




NOTE D'INFORMATION

CHAUSSÉES
DÉPENDANCES

67

LE COMPORTEMENT HIVERNAL PARTICULIER DE CERTAINES SURFACES ROUTIÈRES

Auteur : LR Nancy / SETRA-CSTR

Editeur : 

Avril 1991

La présente note complète, en ce qui concerne la viabilité hivernale, la note d'information n° 40 sur les enrobés drainants. De plus, elle élargit le sujet traité à l'ensemble des nouveaux types de revêtements, que ce soit les bétons bitumineux très minces ou certains enduits macro-rugueux. Après avoir rappelé les caractéristiques propres de ces nouveaux revêtements, sont décrites les particularités de leur comportement hivernal et les recommandations qui en découlent en service hivernal.

Depuis environ cinq ans, on assiste en France au développement rapide de nouveaux types de revêtements de surface : bétons bitumineux très minces et enrobés drainants, et ceci, tant sur routes que sur autoroutes. De nouveaux enduits macro-rugueux, et bétons bitumineux ultra-minces, font également leur apparition. Tous ces revêtements se caractérisent par la recherche d'un niveau de service élevé. De plus, la possibilité qu'ils offrent d'améliorer les caractéristiques de surface indépendamment des problèmes de structures, les rend économiquement attractifs. Un nombre de plus en plus grand de gestionnaires routiers se trouve donc avoir à gérer une ou plusieurs sections ainsi revêtues.

Le réseau technique SETRA - LCPC - CETE suit un certain nombre de chantiers expérimentaux (en particulier enrobés drainants et BBTM) et développe ainsi la connaissance de ces nouveaux revêtements dans différents domaines comme l'adhérence, le bruit, la viabilité hivernale, ... C'est ce dernier point que nous allons développer.

Le comportement physique et thermique des nouveaux revêtements présente quelques spécificités qu'il est important de connaître pour bien maîtriser le service hivernal. Cependant, une prise en compte de ces particularités, par un mode d'intervention adapté, permet d'obtenir un niveau de service tout à fait satisfaisant, comme en témoigne l'utilisation maintenant courante de ces revêtements dans des régions à

climat rigoureux (Nord et Est de la France, Massif Central), mais aussi en Autriche, Suisse, Canada...

LES ECHANGES THERMIQUES A LA SURFACE D'UNE CHAUSSEE

La surface de roulement d'une chaussée se situe à l'interface entre deux milieux dont le comportement est totalement différent : l'atmosphère et la structure de chaussée qui échangent en permanence de l'énergie de façon diverse par leur surface de contact.

Toutes choses égales par ailleurs, le régime thermique et hydrique de la surface d'une chaussée dépend donc des caractéristiques des matériaux utilisés.

L'introduction récente de techniques nouvelles comme les enrobés drainants (E.D.), les bétons bitumineux très minces (BBTM), voire certains enduits macro-rugueux, a montré que le régime thermique et hydrique pouvait, dans certains cas, être la cause de comportements spécifiques de viabilité hivernale, telle par exemple l'apparition plus précoce de verglas.

Les échanges thermiques à la surface d'une chaussée dépendent entre autres de la **quantité d'eau retenue par la macro-texture du revêtement.**

A la suite d'une précipitation (sous forme liquide) et

après drainage, celle-ci peut être plus ou moins importante :

BB dense	BBTM	Enrobés drainants
de 200 à 300 g/m ²	de 500 à 800 g/m ² (cas extrême) (1)	de 300 g/m ² environ à quelques kg/m ² (2)

(1) La porosité non communicante des BBTM retient plus d'eau qu'un BB dense.

(2) Le drainage naturel d'un enrobé drainant dans l'épaisseur peut demander de 1 à 2 heures (celui d'un revêtement classique nécessite 5 ou 10 min.). Les valeurs relevées correspondent à l'évolution pendant ce temps, de la quantité d'eau piégée. 300 g/m² correspond au mouillage de la porosité interne du revêtement et à l'interception du ruissellement par la base de l'enrobé drainant.

La vitesse de séchage d'un revêtement dépend étroitement des quantités d'eau initiales interceptées, mais aussi de paramètres extérieurs comme la température, l'hygrométrie de l'air, le trafic, ...

D'observations faites *in situ*, en période de viabilité hivernale, par trafic important, il ressort que l'enrobé drainant met souvent plus longtemps à sécher. Notons toutefois que, dans certains cas, ce phénomène peut être inversé.

Examinons brièvement les spécificités de ces revêtements selon les divers types d'échanges d'énergie (convection, conduction, rayonnement, "précipitations et changements d'état").

► La conductivité thermique :

La conductivité thermique de la couche de roulement d'une chaussée dépend étroitement de la nature des granulats, de sa densité, de sa compacité, de sa teneur en eau.

Quelques valeurs de conductivité thermique (en W/mK) :

Matériaux de chaussée	et pour mémoire
BB dense : 2,0 ; GL : 1,4 GB : 1,9 ; Béton : 1,7	Air : 0,024 ; Eau : 0,6 Glacé : 2,2

Exemple

Pour des enrobés drainants de porosité comprise entre 18 et 24 %, des études ont montré que la conductivité thermique peut varier entre 40 et 70 % de celle d'un béton bitumineux dense.

Le cas des enrobés drainants :

L'E.D. est poreux par définition ; lorsque ce matériau est sec, sa conductivité thermique est bien plus faible que celle d'un BB dense, ce qui a pour conséquence de modifier le régime thermo-hydrigue de sa surface. Un fort rayonnement nocturne provoque un abaissement plus important et plus rapide de sa température de surface.

Lorsque l'E.D. est humide, sa conductivité thermique croît en fonction de la quantité d'eau retenue dans sa porosité, ce qui réduit l'amplitude des températures de surface susceptibles d'être observées.

Si l'E.D. est saturé en glace, celui-ci constitue alors un stock d'énergie (chaleur latente) important qui retarde le réchauffement de la surface.

Le cas des BBTM :

La particularité de la plupart des BBTM est de posséder une porosité de surface (non communicante) qui, en l'absence d'humidité, réduit sensiblement la conductivité thermique du revêtement du fait de l'air emprisonné.

La valeur de la conductivité thermique de ces revêtements secs est intermédiaire entre celles d'un E.D. et d'un BB 0/10.

Lorsque ces enrobés sont humides, la porosité de surface se sature d'eau et modifie favorablement leur conductivité thermique. Le gel de l'eau contenue dans les pores a un effet voisin de celui constaté sur un E.D.

Le cas des enduits macro-rugueux :

La conductivité thermique de ces revêtements ne semble pas avoir d'influence particulière.

► Les échanges thermiques par convection :

La quantité d'énergie échangée dépend étroitement de la surface spécifique en contact avec l'atmosphère et croît avec la macro-rugosité.

Les trois types de revêtements étudiés peuvent présenter de ce fait un équilibre thermique plus rapide entre leur température de surface et l'air ambiant. Ceci se traduit, en période hivernale, par une température de surface inférieure à celle d'un BB dense.

Pour les enrobés drainants, la mise en pression / dépression de l'air par les pneumatiques accentue ces échanges thermiques par convection.

► Les échanges thermiques par rayonnements :

Les facteurs importants dans ce type d'échange sont la surface spécifique et le facteur d'émissivité du revêtement. Un revêtement récent est plus sensible au refroidissement par rayonnement car il est plus noir, et par là plus sensible au dépôt de givre en période hivernale.

LA VIABILITE HIVERNALE

Les spécificités de viabilité hivernale de ces revêtements sont principalement dues :

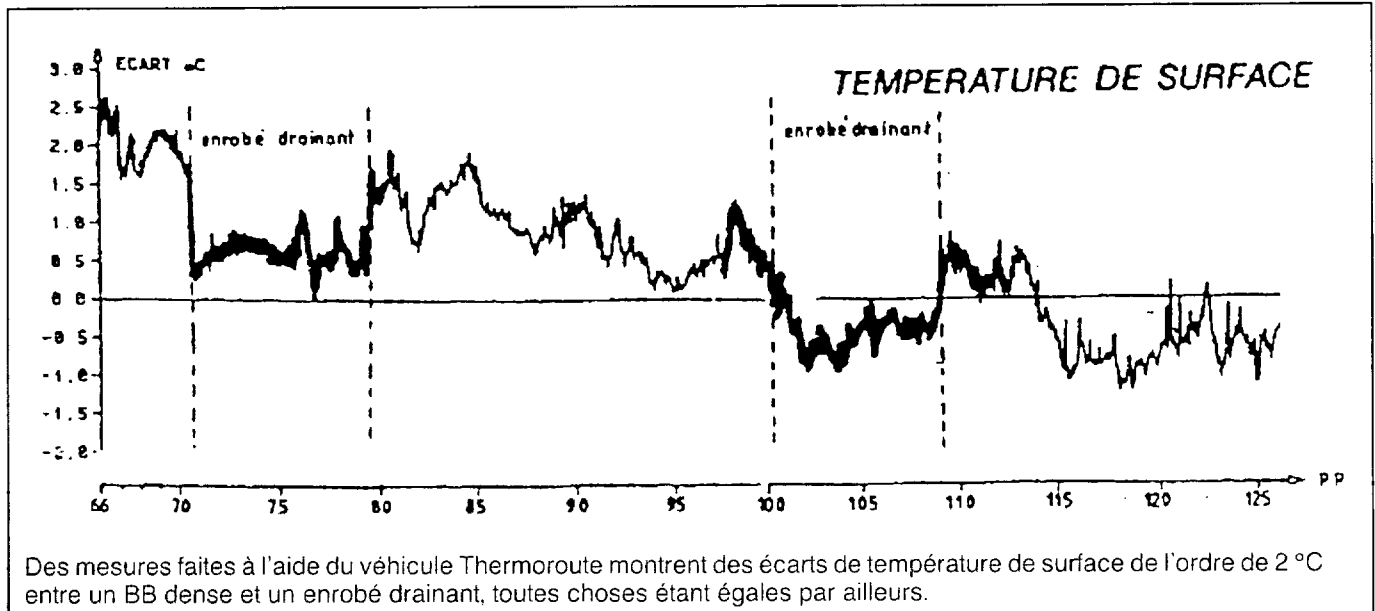
- au cycle particulier de l'eau sur et dans ces couches de roulement ; ce cycle est par ailleurs

modifié par l'emploi de fondants, lesquels sont hygroscopiques par nature,

- à la sensibilité thermique accrue de leur surface, en particulier à l'abaissement de température par rayonnement,

une faible longueur lorsque le niveau de service et la surveillance du réseau ne sont pas continus.

Au-delà de cette distance de 1 000 à 1 500 m, la zone d'enrobés drainants doit pouvoir être considérée comme une section homogène de traitement hivernal.



Des mesures faites à l'aide du véhicule Thermoroute montrent des écarts de température de surface de l'ordre de 2 °C entre un BB dense et un enrobé drainant, toutes choses étant égales par ailleurs.

- aux mauvaises conditions de maintien dans le temps des fondants à leur surface.

L'expérience acquise à ce jour se résume ainsi :

► Dispositions constructives favorables à un meilleur service hivernal :

Tous ces revêtements sont d'autant plus valorisés et économiquement attractifs qu'ils sont implantés sur des itinéraires à haut niveau de service. Afin de faciliter leur gestion hivernale et de minimiser les contraintes induites de leurs spécificités de comportement, il est préférable que leur linéaire corresponde à une entité de surveillance et d'intervention.

En dessous de 1 000 à 1 500 m de long, il est peu efficace de réaliser un enrobé drainant ; sur de si courtes zones, les avantages que l'on peut apporter à l'usager sont fortement limités du fait de la création d'une discontinuité d'itinéraire particulièrement évidente par temps de pluie. En ce qui concerne la viabilité hivernale, on peut considérer que sur un réseau de niveau S1 ou assimilé, régulièrement surveillé et traité, et suffisamment circulé, il ne doit pas exister de graves problèmes de viabilité hivernale. Le trafic maintient en effet une protection généralement suffisante par entraînement des fondants chimiques de la section située en aval.

Ces zones doivent simplement être suivies et gérées comme des points singuliers froids (zones critiques). Elles peuvent être traitées préventivement si besoin est, ou nécessiter une surveillance accrue.

Il est dangereux de mettre un enrobé drainant sur

Il faut tenir compte de son comportement spécifique et des problèmes de transition pouvant intervenir à la jonction d'une section revêtue d'une couche de roulement plus traditionnelle. Ces problèmes sont dus en particulier :

- à l'absence d'entraînement des fondants chimiques par le trafic (ce problème se fait particulièrement sentir sur les premières centaines de mètres d'un revêtement classique faisant suite à une section en enrobés drainants),
- à la création d'une discontinuité thermo-hydrrique (de type de celle d'un ouvrage d'art) sur un itinéraire globalement homogène.

Pour tous compléments, on se reportera à la note d'information SETRA : "Les enrobés drainants" (n° 40, série Chaussées - Dépendances).

Il conviendra, cependant, d'éviter l'implantation de ces divers types de revêtements sur des itinéraires très tourmentés (nombreux changements de dévers, rampes, viaducs, traversées de forêts, ...) qui favoriseraient la rétention d'humidité locale en surface ou qui peuvent présenter des tendances à la résurgence.

► Adaptation des techniques hivernales à ces revêtements :

Les diverses études menées ces dernières années par le réseau technique ainsi que le suivi de chantiers expérimentaux ont permis d'améliorer les connaissances opérationnelles en ce qui concerne le suivi hivernal de ces divers types de revêtements.

La formation des personnels (de maîtrise et d'exécution) ainsi que la mise en œuvre de moyens de suivi

et de traitements adaptées sont des gages de réussite sur tous les réseaux. Ils le sont encore davantage sur ces revêtements où, en l'état actuel de nos connaissances, il convient d'apprendre à adapter nos méthodes à leurs spécificités.

A titre d'exemple, on peut citer l'arbre de décision mis au point par le réseau technique et certains services de l'Est de la France pour assurer le suivi de planches d'enrobés drainants (voir tableau n° 1).

Le tableau n° 2, pages 6 et 7, présente :

- d'une part la **sensibilité comparée des divers revêtements routiers pour les différents types de verglas et de neige,**
- d'autre part les **techniques de traitements conseillées, spécifiques à chaque type de surface routière.**

Dans la mesure du possible, on évitera, sur enrobés drainants, l'utilisation de sels à forte teneur en insolubles (certains fondants chimiques en comportent plus de 10 %) ou l'adjonction d'abrasifs (sables...) aux fondants. Ces matériaux peuvent nuire à plus ou moins long terme au caractère drainant de l'enrobé par colmatage des pores.

*
* *

En conclusion, on peut affirmer que la viabilité hivernale sur enrobés drainants ou sur certains bétons bitumineux très minces conduit à des

interventions qui peuvent être spécifiques (dosages et nombre d'interventions différents). Nous ne possédons pas à ce jour un recul suffisant (hivers trop peu nombreux et surtout très cléments) pour prétendre cerner un surcoût éventuel de la viabilité hivernale sur ces revêtements. Les chiffres parfois avancés correspondent souvent à des difficultés de viabilité hivernale généralement mal appréhendées par les services, et à des "surtraitements" de ces revêtements par méconnaissance de leurs spécificités de comportement hivernaux, voire par méfiance.

Le suivi de chantiers expérimentaux se poursuit durant l'hiver 1990-1991. Parallèlement, un certain nombre d'évolutions se dessinent :

- **amélioration globale des caractéristiques des revêtements afin de minimiser l'impact de la viabilité hivernale (surface de ruissellement à la base des E.D., propriétés thermiques, etc.),**
- **meilleure appréhension des risques de verglas à l'aide des systèmes d'aide à la décision en matière de viabilité hivernale (capteurs routiers spécifiques, algorithmes d'analyse, prévisions météo-routières, etc.),**
- **amélioration des fondants et des méthodes d'épandage (granularité ; type de sel : NaCl, CaCl₂, MgCl₂ ; viscosité de la saumure, etc.).**

BIBLIOGRAPHIE

Notes d'information SETRA (série Chaussées - Dépendances) :

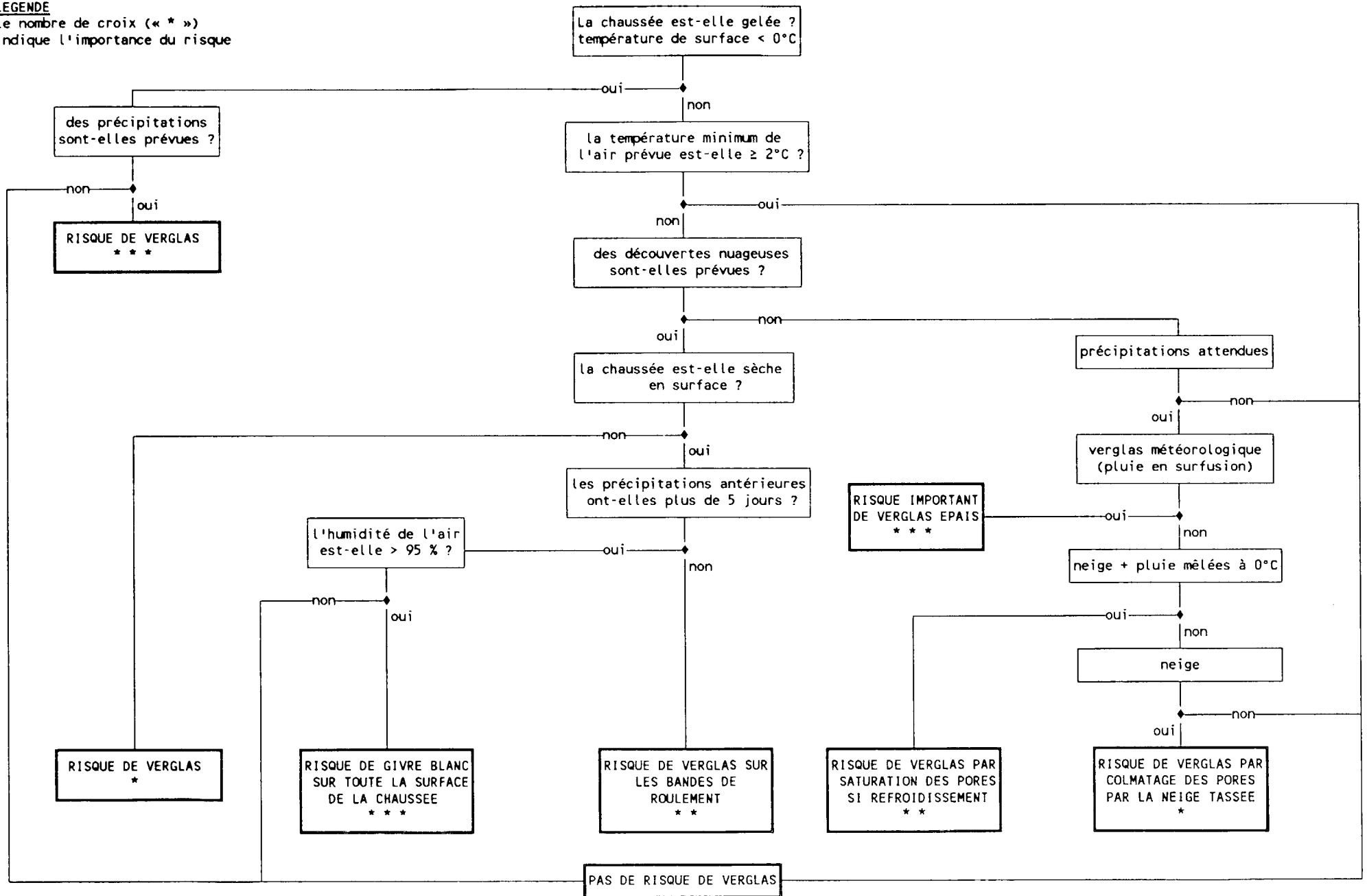
- Utilisation de la bouillie de sel en viabilité hivernale (N° 2, Mai 1984).
- Les fondants chimiques : choisir un sel de déneigement (N° 50, Juin 1989).
- Je sale moins, je sale mieux - Le pense-bête du parfait saleur (N° 53, Décembre 1989).
- Verglas, Mode d'Emploi ! (N° 64, Février 1991).
- Déneigement - Techniques de raclage et matériels (N° 66, Mars 1990).

TABEAU 1

ENROBES DRAINANTS ET VERGLAS
ARBRE DE DECISION

LEGENDE

Le nombre de croix (« * »)
indique l'importance du risque



TABEAU 2

SENSIBILITE AU PROBLEME HIVERNAL ET DIFFICULTES DE TRAITEMENT

LEGENDE

	sensibilité au problème hivernal	▶ ▶ ▶	Echelle : +++/+++/++/+/- (du plus au moins sensible)
difficultés de traitement	(1) sel fin (granulométrie < 1mm) (2) sel en grains (3) saumure de chlorure de sodium (4) bouillie de sel (5) traitements spéciaux (chlorure de calcium (CaCl ₂), chlorure de magnésium (MgCl ₂), "Migaine",...)	▶ ▶ ▶	Echelle : +++/+++/++/+/- (du plus au moins difficile)

TYPES DE PHENOMENES	GENERALITES COMMUNES à ces types de revêtements	ENROBES DRAINANTS	BETONS BITUMINEUX TRES MINCES	ENDUITS SUPERFICIELS MACRO-RUGUEUX	ENROBES DENSES BETONS BITUMINEUX 0/10
CONGELATION D'HUMIDITE PREEXISTANTE	Les quantités d'eau piégées par ces surfaces sont très différentes; le niveau de protection cryogénique pour un même traitement y est étroitement lié. On en tiendra compte dans les dosages en préventif et curatif.	(-) peu d'eau en surface (++) à la suite de précipitations récentes, si l'eau contenue dans la porosité est pompée par le trafic, il y a un risque de verglas dans les bandes de roulement.	(++) l'eau piégée dans la porosité de surface est aisément libérée par le trafic alors que ATTENTION la chaussée peut paraître sèche en surface.	(+) interception possible par le trafic de l'eau piégée dans les lacs intergranulaires.	(++) -
		(+) traitement préventif (4) curatif (1 ou 2)	(++) le préventif tiendra compte de l'eau en quantité parfois importante contenue dans le revêtement. (1 ou 2) curatif (1 ou 2)	(+) préventif (2 ou 4) curatif (1, 2 ou 4)	
GIVRE	Un revêtement jeune (plus noir) est plus sensible aux abaissements radiatifs de température, donc au givrage (condensation solide). Les quantités d'eau condensée étant très faibles, les dosages seront eux-mêmes très faibles : < 10 g/m ² .	(++) la température de surface est plus faible que celle d'un BB dense (l'écart peut atteindre parfois 3°C) car sa conductivité thermique est plus faible.	(+) la température de surface est plus faible que celle d'un BB dense à cause de sa conductivité plus faible (porosité non communicante)	(+) le sommet des granulats est plus exposé au refroidissement et au givrage.	(-)
		(+) préventif et curatif (3 ou 4)	(+) préventif (2 ou 4) curatif (2 ou 4)	(+) prév. (3 ou 4) curatif (2 ou 4)	
PLUIE VERGLACANTE OU EN SURFUSION	En l'absence de traitement préventif, la vitesse de formation et la durée de maintien au sol de ce phénomène, dépendent en partie de la température initiale du revêtement et de sa capacité de "réchauffement géothermique". le traitement préventif est destiné à éviter l'adhésion de la glace sur le revêtement; un traitement curatif de soutien est obligatoire.	(+++) (++) à cause de la surface plus froide et de la difficulté de maintien en surface d'une salinité suffisante.	(+++) (++) surface froide et eau éventuellement piégée dans la porosité ouverte.	(+++)	
		(+++) (++) préventif à effet limité car difficile à maintenir en surface (4) curatif très délicat car la saumure produite s'échappe par la porosité (1 ou 5).	(+++) (++) préventif (1,2 ou 4) curatif (1,2 ou 5)	(+++) (++) préventif (2 ou 4) curatif (1, 2 ou 5)	(+++) (++) préventif (3 ou 4) curatif (1, 2 ou 5)

PLUIE SUR SOL GELE	La durée du verglas est proportionnelle à la température négative de la chaussée mais inversement proportionnelle à la quantité d'eau précipitée et à sa température. Un traitement préventif est généralement suffisant pour neutraliser les risques de verglas.	(+++) revêtement plus sensible dans un premier temps, mais dont la température atteint plus vite celle des précipitations (faible inertie + fonction échangeur) ATTENTION au cas de pluie et neige mêlée à 0 °C.	(+++)	(++)
		(+++) préventif à effet limité (4) (dilution) curatif (1, 2, ou 4)	(++) préventif (2 ou 4) curatif (2)	
BROUILLARD GIVRANT	Le brouillard givrant n'affecte la surface routière que si: - il est très dense et dépose gravitairement (cas très rare) - la chaussée est plus froide que le brouillard (condensation solide) - la chaussée est salée (différence de tension de vapeur d'eau entre la saumure et l'atmosphère).	(++)		
		(++) préventif (4); en cas de salage antérieur, ne traiter que s'il y a un risque de dilution. curatif (1, 2 ou 4)		
NEIGE POUDREUSE	Plus la macrorugosité de la surface est prononcée, plus elle aura tendance à "fixer" la neige en donnant un aspect blanc à la surface. Eviter de traiter cette neige qui est froide et n'adhère pas au revêtement; l'éliminer par raclage.	(++) il y a colmatage de la porosité par le trafic et les outils de déneigement; l'équivalent en eau piégée est important.	(+)	(++)
		(++) ne pas traiter, sauf si des traitements antérieurs fixent la neige au revêtement; dans ce cas (4 ou 5) selon les valeurs de l'humidité relative et de la température de l'air.		
NEIGE HUMIDE	Cette neige est rapidement compactée par le trafic et adhère au revêtement. Elle est rapidement glissante. Eliminer la neige et traiter la pellicule restant à la surface. En l'absence de trafic, le résultat sera décevant car le malaxage de la neige fondante ne se fait pas.	(++) il y a colmatage de la porosité par le trafic et les outils de déneigement; quantité d'eau piégée très importante.	(+)	
		(++) préventif (2 ou 4) curatif (2) après déneigement; Le travail de la neige par le trafic est très réduit; il n'y a pas de projections.	(+) préventif (2 ou 4) curatif (2) après déneigement Le travail de la neige est fait par le trafic.	
NEIGE MOUILLEE (ou bouillie grise)	Cette neige est le résultat d'une précipitation de pluie et neige mêlées ou d'une neige traitée au fondant et travaillée par le trafic. Elle doit être éliminée au rabot si le trafic n'y parvient pas. Elle est glissante. L'adhésion de la glace sur le revêtement, rend obligatoire un traitement curatif de soutien.	(+) sauf colmatage par congélation de l'eau dans les pores, cette neige mouillée s'évacue bien. ATTENTION en cas d'abaissement de la température car la température de surface de la chaussée est voisine de 0°C.	(+)	
		(+) curatif (2) après rabot ATTENTION: la salinité résiduelle est faible ou inexistante après ce phénomène.	(+) curatif (2) après rabot	

**NOTES D'INFORMATION ÉDITÉES PAR LE S.E.T.R.A.
DANS LA SÉRIE "CHAUSSÉES-DÉPENDANCES"
DEPUIS LE 1^{er} JANVIER 1990**

- N° 54** Remblais ultra-légers sur sols compressibles
(DTCA-CETE Nord-Picardie)
- N° 55** Règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques
(SETRA-CSTR/LPC)
- N° 56** Limites et intérêts du colmatage des fissures de retrait des chaussées semi-rigides
(SETRA-CSTR/LPC)
- N° 57** Techniques pour limiter la remontée des fissures à la surface des chaussées semi-rigides à couche de base traitée aux liants hydrauliques
(SETRA-CSTR/LPC).
- N° 58** Renouvellement des matériels d'entretien routier (éléments d'appréciation)
(SETRA-CSTR).
- N° 59** Traitement des sols à la chaux et (ou) aux ciments - Présentation synthétique des aspects : technique, économique
(DTCES-CETE Sud-Ouest).
- N° 60** Choix des bitumes pour travaux sur routes à fort trafic
(Groupe "Qualité des bitumes").
- N° 61** Organisation de l'entretien routier courant - état des réflexions en DDE
(SETRA-CSTR)
- N° 62** "ERASMUS" un système expert pour l'entretien routier
(CETE-Méditerranée).
- N° 63** Résistance des bordures et caniveaux en béton aux effets du gel
(Groupe de travail)
- N° 64** Verglas, Mode d'Emploi !
(SETRA-CSTR)
- N° 65** Normalisation française dans le domaine des granulats
(SETRA-CSTR/LCPC)
- N° 66** Déneigement - Techniques de raclage et matériels
(CETE de l'Est)

Cette note a été rédigée par :

J. LIVET - Laboratoire Régional de Nancy
71, rue de la Grande-Haie - BP 8 - 54510 TOMBLAINE - ☎ (16) 83.21.52.09
F. ROSE
Centre de la Sécurité et des Techniques Routières (C.S.T.R.)
Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.)

S.E.T.R.A., 46, Avenue Aristide-Briand, 92223 BAGNEUX - France
☎ (1) 42.31.31.31 - Téléx : 260763 SETRA BAGNX
Renseignements techniques : D. BOUEY - S.E.T.R.A. - C.S.T.R. - ☎ (1) 42.31.34.10
Bureau de vente : ☎ (1) 42.31.31.55 - (1) 42.31.31.53 - Référence du document : **D 9123**
Classification thématique au catalogue des publications du SETRA : **D05**

AVERTISSEMENT :

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son auteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.