de sel selon les pratiques propres à chacun, tout en restant dans le cadre de la norme européenne. La norme indique néanmoins que les machines doivent être capables de fonctionner selon les trois systèmes proposés. Le client peut demander, au moment de la commande, que les épanduses soient réglées selon le système couramment utilisé par son parc de matériel.

Toutefois, les systèmes installés par défaut par les fabricants restent ceux couramment pratiqués dans le pays d'origine. La communication sur ce point est rarement abordée au moment de l'investissement, à tel point que souvent l'acheteur n'a pas connaissance de cette disposition de la norme.

Or, selon le système utilisé, les différences de tonnage de fondants répandus au final peuvent être significatives, pouvant varier, selon le taux de mouillage, jusqu'à 30 %.

- **Système 1** : La régulation s'effectue sur **le dosage de bouillie de sel** au niveau du boîtier de commande (dosage affiché).
- **Système 2** : La régulation s'effectue sur **la quantité totale de sel** au niveau du boîtier de commande (dosage affiché).
- **Système 3** : La régulation s'effectue sur **le dosage de sel sec** au niveau du boîtier de commande (dosage affiché).

L'illustration 28 donne un exemple dans lequel les réglages sont ainsi définis sur le boîtier de commande de la saleuse :

- dosage en sel : 20 g/m² ;
- taux de mouillage : 30 % ;
- Le titre massique de la saumure est de 23 %.

Illustration 28 : Quantités de chlorure de sodium épandues réellement en fonction des systèmes d'épandage

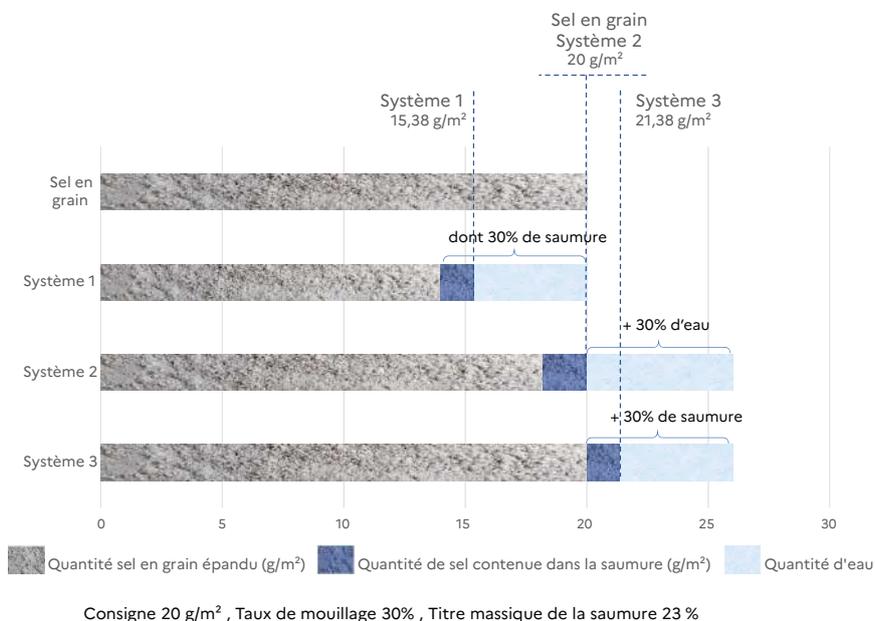


Tableau 23 : Exemples d'écart engendrés en fonction du mode de réglage de l'épandeuse

Consignes affichées au boîtier		Longueur totale du circuit	Largeur moyenne du circuit	Tonnes de sel épandues			
Sel	% saumure			Système 1	Système 2	Système 3	Système 4
20 g/m ²	30	40 km	6 m	3,69	4,8	5,13	4,8
15 g/m ²	20	35 km	5 m	2,22	2,63	2,75	2,63
10 g/m ²	30	50 km	9 m	3,46	4,5	4,81	4,5

CONTRÔLE ET ÉTALONNAGE

L'épandeuse est à étalonner, voire régler autant de fois que nécessaire, notamment :

- avant chaque campagne hivernale, voire plusieurs fois au cours de celle-ci lors d'hivers rigoureux nécessitant une utilisation intensive du matériel ;
- à chaque changement de matériau à épandre ;
- à chaque changement d'approvisionnement de fondant (les paramètres des matériaux - humidité, granularité, fournisseur, provenance - peuvent différer d'une livraison à une autre).

L'exploitant procède à l'étalonnage de la saleuse soit à l'aide d'un appareillage de contrôle automatique tel que le Dorsa ou Odémie, soit de façon manuelle.

À l'issue de l'étalonnage lorsque le dérèglement constaté est important, il est recommandé de faire appel à un technicien ou une autre personne habilitée pour effectuer les réglages nécessaires au bon fonctionnement de l'épandeuse.

ÉVACUATION DE LA NEIGE

Pour la fonction évacuation de la neige, la qualité du raclage va conditionner l'état de surface du revêtement, et donc la quantité d'eau présente. Les consignes de traitement orientent alors le choix des outils de raclage, en fonction de la quantité de neige à enlever.

Autant l'épandage de fondants peut s'effectuer sur plusieurs voies en même temps, autant le raclage ne peut se faire que voie par voie, en fonction de la largeur des matériels. Les précipitations neigeuses nécessitent alors plus de matériels, de moyens, de temps d'intervention, ou une priorisation des voies dégagées (voies de droite, de gauche).

Les différents types d'outils sont détaillés dans le *guide Stratégies de choix des outils de raclage et d'épandage*. Ils sont décomposés comme suit :

OUTILS DE RACLAGE

Lame biaisée simple : outil de raclage frontal à corps galbé, de poids et de dimension très variable avec des dispositifs de sécurité sur la lame d'usure et/ou sur le corps de lame.

Lame biaisée bi-raclage : outil de raclage frontal à corps galbé, de poids et de dimension très variable avec des dispositifs de sécurité sur la lame d'usure ou/et sur le corps de lame. La particularité de la lame bi-raclage est de disposer de deux lames d'usure interchangeables grâce à un dispositif hydraulique.

Rabot déneigeur : outil à lame plate ou galbe léger (poids < 400 kg) et rudimentaire sans sécurité si ce n'est celle assurée par la lame d'usure en caoutchouc dont l'angle d'attaque est négatif. La neige est déposée d'un seul côté en fonction de son orientation.

Étrave fixe : outil frontal à soc double en forme de \wedge , fixe, assurant le rejet de la neige de part et d'autre du porteur, il ne transmet pas d'efforts latéraux au porteur et permet donc de déplacer latéralement des épaisseurs importantes de neige.

Étrave transformable : outil frontal à deux socs orientables par rapport à un axe central vertical et permettant différentes positions de raclage (en \wedge , lame biaisée droite \backslash ou gauche $/$, "bull" \rightarrow , étrave inversée \vee). En position "bull" ou inversée, il n'y a pas de déplacement latéral.

Lame triaxiale : outil frontal à trois socs orientables et permettant différentes positions de raclage (en $/ \backslash \vee$, \wedge , lame biaisée droite \backslash ou gauche $/$).

Aileron élargisseur : outil à lame galbée portée latéralement et horizontalement au niveau de la chaussée, utilisé soit pour dégager une surface plus importante de la chaussée soit pour repousser un bourrelet vers l'extérieur de la plate-forme.

Aileron écrêteur : outil similaire à l'aileron élargisseur hormis le fait qu'il peut être relevé au-dessus d'une hauteur minimale d'un mètre à partir de la chaussée, pour assurer le déplacement latéral de la partie supérieure d'un bourrelet vers l'extérieur de la plate-forme de la route et ainsi libérer un espace qui rend possible le raclage d'une nouvelle couche de neige.

À l'interface entre l'outil et la chaussée se situe la lame d'usure. Le matériau qui la compose est déterminant sur la qualité du raclage obtenu en fonction du type de neige ou verglas à enlever.

OUTILS ROTATIFS D'ÉVACUATION

Turbine : évacuateur rotatif dont l'organe rotatif est une roue à aubes dont l'axe est parallèle à celui du porteur.

Fraise : évacuateur rotatif dont l'organe rotatif est un tambour à aubes dont l'axe est perpendiculaire à celui du porteur.

Turbo-fraise : fraise frontale à laquelle est ajoutée à l'arrière du tambour à aubes, une roue à aubes chargée d'assurer l'éjection de la neige.

Balayeuse : outil de raclage équipé d'un balai à brosse rotative (axe de rotation parallèle à la chaussée) et présentant un angle de 0° à 30° à droite ou à gauche par rapport à l'axe d'avancement du porteur destiné à « balayer » la neige. Le balai peut être frontal (attelé à l'avant du porteur) ou d'empattement (fixé entre les essieux du porteur).

Illustration 29 : ESH équipé d'un aileron élargisseur



Illustration 30 : Balai d'empattement



ANNEXE 4

Influence du trafic

INCIDENCE SUR LE MOUILLAGE DES CHAUSSÉES

Incidence des différents types de véhicules sur le comportement de la chaussée, séchage et température

Sur chaussée humide, un trafic important a pour conséquence un séchage dans les bandes de roulement. Ce séchage peut être très rapide en présence d'un trafic poids lourds.

L'effet de nébulisation et séchage d'un poids lourd est plus important que celui d'un véhicule léger du fait de la plus grande surface de contact au sol (rapport de 1 à 10).

Sur chaussée humide, le trafic nébulise l'eau de la surface routière la répartissant à la fois sur la chaussée et sur les bas-côtés. La quantité résiduelle d'eau est donc moins importante. En conséquence, le verglas susceptible de se former sera moins épais et d'autant plus fragilisé que le trafic sera important.

Incidence sur la température de la chaussée

Le trafic a une incidence sur les températures de surface des chaussées, du fait de la combinaison de plusieurs effets :

- le rayonnement de toutes les parties chaudes du véhicule (moteur, etc.) ;
- le brassage de l'air lors du passage des véhicules, en particulier des poids lourds, qui génère des mouvements convectifs et des échanges thermiques ;
- le frottement des pneumatiques sur la chaussée avec toujours un effet plus important pour les poids lourds. Le rapport des surfaces en contact entre PL et VL joue de la même façon que pour le séchage.

Il est admis qu'un trafic PL important va générer une augmentation de la température dans les bandes de roulement d'environ 2 °C.

INFLUENCE DU TRAFIC SUR LES OPÉRATIONS DE VIABILITÉ HIVERNALE

Le trafic joue un rôle prépondérant dans la lutte contre la neige et le verglas. Il permet :

- le brassage des fondants avec l'eau présente sur la surface routière et réduit ainsi le temps d'amorçage du processus de fonte ;
- l'homogénéisation de l'épandage transversal : il est en effet inutile de traiter sur la totalité de la largeur de la voirie. L'épandage sur une largeur utile, à environ 1 m des rives, est suffisant, le trafic et les profils en long et transversal faisant le reste.

Le trafic a également une influence sur le transport des fondants routiers le long d'un itinéraire. Les pneumatiques des véhicules se chargent en fondants routiers sur les sections traitées et sont susceptibles de les transporter jusqu'à une distance d'environ 1 500 à 2 000 m. Ce paramètre est à prendre en compte lors des interventions en milieu urbain, ou pour des traitements ponctuels (ouvrages d'art...). Certaines préconisations et pistes en termes de choix de traitement sont données dans la documentation du Sétra.

Tableau 24 : Comportement de la neige sur chaussée en fonction du trafic et de l'état de surface

Type de neige en chute	Caractéristiques	Effet du trafic et des traitements							
		État de surface de la chaussée							
		Sèche et froide (Ts < 0)		Sèche et chaude (Ts > 0)		Humide		État	
		Non traitée	Traitée	Non traitée	Traitée	Non traitée	Traitée	Non traitée	Traitée
Sèche	Flocons fins à moyens Tombe lentement Ne se tasse pas	La neige vole Aucun traitement nécessaire	La neige devient humide et se compacte	La neige devient humide et se compacte	La neige devient mouillée et s'évacue sous l'effet du trafic	La neige devient humide et se compacte	La neige devient humide et se compacte	La neige s'humidifie et se compacte	La neige est évacuée par le trafic
Humide	Gros flocons Chute assez rapide Se compacte facilement	La neige adhère et se compacte	La neige se compacte sans adhérence	La neige adhère et se compacte	La neige n'adhère pas et s'élimine	La neige adhère et se compacte	La neige s'évacue	La neige devient mouillée, se brasse et s'évacue	La neige devient mouillée et s'évacue
Mouillée	Gros à très gros flocons Chute rapide comparable à la pluie Boules ruisselante d'eau	La neige gèle et se compacte (transformation en glace)	La neige reste mouillée, gèle et se compacte	La neige se transforme en soupe	La neige fond	La neige est brassée et s'évacue	La neige fond	La neige se transforme en soupe	La neige fond

ANNEXE 5

Les revêtements / Couches de roulement - adhérence

NOTION D'ADHÉRENCE, SURFACES ROUTIÈRES

En simplifiant l'approche, on peut considérer que les couches de surface routières composées de la couche de liaison et la couche de roulement répondent à deux objectifs principaux :

- disposer d'un contact performant, en termes d'adhérence et de bilan énergétique ; on cherche un équilibre entre l'adhérence acceptable, l'énergie que l'on doit dépenser pour l'obtenir et certaines autres caractéristiques telles que le bruit de roulement. D'autres critères tels que la tenue dans le temps entrent bien sûr en jeu ;
- assurer une bonne étanchéité de la surface afin de préserver les performances mécaniques des structures.

On décrit assez bien, de manière relative, le comportement d'un couple pneumatique / surface routière dégradée ou non, par l'intermédiaire de mesures d'adhérence, de glissement ou d'autres méthodes physiques. Ces préoccupations concernent bien sûr les caractéristiques des surfaces lors de la construction (des performances sont demandées), mais aussi durant la vie des chaussées. C'est un critère déclencheur de travaux de régénération des surfaces. Il joue aussi, évidemment, un rôle lors des phénomènes météo-routiers.

D'un point de vue géométrique, les surfaces routières sont caractérisées par différents paramètres :

- des paramètres géométriques relativement généraux telles la pente longitudinale ou la sinuosité liées au relief de la route et aux caractéristiques géométrique de construction. Cette géométrie peut induire des problèmes en viabilité hivernale, en particulier empêcher l'évacuation de l'eau lorsque les pentes sont relativement faibles et générer des zones ou des points d'accumulation d'eau. Ce sont en général des zones connues que l'on surveillera préférentiellement ;
- des paramètres plus fins tels l'uni, la pente transversale ou les déformations des chaussées qui peuvent engendrer des accumulations d'eau (flaches) et des difficultés pour le service hivernal (mauvais contact entre la lame et la chaussée) ;
- des paramètres liés au type de revêtement, à la taille et à l'agencement des granulats (macrotecture) et à leur nature minéralogique (microtexture).

Illustration 31 : Macrotecture et microtexture

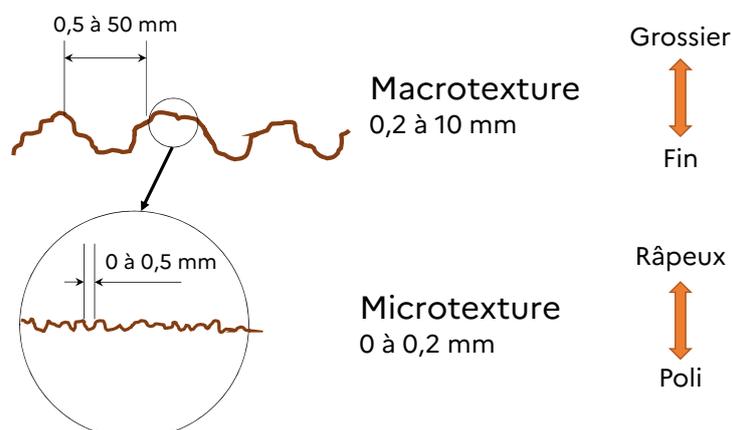
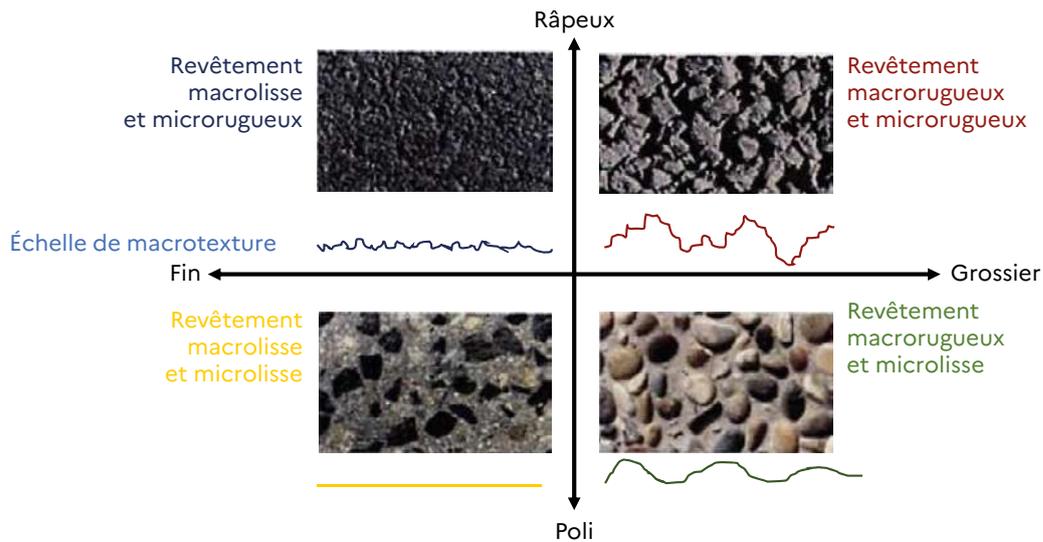


Illustration 32 : Échelles de microtexture et macrotexture



La macrotexture permet le drainage de l'eau en surface et la microtexture de briser le film d'eau susceptible de se former entre le granulat et le pneumatique.

Tous ces éléments vont contribuer à capter (ou faciliter l'évacuation) des quantités plus ou moins importante d'eau et à favoriser plus ou moins les échanges thermiques (surface spécifique de la surface et caractéristique thermique (émissivité, conductivité)). L'eau, la neige et le verglas ont une influence sur l'adhérence.

Illustration 33 : Capacité d'absorption des différents revêtements

Type de revêtement	Quantité d'eau /m ²
 Béton Bitumineux Semi-Grenu	100 à 300 g/m ²
 Enduit superficiel	300 à 400 g/m ²
 Béton Bitumineux Très Mince	500 à 800 g/m ²
 Béton Bitumineux Drainant	> 800 g/m ²

Les revêtements routiers réagissent différemment aux différents phénomènes hivernaux, sauf dans le cas de la pluie en surfusion pour laquelle leur sensibilité reste forte.

Illustration 34 : Sensibilité des revêtements aux phénomènes hivernaux

CRITÈRES PRINCIPAUX RETENUS		PHÉNOMÈNES					
		VERGLAS SANS PRÉCIPITATION		VERGLAS AVEC PRÉCIPITATION			NEIGE
		Gelée blanche	Congélation d'humidité préexistante	Brouillard givrant (précipitant)	Pluie sur sol gelé	Pluie en surfusion	Raclage
		Température de surface	Eau + Ts	Rétention d'eau	Eau + Ts		Raclage
Types de revêtement	Béton Bitumineux Semi-Grenu	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Forte	Faible
	Enduit Superficiel	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Forte	Moyenne
	Béton Bitumineux Drainant	Forte	Faible	Forte	Moyenne	Forte	Forte
	Béton Bitumineux Très Mince	Forte	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Forte

Les couches de roulement posant le plus de difficultés sont les surfaces les plus ouvertes, qui captent beaucoup d'eau, et présentant des surfaces spécifiques importantes favorisant les échanges thermiques et, en particulier, les refroidissements nocturnes (enrobés drainants, Béton Bitumineux Ultra-Mince (BBUM) de type II).

Les surfaces à forte macrotecture auront tendance à cumuler dans les interfaces plus de neige et seront moins faciles à racler, les finitions et l'élimination de la couche résiduelle nécessitant plus de fondants. Ces mêmes surfaces auront a contrario la capacité à retenir une quantité plus importante de fondant.

ANNEXE 6

Fiche d'aide à la décision du responsable d'intervention (RI)

Pour faciliter les choix opérationnels du responsable d'intervention, il est important que chaque service établisse une fiche d'aide à la décision.

Un exemple est donné ci-après. Il doit être adapté en fonction de la stratégie du gestionnaire et des moyens matériels et humains disponibles.

Une version simplifiée de cette fiche est à fournir aux chauffeurs pour leur résumer les différents types de traitement.

OBJECTIFS DE QUALITÉ

Tableau 25 : Exemple de tableau fixant les objectifs de qualité en fonction des niveaux de service

OBJECTIFS DE QUALITÉ		N1	N2		N3
Période de validité		00/24 h	04/23 h	23/04 h	00/24 h
Condition de référence		C1	C1	C1	C1
VERGLAS	Condition minimale	C2	C2	C3	C3
	Durée de retour à la condition de référence	1 h 30	2 h 00	3 h 00	4 h 00
NEIGE	Condition minimale	C2	C2	C3	C3
	Durée de retour à la condition de référence	2 h 00 à 2 h 30	2 h 30 à 3 h 00	4 h 00	-

INFORMATIONS UTILES

Adresses et codes d'accès aux sites météo-routiers

Liste des stations météorologiques de référence

Numéro du prévisionniste

Etc.

LES CONSIGNES

Exemples de consignes de traitement en fonction du type de phénomène

VERGLAS

Tableau 26 : Exemple de tableau de consignes pour le traitement du verglas - précuratif

	PRÉCURATIF		
	Précuratif (oui / non)	Type de fondant	Dosage
Gelée blanche	Surveillance		
Congélation d'eau préexistante	Oui	Bouillie (éventuellement sel sec)	15 g/m ² + 20 % (sel sec 15 g/m ²)
Brouillard givrant - sol sec	Surveillance		
Brouillard givrant - sol humide	Oui	Bouillie (éventuellement sel sec)	10 g/m ² + 20 % (sel sec 10 g/m ²)
Pluie sur sol gelé	Oui	Bouillie	20 g/m ² + 20 %
Pluie en surfusion	Oui	Bouillie	20 g/m ² + 20 %

Tableau 27 : Exemple de tableau de consignes pour le traitement du verglas - curatif

	CURATIF		
	Commentaire	Type de fondant	Dosage
Gelée blanche	Uniquement si épaisseur importante	Saumure ou saumure sursaturée	40 g/m ² ou 30 g/m ² + 5 g/m ²
Congélation d'eau préexistante		Bouillie ou saumure sursaturée	15 g/m ² + 30 % ou 30 g/m ² + 5 g/m ²
Brouillard givrant - sol sec	Uniquement si arrivée d'humidité	Saumure sursaturée	30 g/m ² + 5 g/m ²
Brouillard givrant - sol humide		Saumure sursaturée	30 g/m ² + 5 g/m ²
Pluie sur sol gelé	Pluie importante	Sel sec	30 g/m ²
	Pluie faible	Bouillie	20 g/m ² + 20 %
Pluie en surfusion	1 ^{er} passage	Bouillie	30 g/m ² + 20 %
	2 nd passage	Sel sec	30 g/m ²

NEIGE

Tableau 28 : Exemple de tableau de consignes pour le traitement de la neige - précuratif

PRÉCURATIF				
État du sol	Type de neige annoncé	Précuratif (oui / non)	Type de fondant	Dosage
Sol sec et Ts < 0 °C	Sèche	Non		
	Humide	Oui	Bouillie	10 g/m ² + 20 %
	Mouillée	Oui, uniquement si Ta diminue fortement	Bouillie	15 g/m ² + 20 %
Sol sec et Ts > 0 °C Si Ta diminue fortement	Sèche	Non		
	Humide	Oui	Bouillie	10 g/m ² + 20 %
	Mouillée	Oui, uniquement si Ta diminue fortement	Bouillie	15 g/m ² + 20 %
Sol humide	Sèche	Oui	Bouillie (ou éventuellement sel sec)	10 g/m ² +20 % (sel sec : 10 g/m ²)
	Humide	Oui, uniquement si Ta diminue fortement	Bouillie (ou éventuellement sel sec)	15 g/m ² +20 % (sel sec : 10 g/m ²)
	Mouillée	Oui, uniquement si Ta diminue fortement	Bouillie (ou éventuellement sel sec)	15 g/m ² +20 % (sel sec : 15 g/m ²)
Sol mouillé	Sèche	Non		
	humide avec Ta diminuant fortement	Oui	Sel sec	15 g/m ²
	Mouillée	Non		

Tableau 29 : Exemple de tableau de consignes pour le traitement de la neige - précuratif

CURATIF				
Intervenir en raclage dès le début de la chute. Toujours racler au plus près (couche résiduelle la plus fine possible). Saler un passage sur deux quand c'est nécessaire. Si la chute se poursuit, augmenter les fréquences de rotation des engins. En situation exceptionnelle ou températures très basses, le dosage peut être augmenté.				
Neige au sol	Neige en chute	Type de lame	Type de fondant	Dosage
Neige fondante	Sèche	Caoutchouc	Saumure sursaturée	25 g/m ² + 10 g/m ²
	Humide	Caoutchouc	Bouillie (ou éventuellement sel sec)	10 g/m ² +20 % (sel sec : 10 g/m ²)
	Mouillée	Caoutchouc	Raclage et surveillance - Pas de salage	
Neige tassée	Sèche	Acier ou bi-raclage	Bouillie	15 g/m ² +20 %
	Humide	Acier ou bi-raclage	Saumure sursaturée	25 g/m ² + 10 g/m ²
	Mouillée	Acier ou bi-raclage	Bouillie (ou éventuellement sel sec)	10 g/m ² + 20 % (sel sec : 10 g/m ²)
Neige pulvérulente	Sèche	Tout type de lame	Raclage et surveillance - Pas de salage - Attention aux congères	
	Humide	Cas inexistant		
	Mouillée			

ANNEXE 7

Fiche patrouille

La mission du patrouilleur consiste à recueillir des informations nécessaires à la prise de décision concernant les consignes d'intervention et de traitement.

Ainsi, la décision de réaliser une patrouille doit-elle s'accompagner de consignes claires :

- Lieux des relevés, sur la base d'une analyse du phénomène à venir. Ce lieu est en adéquation avec les prévisions météorologiques et la connaissance fine du réseau ;
- Type d'informations météorologiques et paramètres routiers à relever. En fonction du type de phénomène attendu, les paramètres ne sont pas systématiquement les mêmes. Les plus courants sont le relevé de la température de surface, l'état de surface, les conditions météo locales (brouillard...), etc. ;
- Surveillance du réseau et des conditions de circulation : la patrouille joue également un rôle prépondérant sur le suivi de l'intervention, permettant éventuellement de réorienter la décision.

Un exemple de fiche de patrouille est fourni ci-après :

Fiche d'observation de la patrouille

Direction/district/centre :
 Nom, prénom du patrouilleur :
 Nom, prénom du responsable d'intervention :

Date :
 Circuit :

Points d'observation :	1	2	3	4
Lieu d'observation (PR)				
Heure :				

Observation des états de la chaussée :					Observations météorologiques :				
Points d'observation :					Relevés :				
	1	2	3	4		1	2	3	4
Verglas					Ciel				
sec					dégagé				
humide					demi-couvert				
mouillé					couvert				
ruisselant					Neige				
blanc gelé					sèche				
givré					humide				
verglacé					mouillée				
glacé					Vent				
Neige					faible				
fraîche					fort				
fondante					Brouillard				
tassée					dense				
gelée en surface					peu dense				
pulvérulente					Précipitation en cours				
glacée					bruine				
Congères					pluie				
en formation									
formées									
Résultats des mesures :									
humidité relative de l'air (U)	1	2	3	4					
température de l'air (Ta)									
température du point de rosée (Td)									
température de surface (Ts)									

Observations complémentaires, difficultés rencontrées :

ANNEXE 8

Forme et contenu de la main courante

Pour être juridiquement recevable, la main courante doit présenter des garanties suffisantes de fiabilité et de sincérité.

Pour être utilisable, la main courante viabilité hivernale doit comporter les éléments suivants. Pour un « petit » gestionnaire réalisant le déneigement en régie, les éléments en gras sont prioritaires.

- **Date ;**
- **Nom du Responsable de la main courante ;**
- Éléments météorologiques et météo-routiers :
 - État de la prévision de l'aérogamme, des sondes météo-routières ;
 - **Caractéristiques de l'évènement / Nature.**
- Patrouille :
 - **Heures de début et fin de patrouille ;**
 - **Observation de la patrouille.**
- Déclenchement des mesures de maintien de viabilité :
 - Heures de début et de fin de mise en consignation des sociétés sous-traitantes ;
 - Formulaire de contrôle contradictoire des véhicules des prestataires dûment rempli avec la date et les signatures des deux parties ;
 - Moyens humains et matériels demandés aux sociétés prestataires ;
 - Moyens humains et matériels réellement mis en œuvre à l'aide du formulaire de mise en astreinte ;
 - **Noms des agents mobilisés (astreinte ou intervention) et heures de début et fin de poste ;**
 - **Type de traitement demandé avec le grammage en fondant routier ;**
 - **Circuits demandés avec les heures et le type d'engin demandé ;**
 - **Circuits réellement réalisés avec les heures ;**
 - **Nature des dysfonctionnements constatés.**
- Les états de chaussées et les niveaux de service demandés :
 - **Conditions de circulation ;**
 - **État du trafic, suivi des bouchons ;**
 - Mise en œuvre des mesures de gestion du trafic (stockage PL, interdiction d'itinéraires...) : plan ou mesure appliquée, heures de décision et de mise en place ;
 - **Évaluation de l'état du réseau :**
- **Nature, date et heure de l'information (anomalies constatées) ;**
 - Suivi des appels entrants et émis pendant toute la durée de la mobilisation (de la mise en alerte à la fin d'évènement) ;
 - Source de l'appel ;
 - Nature de l'appel ;
 - Contenu de l'appel ;
 - Actions demandées ;
 - Localisation précise de l'évènement signalé ou de l'anomalie constatée ;
 - Constats des faits ;
 - Mesures prises.
- Suivi des mesures mises en œuvre ;
 - Information des usagers et de la chaîne hiérarchique ;
 - Messages diffusés, moyens de diffusion (PMV, CISGT, radio...) ;
 - Personnes informées (hiérarchie, cadres d'astreinte) avec heure et type de messages.

Les photos ont valeur juridique dès lors qu'elles sont datées et localisées. Elles peuvent être un complément de la main courante.

Sur le plan du droit, la mention portée sur la main courante peut être considérée comme un commencement de preuve par écrit sans force probante particulière dans le cadre d'une procédure judiciaire. En effet, aucun texte n'institue ce document pour lui conférer un rôle particulier, ni le soumettre à un examen critique contradictoire dans le cas d'une enquête d'information judiciaire.

Les éléments recueillis à l'aide d'enregistrements informatiques infalsifiables par les utilisateurs sont certainement plus probants (photos, GPS...) ; ils apportent des éléments de faits précis et peu discutables en termes de date, de positionnement, de configuration des lieux, etc.

ANNEXE 9

Glossaire / Terminologie relative aux phénomènes météo-routiers

Les principaux phénomènes physiques qui sont traités en viabilité hivernale sont décrits dans le dictionnaire de l'entretien routier, volume 4 Viabilité Hivernale. L'objectif de cette annexe n'est pas de reprendre l'ensemble des nombreux paramètres et phénomènes qui affectent l'environnement routier, mais de permettre au lecteur de comprendre les principaux paramètres qui sont utilisés dans la prévision des phénomènes météo et dans la décision de traitement et les consignes de traitement associées.

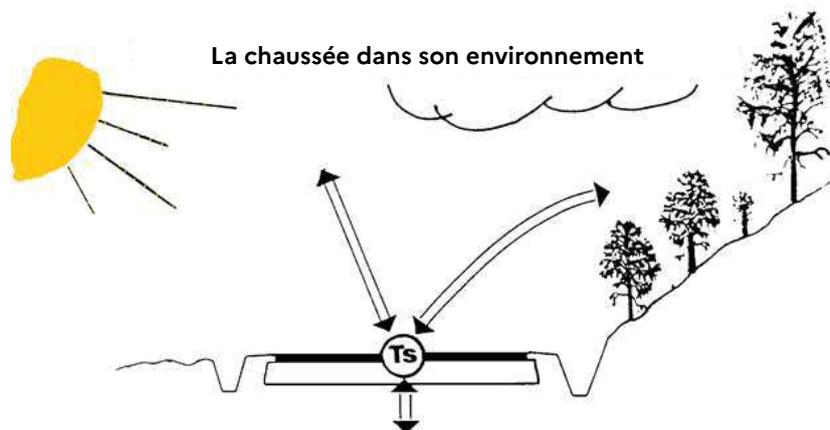
Température de l'air : Température relevée sous abri météorologique à une hauteur comprise entre 1,50 m et 2,00 m du sol. Elle varie en général plus rapidement que la température de surface, mais est moins variable le long d'un itinéraire.

Symbole : T_a Unité : °C

Température de surface : Température radiative effective d'une surface d'un revêtement, dans notre situation la chaussée.

Symbole : T_s Unité : °C

Illustration 34 : La chaussée dans son environnement



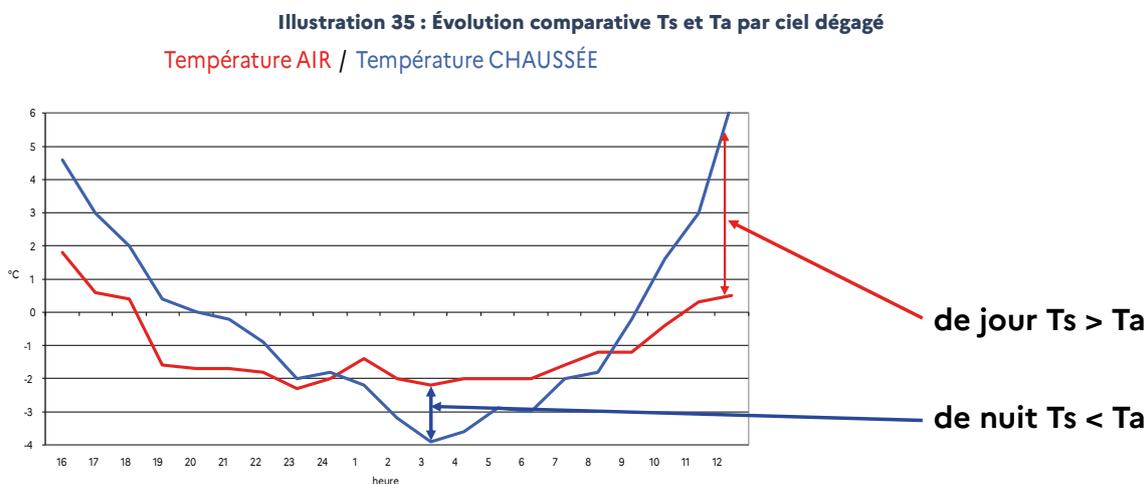
T_s est à chaque instant le résultat d'échanges permanents d'énergie entre le revêtement routier et tout ce qui l'entourne : la terre sous-jacente (via la structure de chaussée), l'atmosphère (toute l'épaisseur de l'atmosphère : de l'air à quelques centimètres au-dessus de la chaussée jusqu'à la voûte céleste), le milieu naturel (la végétation, l'eau, etc.), les infrastructures voisines (bâtiments, équipements routiers, etc.), le trafic routier et tout ce qui se dépose sur sa surface (précipitations, fondants, etc.).

Quelques principes fondamentaux sur les échanges d'énergie :

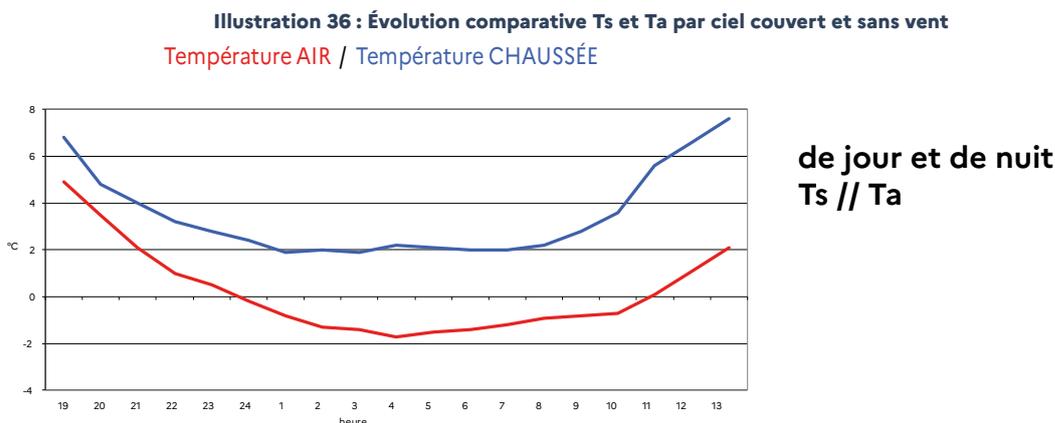
- l'écoulement de l'énergie se fait toujours du chaud vers le froid ;
- la quantité d'énergie émise ou reçue dépend de modes d'échanges différents : la conduction, le rayonnement et la convection ;
- le revêtement n'est pas isolé « sous cloche dans un laboratoire », mais intimement en interaction avec au milieu qui l'entoure.

Quelques exemples de comportement de T_s par rapport à T_a :

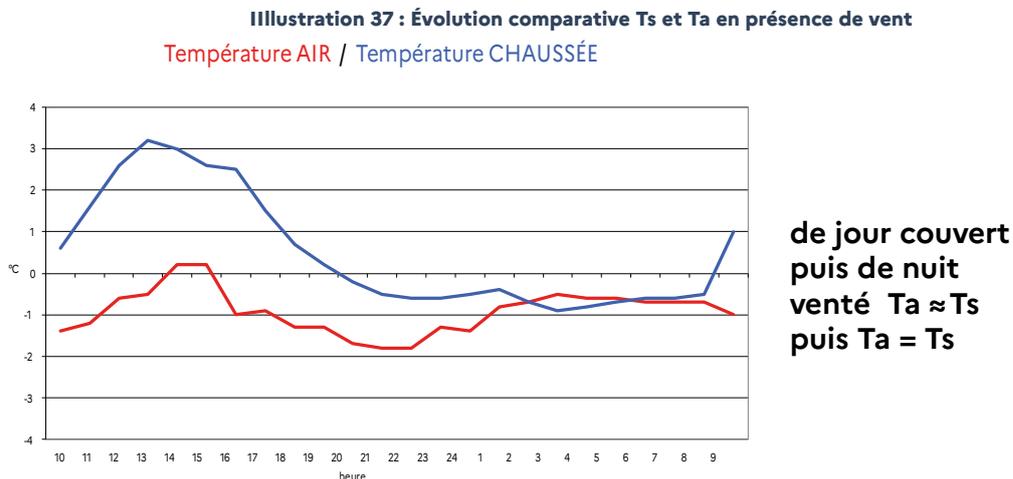
En période nocturne hivernale et par ciel dégagé, la surface du revêtement rayonne de manière importante compte tenu de ses propriétés radiatives :



En période hivernale, par ciel couvert et sans vent, la température de l'air et la température du revêtement sont proches et évoluent de manière identique :



En période hivernale, par ciel couvert et en présence de vent, la température de l'air et du revêtement évoluent de manière analogue et, par effet convectif, tendent vers une température identique :

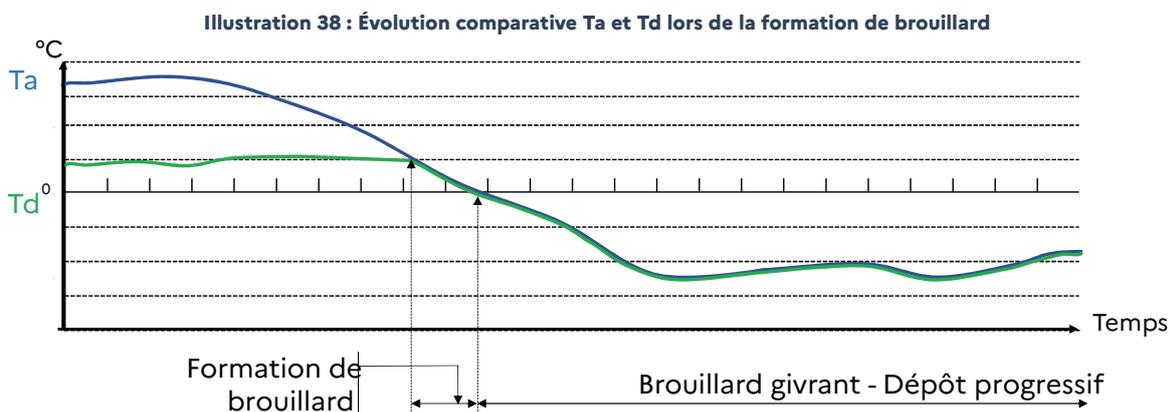


Température du point de rosée : température à laquelle il faut abaisser la masse d'air pour obtenir sa saturation en vapeur d'eau, par rapport à l'eau en phase liquide. La température de point de rosée représente, sous forme de température, la quantité d'eau présente dans l'air. Plus celle-ci est basse, plus l'atmosphère est chargée en eau. Lorsque $T_d = T_a$, il y a apparition de pluie, de neige ou de brouillard.

Symbole : T_d Unité : °C

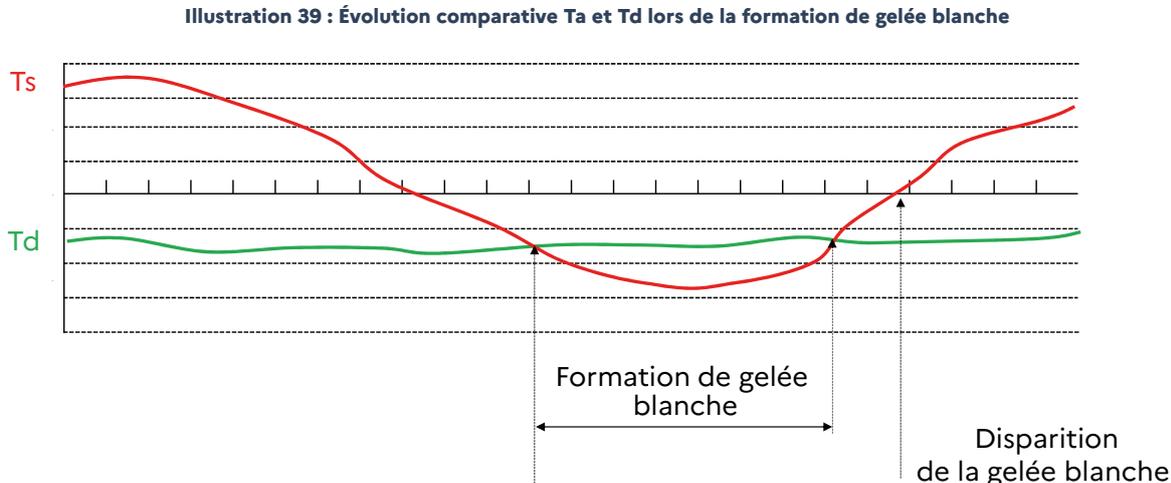
Formation de brouillard

Lorsque la température de l'air (T_a) atteint la température du point de rosée (T_d), il y a formation de brouillard. Celui-ci devient givrant lorsque les températures passent en dessous de 0 °C.



Gelée blanche

Lorsque la température de rosée est négative (T_d) et que la température de surface (T_s) atteint T_d , il y a formation de gelée blanche.



Humidité relative : taux de remplissage de la masse d'air en vapeur d'eau. Elle est relevée sous abri météorologique à une hauteur comprise entre 1,50 m et 2,00 m du sol. L'humidité relative et la température de l'air permettent de calculer la température du point de rosée.

Symbole : U Unité : %

Vent routier : mouvement d'air par rapport à la surface routière. On prend en considération la composante horizontale mesurée ou estimée à 3,00 m au-dessus du plan défini par la surface routière, à une distance minimale de 2,00 m du bord de la chaussée. On distingue le vent routier instantané, moyen ou en rafale (hausse brève et soudaine d'au moins 9 km/h de la vitesse du vent routier instantané par rapport à la vitesse du vent routier moyen).

Unité : vitesse km/h Direction : °(degrés) en sens horaire

Précipitations : terme générique désignant une chute d'eau, sous forme de gouttes liquides ou de particules glacées, qui atteint le sol. Les précipitations sont caractérisées par une température de précipitation. (Symbole : T_p - Unité : °C), une hauteur (Unité : mm) une intensité (symbole : I , unité mm/h) et une durée (unité : min).

Nébulosité totale : fraction de la voûte céleste cachée par l'ensemble des nuages visibles. Elle est exprimée en octa, un octa correspond à un huitième de la voûte céleste (ciel) occupée par les nuages.

Unité : octa

Profils thermohydriques : profils des températures de surface, d'air et d'humidité relative relevés le long d'un itinéraire. Ces profils mettent en évidence les zones froides et humides où le risque d'apparition de neige et de verglas est le plus important.

Les neiges en chute :

Teneur en eau liquide : c'est la masse d'eau liquide contenue dans la neige. Elle est exprimée en pourcentage de la masse totale de neige.

Neige sèche : neige à faible teneur en eau liquide (< 1 % de la masse), volante et fine, une fois déposée $\rho = 50$ à 150 kg/m^3 dans la plupart des cas).

Neige humide : neige à teneur en eau liquide (comprise entre 1 % et 10 % de la masse), gros flocons, chute rapide, une fois déposée $\rho = 150$ à 300 kg/m^3 dans la plupart des cas.

Neige mouillée : neige à teneur en eau liquide élevée (> 10 % de la masse), une fois déposée $\rho > 300 \text{ kg/m}^3$ dans la plupart des cas.

Les neiges routières :

Neige fraîche : état de la surface du revêtement couverte d'une neige non transformée en cours de chute ou dont la chute s'est terminée récemment. Son état ne peut évoluer que sous l'effet du trafic, des conditions météorologiques ultérieures ou d'un traitement. Il entraîne une diminution du niveau d'adhérence et une gêne à l'avancement des véhicules.

Neige fondante : état transitoire de la surface du revêtement couverte d'une neige en cours de transformation à l'état liquide. Cette transformation est la conséquence de l'effet du trafic, des conditions météorologiques, des conditions initiales du revêtement ou de l'effet des pneumatiques. Cet état entraîne un risque d'aquaplanage et des projections par les pneumatiques.

Neige tassée : état de surface du revêtement couverte d'une neige compactée par le trafic. Cet état entraîne une diminution du niveau d'adhérence.

Neige gelée en surface : état de la surface du revêtement couverte d'une neige transformée par fusion et regel de la surface de la couche de neige. Il entraîne une diminution importante du niveau d'adhérence.

Neige glacée : état de la surface du revêtement couverte d'une neige transformée par fusion partielle et regel sur la totalité de l'épaisseur de la couche de neige. Il entraîne une diminution très importante du niveau d'adhérence.

Neige pulvérulente : état de la surface recouverte d'une neige sèche transformée en poudre par le trafic et/ou sous l'effet de certains fondants. Il conduit à une diminution du niveau d'adhérence et à une gêne à l'avancement des véhicules. La neige pulvérulente est également appelée « neige farineuse » ou « neige en farine ».

Congères : amas de neige accumulée par les obstacles ou les irrégularités du terrain sous l'effet du vent.

Neige folle : état de surface où la neige ne s'accumule pas sur la chaussée et est déplacée par le trafic et le vent. Cet état est propice à la formation de congères.



© 2022 - Cerema

LE CEREMA, L'EXPERTISE PUBLIQUE POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET LA COHÉSION DES TERRITOIRES

Le Cerema, Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement, est un établissement public qui apporte son concours à l'État et aux collectivités territoriales pour l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques au service de la transition écologique, de l'adaptation au changement climatique et de la cohésion des territoires. Il porte des missions de recherche & innovation et appuie le transfert d'innovations dans les territoires et auprès des acteurs privés.

Le Cerema agit dans 6 domaines d'activité : Expertise & Ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral. Présent partout en métropole et dans les Outre-mer par ses 26 implantations, il développe une expertise de référence au contact de ses partenaires européens et contribue à diffuser le savoir-faire français à l'international.

Le Cerema capitalise les connaissances et savoir-faire dans ses domaines d'activité. Éditeur, il mène sa mission de centre de ressources en ingénierie par la mise à disposition de près de 3 000 références à retrouver sur www.cerema.fr rubrique nos publications.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (article L.122-4 du Code de la propriété intellectuelle). Cette reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et L.335-3 du CPI.

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF). L'imprimerie Dupliprint est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encre végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Coordination : Direction de la Stratégie et de la Communication / Pôle éditions

Conception de la maquette graphique : Farénis

Mise en page : Gaëlle Bouché

Impression : Dupliprint, 733 rue Saint-Léonard 53100 Mayenne

Achévé d'imprimer : novembre 2022

Dépôt légal : novembre 2022

ISBN : 978-2-37180-574-3 (pdf) - 978-2-37180-575-0 (papier) - ISSN : 2276-0164

Éditions du Cerema

Cité des mobilités

25, avenue François Mitterrand CS 92803 - 69674 Bron Cedex - France

www.cerema.fr

VIABILITÉ HIVERNALE

Définir une stratégie de traitement des routes

La viabilité hivernale a pour objectif d'assurer la sécurité et la continuité des déplacements des usagers lors des épisodes météorologiques hivernaux.

Or, intervenir en service hivernal est un exercice complexe puisque les situations météorologiques et météo-routières sont diverses. Dans un contexte où la préservation de l'environnement devient primordiale et où l'expérience a démontré que « traiter plus » n'équivaut pas à « traiter mieux », optimiser les actions de viabilité hivernale est une nécessité. Ce guide vise à aider les gestionnaires à s'interroger sur leurs pratiques et à définir leurs stratégies et consignes de traitement.

Il propose des informations pratiques, parfois nouvelles au moins dans leur présentation et des exemples techniques concrets se voulant facilement applicables par les exploitants. Une place importante est aussi accordée au partage d'un vocabulaire commun.



EXPERTISE & INGÉNIERIE TERRITORIALE | BÂTIMENT | MOBILITÉS
| **INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT** | ENVIRONNEMENT &
RISQUES | MER & LITTORAL

