

# RENFORCEMENT DES CHAUSSÉES BITUMINEUSES PAR GRILLE DE VERRE : BILAN DE 25 ANS D'EXPÉRIENCE, DERNIERS DÉVELOPPEMENTS

## REINFORCEMENT OF BITUMINOUS PAVEMENTS BY GLASS GRIDS: 25 YEARS OF EXPERIENCE, LATEST DEVELOPMENTS

Eric GODARD<sup>1</sup>, Julien VAN ROMPU<sup>1</sup>, Laurent BRISSAUD<sup>1</sup>, Frédéric GILENI<sup>2</sup>

1 Campus Scientifique et Technique (CST) COLAS<sup>1</sup>, Magny-les-Hameaux, France

2 Colas Midi-Méditerranée, Aix-en-Provence, France

**RÉSUMÉ** – Le renforcement des chaussées bitumineuses par des grilles de verre est pratiqué depuis plus de 25 ans. L'emploi de grilles de verre permet de réduire considérablement les épaisseurs d'enrobés par rapport à une solution traditionnelle. Un chantier réalisé en 1998 avec une réduction d'épaisseur de 10 cm de grave-bitume a bénéficié d'un suivi pendant toute sa durée de vie. À 15 ans d'âge, la structure a atteint sa durée de vie calculée et présente le comportement attendu. En comparaison avec une section témoin son comportement valide la pertinence de ce type de renforcement. Face à la multiplication de l'offre des géogrilles de fibre de verre, nous proposons une méthode de qualification de ces produits pour leur résistance à l'endommagement et leur contribution à la durabilité des structures renforcées sous charge répétée.

Mots-clés : Grille de verre, chaussée, renforcement, endommagement, durabilité.

**ABSTRACT** – The reinforcement of bituminous pavements by glass grids has been applied for more than 25 years. The use of glass grids considerably reduces the thickness of asphalt compared to a traditional solution. A construction project carried out in 1998 with a 10 cm reduction of asphalt base course has been monitored throughout its life. At 15 years of age, the structure has reached its calculated lifetime and exhibits the expected behaviour. In comparison with a control section, its behaviour validates the relevance of this type of reinforcement. Faced with the increasing offer of fiberglass geogrids, we propose a method of qualification of these products for their resistance to damage and their contribution to the durability of the reinforced structures under repeated load.

Keywords: Glass grid, pavement, reinforcement, damage, durability

## 1. Introduction

Le renforcement des enrobés bitumineux par des géogrilles permet de limiter la remontée des fissures sous-jacentes en bloquant leur progression, mais il permet également d'augmenter la durée de vie des couches sus-jacentes en augmentant leur résistance aux sollicitations répétées. On peut en quelque sorte parler d'un enrobé bitumineux armé.

Si la contribution de géogrilles à la limitation de la remontée des fissures dans les chaussées bitumineuses a été largement étudiée (Coppens et Wieringa, 1993 ; de Bondt, 1999, 2012) et continue de faire l'objet de publications, le renforcement structurel de ces chaussées par des géogrilles et notamment des grilles de fibres de verre, les plus à même de remplir cette fonction, fait l'objet d'approches de laboratoire (Coppens, 1992 ; Coppens et Doligez 1993 ; Arsenie et al., 2016) mais est très peu documenté pour l'aspect chantier (Nguyen et al., 2013).

Forte de plus de 25 ans de retour d'expérience dans l'emploi des géogrilles dans les enrobés bitumineux, et plus particulièrement des grilles de verre, l'entreprise COLAS a développé sa propre méthode de dimensionnement et l'a validée sur de nombreux chantiers (Godard et al., 1993). Des chantiers réalisés ont, à ce jour, atteint leur durée de vie théorique avec un excellent comportement. Nous présentons dans la suite le cas du renforcement de la RD 624 dans le département de l'Aude en 1998, dimensionné pour une durée de 15 ans et qui a aujourd'hui atteint l'âge de 20 ans. L'intérêt de ce chantier particulier est qu'il a fait l'objet d'un suivi de comportement dans le temps, depuis sa réalisation jusqu'à ce jour.

L'entreprise a donc développé ce procédé innovant sous le nom commercial de COLGRILL R en s'appuyant sur un matériau sélectionné et en contribuant avec le fabricant à son optimisation. Cependant, depuis quelques années, ce marché en progression a vu apparaître une offre de plus en

plus importante de produit de type grille de verre pour le renforcement des chaussées. Chacun de ces produits possédant certaines caractéristiques communes mais également de nombreuses différences de matériaux et de mode de fabrication.

Il s'est donc avéré nécessaire de pouvoir qualifier comparativement ces différentes offres vis-à-vis de leur efficacité pour le renforcement structural des chaussées bitumineuses. Nous explicitons cette démarche dans la deuxième partie de cet article.

## 2. Étude du cas de la RD 624 dans l'Aude

### 2.1 Présentation du projet

Dans le cadre du renforcement de la RD 624 située entre Castelnaudary dans l'Aude et Revel dans la Haute-Garonne, le Conseil Général de l'Aude a lancé en 1998 un appel d'offres pour la section comprise entre les PR 10+150 et 11+520. Ce projet permettait l'expérimentation de techniques innovantes pour le renforcement des chaussées. La solution de référence était une structure composée de Grave bitume (GB) surmontée de Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG) dimensionnée par le Laboratoire du Conseil général de l'Aude et le Cete (Centre d'études techniques) de Toulouse.

La structure en place était constituée d'un enduit superficiel et de 4 à 7 cm de béton bitumineux reposant sur 35 à 60 cm grave naturelle 0/60. La déflexion caractéristique était globalement inférieure à 100 1/100 mm sur près de 90% du tracé. Le relevé de dégradations effectué par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Toulouse avait fait apparaître de la fissuration et des déformations de surface. Enfin, les comptages de trafic avait conduit à prendre en compte le nombre de 400 poids lourds par jour et par sens (Classe de trafic T1) avec un taux de croissance annuel de 4%.

Le marché a été attribué à Colas Midi-Méditerranée avec une solution consistant à réaliser sur la section innovante un renforcement avec une grille de verre permettant de diminuer considérablement l'épaisseur de Grave Bitume et donc le coût des travaux au mètre carré de chaussée. La section innovante a été comparée à la section témoin de mêmes caractéristiques initiales mais renforcée classiquement. Le suivi de ces sections, innovante et témoin, a été assuré dans le cadre d'un protocole de veille technique avec le SETRA, et suivi par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse (maintenant Cerema).

La consistance des travaux finalement arrêtée par section et dans les deux sens de circulation est la suivante :

- Section témoin : PR 10+150 à 10+770 :
  - 10 cm de GB classe 3
  - 6 cm de BBSG 0/10
- Section expérimentale : PR 10+770 à 11+310
  - Reprofilage de la chaussée (2 cm moyens de BB 0/6)
  - Grille de verre
  - 6 cm de BBSG 0/10

La solution innovante permet d'économiser 10 cm de grave bitume, mais nécessite un reprofilage préalable afin de poser la grille sur un support de bonne planéité.

Le repérage de chaque section a été réalisé, et la similarité des déflexions et des dégradations vérifiée. Le phénomène d'orniérage était assez marqué et pouvait atteindre 2 à 3 cm dans certaines zones ; d'autres zones orniérées avait déjà fait l'objet de réparations locales. Du faïençage était également très présent sur tout le linéaire, principalement en rive. Enfin des défauts superficiels de type pelade ou ressuage de l'enduit superficiel étaient très présents.

Le chantier a été réalisé entre septembre et octobre 1998 sans problème particulier. Les contrôles de fabrication ont conclu à la conformité des enrobés bitumineux. Des sondages par carottage ont permis de vérifier l'épaisseur des couches et le bon collage de celles-ci.

Les épaisseurs moyennes mesurées sur les carottes sont les suivantes :

- BBSG 0/10 : 6,6 cm sur section témoin et 6,5 cm sur section expérimentale
- GB 0/14 : 10,2 cm sur section témoin
- BB 0/6 de reprofilage : 2,6 cm sur section innovante

## 2.2 Suivi de comportement du chantier

Le chantier a fait l'objet d'un suivi de comportement en 1998 à l'état neuf, en 2001, 2010 et 2013, année correspondant à la durée de vie du dimensionnement qui était de 15 ans (Gileni et Godard, 2013). Enfin, une nouvelle évaluation vient d'être réalisée en 2018 à 20 ans d'âge.

Le comportement global des deux sections s'est toujours avéré satisfaisant et comparable. Aucun entretien n'a été réalisé sur cette chaussée pendant toutes ces années.

Nous nous arrêterons sur l'étude comparative des déflexions. En effet la déflexion de la chaussée et surtout son évolution dans le temps est un indicateur de sa santé et de sa dégradation. Dans le cas d'une chaussée souple comme celle-ci, cette déflexion évolue en fonction de la portance du sol et de son état hydrique, de l'épaisseur et du module d'élasticité des couches de chaussée. La dégradation et notamment la fissuration des enrobés conduit à une augmentation de la déflexion du fait de la diminution du module et de la possible infiltration d'eau dans les couches sous-jacentes par les fissures.

La figure 1 présente l'évolution des déflexions sur les deux sections et pour les deux voies de circulation.

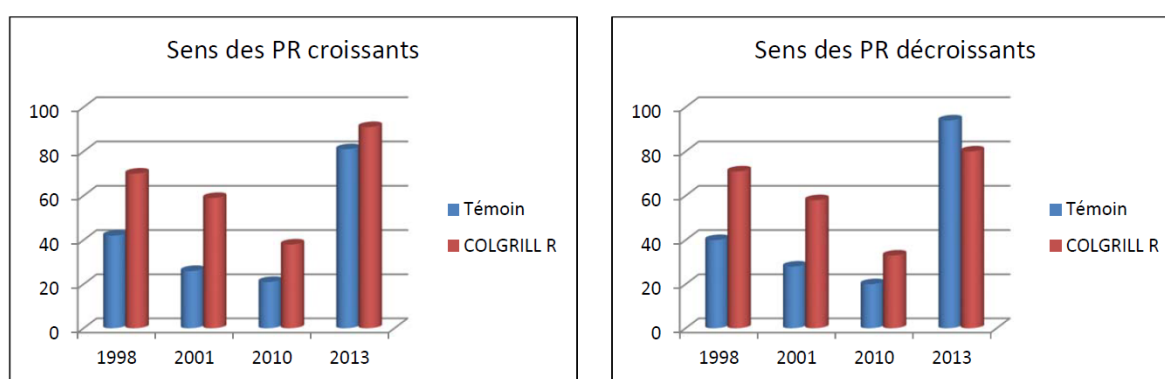


Figure 1. Suivi des déflexions (en 1/100 mm) pour les deux sections de la RD 624

Pour nos deux structures à comparer, la structure témoin comporte 10 cm de grave bitume de plus que la structure avec COLGRILL R. Cette dernière comporte 2 à 3 cm de BB 0/6 et la grille. La grille, si elle apporte une augmentation de la durée de vie des mélanges bitumineux, n'augmente pas la rigidité de la chaussée et ne contribue pas à une diminution de la déflexion. L'écart de niveau constaté de 1998 à 2010 n'est donc pas surprenant. Une analyse un peu plus fine montre une diminution après la mesure effectuée juste après travaux, Elle correspond à un assainissement de l'assise et une stabilisation des structures. Il s'ensuit une certaine constance de 2001 à 2010 à des niveaux très faibles pour ce type de chaussée souple, ce qui indique un très bon état structurel et hydrique. Les mesures de 2013 montrent une augmentation significative, bien que restant acceptable, des déflexions sur les deux structures. C'est le signe mesurable du vieillissement de la chaussée après 15 ans de service. On note cependant que la section témoin se situe maintenant au même niveau que la section innovante, ce qui indique peut-être une évolution plus rapide de celle-ci.

En août 2013, une auscultation complète a été menée avec la remorque de mesure à grand rendement Road Eagle Colas (REC). Elle a permis une évaluation détaillée de l'orniérage et de la fissuration de la chaussée.

La figure 2 illustre la synthèse de ces mesures sur l'ensemble des deux voies de circulation. Les niveaux de dégradations sont indiqués par type de dégradation et leur gravité, en taux de présence sur des linéaires de 10 mètres ou de 100 m.

À cet âge, qui correspond à la fin de vie théorique de la chaussée, on constate une fissuration importante dans le sens longitudinal qui manifeste la fatigue de la structure ; la faïençage peut indiquer une fatigue avancée ou un décollement, alors que la fissuration à tendance transversale est liée à d'autres causes. On constate sur cet aspect de fissuration que la section témoin est un peu plus dégradée que la section innovante avec la grille de verre. Sur le critère de l'orniérage qui existe de façon modérée sur l'ensemble du linéaire, c'est la section expérimentale qui est légèrement plus affectée puisque environ 60 % du linéaire est concerné par une ornière de 10 à 20 mm. Ce constat montre que le BBSG 0/10 a fini par orniérer au fil des ans et que le reprofilage en BB 0/6 de la section innovante a légèrement amplifié le phénomène, la grille n'ayant pas eu d'effet atténuateur.

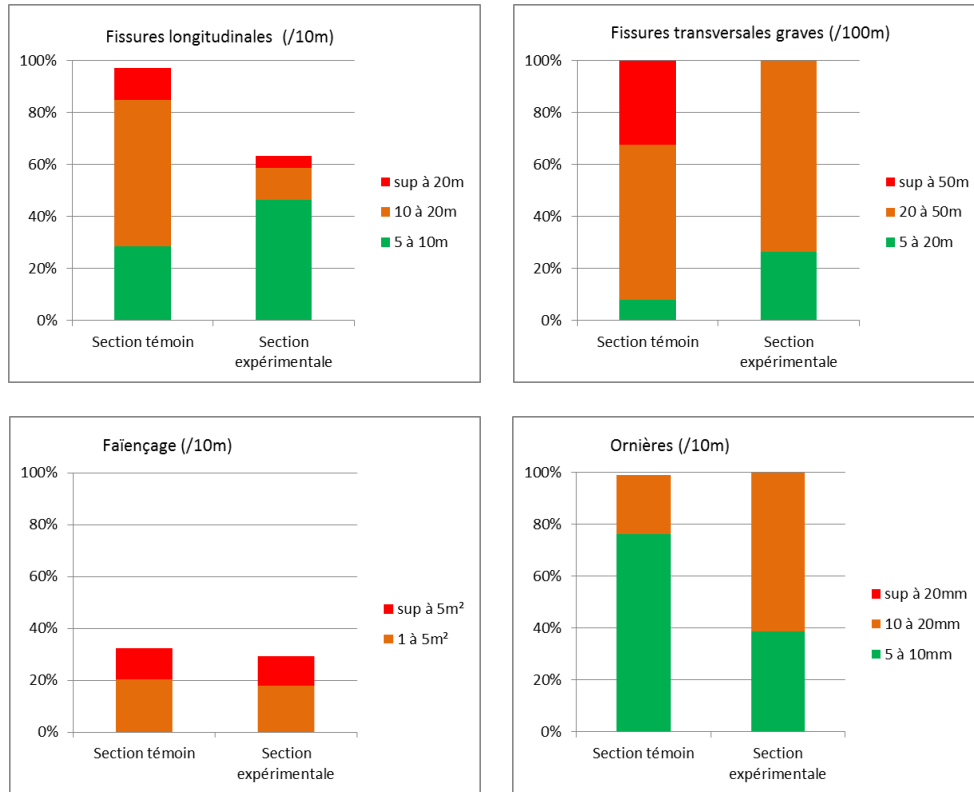


Figure 2. État de la fissuration et de l'orniérage sur la RD 624 à 15 ans d'âge

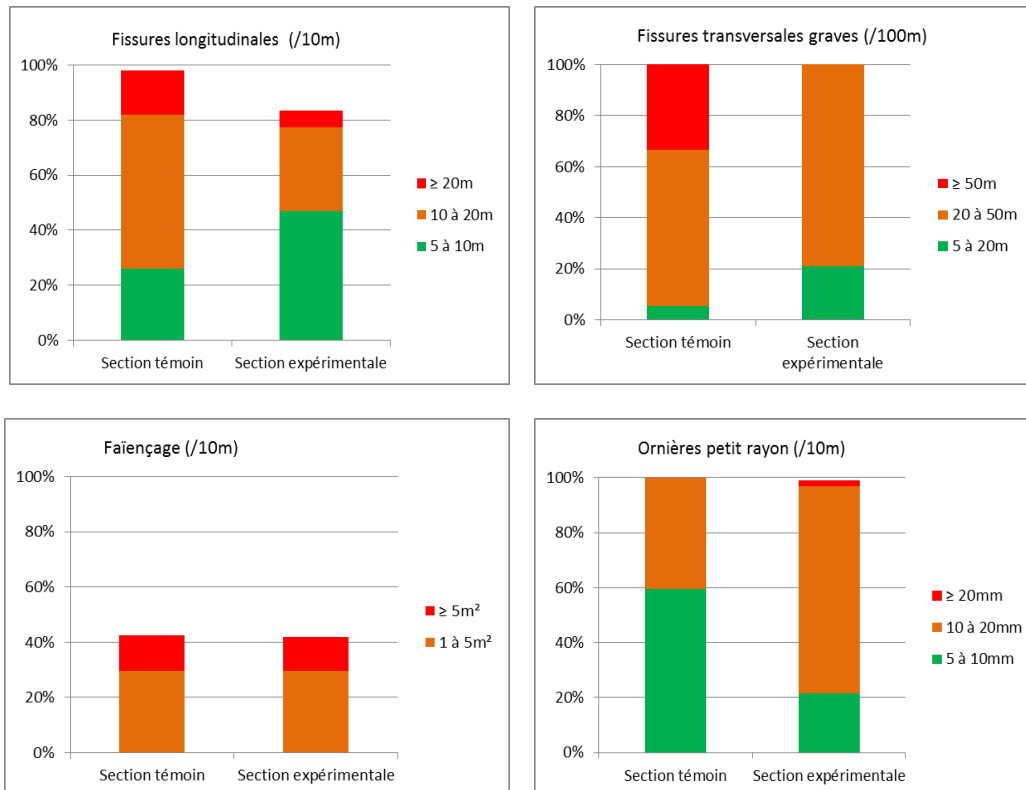


Figure 3. État de la fissuration et de l'orniérage sur la RD 624 à 20 ans d'âge

La figure 3 présente l'évolution de la fissuration et de l'orniérage 5 ans plus tard, soit à 20 ans d'âge (mesures en juin 2018). L'analyse des résultats montre une dégradation de l'état de la chaussée lors des cinq dernières années, la section témoin avec grave bitume présente toujours une fissuration plus marquée que la section expérimentale avec la grille de verre, alors que cette dernière présente un orniérage plus important. À ce niveau de dégradation, la chaussée fera l'objet d'une réfection courant 2018.

Au global on peut dire que la solution expérimentale avec la grille de verre ayant permis une économie substantielle sur le chantier (8 cm d'enrobé) a eu un comportement aussi satisfaisant, voire meilleur que la solution de base du point de vue structurel. Le reprofilage en BB 0/6 rendu nécessaire par un support déjà orniéré n'a pas permis de résister aussi bien au phénomène d'orniérage que la GB en 10 cm.

### 2.3 Comparaison de l'impact environnemental

Une évaluation du bénéfice environnemental de la solution avec grille de verre a été réalisée avec le logiciel SEVE (figure 4). Le calcul aboutit à l'abaissement des indices environnementaux suivants pour la section innovante :

- diminution de la consommation énergétique, de 46%,
- diminution des émissions de gaz à effet de serre, de 47%,
- diminution du tonnage de granulats utilisés, de 51%,
- diminution du transport en tonnes kilométriques, de 46%.

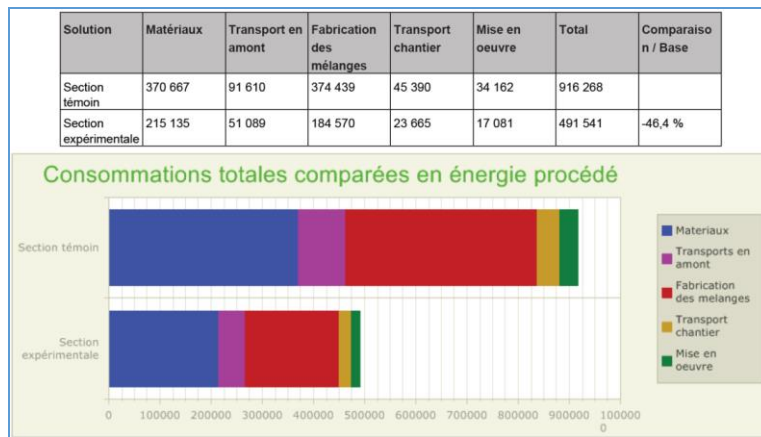


Figure 4. Calcul SEVE : Résultat comparatif de l'énergie totale consommée en MJ pour une surface de 4000 m<sup>2</sup> avec les deux solutions

### 2.4 Conclusions

L'expérimentation initiée il y a 20 ans a permis de confirmer sur le très long terme l'efficacité du renforcement par grille de verre avec la possibilité d'économie en matière importante et la division de l'impact environnemental du chantier de plus de 45 %.

## 3. Qualification des grilles de verre

### 3.1 Présentation des grilles de verre

Les grilles de verre proposées sur le marché sont assez variées dans leur conception bien qu'elles aient en commun d'être toutes à base de verre de type E et qualifiées par leur résistance linéique à la rupture, en général 50 kN/m ou 100 kN/m, parfois 75 kN/m. Cette résistance est proportionnelle à la quantité de fibres de verre dans les mailles de la grille. Les mailles sont généralement carrées, le plus souvent de côté 25 mm ou 40 mm. Leur système de liaisonnement aux nœuds des mailles dépend du procédé de fabrication et est très variable. La fibre de verre est souvent protégée par une enduction de nature différente selon les produits (résine polymère, enduction de bitume, etc.) ou non protégée. Un produit adhésif est parfois présent sur une face de la grille. Enfin, les grilles sont souvent pourvues d'un voile additionnel remplissant le vide des mailles. Ce voile est souvent à base de polyester mais de grammage très variable, tissé ou non tissé. Ce voile doit être imprégné par l'émulsion d'accrochage, sa capacité de rétention doit donc être appréciée pour établir le dosage d'émulsion à employer.

Au total on dénombre des dizaines de produits aux caractéristiques très variables et dont la description ne peut nullement s'arrêter à la valeur de résistance à la rupture annoncée par le fournisseur : 50 ou 100 kN/m.

Songeons que l'allongement à la rupture du verre est de l'ordre de 2,5 %, soit  $25000 \cdot 10^{-6}$  alors que les déformations admissibles en traction à la base des couches d'enrobé ne dépasse que très rarement  $250 \cdot 10^{-6}$ . La fibre de verre ne travaille qu'à un allongement au pire 100 fois moindre que sa limite de rupture. La contrainte de rupture ne peut donc pas être atteinte dans le fonctionnement normal de la chaussée. Cette caractéristique n'est donc pas la plus importante pour la qualification d'une grille de renforcement.

### 3.2 Protocole de qualification des grilles

Lors d'un chantier de renforcement de chaussées les grilles sont soumises à des agressions lors de la mise en œuvre et nous savons que, si le verre résiste bien en traction, il est beaucoup plus fragile aux efforts de cisaillement. Cette particularité rend pratique son découpage avec de simples ciseaux mais devient un inconvénient potentiel lorsqu'il est soumis à ce cisaillement sur les arêtes des granulats des enrobés bitumineux. Les agressions interviennent principalement du fait de la circulation des engins de chantiers sur la grille en place : dérouleur, camions, finisseur, puis lors du compactage des enrobés.

Nous avons donc mis au point deux essais de laboratoire destinés à évaluer l'effet de ces deux types d'agression.

- l'essai d'endommagement par la circulation ou WTD (Wheel Track Damaging)
- l'essai d'endommagement par compactage ou CD (Compaction Damaging)

Ces essais nous permettront d'effectuer une première classification des produits en fonction de leur résistance à l'endommagement (Van Rompu et al., 2017). La mise au point de ces essais a été réalisée en partie dans le cadre du projet ANR SoIDuGri (Godard et al., 2017).

La deuxième étape du processus de qualification est de vérifier la capacité du produit à apporter un renfort structurel à l'enrobé sus-jacent et donc à augmenter sa durée de vie sous trafic. Nous avons donc développé un essai de mesure de l'endurance d'un enrobé renforcé avec la grille à tester. Cet essai est de type flexion 4 points unilatéral (F4PU) sur plaques renforcées par une grille.

### 3.3 Essai d'endommagement par la circulation ou WTD

L'essai WTD consiste à mesurer le pourcentage de résistance résiduelle des fils après endommagement de ceux-ci sous le passage d'une roue représentative d'un pneumatique de poids lourd, par rapport à la résistance du produit neuf.

L'essai se pratique sur la grille orientée dans le sens des fils de chaîne et dans le sens des fils de trame, pour prendre en compte les différences qui peuvent exister entre les fils.

On fait circuler sur la grille, préalablement fixée à un support en enrobé standard, la roue du simulateur de trafic (grand modèle selon NF EN 12697-22), habituellement utilisé pour l'essai d'orniérage sur enrobés (figure 5). On réalise 500 cycles à 60°C à la vitesse habituelle. Les fils sont récupérés.

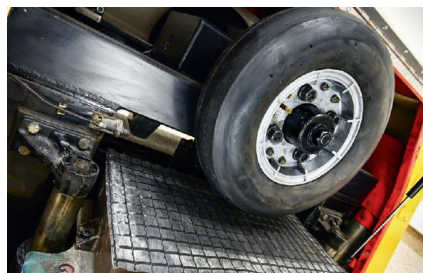


Figure 5. Simulateur de trafic pour essai WTD

On mesure la résistance des fils en traction sur des fils neufs et les fils endommagés (figure 6). Puis le ratio est calculé, c'est la résistance résiduelle WTD.

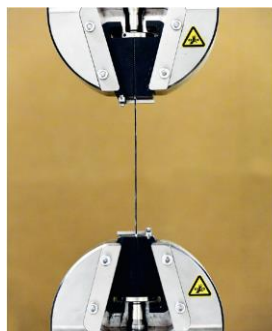


Figure 6. Essai de traction sur fil de verre récupéré

Cet essai qui peut paraître sévère est représentatif de réalités de terrain et discrimine bien les différents produits. Ainsi des essais effectués sur les différents produits du marché conduisent à des ratios pouvant aller de zéro à 100 % (figure 7) avec des différences parfois significatives entre chaîne et trame, liées au mode de fabrication des grilles. D'une façon générale, les grilles dont les fils ne sont pas protégés donnent des ratios très faibles (0 à 25%) alors que les produits dont les fils de verre sont protégés par une enduction ont des résistances résiduelles allant de 60 % à 100 %. Les valeurs supérieures à 100 % sur la figure 7 résultent de l'incertitude sur les mesures.

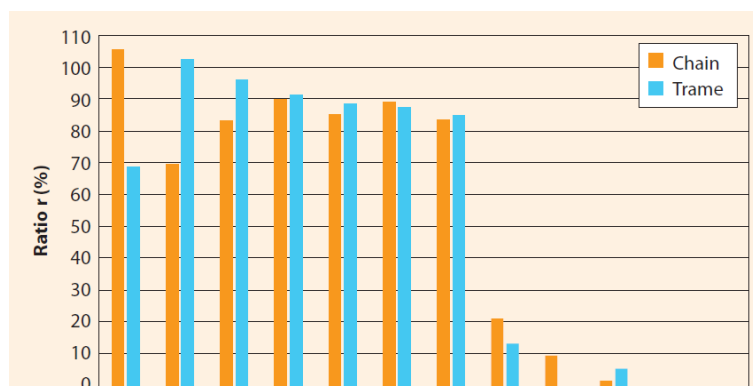


Figure 7. Rapports de résistance résiduelle sur différentes grilles à l'essai WTD

### 3.4 Essai d'endommagement au compactage ou CD

Cet essai est basé sur le même principe de résistance résiduelle que le WTD mais cette fois après compactage d'une couche d'enrobé bitumineux sur la grille, elle-même posée sur un support en enrobé standard (figure 8).

Pour permettre la récupération de la grille sans risque d'endommagement supplémentaire, on a substitué le bitume par une huile lourde dans l'enrobé, non solubilisante des enductions des grilles. Deux types de compacteurs conforme à NF EN 12697-33 ont été testés, compacteur à pneumatique LPC et un compacteur de type segment de cylindre acier vibrant Cooper. Ce dernier modèle, représentatif des moyens de compactage courants sur chantier, s'est avéré plus agressif et discriminant que le compacteur à pneumatique. C'est donc ce modèle que nous avons retenu pour notre qualification. Nous avons tenté de comprendre cette différence et des essais exploratoires nous ont permis de montrer que, sous le compacteur à pneumatique, les granulats se comportaient plutôt comme des poinçons avec de faibles déplacements pendant l'opération, alors que, sous le compacteur à cylindre, les granulats se déplacent linéairement en fond de couche, avec un effet tranchant.

Pour cet essai CD, le panel des produits testé a donné des résistances résiduelles allant de moins de 5 % à plus de 90 % selon les modèles de grille. Nous avons cependant constaté des endommagements plus marqués pour certains produits ayant présenté une bonne résistance à l'essai WTD.



Figure 8. Phase de récupération de la grille après compactage pour l'essai CD

Un point complémentaire mérite d'être mentionné. Lors des essais de mesure de résistance, nous avons enregistré les courbes « force – allongement ». Il s'avère que, même pour des fils endommagés jusqu'à des valeurs de 50 %, le module élastique sécant oscille entre 87 et 100% de sa valeur initiale pour la chaîne et 76 et 100% pour la trame.

In fine ces deux essais nous permettent d'évaluer valablement la résistance à l'endommagement des différents produits sur le marché par comparaison avec les grilles historiques de référence. Ce point important confirme que, même à ce niveau d'endommagement, les grilles gardent leur efficacité. En effet comme indiqué plus haut, leur mode fonctionnement escompté n'est pas d'atteindre l'allongement à la rupture.

### 3.5 Essai d'endurance F4PU

Cet essai initialement mené par le laboratoire NPC (Netherland Pavement Consultants) (Coppens, 1992) a été transposé sur une machine MTS au CST (Van Rompu et al., 2017).

Il consiste en l'application d'une charge cyclique unilatérale, c'est-à-dire strictement positive, sur des complexes prismatiques constitués de deux couches d'enrobés bitumineux (2 cm de BB 0/6 et 7 cm de BBSG 0/10) et d'une grille de renforcement interposées entre ces couches. La dimension de l'éprouvette est alors de 60 x 15 x 9 cm<sup>3</sup> (figure 9).

Des témoins non renforcés sont également évalués afin de disposer d'une base de comparaison. Une force sinusoïdale de 0 à  $F_0$  est appliquée en flexion 4 points afin de générer une traction uniforme dans la zone centrale de la base du BBSG 0/10, incorporant la grille de verre. Le signal imposé est répété avec des efforts de différents niveaux, à une fréquence de 10 Hz et une température de 15°C. La déformation est enregistrée en continu. Elle est la résultante d'une déformation cyclique et d'une déformation permanente (ou déplacement relatif).



Figure 9. Vue du montage pour l'essai F4PU

La déformation cyclique permet de calculer un module complexe  $E^*$  apparent du complexe et son évolution dans le temps. Le nombre de cycles correspondant à une diminution de 50 % du module complexe initial est noté pour chaque modalité ( $Nf_{50}$ ). De même le nombre de cycles aboutissant à une déformation permanente (déplacement relatif) de 20 mm est noté ( $Nf_{20}$ ) (figure 10).



Notons que dans notre démarche de qualification des grilles, nous n'avons pas retenu les grilles ayant donné des résultats insatisfaisants aux essais WTD et CD.

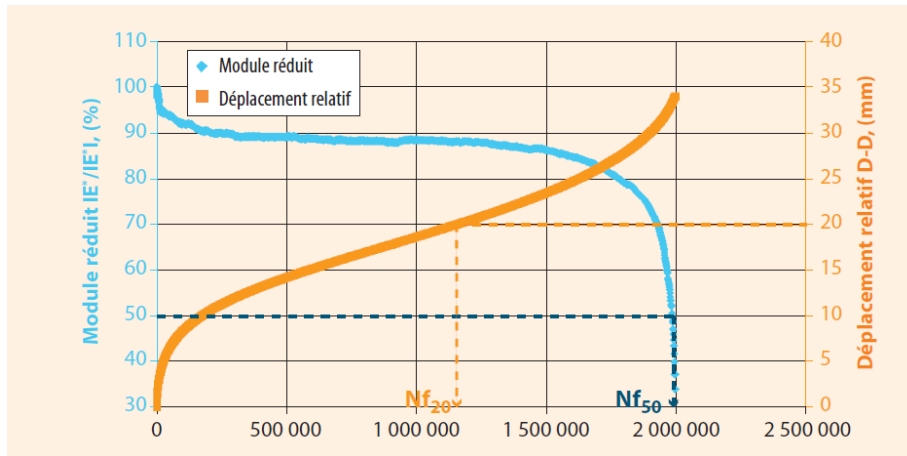


Figure 10. Essai F4PU exemple de courbes d'évolution du module réduit et de la déformation permanente

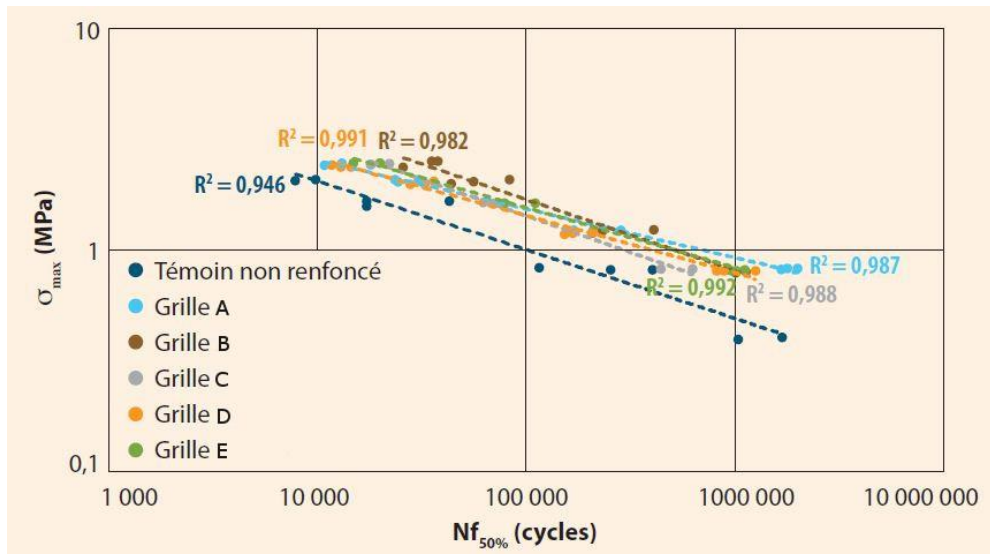


Figure 11. Essai F4PU. Courbes de Wöhler sur le critère  $Nf_{50}$  obtenues pour différents complexes avec différents modèles de grilles

Les valeurs  $Nf_{50}$  et  $Nf_{20}$  aux différents niveaux d'effort imposés sont reportées sur des diagrammes de Wöhler et une régression est effectuée ; la droite obtenue caractérise l'endurance du complexe considéré. La figure 11 montre que les différentes grilles testées conduisent à une nette amélioration de l'endurance des complexes par rapport aux témoins sans renfort. Un examen plus détaillé permet de hiérarchiser les produits, on constate notamment que certains sont significativement plus efficaces pour les efforts importants et d'autres pour les efforts plus faibles.

Par analogie avec l'essai de fatigue en flexion alternée sur les produits bitumineux, on peut s'intéresser à un point particulier de la courbe de Wöhler, par exemple au niveau d'un million de cycles et calculer un indice d'efficacité en faisant le rapport de la contrainte correspondant à la valeur de  $\sigma_6$  pour  $Nf_{50\%}$  à  $10^6$  cycles pour le complexe renforcé sur la contrainte similaire pour le complexe de référence sans grille :  $\sigma_6/\sigma_{6\text{témoin}}$ .

On peut également s'intéresser au rapport du nombre de cycles moyen nécessaire à atteindre la déformation permanente de 20 mm entre le complexe renforcé et le complexe de référence :  $\bar{N}f_{20}/\bar{N}f_{20\text{témoin}}$ . La moyenne est réalisée sur l'ensemble de la plage de l'intervalle des contraintes imposées [0,8 MPa, 2,5 MPa] sur chaque complexe.

$\sigma_6/\sigma_{6\text{témoin}}$  représente alors le facteur multiplicatif de la contrainte admissible pour une durée de vie de  $10^6$  cycles et  $\bar{N}f_{20}/\bar{N}f_{20\text{témoin}}$  le facteur multiplicatif de la durée de vie moyennée sur tout l'intervalle des contraintes. Le tableau 1 présente les valeurs obtenues sur les grilles testées.

Tableau 1. Résultats d'essais F4PU – indice d'efficacité du renforcement

Référence Grille	$\sigma_6/\sigma_{6\text{témoin}} (Nf_{50\%})$	$\bar{N}f_{20}/\bar{N}f_{20\text{témoin}}$
A	1,87	4,59
B	1,65	4,31
C	1,36	2,99
D	1,60	2,97
E	1,69	4,8

#### 4. Conclusions

L'efficacité du renforcement structurel des chaussées bitumineuses par les grilles de verre est peu documentée à ce jour. Nos travaux la démontrent aussi bien par les essais d'endurance en laboratoire de type F4PU que par le retour d'expérience sur chantier sur toute la durée de vie de la chaussée. Le cas de la RD 624 dans l'Aude est exemplaire à cet égard.

La multiplication de l'offre en grilles de verre en France et dans le monde conduit à mettre en place un protocole de qualification de ces produits. Les essais développés dans notre étude et présentés dans cet article permettent de cerner l'efficacité des différents produits, tant en résistance aux agressions mécaniques lors de la mise en œuvre qu'en pouvoir de renforcement et d'allongement de la durée de vie des enrobés bitumineux.

#### 5. Références bibliographiques

- Arsenie M.I., Chazallon C., Duchez J.L., Hornych P. (2016). Laboratory characterisation of the fatigue behaviour of a glass fibre grid-reinforced asphalt concrete using 4PB tests. Road Materials and Pavement Design. 1-13. 10.1080/14680629.2016.1163280.
- Bondt A.H. de (1999). Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays. Ph.D.-Thesis, Delft University of Technology.
- Bondt A.H. de (2012), 20 years of research on asphalt reinforcement - achievements and future needs. 7th RILEM Conference on Cracking in Pavements. June 1992.
- Coppens T. (1992). Utilisation de fibres de verre pour renforcer les enrobés, RGRA N°695, avril.
- Coppens T., Doligez D. (1993). Vieillesse par fatigue d'un enrobé renforcé d'une armature en fibres de verre, RGRA N°710, septembre.
- Coppens T., Wieringa P.A. (1993). Dynamic testing of glass fibre grid reinforced asphalt, Reflective cracking in pavement, RILEM
- Gilani F., Godard E., (2014). Colgrill R dans l'Aude: 15 ans de retour d'expérience sur l'enrobé armé, RGRA n°923, novembre.
- Godard E., Coppens T., Doligez D. (1993). Enrobé armé d'une grille en fibres de verre, comportement à la fatigue, RGRA N°713, décembre.
- Godard. E., Chazallon C., Hornych, P., Chabot A., Nguyen M.L., Doligez D., Pelletier H. (2017). Projet SolDuGri - pour une solution durable du renforcement des infrastructures par grilles en fibre de verre, RGRA N°949, octobre.
- Nguyen M.L., Blanc J., Kerzreho J.P., Hornych P. (2013). Review of glass fibre grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR. Road Materials and Pavement Design, Editions Hermes, 14 (Supplement 1)
- Van Rompu J., Godard E., Brissaud L., Loison E. (2017). Procédé de renforcement d'enrobé Colgrill R – Qualification des grilles en laboratoire et exemple de réalisation, RGRA 944, mars.