

POUR UNE SOLUTION DURABLE DU RENFORCEMENT DES INFRASTRUCTURES PAR GRILLES EN FIBRE DE VERRE

FOR SUSTAINABLE REINFORCEMENTS OF INFRASTRUCTURES WITH GLASS FIBER GRIDS

Cyrille CHAZALLON ¹, Eric GODARD ², Daniel DOLIGEZ ³, Maïssa GHARBI ⁴, Pierre HORNYCH ⁴, Armelle CHABOT ⁴, Mai-Lan NGUYEN ⁴, Hervé PELLETIER ¹

1 INSA Strasbourg, France

2 Colas S.A., Magny les Hameaux, France

3 6D Solutions, Sainte Foy les Lyon, France

4 IFSTTAR, Bouguenais, France

RÉSUMÉ – L'emploi de grilles de verre pour le renforcement des chaussées bitumineuses et la lutte contre la remontée des fissures est une solution employée avec succès et en plein développement. Le Projet ANR SolDuGri rassemble des industriels et des chercheurs publics dans le but de contribuer à l'optimisation du choix et de l'utilisation de ces grilles pour une meilleure efficacité. Cet article présente les grandes lignes du projet et les premiers résultats obtenus qui consistent en l'étude et la modélisation de l'endommagement à la mise en œuvre des grilles, de l'effet de leur présence sur le collage des couches d'enrobés bitumineux.

Mots-clés : grille en fibre de verre, infrastructures routières.

ABSTRACT – The use of glass fiber grids for the reinforcement of bituminous pavements and the fight against the rise of cracks is a solution used successfully and in full development. The SolDuGri ANR project brings together manufacturers and public researchers in order to contribute to the optimization of the choice and the use of these grids for a better efficiency. This article presents the outline of the project and the first results obtained which consist in the study and the modeling of the in situ damage of the grids, the effect of their presence on the bonding with the asphalt layers.

Keywords: glass fiber grids, road pavements.

1. Introduction

Le projet SolDuGri, est cofinancé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du sous-axe « construction et gestion durable du patrimoine bâti et des infrastructures ». Il s'agit d'une recherche industrielle dans le cadre d'un projet collaboratif en partenariat public et privé. Le projet SolDuGri est une contribution à la recherche de solutions durables pour la construction, le renforcement et l'entretien des infrastructures.

Dans un contexte où les réseaux routiers vieillissent, et où les moyens consacrés à l'entretien de ces réseaux sont en diminution, il est important de rechercher des solutions de plus en plus efficaces et durables pour l'entretien et le renforcement des chaussées anciennes. Dans ce domaine, les renforcements par des matériaux bitumineux armés par des grilles en fibre de verre s'imposent comme une solution très pertinente et durable, tout en économisant des quantités significatives de matériaux par rapport aux solutions traditionnelles. Par ailleurs les grilles en fibre de verre s'avèrent également être l'une des seules solutions efficaces pour éliminer ou ralentir fortement la remontée des fissures sur des supports bitumineux fortement fissurés. Les applications industrielles visées sont principalement le renforcement des chaussées, mais également la construction de chaussées neuves. Le développement de ces solutions est aujourd'hui freiné par l'absence de méthodes largement acceptées pour la caractérisation mécanique des complexes incorporant ces grilles en vue de leur dimensionnement. De même la caractérisation de la qualité intrinsèque des grilles de verre est actuellement sommaire et peu adaptée à cet usage.

L'objectif du projet est de développer des approches plus rationnelles et plus mécaniques pour l'évaluation des grilles, et pour le calcul des chaussées renforcées.

Il s'agit notamment de lever trois verrous, qui représentent un frein au développement de cette technique de renforcement :

- mieux comprendre les sollicitations auxquelles les grilles sont soumises lors de la mise en œuvre, notamment lors de la circulation des engins de chantier sur la grille et lors du compactage des couches de chaussées,
- étudier le comportement mécanique des interfaces entre les couches renforcées et leur support,
- améliorer la prévision des durées de vies des chaussées renforcées, par l'étude et la modélisation du comportement en fatigue des grilles, des enrobés renforcés et des interfaces.

Enfin des études économiques et une étude environnementale de cette technique seront menées afin de mettre en évidence les bénéfices apportés par cette technique.

Nous présenterons ci-après les grandes lignes du projet, et les premiers résultats obtenus qui consistent en l'étude et la modélisation de l'endommagement à la mise en œuvre des grilles, de l'effet de leur présence sur le collage des couches d'enrobés bitumineux.

2. Les principales tâches du projet

2.1 Bibliographie

Comme tout projet de recherche la première étape a été de mener une analyse de la bibliographie existante. Ensuite les tâches concernant l'étude des matériaux utilisés pour la réalisation des planches d'essai et du manège de fatigue ont démarré.

2.2 Étude des matériaux enrobés, des grilles et des composites

On cherche dans cette tâche à caractériser le comportement mécanique sous sollicitations monotones et sous sollicitations de fatigue les constituants des différents composites bétons-bitumineux-grilles de fibre de verre étudiés dans ce projet. Les grilles sont étudiées à différents stades de vieillissement.

2.3 Étude du collage à l'interface grille / enrobé

Cette partie est le préalable à l'étude des composites en laboratoire et sur sites des composites. La vérification des conditions de bon collage des couches par des essais traditionnels et l'étude des paramètres influents permet de fixer ceux-ci pour la suite.

En parallèle, la thèse de Maïssa Gharbi (2015-2018), se propose de livrer à terme une méthode de caractérisation expérimentale de la rupture des interfaces grille de verre/enrobés en présence d'eau ou non sur bicouches de chaussées réelles.

2.4 Endommagement de la grille à la mise en œuvre par poinçonnement

Une question peu étudiée jusqu'à présent est le dommage subi par les grilles lors de la mise en œuvre (poinçonnement lors du compactage), et après les chargements de fatigue dû au trafic. Ceci a une conséquence. L'objectif est de mettre au point une procédure d'essai d'indentation, permettant de reproduire en laboratoire les endommagements critiques de la grille observés lors du compactage, du roulement des engins sur la grille et de l'essai de fatigue.

2.5 Essais en vraie grandeur, planches expérimentales pour endommagement et manège, instrumentation.

Dans cette tâche, on cherche à étudier le fonctionnement des grilles lors de leur installation et leurs contributions à la durée de vie des chaussées renforcées. Pour cela, il est prévu de réaliser d'une part des planches expérimentales afin d'étudier les conditions de mise en œuvre des grilles et leur endommagement éventuel à la mise en œuvre, et d'autre part un essai en vraie grandeur des chaussées instrumentées sur le manège de fatigue pour tester différentes structures avec et sans grilles.

2.6 Modélisation

On cherchera dans cette étape à partir des différents essais réalisés en laboratoire sur les matériaux enrobés bitumineux, grilles de fibre de verre, et le composite grille-enrobé sous sollicitations de fatigue à prévoir le comportement de différentes structures lors de l'essai du manège de fatigue.

2.7 Évaluation environnementale et technico économique

Les éléments recueillis dans le programme scientifique, notamment les modélisations conduisant à des hypothèses de dimensionnement et de durée de vie, permettront de réaliser une étude technico-économique pour l'emploi des grilles en renforcement de chaussées souples et en anti-fissuration. Ceci sur la base de cas types représentatifs des situations les plus courantes.

L'étude ne serait pas complète sans une analyse du cycle de vie sur 9 indicateurs environnementaux à l'aide du logiciel ECORCE sur la base de données nouvelles relevées dans les sites de production et sur les chantiers d'essai. Cette analyse inclura l'aptitude au recyclage du produit en fin de vie. Ces données permettront la comparaison des solutions incluant des grilles de verre avec les solutions classiques, du point de vue de leur impact sur l'environnement.

3. Résistance à l'endommagement lors de la mise en œuvre et durant la vie de la chaussée.

Le niveau de capacité de la grille à renforcer un enrobé dépend aussi du niveau d'endommagement de cette dernière au moment de sa mise en œuvre et tout au long de la durée de vie de la chaussée. Cet endommagement résulte de la circulation des engins de chantier et du compactage, puis éventuellement du trafic ultérieur, principalement lorsque la grille est placée proche de la surface et/ou sur un support grenu, voire raboté.

Il n'existe pas d'essai d'indentation actuellement. Serait-il possible d'adapter les essais sur les géotextiles ? Le comité CEN TC 189 sur les géotextiles et produits apparentés a décidé qu'il n'était pas possible de les utiliser. Pour ce qui est de l'endommagement à la mise en œuvre, il est bien noté dans le résumé de A. de Bondt (de Bondt et al., 2012) l'importance de la résistance du produit.

3.1 Les matériaux de l'étude

3.1.1 Les grilles

Nous étudions dans ce projet l'incidence que peut avoir la qualité de la résine de protection de la fibre de verre. Ainsi toutes les grilles ont une ouverture de maille de 40mm x 40 mm entraxe et sont associées à un même léger non-tissé de polyester. Deux types de résistances mécaniques (50 et 100 KN/m à la rupture) et deux types de résines sont retenus. L'influence de ces paramètres sur l'endommagement à la mise en œuvre, la qualité du collage et en final l'apport structurel sera étudiée. Ces grilles ont comme référence une grille qui a fait ses preuves et qui est utilisée depuis plus de 10ans.

3.1.2 Les enrobés

Pour l'ensemble des essais du projet, une formulation de Béton Bitumineux Semi Grenu 0/10 de classe 3 (BBSG3 0/10) a été retenue. Elle utilise les granulats de Bréfauchet utilisés dans la région Nantaise et donc facile d'approvisionnement pour les essais en vraie grandeur sur le site de l'IFSTTAR de Nantes.

De même le bitume employé dans cet enrobé est celui de la raffinerie Total de Donges, en grade 35/50, couramment employé dans cette zone géographique.

Les caractéristiques usuelles de la méthodologie française ont été vérifiées : compactabilité à la PCG, tenue à l'eau Duriez, résistance à l'orniérage, le module complexe et la résistance à la fatigue en flexion deux points.

L'essai de fatigue a été non seulement mené à 10°C et 25 Hz mais aussi à 2°C et 25 Hz ainsi que sur une fabrication « tiède ». Ces caractéristiques seront exploitées à l'étape de modélisation des structures.

De même des essais de fatigue en flexion 4 points sont menés sur cette formule sur des poutres renforcées ou non.

L'émulsion d'accrochage retenue est émulsion classique disponible, de type émulsion cationique à rupture rapide à 69 % de bitume.

3.2 Les essais d'endommagement in situ

Pour cette étude, six planches expérimentales ont été réalisées sur le site de l'IFSTTAR Centre de Nantes. Parmi ces planches, une planche a été utilisée pour l'étude de l'endommagement des grilles in situ. Elle comprend quatre différents types de grilles qui ont été placées sur deux types de surface différente : une surface rabotée (pour simuler le renforcement de chaussées anciennes) et une surface

normale (pour le cas de construction neuve). Les parties de grille qui seront pincées par les mors du dynamomètre ont été protégées par des plaques d'aluminium (figure 1 et 2). Ce support étant glissant, il est possible que les mouvements des granulats lors du compactage soient amplifiés. Les planches expérimentales ont été réalisées avec du matériel courant de construction routière. Les grilles ont été alors affectées par le trafic lors de la construction et/ou par le poinçonnement des granulats lors du compactage de toute la surface des couches d'enrobé au-dessus. Après la construction des planches, des plaques d'enrobé ont été prélevées pour récupérer des échantillons de grilles pour estimer l'endommagement éventuel causé par la mise en œuvre.



Figure 1 : Réalisation des planches expérimentales : circulation de camion sur les grilles.



Figure 2 : Réalisation des planches expérimentales : circulation du finisseur sur les grilles.

L'étude menée sur des échantillons prélevés sur ces planches expérimentales a permis de mettre en évidence et de caractériser l'endommagement à la mise en œuvre des grilles et l'influence de différents paramètres : qualité et quantité de résine, qualité du support, rigidité de la grille, conditions de mise en œuvre, etc.

Le long de la grille on observe la présence d'endommagements superficiels et volumiques, qui contribuent à limiter les performances de la grille en termes de rigidité et limite de traction (Chazallon et al., 2017).

Les pertes en résistance mécanique, respectivement en module élastique initial, étant supérieures à 50% (respectivement 20%) (figures 3 et 4), avec une forte dispersion des résultats sur l'ensemble des grilles testées, nous avons poursuivi l'étude afin de savoir quelles étaient les propriétés résiduelles en fatigue lors d'un essai de traction sur les fils (figure 5).



Figure 3. Fil chaîne 100kN/m poinçonné

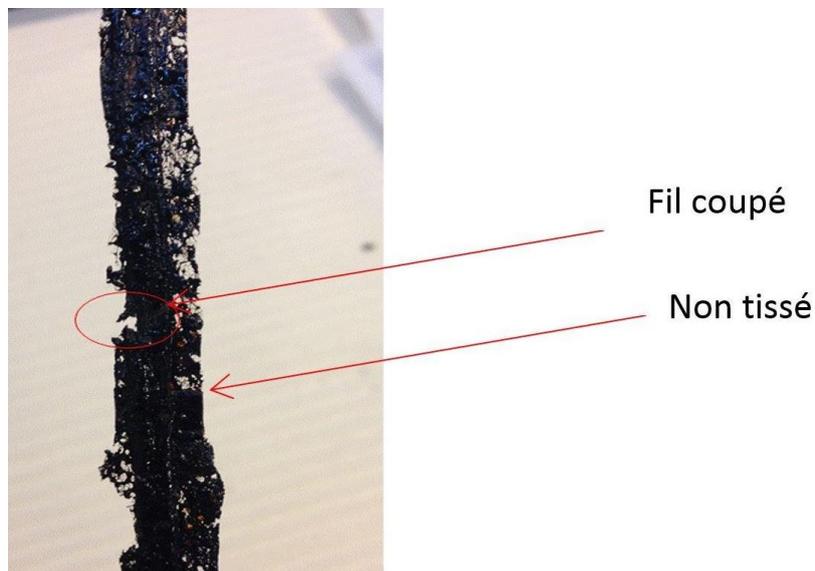


Figure 4. Fil chaîne 50kN/m découpé et percé.



Figure 5. Dispositif d'essais de fatigue en traction sur fils. Les mesures des déformations sont réalisées par un extensomètre sans contact

Ces essais sont menés à température ambiante, à 10Hz ou 25Hz, sur des grilles récupérées in situ. Les résultats obtenus à ce jour sur les grilles de 50 kN/m montrent une limite d'endurance de 150N ou de 0.1% (mesure avec extensomètre sans contact) pour 10 millions de cycles réalisés.

3.3 Les essais d'endommagement en laboratoire

L'endommagement des grilles constaté in situ doit pouvoir être étudié en laboratoire pour plusieurs raisons. Premièrement, il s'agit de prévoir la capacité d'une grille donnée à résister aux agressions mécaniques lors de la mise en œuvre. En deuxième lieu, l'étude du mécanisme d'endommagement peut permettre d'améliorer les produits existant en modélisant leur résistance résiduelle.

Partant des travaux prénormatifs abordés dans le chapitre bibliographique, Colas a travaillé sur la mise au point de protocoles de simulation de l'endommagement en laboratoire. Deux essais ont été recherchés, l'un simulant l'agression directe des engins de chantiers par simulation de trafic sur la grille (Wheel Track Damaging : WTD), l'autre simulant l'endommagement pendant le compactage (Compaction damage : CD). L'endommagement sur chantier étant le résultat de la somme de ces deux actions.

L'essai WTD consiste à faire circuler sur la grille, préalablement fixée à un support standard, la roue du simulateur de trafic grand modèle, habituellement utilisé pour l'essai d'orniérage sur enrobés, dans les mêmes conditions de pression et de température, et 500 cycles. La grille peut être positionnée dans le sens de la trame ou dans le sens de la chaîne.

Les fils sont récupérés de la grille après endommagement et leur résistance en traction ainsi que leur module élastique sont mesurés puis comparés à ceux des fils neufs. Cet essai qui peut paraître sévère est représentatif de réalités de terrain et discrimine bien les différents produits. Ainsi des essais effectués sur différentes grilles en fibre de verre provenant de fournisseurs, respectant leurs recommandations de mises en œuvre, conduisent à des ratios pouvant aller de zéro à près de 100 % 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 résine ou un autre liant ont des ratios allant de 60 % à 99 %.

Pour les résistances, les grilles Cidex (appelées grille de référence) testées donnent des ratios de 92 % et 96 % en trame et de 83 % et 98 % en chaîne. Pour les modules les ratios sont de 89 % à 98 % en trame et de 97% à 98 % en chaîne.

À ce jour, les premiers résultats présentés dans le tableau 1 montrent, pour un fil chaîne 50 kN/m et une seule indentation réalisée avec des dièdres de 1 ou 6 mm de longueur d'arrête et 90 degrés d'ouverture d'angle au sommet, une correspondance encourageante pour reproduire les endommagements in situ (Chazallon et al., 2018).

Tableau 1. Évolution de la résistance en traction et du module sécant à 2% après des essais d'indentation sur un fil chaîne 50kN/m, en fonction de la forme de l'indenteur et de la profondeur d'indentation.

Géométrie de l'indenteur	3D-6-90		7D-1-90	
	40	60	40	60
Ratio de profondeur d'indentation (%)				
Résistance résiduelle (%)	86	45	88	73
Module sécant résiduel (%)	97	73	100	91

4. Étude du collage à l'interface grille/enrobés

La prise en compte d'un endommagement de collage entre couches pour l'étude de la durabilité des chaussées est ignorée dans la plupart des méthodes de dimensionnement de chaussées alors qu'il peut conduire à la ruine de la structure avant son terme théorique (Grellet et al., 2012), (Hornych et al., 2018), (Pouteau et al., 2004).

4.1 Mise au point d'un essai de fissuration en mode 1 (Wedge Spitting Test ou WST) adapté au cas d'une interface comportant une grille

A partir des derniers travaux de recherche de l'IFSTTAR sur l'analyse en laboratoire de la rupture d'interface en mode d'ouverture mixte (Chabot et al., 2013, 2017) et ceux du Comité Technique international N°231 (2011-2018) de la RILEM (Chabot et al., 2016) (Petit et al., 2018), la thèse en cours dans le cadre de SolDuGri a pour objectif de compléter les caractérisations du collage des interfaces entre couches de chaussées par des essais de rupture en mode I. Dans ce travail de recherche, pour des échantillons suffisamment grands et directement prélevés sur site, il s'agit de mettre au point une méthodologie expérimentale efficace pour tester (sous eau ou non) la tenue des structures ainsi assemblées avec les enrobés bitumineux et les grilles de verre du projet via une couche d'accrochage mince bitumineuse. L'essai de fendage par coin ou Wedge Spitting Test (WST) (Tschegg et al., 2012) est choisi et adapté pour tester de telles éprouvettes multicouches (Figure 7) (Gharbi et al., 2017).

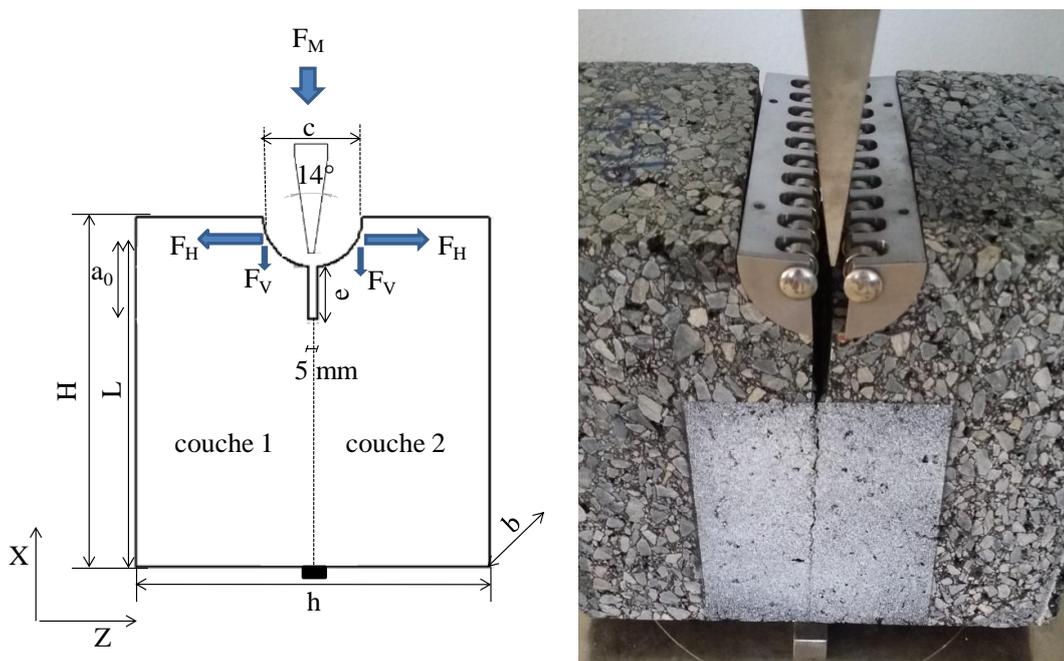


Figure 7. Principe d'essai (WST) de rupture d'interface sur échantillons à géométrie modifiée

Les éprouvettes testées sont directement extraites des planches expérimentales construites en parallèle dans les conditions réelles du chantier manège. La taille des éprouvettes et des surfaces potentielles de rupture d'interface sont choisies suffisamment grandes (environ 200 x 150 x 200 mm³) pour contenir au minimum 3x3 mailles de grille de verre afin de tenter de limiter les effets d'échelle des résultats. Au moins dix essais sont réalisés par type d'éprouvettes ainsi assemblées. A partir des courbes d'essais force, déplacement d'ouverture du décollement d'interface (figure 8), trois indicateurs sont investigués : la force maximale de la courbe d'essai, l'énergie de rupture de l'interface et la pente décroissante de la rupture. Des techniques d'analyse d'image sont utilisées afin de préciser le calcul des énergies de rupture de l'essai (Gharbi et al., 2018). La prise en compte des conditions hydriques des matériaux est réalisée en comparant les tests effectués sur matériaux secs et ceux réalisés sous eau par l'intermédiaire d'un aquarium spécifiquement construit pour ce faire.

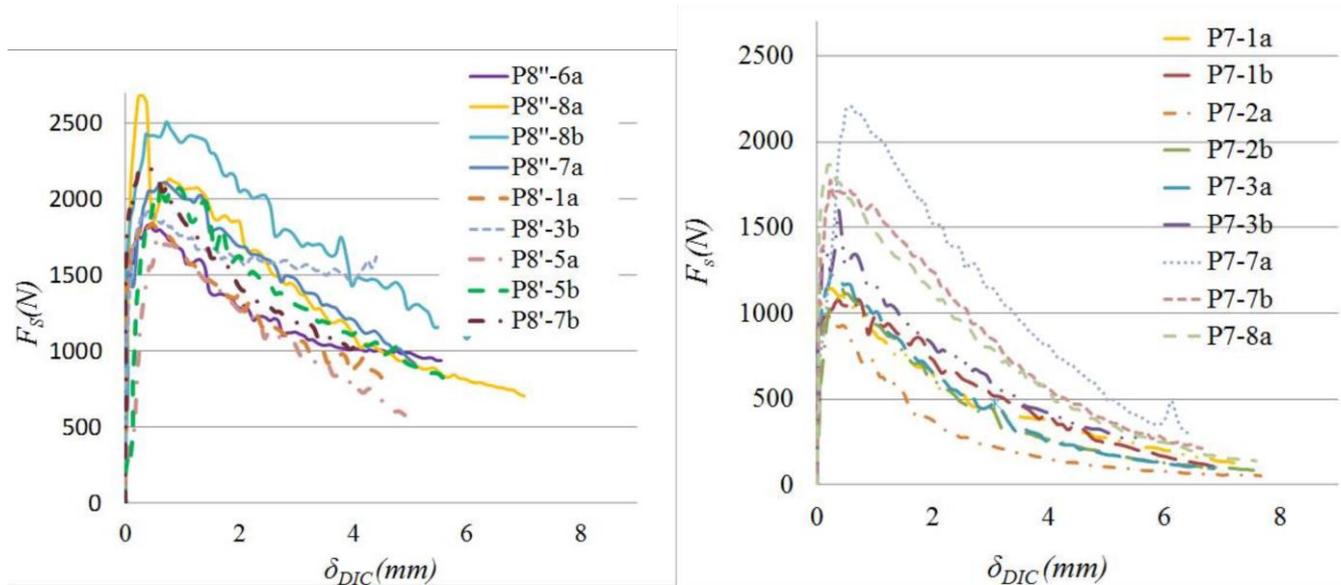


Figure 8. Courbes Force–déplacement d'ouverture du décollement d'interfaces (WST : 2mm/min, 20°C) sur bicouche enrobés : non renforcés (à gauche) ; renforcés par grille de verre 100kN/m (à droite)

À terme, il s'agit de pouvoir comparer si les trois indicateurs d'essais WST obtenus peuvent être reliés à ceux des autres essais des partenaires de SolDuGri et les résultats de l'essai manège en vrai grandeur.

4.2 Étude du collage des couches : Mesures en traction directe et en cisaillement

Des essais ont été menés afin d'évaluer la qualité du collage selon les modalités les plus courantes du projet de norme NF EN 12697-48 : l'essai d'adhésion en traction directe (ou tensile adhesion test : TAT) et l'essai de cisaillement (Shear bond test : SBT). L'étude paramétrique a permis d'évaluer l'influence de la couche d'accrochage, du type de grille de référence mais aussi de confirmer l'effet majeur de la température sur les résultats obtenus (tableaux 1 à 5).

Il en ressort que l'interposition d'une grille diminue la valeur de résistance maximale aux deux essais TAT et SBT, d'autant plus que la résistance de la grille nominale est importante, donc que la surface occupée par le complexe fibre de verre + résine est importante. On en conclut que l'adhésion du bitume est plus faible sur ce complexe que sur lui-même ou sur les granulats. L'augmentation de la quantité d'émulsion n'améliore pas les niveaux de contraintes maximales.

Tableau 2. Influence de la température sur la résistance avec la grille de référence

Grille 50 kN/m Liant résiduel 160/220 : 300 g/m ²	TAT en MPa
20°C	0,46
10°C	1,19
0°C	1,53

Tableau 3. Influence sur la résistance avec ou sans grille de référence

Liant résiduel 160/220 : 300 g/m ² 20°C	TAT en MPa
Sans grille	0,78
Grille 50 kN/m	0,46
Grille 100 kN/m	0,29

Tableau 4. Influence du dosage sur la résistance avec ou sans grille de référence

Liant résiduel 160/220 20°C	300 g/m ² SBT en MPa	500 g/m ² SBT en MPa	700 g/m ² SBT en MPa
Sans grille	1,39		
Grille 50 kN/m		0,69	0,74
Grille 100 kN/m		0,47	0,46

Tableau 5. Influence du dosage en liant résiduel sur la résistance

Grille de référence 50 kN/m Liant résiduel 160/220 20°C	TAT en MPa	SBT en MPa
0 g/m ²	0,38	
300 g/m ²	0,46	0,58
500 g/m ²	0,50	0,69
700 g/m ²	0,49	0,74

Tableau 6. Influence du support

Liant résiduel 160/220 : Grille de référence 50 kN/m 20°C	Dosage 300g/m ² TAT en MPa	Dosage 500/m ² TAT en MPa
Support Enrobé neuf	0,46	0,50
Support enrobé ancien	0,42	0,43

De plus l'importance du type d'émulsion a été confirmée : passer d'un bitume 160/220 à un bitume 35/50 fait passer la contrainte maximale en TAT de 0,46 à 0,88 MPa.

La mise en œuvre de l'enrobé sus-jacent à une température abaissée à 135°C au lieu de 160°C conduit à une diminution de la contrainte maximale TAT à 0,38 MPa pour la référence à 0,46 MPa.

Enfin le recouvrement de deux grilles a été évalué, avec ou sans doublement de la couche d'accrochage. La résistance en TAT baisse un peu mais reste acceptable : respectivement 0,36 et 0,32 MPa pour la référence à 0,46 MPa.

Cependant, par sécurité, pour la suite de l'étude un taux de bitume résiduel de 500 g/m² a été retenu.

5. Conclusions

Les premiers résultats obtenus montrent la forte interaction qui existe entre la grille et l'enrobé bitumineux du point de vue du collage et de l'endommagement subi. Ces deux caractéristiques doivent permettre à l'avenir d'être plus discriminant en ce qui concerne le choix du type de grille à utiliser dans le domaine des chaussées. Enfin, à l'issue de l'expérience sur le manège de fatigue, il sera alors possible de mieux prendre en compte ce renforcement dans l'estimation de la durée de vie de la chaussée puisque six structures (avec ou sans renforcement) ont été construites, instrumentées et suivies pendant l'essai. La déconstruction des structures et l'évaluation environnementale qui suivra permettra de mieux quantifier le bilan environnemental de ce renforcement prometteur.

6. Remerciements

Le travail présenté dans cet article a été financé par l'ANR (projet SolDuGri ANR-14-CE22-0019).

7. Références bibliographiques

- De Bondt A., Ooms Civiel A. (2012). 20 years of research on asphalt reinforcement – achievements and future needs, 7th Rilem Int. Conf. on Cracking in Pavements, June 20-22, Delft, The Netherlands. RILEM Bookseries, 4: 327-335, Print ISBN: 978-94-007-4565-0
- Chabot A., Hun M., Hammoum F. (2013). Mechanical analysis of a mixed mode debonding test for “composite” pavements. *Construction and Building Materials*, 40: 1076-1087. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.027
- Chabot A., Hammoum F., Hun M. (2017). A 4pt bending bond test approach to evaluate water effect in a composite beam. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21 (sup1): 54-69. doi: 10.1080/19648189.2017.1320237
- Chabot A., Buttlar B., Dave E., Petit C., Tebaldi G. (Eds), 1st ed. (2016). 8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements. Springer Series: RILEM Bookseries, Vol. 13, ISBN 978-94-024-0866-9, DOI: 10.1007/978-94-024-0867-6
- Chazallon C., Nguyen T.C., Nguyen M.L., Hornych P., Doligez D., Brissaud L., Godard E. (2017). In situ damage evaluation of geogrid used in asphalt concrete pavement”, 10th BCRRA 2017, 28/30 June, Athens, 8 pages
- Chazallon C., Barazzutti C., Pelletier H., Nguyen M.L., Hornych P., Doligez D. (2018). Laboratory evaluation and reproduction of geogrid in situ damage used in asphalt concrete pavement, 13th ISAP Conference on Asphalt Pavements, Fortaleza, Brasil, 19-22 June, 2018, 7 p
- Gharbi M., Nguyen M.L., Trichet S., Chabot A (2017). Characterisation of the bond between asphalt layers and glass fiber grid with help of a Wedge Splitting Test. 10th International Conference on Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRRA 2017), Athens June 28-30. doi: 10.1201/9781315100333-217
- Gharbi M., Nguyen ML, Chabot A (2018). Mode I interlaminar fracture behavior of bituminous and composite pavements. *Construction and Building Materials* (Submitted on July 27th 2018)
- Grellet D., Doré G., Kerzrého J.-P., Piau J. M., Chabot A., Hornych P. (2012). Experimental and theoretical investigation of three dimensional strain occurring near the surface in asphalt concrete layers. Proceedings of the 7th Rilem Int. Conf. on Cracking in Pavements, June 20-22, Delft, The Netherlands. RILEM Bookseries, 4: 1017-1027, DOI: 10.1007/978-94-007-4566-7_97, Print ISBN: 978-94-007-4565-0.
- Hornych P., Kerzreho J.P., Chabot A., Bodin D., Balay J. M., Deloffre L. (2008). The LCPC’s ALT facility contribution to pavement cracking knowledge, In Taylor & Francis Group Proceedings (ISBN 13: 978-0-415-47575-4), 6th Int. RILEM Conf. on Cracking in Pavements, Chicago, June 16-18, Chicago, US, 671-681. DOI: 10.1201/9780203882191.ch2
- Godard E., Chazallon C., Hornych P., Nguyen M.L., Doligez D., Pelletier H. (2017). Pour une solution durable du renforcement des infrastructures par grilles en fibre de verre, RGRA, 949, Octobre 2017, p24-33
- Petit C., Chabot A., Destrée A., Raab C. (2018). Recommendation of RILEM TC 241-MCD on Interface Debonding Testing in Pavements. *Materials and Structures*, Materials and Structures, 51 (4): article 96, doi: 10.1617/s11527-018-1223-y
- Pouteau B., Balay J.-M., Chabot A., De Larrard F. (2004). Fatigue test and mechanical study of adhesion between concrete and asphalt. 9th International Symposium on Concrete Roads, 3-6 April, Istanbul, Turkey.
- Tschegg E. K. ,Jamek M., Lugmayr R. (2012). Crack growth behaviour in geosynthetic asphalt interlayer systems, *Journal of Road Materials and Pavement Design*, 13, 1, 156-170, DOI:10.1080/14680629.2011.644414
- 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 2017, p 30-35

