



N° 43
DÉCEMBRE
2020

Sommaire

- 1 | Introduction
- 2 | Cadre d'application
- 3 | Choix des matériaux
- 4 | Formulation
- 5 | Précautions de mise en œuvre
- 6 | Perspectives
- 7 | Conclusion

1 Introduction

Lors de l'hiver 2009-2010, de nombreuses dégradations sont apparues sur les réseaux routiers du nord-est de la France. Suite à cet épisode, différents rapports d'experts ont été rédigés, notamment ceux de Daniel Pendarias (MTE / DIR / MARRN) et de Jean-François Corte et Pierre Garnier (MTE / CGEDD), tentant d'apporter des explications au phénomène constaté. Un suivi particulier de ce qui a été appelé « *dégâts hivernaux* » (décollement par plaques, nids de poule, faïençage, arrachements, etc.) a également été mis en place sur le réseau routier national.

C'est dans ce cadre qu'un groupe de travail IDRRIM a été constitué afin d'essayer de mieux comprendre les origines techniques de ces dégradations particulières.

Ce travail a permis d'identifier certains phénomènes récurrents influant sur la durée de vie des couches de roulement, notamment celles subissant des conditions climatiques rigoureuses.

Le présent document a pour objectif de proposer des recommandations aux maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvres, intervenant dans des zones soumises à des conditions hivernales rigoureuses à très rigoureuses afin de limiter ces risques.

La note se décline suivant quatre axes principaux :

- Le choix des matériaux ;
- La formulation ;
- Les conditions de mise en œuvre ;
- Les perspectives.

2 Cadre d'application de la présente note

Même si certaines recommandations peuvent s'appliquer à l'ensemble des travaux de mise en œuvre et de réhabilitation des couches de roulement, la présente note vise les zones à conditions hivernales rigoureuses, c'est-à-dire celles classées H3 ou H4, donc pour lesquelles $J1+J2+J3$ est supérieur à 30, avec :

- J1 : nombre moyen annuel de jours au cours desquels est constatée une chute de neige suffisante pour blanchir une chaussée non salée ;
- J2 : nombre moyen annuel de jours au cours desquels est constatée l'apparition de verglas sous précipitation ;
- J3 : nombre moyen annuel de jours au cours desquels est constatée l'apparition de verglas hors précipitation.

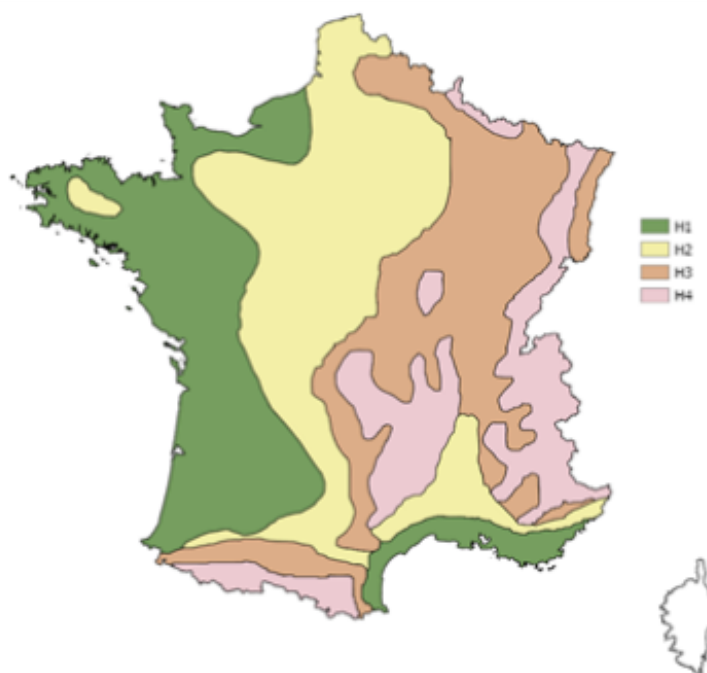


Figure 1 : Classement en zones hivernales Hi

Cette carte, établie à l'échelle nationale au début des années 2000, peut être ajustée au niveau local en fonction des contraintes spécifiques rencontrées (points particuliers) et de l'évolution des conditions climatiques constatée ces dernières années.

Les recommandations suivantes doivent aussi être adaptées à la politique d'entretien du gestionnaire, à la typologie du réseau et au volume de trafic, notamment poids-lourds.

Pour définir une technique d'entretien, une bonne connaissance de l'état de la chaussée et de la nature des dégradations demeure indispensable.

3 Choix des matériaux

Les paragraphes suivants récapitulent les principales recommandations à respecter, en fonction de la nature de la couche de roulement, lors de travaux neufs ou d'entretien.

Certaines recommandations diffèrent des propositions des différents catalogues de structure qui ne pouvaient intégrer l'ensemble des particularités climatiques du territoire.

La résistance d'une couche de roulement aux hivers rigoureux dépend essentiellement de sa capacité à limiter l'infiltration et l'accumulation d'eau. Pour cette raison, les revêtements ont été scindés en deux grandes catégories :

- Les revêtements poreux et drainants :
 - Couches minces et très minces ;
- Les revêtements imperméabilisants :
 - Couches de roulement denses et épaisses (EB BBSG – EB BBME),
 - Revêtements superficiels.

Les revêtements minces et très minces (BBDr, BBM et BBTM)

Il s'agit de revêtements à matrice granulaire discontinue mis en œuvre en couches minces ou très minces (≤ 4 cm). Ces couches poreuses ou drainantes nécessitent un support cohésif, dense et imperméabilisé. Une minutie particulière doit être apportée à la qualité du support et aux conditions de collage.

Ces revêtements nécessitent des conditions de mise en œuvre optimales (propreté du support, température et hygrométrie ambiante, homogénéité altimétrique du support). Ces conditions sont parfois incompatibles avec les contraintes des chantiers furtifs et le travail en arrière-saison.

Leur faible épaisseur entraîne des fragilités au niveau de l'interface avec la couche inférieure (contraintes de cisaillement importantes, notamment dans les zones d'entrecroisements ou les tracés à faible rayon) et ne permet pas de retarder les remontées de fissures liées aux effets de contraction/dilatation des couches d'assise rigides.

Sous fort trafic poids-lourds, leur cinétique de dégradation en hiver peut s'accélérer fortement après 8 à 10 ans d'usage. Ce qui nécessite généralement des renouvellements après 10 à 14 ans d'usage.

Trois éléments majeurs sont à retenir pour toutes les couches de roulement minces :

- En travaux neufs comme en entretien, **proscrire l'empilement de couches minces** (BBTM sur BBTM ou BBM, voire BBM sur BBM) ;
- En entretien, **s'assurer du bon état de la couche inférieure**. Les couches dégradées (y compris ESU ou BBSG) doivent être fraisées. Eventuellement, si la dégradation est localisée, une réparation ponctuelle peut être acceptée ;
- Dans les zones à hiver particulièrement rigoureux, **ne pas mettre en œuvre la couche de roulement mince directement sur un support rigide** (béton, MTLH ou EME).

■ Béton bitumineux drainant (BBDr)

En raison des difficultés à maintenir une viabilité hivernale suffisante, ce type de revêtement est à éviter. En effet, la température de surface d'un BBDr est, à conditions égales, généralement plus faible que celles des autres revêtements. Cela implique une surveillance plus importante et des interventions de déverglaçage ou de déneigement plus fréquentes.

Lorsque l'objectif est de réduire le bruit de roulement, le BBDr peut être remplacé par un BBTM ou un BBM, sous réserve de respecter les recommandations listées aux paragraphes suivants.

Lors de travaux d'entretien, le rechargement sur BBDr ancien est à proscrire, car ce type de couche a tendance à accumuler et conserver l'eau (effet « réservoir »), ce qui la rend très vulnérable aux cycles pluie/gel/dégel. Il convient donc de fraiser la couche de BBDr avant de construire une nouvelle couche de roulement.

■ Béton bitumineux très mince (BBTM)

Concernant les BBTM de classe 2 : leur matrice granulaire génère de nombreux vides communicants et donc, des comportements hivernaux semblables au BBDr. Hormis pour des besoins particuliers et impératifs de réduction de nuisance sonores, il est recommandé de proscrire ce type de BBTM.

Du fait de leur forte macrotecture, les BBTM 0/10 présentent une plus grande sensibilité en viabilité hivernale, le passage des lames de déneigement pouvant entraîner un arrachement des gravillons.

BBTM en travaux neufs ou réhabilitation

Les BBTM peuvent être utilisés sans difficulté en couche de roulement, sous réserve de respecter quelques principes :

- Ne pas mettre en œuvre un BBTM sur une couche rigide (MTLH, béton) ou un EME ;
- Éviter la mise en œuvre d'un BBTM directement sur la couche d'assise (GB) ;
- La réalisation d'une couche de liaison d'au minimum 6 cm d'épaisseur avec une texture fermée permettant d'étanchéfier la structure est fortement recommandée. Les BBSG sont particulièrement adaptés ;
- La couche d'accrochage sera dosée a minima à 450 g/m² de liant résiduel. Une attention particulière sera apportée à sa procédure d'application de façon à maintenir en place le dosage lors de l'application des enrobés (collage aux pneus d'approvisionnement, remontée de liant, ...). Le recours à une émulsion à rupture rapide intégrant un liant résiduel de consistance élevé peut répondre à cet objectif.

BBTM en entretien

Le rechargement n'est pas possible :

- Sur une couche mince (BBTM ou BBM), quel que soit son état ;
- Sur un BBSG fissuré ou dégradé ;
- Sur un ESU vieilli.

Dans ce cas, il est nécessaire de raboter au préalable la couche concernée, nettoyer soigneusement le support (enlèvement de toutes les fines et de toutes les plaques d'enrobé décohésionnées), reprofiler le support fraisé et, le cas échéant, réaliser l'imperméabilisation du support par une technique adaptée aux contraintes du gestionnaire (ESU, MBCF, sable enrobé, membrane épaisse, ...).

Lorsque le support est rigide (MTLH, EME), la réalisation d'une couche de liaison (typiquement BBSG) est nécessaire.

En rechargement sur un ESU ou BBSG en bon état, il convient de purger au préalable les défauts ponctuels et de nettoyer le support.

La couche d'accrochage sera dosée a minima à 450 g/m² de liant résiduel. Une attention particulière sera apportée à sa procédure d'application de façon à maintenir en place le dosage lors de l'application des enrobés (collage aux pneus d'approvisionnement, remontée de liant, ...). Le recours à une émulsion à rupture rapide intégrant un liant résiduel de consistance élevé peut répondre à cet objectif.

■ Béton bitumineux mince

Ce type de couche de roulement ne pose pas de difficulté particulière. Les recommandations de mise en œuvre sont identiques à celles des BBTM :

- Ne pas mettre en œuvre directement sur une couche rigide (MTLH, EME) ;
- Proscrire l'empilement de couches minces (BBM sur BBTM voire BBM sur BBM) ;
- S'assurer de la qualité du support et de son étanchéité avec éventuellement la réalisation d'un enduit d'étanchéification ;
- Veiller au bon accrochage avec une couche d'accrochage dosée a minima à 450 g/m².

Les revêtements épais : BBME et BBSG

Ces enrobés à matrice granulaire continue sont denses et ont une macrotecture plus fermée. De ce fait, ils sont moins sensibles au départ de gravillons en surface et à l'infiltration d'eau. De par leur formulation et leur épaisseur d'application, ils tolèrent également des conditions de mise en œuvre moins contraignantes que les techniques minces. Sous fort trafic et conditions hivernales agressives, ils présentent une cinétique de dégradation plus lente que les formules discontinues permettant ainsi plus de souplesse sur la temporalité des renouvellements de couches.

■ Béton bitumineux à module élevé (BBME)

La recherche du module élevé en couche de roulement n'a d'intérêt que pour limiter les épaisseurs d'enrobés bitumineux en réhabilitation (problème de seuils en traverse, problème de réseau, ...).

Pour limiter les épaisseurs de couche d'enrobés bitumineux en zone à hiver agressif, il conviendrait plutôt de rechercher une résistance à la fatigue élevée. Pour cela, l'utilisation des liants modifiés par des polymères donnent de bons résultats.

La recherche de performances à l'orniérage est à regarder dans le cadre des EB-BBSG qui présentent des niveaux de performances équivalents au BBME.

Les EB-BBME constitués avec un bitume dont le grade est inférieur ou égal au grade 20/30 génèrent de la fissuration dite « *par le haut* » liée à la fragilité à froid de ces bitumes. Cette fissuration anarchique entraîne des difficultés considérables d'entretien.

Il convient donc de proscrire l'utilisation de ce type de BBME en couche de surface dans les zones à hiver rigoureux.

Pour le traitement des points singuliers avec fortes sollicitations vis-à-vis de l'orniérage (giratoires, voies bus...), l'utilisation de BBSG avec liant modifié aux polymères représente une bonne alternative.

■ Béton bitumineux semi-grenu (BBSG)

Cette technique de couche de roulement est bien adaptée aux zones à hiver agressif, sous réserve de respecter les consignes de mise en œuvre citées en II.

La mise en œuvre sur un BBM ou un BBTM est à proscrire.

Un dosage classique de la couche d'accrochage à 300 g/m² de bitume résiduel est demandé.

■ Béton bitumineux pour chaussée souple (BBCS)

Par sa formulation (matrice généralement continue ; module de richesse élevé ; bitume de grades « *mous* » 70/100 voire 160/220) cette technique est bien adaptée pour l'entretien de chaussée faiblement circulée et peu structurée, y compris dans les zones à hiver agressif.

Revêtements superficiels

La durée d'usage des Enduits Superficiels d'Usure (ESU) et des Matériaux Bitumineux Coulés à Froid (MBCF) dépend fortement de la formulation, de l'état du support, de la qualité des constituants et de leur mise en œuvre.

En solution d'entretien anticipé, sur couche de roulement existante propre et peu fissurée, ce type de traitement peut prolonger la durée d'usage de la couche de roulement de plusieurs années (typiquement 10 à 20 ans pour les ESU et 7 à 10 ans pour les MBCF).

Sur support avec de la fissuration active (hors fissuration thermique), les revêtements superficiels vieillissent mal, car, d'une part, ils ne permettent pas d'arrêter la remontée de fissures et, d'autre part, ils peuvent se décoller du fait de l'infiltration de l'eau.

La formulation des ESU sur des supports dégradés est d'autant plus compliquée que le trafic est élevé. Sur les itinéraires les plus circulés, les ESU doivent donc être mis en œuvre sur des supports homogènes, peu dégradés. Pour les MBCF, il convient d'apporter une vigilance particulière sur la déformabilité du support (déflexion < 50/100^e mm pour trafic ≥ T1).

4 Formulation

Pour améliorer la résistance des matériaux routiers aux conditions hivernales sévères, leur formulation devra respecter les principes ci-dessous relatifs au choix des liants bitumineux et aux performances de tenue à l'eau des matériaux.

Caractéristiques des liants bitumineux

Pour les trafics poids-lourds moyens ou forts (T3 et supérieurs), l'usage des liants modifiés par ajout de polymères SBS est préconisé pour les couches de roulement.

Les performances à viser pour les liants modifiés (selon NF EN 14023) sont les suivantes :

- Température bille-anneau (NF EN 1427) ≥ 60 °C ;
- FRAASS (NF EN 12593) ≤ -12 °C ;
- Retour élastique à 10°C (NF EN 13398) ≥ 75 % ;
- Essai de traction à 5°C (NF EN 13587 – NF EN13703) > 3 J/cm².

Après durcissement RTFOT à 163°C (NF EN 12607-1), les spécifications sont les suivantes (norme NF EN 12591) :

- Variation de masse (NF EN 12607-1) $\leq 0,5$ % ;
- Augmentation du point de ramollissement (NF EN 1427) ≤ 8 °C ;
- Pénétrabilité restante (NF EN 1426) ≥ 60 %.

Après durcissement et vieillissement PAV à 100°C / 20 h (selon NF EN 12607-1 + NF EN 14769) :

- Augmentation du point de ramollissement (NF EN 1427) ≤ 16 °C ;
- Respect des valeurs déclarées par le producteur pour les essais :
 - DSR : Détermination du module complexe en cisaillement et de l'angle de phase – rhéomètre à cisaillement dynamique (selon NF EN 14770) ;
 - BBR : Détermination du module de rigidité en flexion – Rhéomètre à flexion de barreau (selon NF EN 14771).

L'usage de liants réticulés est à privilégier du fait de leurs performances améliorées pour des températures de service aussi bien élevées que basses, ainsi que pour la durabilité de ces performances dans le temps.

Pour les formules intégrant des agrégats d'enrobés, les recommandations ci-dessus valent pour

le liant final (mélange du liant d'apport et du liant des agrégats). L'incorporation d'agrégats modifie les caractéristiques du liant final de l'enrobé. Cette considération doit être prise en compte lors de l'étude de formulation en ayant recours à un liant modifié adapté et/ou en réduisant le taux d'agrégats.

NB : À ce jour, nous ne disposons pas de données suffisantes pour fixer des préconisations précises. Le fait de demander ces essais permettra de constituer une base de données et d'alimenter des retours d'expérience.

Pour les trafics poids-lourds faibles (< T3), l'usage de bitume pur routier conforme à la norme NF EN 12591 est accepté. Cependant, les grades de bitumes routiers inférieurs à 35/50 sont à proscrire en couche de roulement. L'ajout systématique d'agrégats d'enrobés doit être pris en compte. Ainsi, ce sont les caractéristiques du liant final (du mélange) qui doivent être celles d'un bitume 35/50 (voire 50/70 pour les trafics plus faibles ou au-dessus de 700 m, et 70/100 au-dessus de 1 000 m). Il convient donc d'adapter le choix du bitume d'apport suivant cette contrainte (choix d'un bitume plus « mou »).

Quelle que soit la classe de trafic, les bitumes purs sont à proscrire pour les BBTM et les BBM.

■ Liants pour enduits et revêtements superficiels

La seule performance à imposer, dans le cadre d'une approche performantielle, correspond au maximum de l'essai de cohésion au mouton-pendule (selon NF EN 13588).

Il devra être supérieur ou égal à 1,2 J/cm² (sur le liant stabilisé), pour les trafics forts et pour les zones les plus rigoureuses d'un point de vue climatique.

Les produits seront également sélectionnés en prenant en compte les valeurs usuelles des autres caractéristiques du liant stabilisé (selon NF EN 13074-2) :

- Point de ramollissement – méthode bille et anneau (NF EN 1427) $\geq 48^{\circ}\text{C}$;
- FRAASS (NF EN 12593) $\leq - 16^{\circ}\text{C}$ pour le liant stabilisé des ESU ;
- FRAASS (NF EN 12593) $\leq - 12^{\circ}\text{C}$ pour le liant stabilisé des MBCF.

Pour plus de précisions, se référer aux guides Cerema-IDRRIM « *Enduits Superficiels d'Usure* »¹ et « *Matériaux Bitumineux Coulés à Froid* »².

1 www.idrrim.com/publications/5277.htm

2 www.idrrim.com/publications/5280.htm

Composition des enrobés

■ Tenue à l'eau

Faute d'essai pertinent à ce jour pour évaluer l'arrachement prématuré des granulats en couche de roulement, une attention particulière doit être apportée à l'affinité liant/granat.

Dans les régions où des problèmes de tenue à l'eau sont avérés, il est recommandé d'augmenter les exigences en matière de tenue à l'eau de : 0,10 (NF EN 12697-12 méthode A) et 10 (NF EN 12697-12 méthode B) par rapport à la valeur minimale de la norme.

Par exemple, l'apport d'adjuvants (ajout de dope d'adhésivité ou de chaux hydratée) peut constituer une solution.

■ Module de richesse

Le module de richesse K (tel que défini dans la norme NF P 98-149) traduit l'épaisseur conventionnelle du film de liant enrobant le granulat. Il influence donc directement la tenue à l'eau et la durabilité des performances des enrobés.

Pour affiner le jugement des performances des enrobés proposés, il est recommandé aux maîtres d'ouvrages de demander à ce que les valeurs du module de richesse des enrobés soient documentées lors des épreuves de formulation.

Pour certaines conditions d'usage ou opérations particulières, la spécification d'une valeur de module de richesse pourra être envisagée sur la base des valeurs usuelles identifiées dans le tableau 1 ci-après.

Tableau 1 – Valeurs usuelles du module de richesse pour les enrobés recommandés pour les couches de roulement soumises à des conditions climatiques hivernales rigoureuses

TYPE D'ENROBÉS	CLASSES GRANULAIRES		
	0/6	0/10	0/14
BBSG	-	$K \geq 3,4$	$K \geq 3,2$
BBME	-	$K \geq 3,5$	$K \geq 3,3$
BBM	-	$K \geq 3,3$	$K \geq 3,2$
BBTM	$K \geq 3,5$	$K \geq 3,4$	-

5 Précautions de mise en œuvre

Préambule

Comme pour tous les chantiers, la réalisation de couche de roulement en zone à hiver rigoureux nécessite une bonne maîtrise des conditions de mise en œuvre :

- Qualité du support (traitement des fissures, suppression du feuilletage, balayage, ...)
- Couche d'accrochage (qualité, dosage et rupture) ;
- Conformité de la fabrication avec l'étude de formulation (teneur en liant, granulométrie, ...)
- Température de mise en œuvre ;
- Conditions météorologiques ;
- Compacité.

Mais aussi :

- Qualité des joints longitudinaux ;
- Traitement des fissures transversales ;
- Gestion des zones difficiles à compacter ;
- Qualité du démarrage des travaux (début de section) ;
- Macrotecture ;
- Gestion des zones sinueuses en altitude.

Ces six derniers points seront évoqués de manière plus détaillée dans la suite de la note. Il a en effet été constaté que de nombreuses dégradations qualifiées de « *dégâts hivernaux* » résultaient de la non-maîtrise de l'un de ces éléments.

Enfin, à titre de rappel, la qualité de l'assainissement et de son entretien joue un rôle primordial en ce qui concerne la résistance des chaussées aux intempéries. La présence d'eau dans le corps de chaussée représente en effet un facteur majeur d'accélération des dégradations.

Joints de construction

■ Joints longitudinaux

Le mauvais état des joints longitudinaux est un facteur fréquent de dégât hivernal avec des conséquences non-négligeables sur les coûts d'entretien.

Ils sont souvent liés à la négligence lors de travaux.

Pour éviter ces désordres aux joints des couches de roulement il est recommandé de se conformer aux dispositions constructives suivantes :

- Autant que possible être évités via une mise en œuvre de la couche de roulement avec un finisseur pleine largeur pour les voies circulées (à systématiser sur routes à chaussées séparées, à rechercher sur bidirectionnelle) ;

- Lorsqu'il n'est pas possible de disposer d'un finisseur pleine largeur, la réalisation d'un « joint à chaud » avec deux finisseurs réellement en parallèle (c'est-à-dire avec une interdistance inférieure à 20 m) doit être recherchée ;
- Enfin, lorsque les deux solutions précédentes sont impossibles, le joint est considéré comme « à froid » et la mise en place d'un joint « thermofusible » est fortement recommandée, sous réserve de respecter les conditions de mise en œuvre ;
- A minima, une émulsion sablée (mastic) doit être utilisée. Un pontage à un an est alors à prévoir.

En aucun cas, les joints ne doivent se situer en bande de roulement.

Même réalisés avec deux finisseurs en parallèle, les joints de couche de roulement ou ceux des couches inférieures peuvent devenir visibles en quelques années. Il faut alors les ponter sans attendre.

■ Joints transversaux de démarrage.

Ils doivent se conformer aux prescriptions de la norme NF P 98-150-1.

Les joints thermofusibles doivent être privilégiés.

Concernant leur étanchéité, il convient de se rapporter à l'article sur les joints longitudinaux à froids ci-dessus.

Fissures transversales

■ Entretien courant

La fissuration transversale des structures semi-rigides et mixtes se traite en surface par pontage spécifique avec mastic devant répondre aux spécifications de la norme NF EN 14188-1 de février 2005, relative aux spécifications pour produits de scellement appliqués à chaud.

Il est possible de retarder ou d'espacer les remontées de fissures par différentes méthodes, il ne s'agit cependant que de méthodes retardatrices.

Il convient d'être vigilant sur l'apparition des fissures de façon à intervenir lorsqu'elles sont les plus fines possibles et bien avant le début de ramification.

■ Réfection de la couche de roulement par rechargement

Le rechargement, après pontage des fissures transversales, constitue un entretien classique.

Dans ce cas, le pontage doit être réalisé idéalement l'année précédant les travaux de rechargement. Concernant les modalités de caractérisation et de traitement des fissures, il convient de se référer au Guide Cerema-IDRRIM « *Diagnostic et conception des renforcements de chaussées* »³.

Il ne faut cependant pas espérer contenir des fissures transversales actives dues à des matériaux traités aux liants hydrauliques par la mise en œuvre d'une simple couche de roulement. En effet, même avec un BBSG, les fissures remontent en surface en moins de 5 ans.

3 www.idrrim.com/publications/4560.htm

■ Réfection de la couche de roulement avec fraisage

Dans le cas où la solution de travaux prévoit un fraisage de la couche de roulement, il est fortement recommandé de traiter de manière pérenne les fissures apparentes après fraisage. Il convient d'adapter la réparation en fonction de la largeur de la fissure et de sa nature (active ou pas). Cette étape doit être prévue au moment de la commande et intégrée dans le planning des travaux. Il peut être également envisagé la pose de géogrille à l'interface pour limiter et retarder les remontées de fissures.

Le choix entre les différents types de réparation peut être effectué en se basant sur les critères suivants :

- Fissure fine : traitement à l'émulsion ou surdosage de la couche d'accrochage ;
- Fissure < 1 cm non ramifiée : pontage ;
- Fissure < 3 cm non ramifiée : garnissage de la fissure et mise en œuvre d'une géogrille ;
- Fissure > 3 cm ou ramifiée : purge sur une largeur suffisante pour permettre le compactage et sur l'ensemble de l'épaisseur des MTLH. Il est important que la purge soit effectuée sur l'ensemble de l'épaisseur de la couche de MTLH car un fraisage partiel entraîne un risque important de flambement en cas de forte chaleur du fait du gradient thermique et du report des efforts de dilatation sur une surface plus faible.

Une mauvaise application de géogrille peut générer des désordres structurels importants. Concernant la pose de géogrille, les préconisations suivantes sont à respecter :

- Mise en œuvre sur un support sec et sain (matériaux propres et en bon état) ;
- Ancrage sur une longueur suffisante (au moins 50 cm de part et d'autre de la fissure) ;
- Fixation de la géogrille par clouage ou agrafage ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage, éventuellement surdosée, en dessous de la grille ;
- Suivant le type de géogrille et les préconisations du fournisseur, la mise en œuvre d'une seconde couche d'accrochage au-dessus de la grille peut s'avérer nécessaire ;
- Limitation de la circulation sur la grille avant que celle-ci ne soit recouverte.

D'une manière générale, il convient de toujours respecter le mode opératoire du fabricant et de vérifier le collage des couches suite aux travaux.

L'utilisation d'une géogrille peut permettre d'améliorer la résistance à la traction mais peut réduire la résistance à l'interface entre les deux couches de matériaux (surface de contact moindre). La mise en œuvre d'une géogrille ne doit pas aboutir à une réduction de l'épaisseur des couches de matériaux.

Compactage des enrobés

Les dégradations hivernales, et particulièrement la création de nids de poules et d'arrachement ponctuels, dépendent souvent de négligence à l'application et d'un mauvais compactage des enrobés bitumineux.

Pour limiter les coûts d'entretien, il convient de mettre l'accent sur le contrôle de mise en œuvre des enrobés en tous points : y compris aux niveaux des îlots, à proximité des joints lors de travaux sous circulation, sur les OA, ...

Pour les enrobés denses ou minces, outre le respect des épaisseurs, des conditions météorologiques et de température du support (pas trop froid sinon l'enrobé appliqué va refroidir trop vite) et de la couche mise en œuvre, il convient de toujours veiller à l'homogénéité du compactage. Quelles que soient les difficultés d'accès du compacteur, il est impératif de densifier les enrobés et donc de prévoir le matériel adapté.

Le contrôle du compactage doit faire l'objet de mesures normalisées.

Les points de vigilance particuliers sont les suivants :

- Travail manuel au démarrage ;
- Finisseur non préchauffé ;
- Enrobés refroidis ;
- Zones difficiles d'accès ;
- Arrêts de table, ...

Macrotecture

La macrotecture a pour fonction principale de faciliter l'évacuation de l'eau à la surface d'un revêtement et de limiter ainsi le risque d'aquaplanage. C'est un paramètre prépondérant de l'adhérence, surtout à haute vitesse, où la macrotecture permet de générer des efforts de résistance au roulement par indentation des granulats dans la gomme des pneumatiques.

Toutefois, dans les zones aux conditions climatiques rigoureuses, atteindre un niveau de macrotecture trop important peut être préjudiciable pour la bonne tenue dans le temps des enrobés. Un revêtement avec une macrotecture très « ouverte » sera aussi plus difficile à déverglacer au moment de l'exploitation et sera plus sensible aux agressions mécaniques induites par les engins de déneigement.

La note technique du 30 septembre 2015 relative à l'adhérence des couches de roulement neuves du domaine routier national donne des valeurs minimales de PMT à respecter en fonction de la configuration des voies et des vitesses autorisées. La norme NF EN 98-151-1 donne des valeurs de PMT minimales par type de revêtement afin de choisir le revêtement à adapter pour respecter la note technique. Cependant, dans ces deux documents, il n'existe pas de valeurs hautes de PMT.

Certains gestionnaires ont instauré des limites hautes de valeurs de PMT depuis plus de 30 ans en constatant une nette amélioration de l'homogénéité de surface.

Au vu des résultats de ces expérimentations, les seuils suivants peuvent être imposés dans les marchés d'entretien et de construction.

Tableau 2 – Valeurs de PMT préconisées en fonction des types de couches de roulement

PRODUIT		PMT MINIMALE	90 % DES VALEURS	PMT MAXIMALE
BBM	A 0/10, A 0/14, B 0/14	0,6 mm	0,7 < 90 % PMT < 1,2 mm	1,4 mm
	B 0/10, C 0/10	0,4 mm	0,5 < 90 % PMT < 1,1 mm	1,3 mm
BBSG et BBME	0/10	0,4 mm	0,5 < 90 % PMT < 1,0 mm	1,3 mm
	0/14	0,5 mm	0,6 < 90 % PMT < 1,1 mm	1,4 mm
BBTM	0/6	0,5 mm	0,7 < 90 % PMT < 1,2 mm	1,4 mm
	0/10	0,7 mm	0,9 < 90 % PMT < 1,3 mm	1,6 mm

NB : les valeurs de ce tableau s'appliquent à l'essai PMT. Elles ne sont pas directement transposables, pour les valeurs maximales, aux valeurs de PMP et PTE.

Débuts de section

Dans de nombreux cas, des défauts particuliers ont été constatés en début de section, essentiellement pour des BBTM.

Ces points sont souvent moins contrôlés alors qu'ils représentent un enjeu particulier.

Il est nécessaire de veiller :

- À ce que la température du premier camion posé soit suffisante ;
- Au bon approvisionnement du chantier afin d'éviter des arrêts de finisseur ayant un impact sur la macrotexture ;
- À ce que l'atelier de compactage soit en place ;
- À avoir un bon uni au niveau du joint de reprise ;
- Privilégier un joint thermofusible au niveau des reprises pour avoir un bon collage et une bonne étanchéité.

Tracé à faible rayon

Les ESU et les MBCF sont à proscrire dans les zones sinueuses de montagne, notamment en

présence de trafic poids-lourds important.

Il est conseillé de mettre en œuvre des couches de roulement d'épaisseur suffisante (type BBSG de 5 à 7 cm) avec une couche d'accrochage à l'émulsion de bitume modifié.

Lors du choix de la formulation de l'enrobé, un liant modifié aux polymères est aussi conseillé. L'ajout de fibre peut être envisagé.

Concernant les conditions de mise en œuvre, une vigilance particulière est requise sur :

- La température des enrobés ;
- La couche d'accrochage ;
- Le compactage ;
- La position des joints longitudinaux (à éviter autant que possible, les usagers ayant tendance à « *couper les virages* », le joint sera circulé même s'il est en axe de chaussée) ;
- La macrotecture, qui doit se situer dans la tranche basse des valeurs indiquées dans le tableau 1.

En entretien courant, il est important de réaliser le pontage des fissures dès que celles-ci atteignent une largeur de 2 mm.

L'entretien de l'assainissement constitue aussi un point de vigilance important.

6 Perspectives

Les paragraphes suivants traitent de techniques ou de préconisations en terme de formulation pour lesquelles des expérimentations encourageantes ont été réalisées mais dont les résultats sont actuellement insuffisants pour conclure de manière définitive.

Nous invitons donc les maîtres d'ouvrage et entreprises ayant des retours d'expérience sur ces techniques, qu'ils soient positifs ou négatifs, à transmettre leurs résultats au Cerema (Direction Technique Infrastructures Transports et Matériaux).

Les revêtements superficiels combinés

Il s'agit d'un complexe associant un Enduit Superficiel (ES) spécifique (maille ouverte) et un Mélange Bitumineux Coulé à Froid (MBCF), appelé Revêtement Superficiel Combiné (RSC).

Cette nouvelle technique permettrait de combiner les avantages des Enduits Superficiels d'Usure (ESU) et des Matériaux Bitumineux Coulés à Froid (MBCF), en terme d'étanchéité notamment, en minimisant leurs inconvénients et en augmentant leur durabilité.

La note d'information n°35 de l'IDRRIM de janvier 2018⁴ fournit aux maîtres d'ouvrage des éléments d'aide à la décision pour intégrer progressivement cette technique dans leur politique d'entretien des chaussées.

Le Stone Mastic Asphalt (SMA)

En Allemagne, Suisse et Alsace, les SMA sont utilisés avec de bons résultats.

Ils offrent :

- Une compacité importante ;
- Une macrotecture élevée ;
- Une bonne tenue à l'eau.

Les caractéristiques du SMA sont définies dans la norme NF EN 13108-5.

Il s'agit d'un enrobé à granularité discontinue comportant une forte teneur en liant (de l'ordre de 6,5 %), un taux de fines assez important et dans lequel sont intégrées des fibres de cellulose. En fonction du type de trafic, le liant utilisé peut être un bitume pur ou un bitume modifié aux polymères.

L'épaisseur de mise en œuvre est de l'ordre de 4 cm (similaire à un BBM).

Intégration de chaux

De nombreux désordres hivernaux ont montré, toutes choses égales par ailleurs, que les granulats

4 www.idrrim.com/publications/5652.htm

répondaient différemment au désenrobage en surface en fonction de leur affinité avec les liants bitumineux. Les essais actuels de tenue à l'eau ne semblent pas suffisamment pertinents pour éliminer contractuellement les granulats sensibles au désenrobage.

En attendant des avancées sur un éventuel essai discriminant, il convient donc de se fier au retour d'expérience des gestionnaires tout en sachant qu'une grande partie des granulats en couche de roulement sur le territoire donne de bons résultats d'adhésivité naturellement sans additif. Historiquement pour remédier à ce problème, il était utilisé des dopes d'adhésivité pour les granulats à faible affinité. Ces dernières années, d'autres méthodes comme l'apport de chaux hydratée sous forme de filler actif, ont été expérimentées. Les résultats paraissent encourageants dans des zones à hiver rigoureux. Ces expériences méritent d'être poursuivies pour consolider le process.

Des expérimentations réalisées notamment dans les Vosges sur réseau structurant ou sur réseau autoroutier ont montré qu'une solution consistant à ajouter 1,5 à 2 % (sans dépasser 2 %) de chaux hydratée dans les formules des BBSG était prometteuse. Elle permettrait d'augmenter la durée de vie des couches de roulement dans les zones à climat rigoureux.

Caractéristiques du bitume

Le rhéomètre à flexion de poutre (BBR) est un dispositif de mesure permettant de décrire le comportement du bitume à basses températures de service et de fournir des informations sur la rigidité du liant.

Le principe de l'essai, décrit dans la norme NF EN 14 771, consiste à appliquer au milieu d'un barreau de bitume une charge constante pendant un temps défini et à mesurer la déflexion résultante. L'essai est réalisé à trois températures distinctes. À chaque fois, sont déterminés :

- Le module de rigidité « S » ;
- La valeur absolue de la pente de la courbe du logarithme de la rigidité en fonction du logarithme du temps à un instant donné, « m ».

L'exploitation des résultats permet d'aboutir à :

- La température T_s pour laquelle le module de rigidité « S » est égal à 300 MPa ;
- La température T_m pour laquelle la pente « m » est égale à 0,3.

Dans le cas d'un bitume pur, de nombreuses études américaines considèrent un seuil critique après vieillissement (après essai RTFOT et PAV) pour $T_s - T_m = 5^\circ\text{C}$. Les bitumes ayant une valeur de $T_s - T_m$ supérieure à ce seuil sont susceptibles de présenter des conditions favorables à l'apparition de fissures. Les valeurs de températures obtenues avec l'essai BBR doivent aussi être prises en compte et comparées à la température de service. Ainsi, les spécifications américaines pour l'essai BBR dans le domaine du comportement à basse température demandent que, pour une température supérieure de 10°C à la température minimale susceptible d'être atteinte par la chaussée, le module de rigidité du liant soit inférieur à 300 MPa et soit supérieur à 0,300 MPa. Ceci revient à dire que la température minimale susceptible d'être atteinte par la chaussée augmentée de 10°C doit être supérieure à la fois à T_s et aussi à T_m .

Il s'agit d'un essai non généralisé. Cependant, en cas d'enjeu particulier, le maître d'ouvrage peut l'exiger.

7 Conclusion

Cette note, qui se veut pragmatique, est basée principalement sur des observations et des retours d'expériences plutôt que sur des expérimentations ou des travaux de recherche. En effet, même si de nombreuses études ont été menées, il n'est pas possible à ce jour d'identifier une origine unique à ce que l'on appelle les « *dégâts hivernaux* ».

Cependant, de nombreux projets sont en cours pour définir un indicateur visant à mieux définir le comportement de l'enrobé en situation météorologique dégradée.

La profession est aussi dans l'attente de retours d'expérience documentés sur les innovations qui permettraient de réduire les risques de dégradations liées aux conditions hivernales.

Membres du groupe de travail

- Philippe CARLE – Cerema
- Mathieu FERNANDEZ-VANDEWALLE – MTE/DGITM
- Mathieu GALIANA – Université Gustave Eiffel
- Luc-Amaury GEORGE – Nextroad Engineering
- Marie-Thérèse GOUX – MTE/DGITM* (au moment de la rédaction de ce document)
- Heidi KAUFFMANN – Cerema
- Hélène KLICH – MTE/DGITM
- Christine LEROY – Routes de France
- Philippe LOVO – MTE/DIR Est
- Jean-Michel MICHOU – Eurobitume
- Virginie MOUILLET – Cerema
- Lionel ODIE – Cerema
- Pascal ROSSIGNY – Cerema
- David SALMON – MTE/DIR Est

La présente note d'information a été rédigée par un groupe de travail spécifique rattaché au comité opérationnel Gestion de Patrimoine d'Infrastructures de l'IDRRIM.

Avertissement : La présente note est destinée à une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et de non exhaustivité. Ce document ne peut en aucun cas engager la responsabilité ni des auteurs, ni de l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité.



9, rue de Berri - 75008 Paris - Tél : +33 1 44 13 32 99

www.idrrim.com - idrrim@idrrim.com

 [@IDRRIM](https://twitter.com/IDRRIM)

Association loi 1901