

RENFORCEMENT D'ENROBE PAR UNE GRILLE ANTI-FISSURES POLYESTER – UNE SOLUTION DURABLE ILLUSTRÉE SUR CHANTIER

ASPHALT REINFORCEMENT WITH A POLYESTER GEOGRID – A SUSTAINABLE SOLUTION CONFIRMED ON SITE

Romain DURAND, Johann BRUHIER, Rabah ARAB

HUESKER France SAS, Rue Jacques Coulaux, 67190 Gresswiller, France

RÉSUMÉ – Le besoin de mobilité est en constante augmentation (plus de trafic, trafic plus lourd) et s'accompagne d'un développement du réseau routier mais aussi de problématiques de réhabilitation de chaussées existantes. Ces chaussées soumises à des contraintes dynamiques importantes ainsi qu'aux effets environnementaux climatiques peuvent rencontrer des problèmes de remontées de fissures se propageant jusqu'à la surface dans les couches d'enrobé.

Pour retarder le problème de remontées de fissures et donc permettre l'allongement de la durée de service des chaussées en enrobé, une grille de renforcement en polyester à haut module et résistante à l'endommagement a prouvé son efficacité depuis plus de 40 ans. Cet article illustre par des expériences théoriques en laboratoire ou en modélisation, mais surtout par des chantiers dans des conditions difficiles, l'efficacité et les avantages économiques cette grille. Dans un contexte de réduction des émissions de CO₂ et de protection de l'environnement, ce papier explicite, au moyen d'un bilan carbone, l'apport d'un renforcement d'enrobé polyester pour la construction et la réhabilitation de routes plus durables.

ABSTRACT – The constantly growing need of mobility (more traffic, heavier traffic) is related to the development of the road network but also with problematics of existing ways rehabilitations. These concrete or asphalt pavements, subject to heavy dynamic loads as well as environmental effects like high temperature changes, can encounter cracking troubles growing up to the surface of the asphalt layers.

In order to delay the development of reflective cracks, and consequently extend the serviceability of the asphalt pavement, a high-modulus and installation damage resistant polyester asphalt reinforcement grid proved its efficiency for more than 40 years. This article illustrates with theoretical laboratory experimentations or models but moreover with difficult conditions sites the efficiency and the economic advantages of such polyester grid. In a general context of CO₂ emissions reduction and environment protection, this paper shows, with a comparative calculation of embodied carbon dioxide for reinforced and unreinforced asphalt overlays, the extremely positive effect of the polyester grid for construction and rehabilitation of more sustainable roads.

1 Introduction

Le renforcement d'enrobé est utilisé dans le monde depuis plus de 40 ans pour retarder ou même empêcher le développement de fissures réfléchies dans les couches d'enrobé. L'utilisation d'un renforcement d'enrobé peut donc clairement améliorer la durée de service d'une chaussée et donc espacer les opérations de réhabilitation. Par conséquent, cette augmentation de la durée de vie de la couche de roulement a un effet positif sur les coûts d'entretien par an mais également sur les quantités de ressources et d'énergies utilisées, par an, en les réduisant de manière significative.

2 Notions sur les fissures réfléchives et intérêt du renforcement d'enrobé

Les surfaces en enrobé sont soumises à la fissuration par la propagation des fissures issues des couches inférieures en raison des sollicitations thermiques et dynamiques de circulation comme illustré figure 1 (Bruhier, 2006).

Le passage d'une charge (essieu) au-dessus d'une fissure génère des efforts de cisaillement et des moments fléchissants. L'intensité de ces sollicitations dépend de l'épaisseur de la couche d'enrobé, de la structure existante, ou de la portance du sol support et de la géométrie des fissures. Sous ces sollicitations répétées, les fissures se propagent à l'intérieur de la nouvelle couche d'enrobé jusqu'à sa surface.

La dilatation et la contraction dues aux variations thermiques quotidiennes ou saisonnières, génèrent des mouvements cycliques horizontaux. Le liant de l'enrobé devient cassant sous ces sollicitations et cela génère l'apparition de fissure en surface.

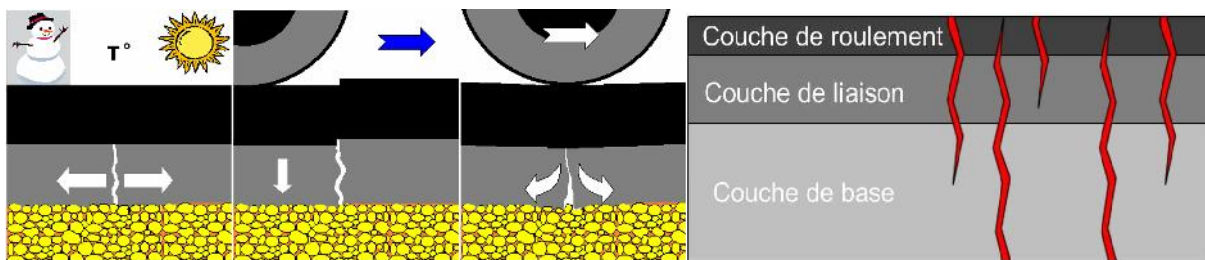


Figure 1 : Sollicitations thermiques et dynamiques (à gauche) engendrant la fissuration de la chaussée en enrobé (à droite)

Une réhabilitation classique de la couche de roulement par ajout d'une nouvelle couche ou fraisage de la couche de roulement endommagée et mise en œuvre d'une nouvelle couche d'enrobé mène inévitablement à l'apparition rapide de fissures à la surface par propagation vers la surface des fissures réfléchives du support (figure 2 gauche).

L'utilisation d'une grille polyester à la base de la nouvelle couche de roulement renforce la structure. Une grille polyester anti-fissuration permet en effet d'augmenter considérablement la durée de service d'une chaussée (figure 2 droite)

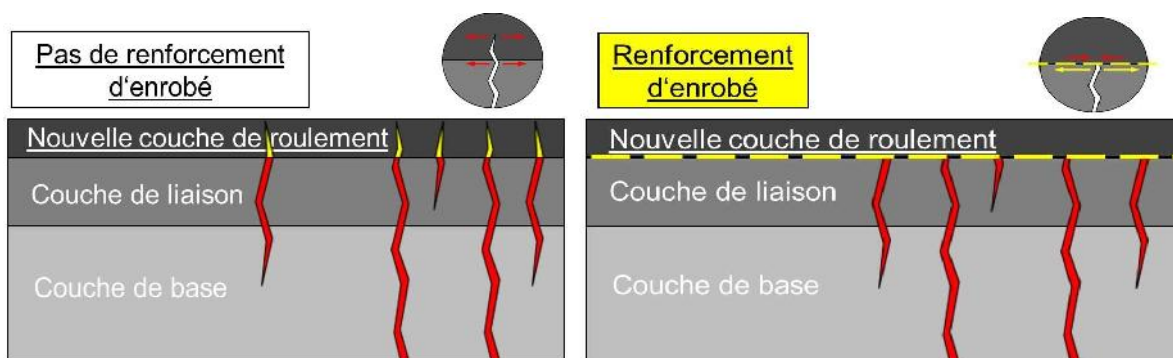


Figure 2 : Propagation des fissures réfléchives dans les chaussées non renforcées (gauche) et renforcées (droite)

3 Intérêt d'une grille anti-fissures en polyester

Le matériau utilisé, flexible et sans mémoire de forme, est un polyester (PET) à haut module avec une allongement à la rupture inférieur à 12%. Les coefficients d'expansion thermique du polyester et de l'enrobé (bitume) sont très proches ce qui ne génère pas de contraintes internes importantes entre les fibres de PET et l'enrobé environnant. La mise en œuvre d'une grille anti-fissures en PET améliore la flexibilité de la structure et s'oppose à la propagation des fissures réfléchives en distribuant les contraintes de cisaillement à l'interface nouvelle couche/ancienne couche.

Ce comportement de répartition des contraintes qui empêche la création de pics de contraintes dans la couche de roulement a été modélisé numériquement au moyen d'un modèle aux éléments finis. La 1^{ère} fissure dans la couche de liaison concentre les contraintes appliquées par la simulation d'une charge dynamique (figure 3). En l'absence de renforcement, la fissure se propage vers la surface. Sur le modèle comportant un renforcement d'enrobé (figure 4), la fissure réfléchive rencontre la grille qui reprend les efforts et les répartit horizontalement. Par conséquent, la propagation de la fissure vers le haut est ralentie et le pic de contrainte est largement atténué.

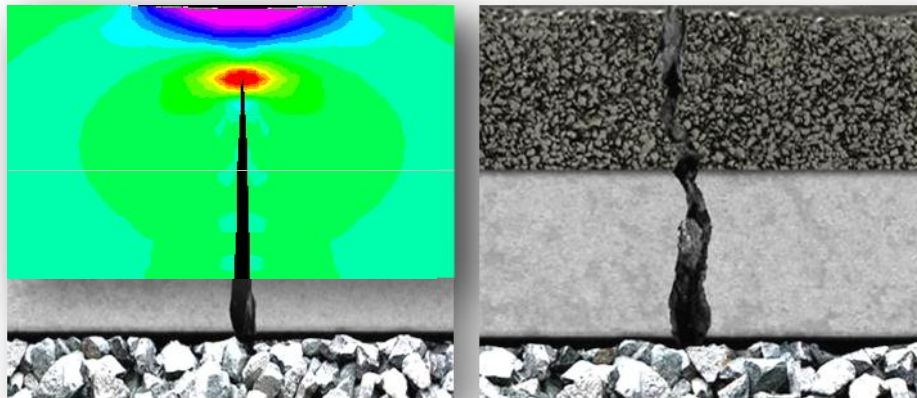


Figure 3 : Modélisation aux éléments finis de la propagation d'une fissure réfléchive dans une chaussée non renforcée

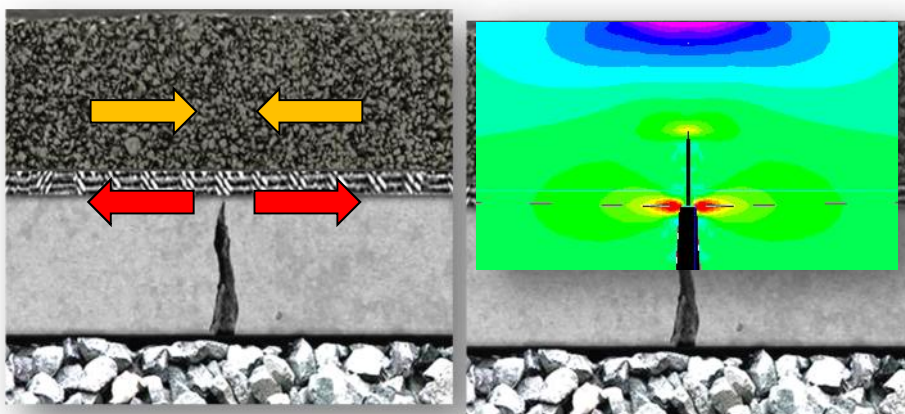


Figure 4 : Modélisation aux éléments finis de la propagation d'une fissure réfléchive dans une chaussée renforcée

Une grille anti-fissure doit être mise en œuvre non seulement pour absorber les contraintes à court terme mais aussi pour maintenir ses caractéristiques dans le temps. Or il a été montré que les

grilles de verre se détériorent plus rapidement que le polyester sous l'effet de contraintes dynamiques particulièrement en cas de mouvements verticaux de part et d'autre des fissures (comportement en cisaillement). (Montestruque et al, 2012).

Soumis à des contraintes dynamiques - sollicitation due au cisaillement (figure 5) et sollicitation due au moment fléchissant (figure 6) – des échantillons d'enrobé, renforcé ou non par une grille PET mettent en exergue la double efficacité du renforcement (Bruhier, 2006). La remontée des fissures est considérablement retardée. De plus on peut constater que les fissures atteignant la surface sont de moindre ampleur. Le facteur d'amélioration de la grille polyester peut être calculé en faisant le rapport entre le nombre de cycle nécessaire pour que la fissure atteigne la surface entre l'échantillon non renforcé et l'échantillon renforcé. Il vaut entre 4,6 et 6,14 selon les échantillons testés

$$\text{Facteur d'amélioration } V_F = \frac{\text{Nombre de cycles pour l'échantillon renforcé}}{\text{Nombre de cycles pour l'échantillon non renforcé}} \quad (1)$$

$$4,6 \quad V_F \quad 6,14$$

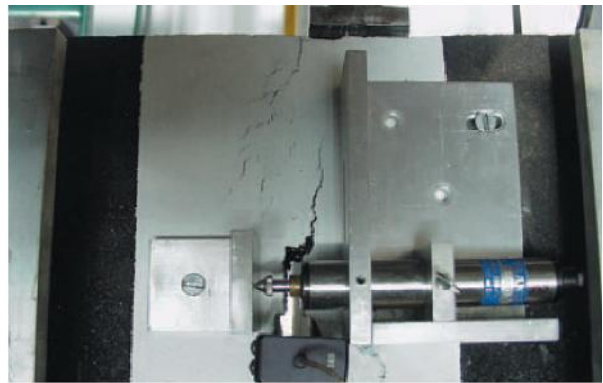
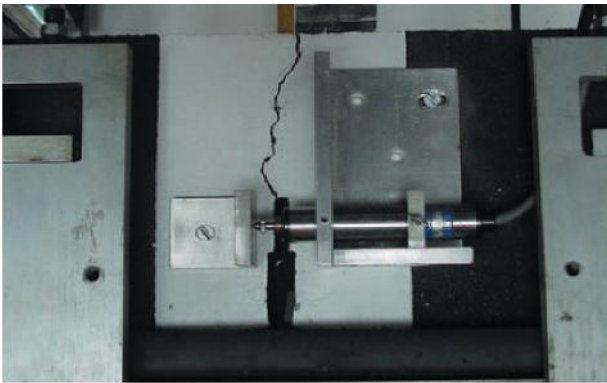


Figure 5 : Echantillon non renforcé soumis au cisaillement après 90 000 cycles (à gauche)
Echantillon renforcé soumis au cisaillement après 570 000 cycles (à droite)

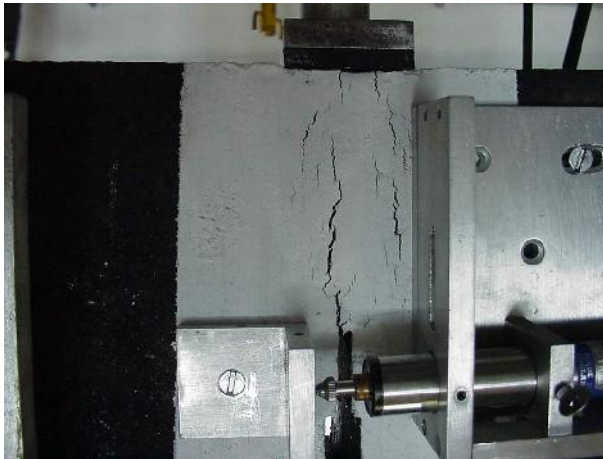
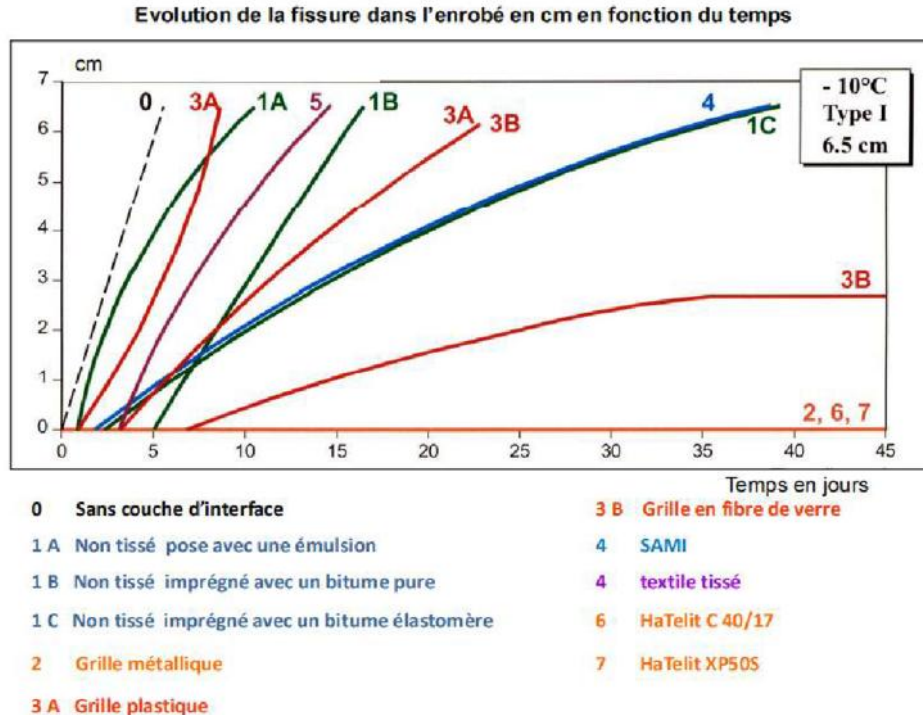


Figure 6 : Echantillon non renforcé soumis au moment fléchissant après 80 000 cycles (à gauche)
Echantillon renforcé soumis au moment fléchissant après 490 000 cycles (à droite)

Par ailleurs, des séries de tests réalisés par le « Centre de recherches routières Belge » (OCW) ont montré la robustesse de la grille polyester face aux sollicitations thermiques (Bruhier, 2011). La pré-fissure à la base de l'échantillon renforcé n'a jamais atteint la surface pour une grille polyester et une grille métallique. Il n'en est pas de même pour tous les autres types de renforcement (figure 7).



CRR-OCW 18969/2

Figure 7 : Comparaison de la résistance aux sollicitations thermiques de différents renforcements d'enrobé

Comme il a été démontré par De Bondt (De Bondt 1999), la raideur et la résistance du renforcement d'enrobé ne sont pas les seuls critères d'efficacité. Le collage entre les couches d'enrobé entre lesquelles est intégrée la grille anti-fissure, exprimé sous forme d'une « raideur d'imbrication », est primordial. Si le renforcement n'est pas capable de reprendre les efforts importants en tête de fissure, à cause d'une mauvaise imbrication, son effet est remis en cause. De Bondt a testé son concept de « raideur d'imbrication » par des essais de cisaillement de différents échantillons d'enrobé. Il a été montré que la grille polyester a de loin le meilleur comportement.

Pour une efficacité à long terme, il est important que le renforcement d'enrobé subisse le moins possible d'endommagement à la mise en œuvre. Des travaux à l'université d'Aix-la-Chapelle (Allemagne) ont montré la résistance importante de la grille polyester à l'endommagement dans des conditions de chantier (figure 8). Des essais de laboratoire ont montré que la grille polyester conserve plus de 85% de sa résistance à la traction nominale après 35 passages de semi-remorque à même la grille. A contrario, la grille de verre présente des résistances à la traction bien moins importantes en raison d'un endommagement majeur. (Sakou 2011)

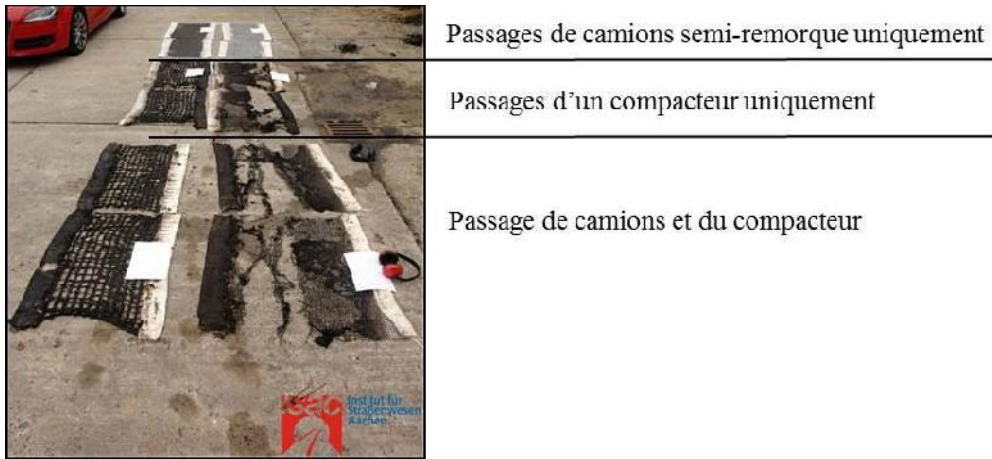


Figure 8 : Endommagement à la mise en œuvre d'une grille polyester (à gauche) et d'une grille de verre (à droite) (Sakou, 2011).

4 Retours d'expérience sur chantier

Forte d'une utilisation depuis plus de 40 ans, la grille polyester a prouvé son efficacité dans le retardement de la fissuration des chaussées en enrobé renforcées. Nous le montrons par trois retours d'expérience sur différents chantiers dans le monde, dans différentes conditions météo et soumis à différentes contraintes.

A Ochtrup (Allemagne), une chaussée réhabilitée en 1996 par fraisage puis au moyen d'une grille polyester et de 5 cm de nouvel enrobé montre un état général très satisfaisant 17 ans plus tard (figure 9 droite). La chaussée, sur un axe important à la frontière Allemagne-Pays-Bas et soumise à un trafic de poids lourds intense, ne présente pas de fissures structurales malgré la fissuration initiale sous la couche de roulement (figure 9 gauche). Quelques zones fissurées sont présentes au niveau de quelques points singuliers en bordure de chaussée vraisemblablement en raison de la différence de compactage lors de la mise en œuvre (Thesseling, 2014). L'état de la chaussée a été constaté par l'organisme indépendant « TÜV Rheiland ».



Figure 9 : Etat de la chaussée à Ochtrup (Allemagne) avant réhabilitation en 1996 (à gauche) et en 2013 (à droite)

La comparaison entre chaussées renforcées et non renforcées, soumises à un trafic important de véhicule léger sur un axe urbain majeur, a été spectaculairement constatée sur le Corso

Giovanni Agnelli à Turin (Italie). Le long de la même avenue, une section a été réhabilitée avec la grille polyester anti-fissures et l'autre non en 2005. Quatre ans plus tard, la zone renforcée et couverte de 4 cm de nouvel enrobé en 2005 ne présentait aucune fissure en surface au contraire de la section simplement réhabilitée par 5 cm d'enrobé (figure 10) (Thesseling 2013).



Figure 10 : Comparaison du Corso Giovanni Agnelli à Turin (Italie) 4 ans après la réhabilitation entre la section renforcée (à gauche) et la section non renforcée (à droite)

L'effet majeur des variations de température a été montré grâce au retour d'expérience sur l'aéroport Salgado Filho Airport à Porto Alegre (Brésil) (Leite-Gembus 2015). En effet, lors de la réhabilitation des pistes vers les hangars de maintenance, seul le milieu des pistes a été renforcé par la grille polyester HaTelit® après la mise en œuvre d'une couche d'égalisation sur les dalles béton en place.

Après 7 ans, les joints du béton sont déjà remontés en surface sur les bords, non-renforcés, des pistes tandis que les zones renforcées sont toujours saines.

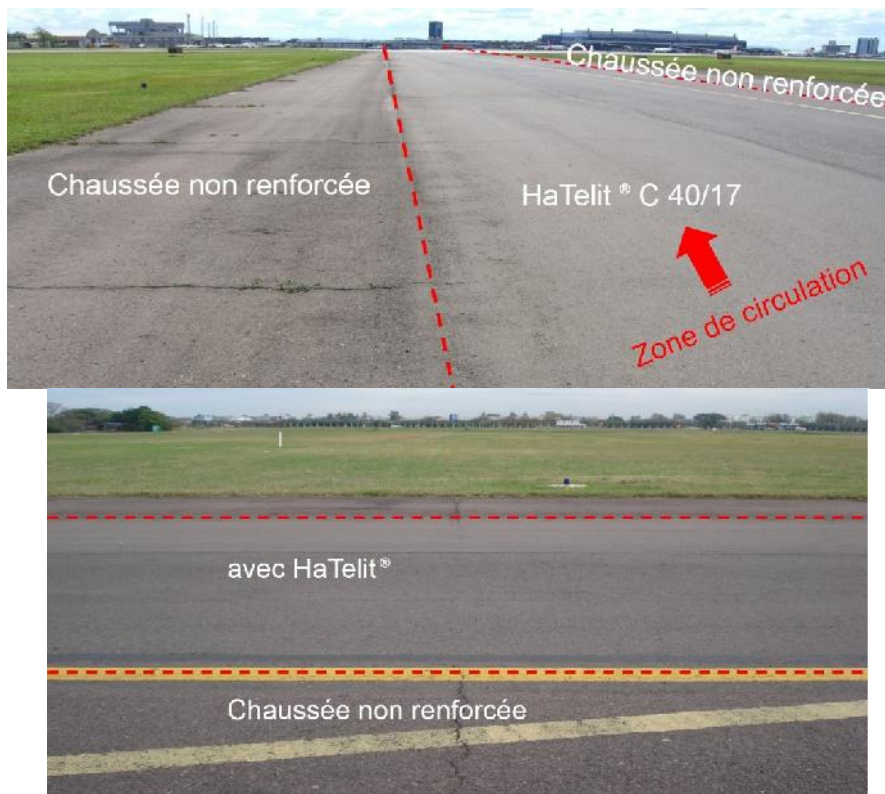


Figure 11 : Vue sur les pistes, contraste entre les zones renforcées et non renforcées après 8 ans

Alors que la partie centrale de la piste, renforcée, est soumise aux charges de trafic et aux variations climatiques, les zones latérales ne sont, elles, soumises qu'aux influences du changement de température. Ce qui a suffi à faire remonter les fissures à travers la structure.

5 Renforcement d'enrobé et développement durable

Le recours au renforcement d'enrobé par une grille polyester s'inscrit dans une démarche de développement durable. L'espace dans le temps des mesures de réhabilitation d'un tronçon routier s'accompagne mécaniquement d'un effet positif sur le bilan carbone de la chaussée. De plus quand la réhabilitation d'une zone couverte de grille polyester devient nécessaire, cette dernière n'est pas un obstacle au fraisage ni à son recyclage.

A l'inverse d'autres modes de renforcement d'enrobé, l'ajout d'une grille polyester n'a pas d'impact négatif sur le fraisage et la qualité du recyclage de l'enrobé. Une étude menée à l'université de Aix-la-Chapelle (Allemagne) a montré la triple innocuité du renforcement polyester dans une couche d'enrobé (Bruhier, 2011).

Dans un premier temps, l'étude a montré que l'enrobé peut être fraisé à quelques millimètres seulement au-dessus de la grille sans que celle-ci n'en soit affectée. Le renforcement reste donc efficace contre la remontée de fissures réfléchies.

Dans un second temps, il a été vu que l'enrobé peut être fraisé sur une épaisseur incluant le renforcement polyester. Le fraisage n'est pas retardé ou rendu plus difficile par la présence de la grille. Les fibres ne viennent pas enrayer le mouvement du tambour (figure 12).

Dans un troisième temps, l'étude a établi que la présence de fibres polyester dans l'enrobé fraisé n'a aucun impact négatif sur les caractéristiques de stabilité et fluidité au test de Marshall de l'enrobé recyclé



Figure 12 : Fraisage aisé d'un enrobé renforcé par la grille polyester

L'étude menée par Hessing et al (2011) a établi le bilan carbone d'une surface de 5000 m² de chaussée fraisée réhabilitée avec 4 cm d'enrobé sans renforcement d'enrobé et avec renforcement par une grille polyester.

Les hypothèses, à partir des retours d'expérience, partent sur une durée de service de 4 ans et un facteur d'amélioration de 3 de la durée de service avec renforcement. A partir des valeurs d'émission de CO₂ propre à chaque matériau (figure 13) et étape des travaux issues des données « Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0 » de l'université de Bath (Royaume-Uni), il a été établi que la mise en œuvre de la chaussée renforcée par la grille anti-fissure polyester est responsable de l'émission de 8,52 kg de CO₂/m² contre 7,72 kg de CO₂/m² pour la chaussée non renforcée. Ceci est dû au dosage plus important en émulsion pour permettre le collage de la grille et évidemment à la grille polyester elle-même. (figure 14)

Material	kg ECO ₂ / kg of material	Note
Aggregate	0.0052	gravel or crushed rock
Aluminium	9.16	-
Asphalt	0.076	6% binder content
Bitumen	0.55	-
Cement	0.74	UK weighted average
Concrete 16/20	0.10	unreinforced
Reinforced Concrete RC 40/50	0.188	high strength applications / precast
PVC General	3.10	-
Polyester	1.93	derived from HDPE
Steel	1.46	average UK recycled content
Steel	2.89	Virgin steel

Source: ICE Inventory of Carbon & Energy V2.0

Figure 13 : Tableau des émissions de CO₂ en kg/kg de matériau d'après « ICE V2.0 »

Mais en ramenant le bilan carbone en kg/m² par année d'exploitation de la chaussée sans réhabilitation, les émissions des CO₂ sont 63% moins importantes pour une chaussée renforcée que pour une chaussée non renforcée. En effet, le facteur d'amélioration de la durée de service de 3 implique que la chaussée avec une grille polyester ne sera pas réhabilitée pendant 12 ans contre 4 ans sur la chaussée non renforcée. L'émission de CO₂ calculée est donc de 1,93 kg/m²/an pour la chaussée sans renforcement contre 0,71 kg/m²/an pour la chaussée dotée d'une grille polyester (figure 14)

	Material consumption		kg embodied CO ₂ per kg of material	embodied CO ₂ in kg / m ²	
				unreinforced	HaTelit [®] reinforced
Asphalt (~25 kg/cm)	100	kg / m ²	0.076	7.60	7.60
Bituminous emulsion (70%, 0.3 kg/m ²)	0.21	kg / m ²	0.55	0.12	-
Bituminous emulsion (70%, 1.0 kg/m ²)	0.70	kg / m ²	0.55	-	0.39
HaTelit [®] asphalt reinforcement	0.30	kg / m ²	1.93	-	0.58
Total embodied CO₂ for rehabilitation	kg / m ²			7.72	8.57
Improvement factor	[-]			1	3
Design life (improved)	years			4	12
Total embodied CO₂ per year design life	kg / m ² / year			1.93	0.71
CO₂ saving per m² and year of design life					63 %
Total CO₂ saving for improved design life					73,200 kg

Figure 14: Comparaison des émissions de CO₂ entre 5000 m² de chaussée non-renforcée et renforcée rapportée à la durée de service

Sur la durée de 12 ans et la surface modélisée de 5000 m², c'est ainsi 73 tonnes de CO₂ qui sont évitées en espaçant le besoin de campagnes de réhabilitation de la chaussée. En d'autres termes, cela représente la consommation annuelle moyenne de 10 voitures parcourant 15 000 km chacune. Plus spectaculaire, réhabiliter 5000 m² avec l'ajout d'une grille PET anti-fissure permet d'économiser suffisamment d'émission de CO₂ pour réhabiliter 8500 m² supplémentaire sans émissions de dioxyde de carbone supplémentaire, par rapport à la solution non renforcée.

6 Conclusion

La mise en œuvre d'une grille polyester HUESKER en renforcement d'enrobé a pour but de retarder l'apparition de fissures réfléchives et espacer les campagnes de réhabilitation. Prouvée en laboratoire, par modélisation numérique et surtout par retour d'expérience, l'efficacité de la grille polyester anti-fissures a fait ses preuves.

En retardant l'apparition de fissures réfléchives, le renforcement d'enrobé améliore le confort des usagers, permet l'espacement des campagnes de travaux ce qui permet aux institutions d'assurer la réhabilitation de plus de tronçons sur leur territoire et offre des économies majeures d'émission de CO₂, dans le contexte d'un monde conscient des réalités écologiques.

REFERENCES

- Bruhier J., Elsing A., (2006) Efficacité d'une grille en polyester en tant que système anti-remontées de fissures. *Actes des 6^{èmes} rencontres géosynthétiques du Comité Français des Géosynthétiques, Montpellier.*
- Bruhier J., Thesseling B. (2011) Fraisage et recyclage d'une grille anti-fissure en polyester haute ténacité. *Actes des 8^{èmes} rencontres géosynthétiques du Comité Français des Géosynthétiques, Tours.*
- Hessing C., Thesseling B., Alexander W., (2011), A sustainable maintenance method for cracked pavements using polyester asphalt reinforcement. Increase pavement life, reduce maintenance and create sustainable pavements. *Proceedings of the 14th International Flexible Pavements Conference, Sydney, Australia*
- Sakou L., (2011), Überprüfung der Wirksamkeit von Asphaltbewehrungssystemen unter Berücksichtigung der Einbaubedingungen, *Diploma Thesis, RWTH Aachen, Institute of Road and Traffic Engineering*
- Montestruque G, Bernucci L, Fritzen M (2012). Stress Relief Asphalt Layer and Reinforcing Polyester Grid as Anti-Reflective Cracking Composite Interlayer System in Pavement Rehabilitation. *Proceedings of the 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements*
- Thesseling B., Kiggins G., (2013). Polyester Geogrids as Asphalt Reinforcement – A proven Technology. *Proceedings of the Geosynthetics Conference, Long Beach, California*
- Thesseling B., Quiel M. (2014), Investigation of the long term performance of a high tenacity Polyester reinforcement in asphalt pavement rehabilitation. *Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin*
- Leite-Gembus F, Thesseling B (2015). Polyester geogrids as asphalt reinforcement – a sustainable solution for pavement rehabilitation. *Proceedings of the 6th international conference bituminous mixtures and pavements.*