

# PROCÉDÉ DE RENFORCEMENT D'ENROBÉ COLGRILL R® QUALIFICATION DES GRILLES EN LABORATOIRE ET EXEMPLE DE RÉALISATION

Colgrill R® est une des techniques de la gamme Premium des produits à hautes performances de Colas, dont le principe est d'associer une grille de fils de verre thermocollés et un enrobé pour couche de roulement. L'efficacité du renforcement par géogrille a été mise en évidence par de nombreuses expérimentations in situ<sup>1,2</sup> ou en laboratoire<sup>3</sup>.



Chantier de l'aéroport de Beauvais : mise en œuvre de la géogrille.

**L**e renforcement par géogrille permet d'améliorer la résistance en fatigue des enrobés et de réduire considérablement les épaisseurs de renforcement, offrant ainsi une solution économique et performante d'entretien structurel du patrimoine routier.

Fort de 25 ans de retour d'expérience sur certains chantiers<sup>4</sup>, Colas a pu mettre au point cette méthode globale de dimensionnement des renforcements de chaussées par le biais du produit Colgrill R®. Cette nouvelle approche va au-delà du simple calcul rationnel établi grâce à la réalisation d'essais de fatigue en laboratoire puisqu'elle prend en compte les sollicitations auxquelles sont soumises les grilles lors de leur mise en œuvre ainsi que la qualité de collage des interfaces.

## PROTOCOLE D'ÉVALUATION DES GRILLES EN LABORATOIRE

La multiplicité de l'offre disponible sur le marché implique de pouvoir qualifier ces grilles en laboratoire avant une éventuelle utilisation in situ.

L'objectif est de s'assurer de leur compatibilité avec le procédé Colgrill R et de sélectionner les plus adaptées aux usages. On cherche aussi à établir un lien entre les caractéristiques intrinsèques des produits (résistance à la traction, ouverture des mailles, enduction, voile géotechnique...) et leurs performances afin de répondre au mieux aux interrogations des filiales et de leurs clients en termes de sélection.

Le protocole de qualification des grilles repose sur l'évaluation en laboratoire de deux propriétés :

- la résistance à l'endommagement subi pendant la phase de mise en œuvre, en particulier celui lié à la circulation des engins de chantier sur la grille ;
- l'apport structurel de la grille, à savoir sa faculté à prolonger la durée de vie et à limiter les déformations permanentes de la structure renforcée soumise à des sollicitations répétées.

### RÉSISTANCE À L'ENDOMMAGEMENT : ESSAI WTD

L'essai WTD (*Wheel Track Damaging*) consiste en une simulation de l'impact de la circulation des engins de chantier sur la grille à l'aide du simulateur de trafic grand modèle. Un échantillon de grille est fixé sur une plaque d'enrobé au

## AUTEURS

**Julien Van Rompu**  
Ingénieur R&D  
Service Enrobés  
Campus scientifique et technique (CST)  
Colas

**Éric Godard**  
Directeur des laboratoires  
CST  
Colas

**Laurent Brissaud**  
Chef service Enrobés  
CST  
Colas

**Emmanuel Loison**  
Cadre technique  
Direction technique Routes France  
Colas

ruban adhésif double face. Une charge équivalente au poids de l'essieu réglementaire français est appliquée sur la grille via le pneumatique (photo 1).

**-Photo 1-**

Essai WTD de simulation de l'endommagement sous circulation.

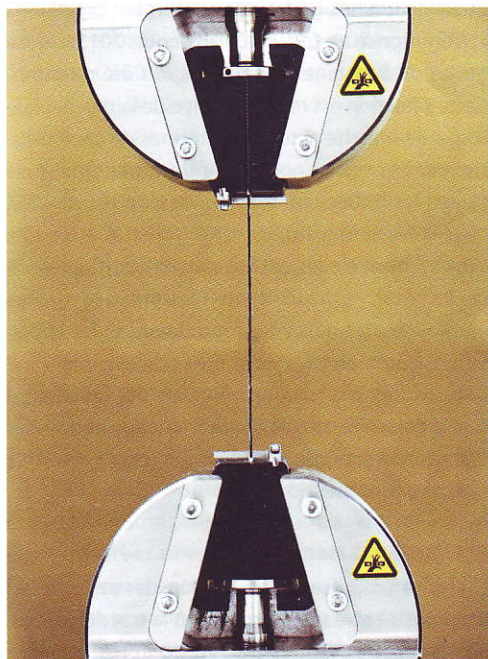


© COLAS / JOACHIM BERTRAND

Quelque 500 passes sont appliquées à température ambiante, à l'issue desquelles la grille est récupérée. On réalise alors sur les fils extraits de la grille endommagée des essais de traction directe (photo 2) afin de déterminer leur résistance à la traction moyenne (RTM) (force atteinte lors de la rupture du fil).

**-Photo 2-**

Essai de traction directe sur fil.



© COLAS / JOACHIM BERTRAND

Les résultats correspondent à la moyenne de 6 mesures représentatives. Le même essai est réalisé au préalable sur des fils provenant de grilles neuves. Les résultats sont donnés à l'aide du ratio r, exprimé en pourcents, calculé comme suit :

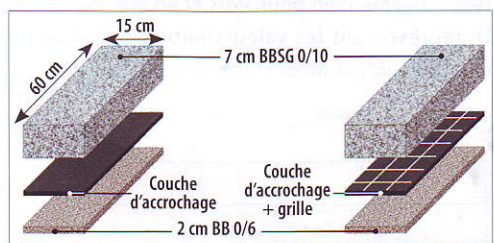
$$r = 100 \times \frac{\text{RTM des fils endommagés}}{\text{RTM des fils neufs}}$$

Les simulateurs de trafic MLPC étant équipés de deux tables, l'essai WTD est réalisé simultanément dans les deux orientations de la grille : trame (transversal) et chaîne (longitudinal).

**APPORT STRUCTUREL : ESSAI F4PU**

Un essai de flexion 4 points unilatéral (F4Pu), initialement développé par le laboratoire néerlandais NPC<sup>5,6</sup>, a été adapté au Campus scientifique et technique (CST) de Colas. 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'enrobé (7 cm de BBSG 0/10 et 2 cm de BB 0/6) et d'une grille de renforcement.

Des témoins non renforcés sont également évalués afin de disposer d'un comparatif (figure 1).



© COLAS

**-Figure 1-**

Vue éclatée des éprouvettes de F4Pu.

Un collage à la couche d'accrochage, avec un éventuel surdosage tenant compte de l'imbibition des grilles, est réalisé.

La charge F(t), un haversine en force d'une fréquence f = 10 Hz et oscillant entre 0 et F<sub>0</sub> (cf. équation ci-dessous), est appliquée jusqu'à rupture de l'éprouvette par une presse hydraulique via un palonnier sur lequel sont fixées des brides. Le corps d'épreuve est maintenu à ses extrémités par deux brides analogues (photo 3).

L'ensemble est disposé au sein d'une enceinte thermique, l'essai étant réalisé à une température régulée de 15 °C.

$$F(t) = \frac{F_0 [1 + \sin(2\pi ft)]}{2}$$

**-Photo 3-**

Vue du montage de l'essai F4Pu.



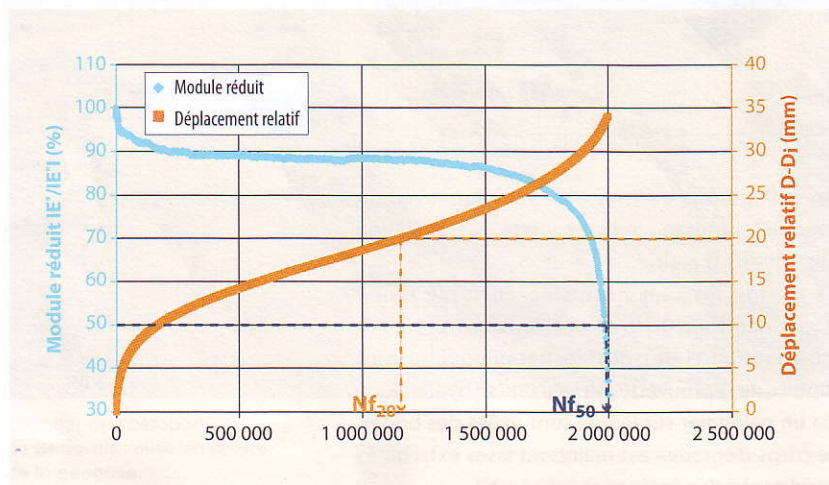
© COLAS

Le module complexe  $E^*$  de l'éprouvette est déterminé à partir de l'enregistrement en continu des signaux de force et de déplacement. La répétition des sollicitations entraîne un endommagement se traduisant par une chute du module. S'agissant d'un essai à contrainte imposée non centrée sur 0 et sans temps de repos, on observe également une déformation permanente de l'éprouvette. L'essai F4Pu n'est donc pas un essai de fatigue conventionnel<sup>7</sup>, mais il est bien adapté à la problématique puisqu'il met en évidence deux effets du renforcement observés in situ : la prolongation des durées de vie et la limitation des déformations verticales.

La **figure 2** est un exemple des courbes d'évolution en fonction du nombre de cycles du module réduit  $|E^*|/|E^*|_i$  et du déplacement relatif  $D-D_i$ , exprimés respectivement en pourcents et en mm, où  $|E^*|_i$  et  $D_i$  représentent les valeurs initiales du module complexe  $|E^*|$  et du déplacement  $D$ .

-Figure 2-

Essai F4Pu : exemple de courbes d'évolution du module réduit et du déplacement relatif.



-Tableau 1-

Grilles de l'étude.

Fournisseur	Grille	Caractéristiques		Essais réalisés	
		Résistance à la traction (kN/m)	Présence d'une enduction	Endommagement WTD	Apport structurel F4Pu
A	A50-1	50	✓	✓	✓
	A100-1	100	✓	✓	✓
	A100-2	100	✓	✓	✓
B	B50-1	50	✓	✓	✓
C	C100-1	100		✓	
	C50-2	50		✓	
	C100-2	100		✓	
	C100-3	100	✓	✓	✓
D	D50-1	50		✓	
	D50-2	50		✓	
E	E50-1	50	✓	✓	
	E50-2	50	✓	✓	

Pour l'analyse des résultats, deux critères de durées de vie  $N_f$ ,  $N_{f_{50\%}}$  et  $N_{f_{20\%}}$ , sont définis. Ils correspondent aux nombres de cycles pour atteindre une diminution de 50 % du module complexe  $|E^*|$  et un déplacement relatif (c'est-à-dire une déformation) de 20 mm.

Les essais sont réalisés à trois ou quatre niveaux de force  $F_0$  à raison de deux ou trois essais par niveau. Pour la représentation des résultats, on trace les valeurs de  $N_f$  obtenues lors de chaque essai en fonction de la contrainte maximale  $\sigma_{max}$ , correspondant à la contrainte en fibre extérieure entre les deux appuis intermédiaires, calculée comme suit :

$$\sigma_{max} = \frac{3F_0A}{BH^2}$$

Où :  $F_0$  est l'amplitude de la force appliquée ;  $A$  est la distance entre chaque ligne d'appui ;  $B$  est la largeur de l'éprouvette ;  $H$  est la hauteur de l'éprouvette.

Les points expérimentaux sont reportés dans un espace bi-logarithmique  $\log(\sigma_{max}) - \log(N_f)$  et approchés par des droites, appelées courbes de Wöhler, déterminées par la méthode des moindres carrés. Un coefficient de corrélation  $R^2$ , rendant compte des écarts entre les points expérimentaux et la courbe de Wöhler, est également calculé.

## PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

Une campagne d'essais suivant le protocole de qualification des grilles précédemment présenté a été entreprise au CST de Colas depuis 2015. Douze grilles de 5 origines différentes ont été retenues. Cette sélection est représentative de la diversité de l'offre de marché actuelle en termes de caractéristiques. Les résistances à l'endommagement de toutes les grilles ont été évaluées via l'essai WTD. L'essai F4Pu impliquant une logistique lourde, seules 5 d'entre elles ont été testées jusqu'à présent. Le **tableau 1** fournit un résumé des grilles employées : les noms des fournisseurs et les appellations commerciales y ont été codifiés.

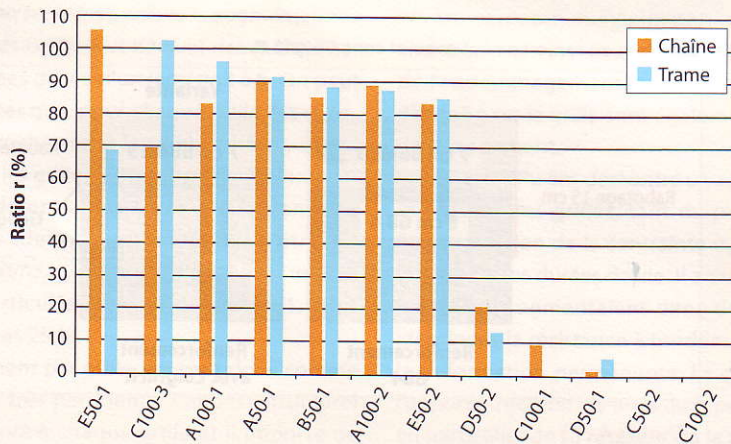
La résistance à la traction nominale des grilles ainsi que la présence ou non d'une enduction autour des fils, facteurs explicatifs des résultats présentés ci-après, sont mentionnées.

## RÉSULTATS DES ESSAIS WTD

La **figure 3** représente les résultats des essais WTD : les ratios  $r$  entre les résistances à la traction mesurées sur les 12 grilles de l'étude après et avant endommagement sont représentés.

On constate que, pour les grilles dont les fils sont recouverts d'une enduction, les ratios  $r$  présentent des valeurs élevées. Certains sont même légèrement supérieurs à 100 %, ce qui s'explique par la précision de la mesure. Les moyennes « chaîne et trame » des grilles enduites sont assez proches, comprises entre 84 et 91 %.

**-Figure 3-**  
Résultats des essais WTD : ratios r (trame et chaîne).



© CDLAS

La résistance à l'endommagement lié à la circulation des engins peut donc être considérée comme satisfaisante.

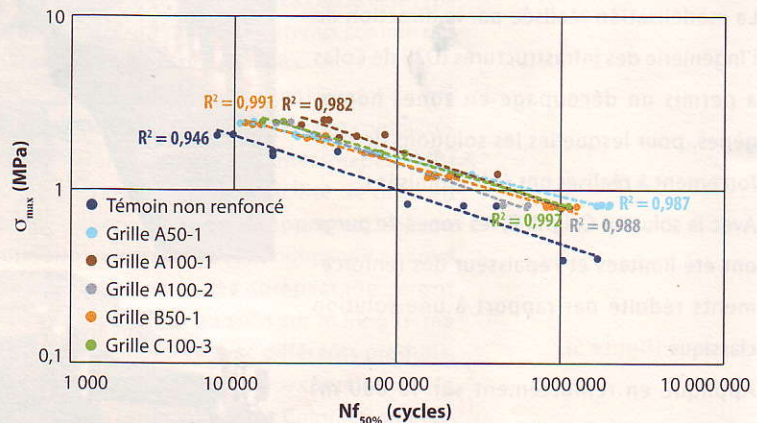
On note des écarts parfois assez significatifs entre les ratios « chaîne » et « trame » pour un même produit. Cela est dû au fait que les fils présentent parfois des différences importantes (géométrie, mode d'assemblage) selon l'orientation. Il est donc logique que leur résistance à l'endommagement diffère, ce qui justifie le fait de l'évaluer dans les deux orientations.

Les grilles non enduites de l'étude présentent toutes des valeurs de ratios faibles, de l'ordre de 20 % et moins. Pour certaines grilles (C100-1, C50-2 et C100-2), les fils étaient si endommagés après l'essai WTD que leur résistance à la traction n'a pu être évaluée et a donc été considérée comme égale à 0, d'où l'obtention de ratios nuls. Ces résultats sans équivoque interpellent sur le rôle joué par l'enduction sur la résistance des grilles à l'endommagement subi lors de la mise en œuvre.

**RÉSULTATS DES ESSAIS F4PU**

La **figure 4** représente les courbes de Wöhler pour le critère  $N_{f50\%}$  obtenues sur les témoins et les éprouvettes renforcées par les 5 grilles de l'étude. Les courbes du Wöhler pour le critère  $N_{f20\%}$ , qualitativement similaires, ne sont pas données. On peut observer une faible dispersion des résultats : les écarts entre les courbes de régression et les points expérimentaux sont assez faibles. Les coefficients de corrélation  $R^2$  obtenus sont compris entre 0,946 et 0,991. L'effet du renforcement est clairement identifiable pour toutes les grilles. En effet, pour une contrainte  $\sigma_{max}$  donnée, les durées de vie obtenues avec les éprouvettes renforcées sont plus élevées que celles du témoin. Graphiquement, cela se traduit par un décalage vers la droite. Par ailleurs, le facteur multiplicatif dépend du niveau de contrainte.

**-Figure 4-**  
Courbes de Wöhler : critère  $N_{f50\%}$ .



© CDLAS

En ce sens, le cas des grilles A50-1 et B50-1, les 2 grilles 50 kN/m de l'étude, est à noter : elles présentent des durées de vie globalement plus faibles que les grilles 100 kN/m dans le domaine des contraintes de haut niveau (supérieures à 2 MPa). En revanche, pour les contraintes de faible niveau (inférieures à 1 MPa), les durées de vie de ces grilles sont équivalentes, voire supérieures, à celles des grilles 100 kN/m. Ainsi, la grille A50-1 donne les durées de vie  $N_f$  les plus élevées de tous les produits testés dans un voisinage de 0,8 MPa. Ces résultats suggèrent que le niveau de service attendu de la chaussée renforcée peut être un critère pour le choix d'une grille : celles dont la résistance à la traction est de 100 kN/m se révèlent plus performantes pour de fortes sollicitations, alors que celles de 50 kN/m sont plus intéressantes lorsque les efforts sont plus modérés mais davantage répétés dans le temps.

Afin d'appréhender numériquement l'effet du renforcement des différentes grilles de l'étude, on introduit deux coefficients de renforcement : les ratios  $\sigma_6/\sigma_6 \text{ témoin}$  et  $\overline{N_f}/\overline{N_f} \text{ témoin}$ .

## Chantier de l'aéroport de Beauvais-Tillé

En juin 2014, les équipes de Colas Nord-Est ont réalisé les travaux de rénovation et de renforcement sur la piste 04/22, le taxiway Whisky et le parking P1 de l'aéroport de Beauvais-Tillé dans l'Oise.

Une campagne d'essais a été réalisée sur les zones à renforcer pour déterminer l'état des structures en place :

- des carottes pour déterminer l'épaisseur des couches, la nature et l'état des matériaux, et la qualité des interfaces ;
- des mesures de déflexion au SHWD (*Super Heavy Weight Deflectometer*) pour calculer les modules et la portance du support.

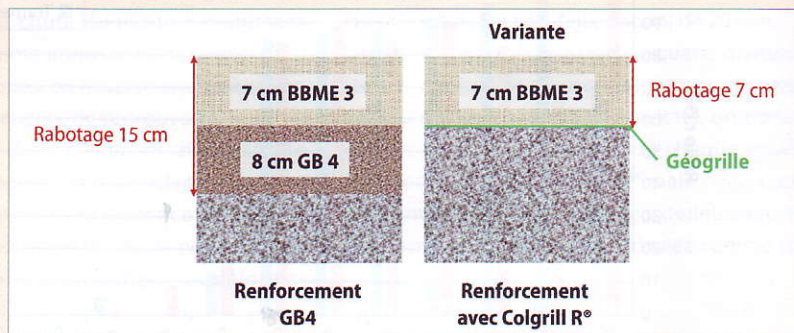
La modélisation réalisée par la direction de l'Ingénierie des infrastructures (D2I) de Colas a permis un découpage en zones homogènes, pour lesquelles les solutions de renforcement à réaliser ont été optimisées.

Avec la solution Colgrill R, les zones de purge ont été limitées et l'épaisseur des renforcements réduite par rapport à une solution classique (**figure 5**).

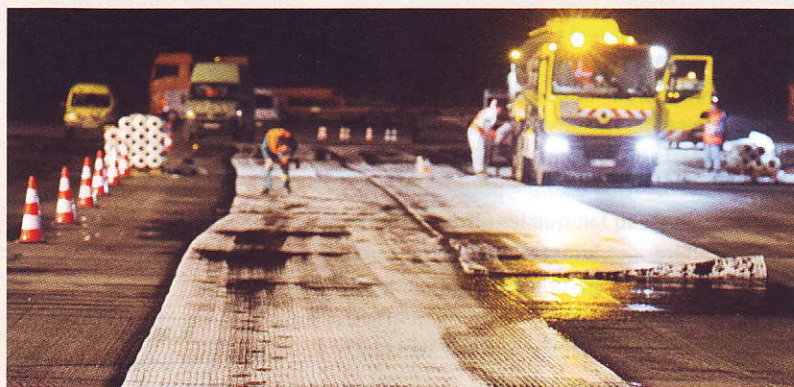
Appliqué en renforcement sur 18 000 m<sup>2</sup> (**photos 4 et 5**), Colgrill R a contribué à gagner du temps en optimisant le rabotage et les quantités de matériaux à mettre en œuvre.

Grâce à cette technique et à une organisation parfaitement maîtrisée, les équipes ont pu rénover et renforcer 50 000 m<sup>2</sup> en 5 jours.

-Figure 5-  
Solutions de renforcement avec et sans Colgrill R.



-Photos 4 et 5-  
Mise en œuvre de la géogrille.



$\sigma_6$  est la valeur de  $\sigma_{max}$  correspondant à une durée de vie  $N_f$  de  $10^6$  cycles.  $\bar{N}_f$  est la valeur moyenne de la durée de vie  $N_f$  sur la gamme de contraintes  $\sigma_{max}$  calculée comme suit :

$$\bar{N}_f = \frac{1}{\Delta\sigma_{max}} \int_{\Delta\sigma_{max}} N_f(\sigma_{max}) d\sigma_{max}$$

-Tableau 2-  
Résultats des essais F4Pu :  
coefficients de renforcement.

Grilles	$\sigma_6/\sigma_6$ témoin		$\bar{N}_f/\bar{N}_f$ témoin	
	$N_{f_{50\%}}$	$N_{f_{20}}$	$N_{f_{50\%}}$	$N_{f_{20}}$
A50-1	1,87	1,8	6,03	4,59
A100-1	1,65	1,62	5,20	4,31
A100-2	1,36	1,35	2,97	2,99
B50-1	1,60	1,50	3,62	2,97
C100-3	1,69	1,75	4,73	4,80

Où :  $\Delta\sigma_{max}$  est l'intervalle de calcul (compte tenu des contraintes obtenues lors des essais réalisés (**figure 5**), on a  $\Delta\sigma_{max} = [0,8 ; 2,5 \text{ MPa}]$  ;  $N_f(\sigma_{max})$  est l'expression de  $N_f$  en fonction de  $\sigma_{max}$  déterminée à partir de l'équation des courbes de Wöhler.

$\sigma_6$  et  $\bar{N}_f$  sont déterminés pour chaque grille et divisés par  $\sigma_6$  témoin et  $\bar{N}_f$  témoin, les valeurs obtenues pour les éprouvettes non renforcées. Ces coefficients permettent de quantifier directement les effets du renforcement :  $\sigma_6/\sigma_6$  témoin représente une augmentation de contrainte admissible, tandis que  $\bar{N}_f/\bar{N}_f$  témoin traduit une multiplication des durées de vie.

Les valeurs des coefficients de renforcement pour les 5 grilles de l'étude et les deux critères  $N_{f_{50\%}}$  et  $N_{f_{20}}$  sont disponibles dans le **tableau 2**.

Les valeurs obtenues montrent un apport structurel important. Si l'on excepte la grille A100-2, légèrement en retrait, on note des augmentations de contraintes  $\sigma_6$  de 50 à 87 % et des multiplications de durées de vie d'un facteur 3 à 6. On peut aussi constater que, pour chaque grille, les  $\sigma_6/\sigma_6$  témoin sont proches pour les deux critères, ce qui suggère que les grilles agissent sur l'endommagement et la déformation permanente dans des proportions identiques. Les écarts entre les valeurs de  $\overline{N_f}/\overline{N_f}$  témoin sont un peu plus importants, en particulier pour la grille A50-1, mais n'excèdent pas 25 %.

Le renforcement par grille apparaît donc comme une solution très pertinente. L'apport structurel est bien propre à chaque grille et il importe de l'évaluer.

## CONCLUSION

Les expérimentations réalisées au sein du CST de Colas dans le cadre du protocole de qualification des grilles de renforcement d'enrobé ont établi que la seule caractéristique de résistance à la traction nominale des grilles de verre ne permettait pas de préjuger de leur efficacité en renforcement de chaussée. D'autres caractéristiques liées à leur mode de confection influent fortement sur :

- leur capacité à résister aux contraintes de mise en œuvre ;
  - leur capacité d'allongement de la durée de vie d'un enrobé en fonction du niveau de sollicitation.
- Le rôle joué par l'enduction dans la résistance à l'endommagement subi lors de la mise en œuvre a ainsi été identifié. Les grilles sans enduction présentent des résistances à la traction résiduelle

très faibles qui semblent incompatibles avec une utilisation pour Colgrill. L'essai WTD est très sévère comparé aux sollicitations réelles d'un chantier, mais est discriminant. Des évaluations de l'endommagement subi lors du compactage d'enrobé sur la grille sont également en cours de développement.

Les essais F4Pu ont démontré un apport structurel important des grilles, tant du point de vue de l'augmentation de la contrainte  $\sigma_6$  que de la prolongation des durées de vie. Il a pu être établi que les grilles augmentaient dans des proportions identiques la résistance à l'endommagement et à la déformation permanente. La dépendance de l'apport structurel vis-à-vis du type de produit, et en particulier de sa résistance à la traction, a aussi été constatée. Ainsi, les grilles 100 kN/m sont plus performantes pour les charges élevées peu répétées, alors que les grilles 50 kN/m semblent plus intéressantes lorsque les sollicitations sont moins intenses mais plus nombreuses. La classe et le type de trafic pourraient donc être retenus comme des facteurs de sélection des produits.

Dans le souci permanent de ne pas perdre de vue les réalités du terrain, ces essais seront complétés par des observations de chantiers expérimentaux. Des évaluations de la facilité de mise en œuvre – notion difficilement appréhendable en laboratoire – ainsi que de l'endommagement réel sous circulation et après compactage seront mises en place. Grâce au suivi sur le long terme des sections renforcées avec différents produits, Colas pourra accroître son expertise en la matière. Cette optimisation de Colgrill R améliorera économiquement et techniquement l'offre pour l'entretien et le renforcement des chaussées fissurées et fatiguées. ■

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Christophe Priez, directeur technique adjoint de Colas Nord Est, pour sa participation à la rédaction de l'article, ainsi que Chahrazad Oukili et Mayssa Gaaya, pour leur importante contribution à la réalisation des essais et à l'analyse des résultats.

## RÉFÉRENCES

1. J.-P. Kerzreho, J.-P. Michaut, P. Hornych, « Enrobé armé de grille en fibre de verre : test sur le manège de fatigue de l'Ifsttar », RGRA n° 890, décembre 2010 – janvier 2011, pp. 48-51.
2. J. Blanc, J.-P. Kerzreho, P. Hornych, J.-L. Joutang, N. Bastard, « Structure de chaussée renforcée par une géogridde : essai en vraie grandeur, sur le manège de fatigue de l'Ifsttar », RGRA n° 910, mars 2013, pp. 60-64.
3. F. Canestrari, L. Belogi, G. Ferrotti, A. Graziani, « Shear and flexural characterization of grid-reinforced asphalt pavements and relation with field distress evolution », *Materials and Structures*, vol. 48, Issue 4, Springer, avril 2015, pp. 959-975.
4. F. Gileni, E. Godard, « Colgrill R dans l'Aude : 15 ans de retour d'expérience sur l'enrobé armé », RGRA n° 923, octobre – novembre 2014, pp. 45-51.
5. M. H. M. Coppens, P.A. Wieringa, « Dynamic testing of glass fibre reinforced asphalt », *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International RILEM Conference « Reflective Cracking in Pavements »*, 1993, pp. 200-205.
6. T. Coppens, D. Doligez, « Comportement d'un enrobé renforcé d'une armature en fibres de verre : vieillissement par fatigue », RGRA n° 710, septembre 1993, pp. 58-59.
7. J.-F. Corté, H. Di Benedetto, *Matériaux routiers bitumineux*, vol. 2, Hermès, 2005, pp. 126-127.