

Investigation in situ d'une méthode d'injection pour la réparation des fissures de chaussées semi-rigides

Samy Mezhoud¹, Pierre Clastres², Hacène Houari³

¹Laboratoire LASTERNE de Constantine, Algérie, mail : mezhoud.sami@umc.edu.dz

²UPS Génie Civil, INSA Toulouse, France, mail : clastres@insa-toulouse.fr

³Laboratoire LMDC de Constantine, Algérie, mail : hhouarilmcd@yahoo.fr

RÉSUMÉ. Les chaussées semi-rigides sont couramment affectées par le problème de remontée des fissures. Si ce type de dégradation n'est pas réparé convenablement, les performances de la chaussée risquent de chuter et sa durée de vie prévue va nettement diminuer. Cet article présente dans ce contexte les résultats expérimentaux d'une nouvelle méthode d'injection. Cette méthode consiste, après avoir fraisé la couche de roulement des zones affectées, à injecter les fissures moyennant un dispositif bien adapté et l'emploi d'un mortier à retrait compensé. Les caractéristiques structurelles de la chaussée après travaux de maintenance sont comparées avec les valeurs initiales via des mesures FWD (Falling Weight Deflectometer), tandis que l'évolution de la fissuration est examinée durant les deux années suivantes. L'intérêt économique de la technique est aussi vérifié en procédant à des comparaisons avec d'autres méthodes de réparation classiquement employées. La méthode présentée ici a été appliquée le long d'un tronçon autoroutier de 100 km, sous trafic et sans procéder à sa fermeture. La capacité portante de la chaussée après travaux de maintenance s'est nettement améliorée et les observations réalisées à long terme révèlent l'absence de remontée ou d'apparition de nouvelles fissures.

ABSTRACT. This research presents the results of an experimental work on site, which has as subject the implementation of an injection method for the maintenance of longitudinal cracks. The method consists, after having milling the wearing course of the affected areas, of making an injection under pressure of compensated shrinking mortar with a specific device. The subject is to ensure a better penetration of the grout along the crack up to stabilized sub-course layer. The bearing capacity of repaired area is tested using a Falling Weight Deflectometer device (FWD). Furthermore, long-term observations were undertaken during two years, in frame to appreciate the durability and performances of this injection method. On the other hand, the research include a cost-effectiveness study with other repairing methods used classically. The results show that this method ensure an efficiency of injection work and a general profitability of the operation under traffic along a motorway section of 100 km, without proceeding the closing of the road. The bearing capacity of the pavement was significantly improved and the executed observations in long term of the repaired areas show the absence of reflection or appearance of new cracks.

MOTS-CLÉS : Injection, fissuration, chaussée, maintenance.

KEY WORDS: Grouting, reflective cracking, roadway, maintenance.

1. Introduction

Les chaussées mixtes, employant des matériaux granulaires traités aux liants hydrauliques « MGTLH », sont utilisées depuis 1908, date à laquelle J.H Aimes a enregistré son brevet relatif au procédé de stabilisation des sols [WIL 86]. Le recours à cette technique augmente significativement la résistance et la durabilité du matériau granulaire marginal. Néanmoins l'incorporation des « MGTLH » provoque la création de déformations, essentiellement dues au phénomène de retrait, lors et après la prise. Ce désordre est accentué par les passages répétés des charges roulantes et par les chargements thermiques dus aux écarts de température. Ceci provoque la naissance de fissures qui, avec le temps, vont remonter à la surface de la route.

Ce type de pathologie expose la chaussée à l'infiltration de l'eau superficielle, ce qui peut augmenter le risque d'une dégradation accélérée et une diminution de la durée de service de la route [JUN 09]. Malgré cette fatalité, l'utilisation des chaussées mixtes n'a été jamais abandonnée. En effet, ce type de revêtement est caractérisé par de nombreux avantages tels que la résistance élevée, la rigidité, une excellente intégrité, et une grande stabilité à l'eau [CHO 06] [ZHA 09]. C'est pour cette raison, que les procédés visant à limiter ou à réparer ce désordre ont été largement sollicités.

Il en existe plusieurs. Mais parfois, il est recommandé de ne rien faire ! Plutôt que de couvrir le problème et le voir réapparaître aussitôt [ORR 06]. Toutefois cette solution n'est pas envisageable pour des routes à fort volume de circulation. Dans ce cas, le colmatage et remplissage superficiel des fissures sont les méthodes de réparation les plus communément exécutées. Le remplissage s'effectue avec des matériaux d'origine bitumineuse, surtout pendant la période initiale d'apparition des fissures. Ce traitement empêche uniquement et momentanément l'infiltration de l'eau à l'intérieur de la chaussée. Il n'a pas d'effet sur l'évolution de la fissuration. Néanmoins, un programme effectif de colmatage peut augmenter sûrement la durée de service de la route [MOS 09]. Certains cas de chaussée dégradée nécessitent un renforcement pour rallonger la durée de service. Pourtant, malgré l'emploi de plusieurs variantes pour résoudre le problème de remontée des fissures, les performances résultantes n'ont pas pu arriver au stade de pleine satisfaction [HAN 13]. Par ailleurs, plusieurs essais ont été réalisés pour évaluer l'emploi des géotextiles incorporés avec renforcement, mais la plupart ont montrés des déficiences, en particulier quand la couche de renforcement est fine [HUG 00] [FAR 05] [ELS 11]. Dans le cas de grilles en fibre de verre, les travaux entamés par Hajj et al. [HAJ 13] dans l'Etat de Nevada ont montrés que leur utilisation peut retarder la remontée pour une durée approximative de trois années et réduire l'ampleur des fissures transversales jusqu'à cinq années après la date de construction. Le procédé a consisté en un fraisage de 5 cm de l'asphalte existant, la mise en place d'une feuille en fibre de verre, et enfin la mise en œuvre d'une couche de renforcement de 5 cm suivie d'un béton bitumineux type II. Néanmoins Elseifi et al. [ELS 11], ont conclu auparavant qu'après avoir examiné les performances de plus de 50 sites construits avec plusieurs méthodes de maintenance que le coût effectif de l'emploi des fibres en verre n'est pas validé en comparaison avec le renforcement classique.

En ce qui concerne l'injection des fissures il existe peu de méthodes réalisées in situ. Elles sont caractérisées en effet par leur coût exorbitant et des difficultés d'exécution. Liu et al. [LIU 11], ont testé sur site l'injection des fissures longitudinales. Le procédé consiste à injecter un mortier de ciment présentant une fluidité importante et une résistance initiale élevée, ceci avec l'emploi de trous de diamètre 60mm espacé de 30 cm à 200 cm. Le tube d'injection doit être scellé chaque fois dans la chaussée avec une résine époxy. La méthode présente d'autres inconvénient telle que la déperdition importante du mortier, car la partie supérieure de fissures traitées n'est pas étanche, ce qui au demeurant n'est pas une garantie du remplissage intérieur.

Dans notre cas d'étude, qui est l'autoroute Algérienne A1, dans son tronçon Est (Figure.1), l'incorporation des MGLTH s'est faite entre 2009 et 2013. Une année après la mise en circulation du tronçon étudié (100 km), les premières fissures sont déjà apparentes en surface et elles ne cessent de s'accroître d'une année à l'autre. Plusieurs tentatives pour réparer ces fissures sont mises en œuvre, avec du bitume fluidifié, par colmatage avec des produits de scellement et même par réfection de la couche de roulement avec la mise en place d'un géotextile de renforcement. Mais toutes ces tentatives ont échouées. Les fissures resurgissent en surface où réapparaissent justes à côté de la partie réparée. Devant l'ampleur du phénomène, il faut réaliser une méthode de réparation qui puisse freiner ces remontées le plus longtemps possible, et qui doit soit efficace, économe et rapide d'exécution.

2. Description du support d'essais

Le tronçon étudié est réalisé en 2x3 voies plus une bande d'arrêt d'urgence, et est mis en circulation en 2010. La structure du corps de chaussée est mixte, composée d'une couche de roulement de six cm d'épaisseur, d'une couche de base en grave bitumineuse (14 cm) et d'une couche traitée en MGTLH (20 cm d'épaisseur) (Figure.1).



Figure 1. Localisation et structure de l'ouvrage

3. Ampleur des dégradations

Depuis l'ouverture de l'autoroute à la circulation, plusieurs fissures se sont développées. La Figure.2 représente quelques cas typiques de dégradation constatés. On a observé l'apparition de fissures longitudinales dans les trois voies de circulation, des fissures longitudinales dans la bande d'arrêt d'urgence et quelques fissures transversales. Le Tableau 1 récapitule les dégradations constatées. La sévérité de la fissuration est classée conformément au manuel du FHWA [MIL 14]. Selon ces observations, il apparaît que les fissures longitudinales sont considérées comme le cas majeur des dégradations.

Tableau 1. Classification des fissures.

Numéro	Type de dégradation	Faible	Moyen	Haut
1	Fissure longitudinal (Mètre)			
	1a Voie de roulement	3166	3028	1664.50
	1b Accotement	4186	1320	164
2	Fissure transversale			
	2a Nombre de fissure	10	23	12
	2b Longueur (Mètre)	51	179	124.50



Figure 2. Exemple de dégradations constatées.

4. Travaux de carottage

Avant de procéder aux travaux d'injection, il y a lieu d'effectuer un carottage pour avoir plus d'information sur les conditions de fissuration, et surtout déterminer la profondeur et la sévérité des désordres à l'intérieur de la chaussée. Les observations montrent une fissuration qui traverse toute les couches de chaussée (Figure 3a). La majorité des carottes recueillies depuis les sites fissurés se brise pendant le carottage. Ceci concerne beaucoup plus la partie inférieure de la couche de base traitée (Figure 3b). De plus, la vérification du trou de carottage

confirme une couche de base traitée sévèrement fissurée ainsi que la présence d'une fissuration réfléctive combinée avec une fissuration descendante.

Cette étape de carottage démontre clairement la nécessité d'une méthode de maintenance qui devra sceller profondément les différentes couches de chaussée et surtout la partie inférieure de la couche de base traitée.

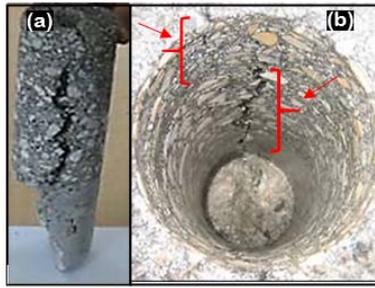


Figure 3. Carottage avant travaux d'injection.

5. Méthodologie d'injection

La méthodologie suivie sur place est divisée en quatre étapes principales :

- Déviation du trafic et fermeture de la zone à réparer.
- Préparation du support : C'est une étape très importante qui comprend un bon nettoyage de la zone fissurée, surtout après les travaux de fraisage (figure 4).
- L'injection des fissures et la mise place éventuelle d'un géo-synthétique (géotextile en fibre de verre).
- Mise en place de l'enrobé de surface et déplacement du chantier mobile vers d'autres zones.

L'opération de fraisage est nécessaire juste pour refaire la couche de roulement. L'objectif est de garder l'aspect esthétique de la zone réparée. Cette phase peut être négligée dans le cas des routes de moindre importance, car l'injection peut se faire sans cette étape. Par contre le nettoyage après fraisage est indispensable pour éliminer les fragments et poussières, qui peuvent entraver énormément les travaux d'injection.

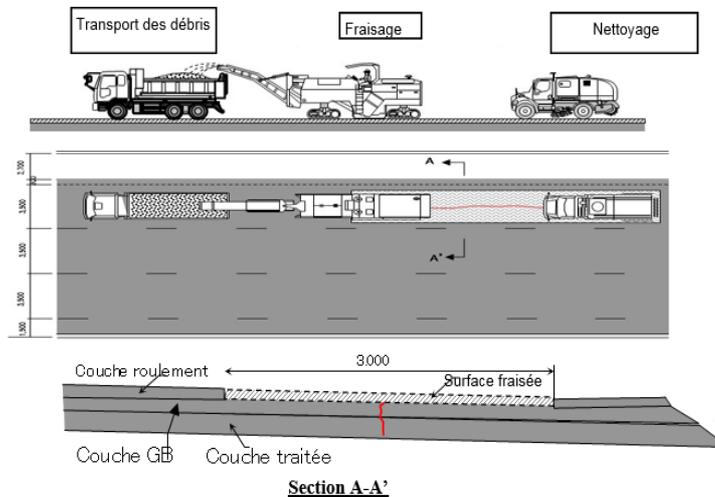


Figure 4. Préparation du support avant injection.

6. Matériaux utilisés

6.1. Le produit de scellement des fissures

Nous avons utilisé un mortier à retrait compensé type BASF-MASTERFLOW 190 (Tableau 2), recommandé en particulier pour les travaux de remplissage des gaines de câbles de précontrainte et des tirants d'ancrage dans les travaux souterrains et les mines. Il s'agit d'un produit prêt-à-gâcher, à base de ciment de haute qualité, de granulats naturels sélectionnés et de produits chimiques spécifiques. Il suffit d'ajouter une certaine quantité

d'eau, en fonction de la plasticité désirée et du mode de mise en place. Cette formulation permet l'obtention de performances mécaniques à court terme et une longue rhéologie à température élevée.

Les motifs ayant conduit à sa sélection sont : 1) Un produit pompable avec des caractéristiques thixotropiques, 2) Le côté économique, car il permet de limiter les pertes de mortier dans les sols, 3) Un retrait compensé, 4) Une adhérence élevée, et 5) Des performances mécaniques à court terme élevées.

Le mortier sera pompé à l'aide d'une pompe à béton d'une capacité de 120 litre/minute (Figure 5) et d'une pression maximale de trois bars.

Tableau 2 : Quelques caractéristiques du Mortier Master-flow 190 avec 30% eau.

Aspect	Masse Volumique (kg/m ³)	Résistance Compression (MPa) (BS EN445)				Fluidité cône de Marsh
		(sur cubes de 70mm)				
		(1 Jours)	(3 Jours)	(7 Jours)	(28 Jours)	
Poudre grise	≈ 2000	20	40	55	70	< 25 secondes



Figure 5. Pompe type MG-10 employée pour les travaux d'injection.

6.2. Le géo-synthétique

Un géo-synthétique de marque TENCATE, type PGM-G (Tableau 3) est utilisé lors des travaux de réparation. C'est un matériau composite constitué d'un géotextile non-tissé de filaments continus, 100% polypropylène, renforcé par des fibres en verre. Ce produit est connu pour lutter efficacement contre les remontées des fissures.

Tableau 3 : Caractéristiques du Géo-synthétique utilisé type PGM-G 100/100 de marque Tencate :

Masse surfacique (g/m ²)	Rétention Bitume (Kg/m ²)	Résistance à la traction en SP/ST* (KN/m) (NF EN ISO 10319)	Allongement à l'effort maximal (%)	Force à 2% déformation en (KN)	Module E filaments (MPa)	Taille grilles (mm)
430	1.1	100/100	3	68/68	73000	40/40

* résistance en SP: sens de production/ résistance en ST : sens en travers

7. Le processus d'injection

Une fois le support préparé, l'opération de réparation des fissures longitudinales peut commencer, en employant simultanément l'injection et le colmatage des fissures avec et/ou la pose de la géo-synthétique. Le déroulement du traitement des fissures (Figure 6 et Figure 7) est le suivant :

- Un deuxième nettoyage de la zone fissurée à l'aide d'un compresseur.
- Forage à partir de la surface de la couche de base jusqu'au milieu de la couche stabilisée en quelques points espacés de cinq ou dix mètres, ceci pour l'introduction des matériaux de colmatage par pression à l'aide de tubes métalliques spécialement conçus pour l'opération et fixés solidement dans les trous de forage avec du bitume uniquement. Ceci facilitera ultérieurement leur détachement en chauffant. Quand les fissures sont rectilignes, on adopte un pas de 10 m et si elles présentent des changements de direction, on adopte un pas de 5m.
- Colmatage superficiel des fissures avec du bitume entre tubes métalliques ceci pour s'assurer que le produit d'injection ne sortira éventuellement qu'à travers les tubes métalliques.

- Procéder au pompage du produit de scellement. L'injection sera considérée comme réussie si le mortier sort à travers le prochain tube métallique distant de 05 à 10 mètres. L'opération est poursuivie de la même manière le long de la fissure.
- Épandage d'émulsion sur l'étendue de la surface fraisée, bien sûr après l'enlèvement des tubes métalliques et remplissage des carottes.
- En option et selon le degré de sévérité des fissures, un Géo-synthétique anti-fissuration "PGM-G" sera fixé.

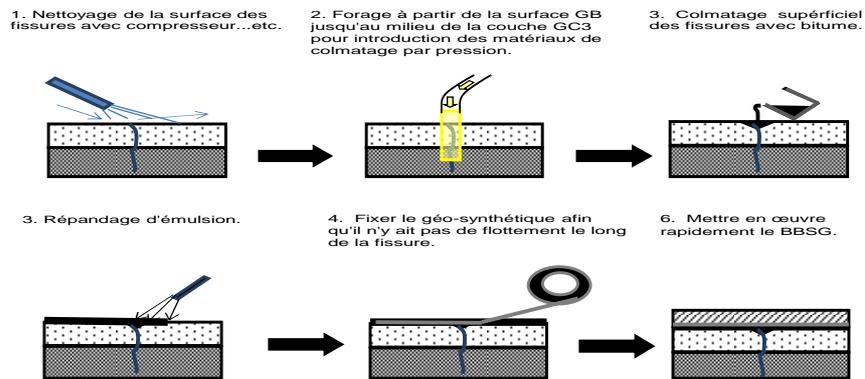


Figure 6. Schémas du processus des travaux.



Figure 7. Photos de la réalisation sur site.

8. Résultats et performances

8.1. Aspect fonctionnel

Le premier indicateur d'achèvement de l'injection est lorsque le mortier sort à travers les tubes métalliques. Malgré que les fissures ne soient pas, pour la plupart, rectilignes ou curvilignes, le mortier pénètre aisément avec une pression variant de 01 à 03 bars. D'autre part, la perte de produit d'injection en surface est presque nulle.

Un autre aspect à prendre en considération est le rendement des travaux d'injection. Une équipe comprenant cinq travailleurs peut exécuter jusqu'à 500 mètres linéaires d'injection par jour. On remarque également les points suivants : 1) la méthode est caractérisée par une bonne facilité de mise en œuvre, 2) il n'y a pas de besoin de main d'œuvre qualifiée, 3) il est possible d'injecter avec une multitude de produits similaires, 4) on peut opérer sans le fraisage de la chaussée.

8.2. Evaluation structurelle

L'évaluation de la capacité portante des zones réparées est indispensable pour prononcer la réussite de l'opération d'injection. Les mesures de portance ont été réalisées avec le Falling Weight Deflectometer (FWD). Cette équipement de mesure est moins rapide et nécessite une déviation du trafic routier, mais il est plus précis car il emploie des charges dynamiques importantes (1700 kPa). La capacité portante du corps de chaussée est

évaluée à l'aide de l'indicateur structurel IS_{300} qui correspond à la différence de fléchissement (en microns) sous le centre de la charge et à 300 mm du centre. Des valeurs IS_{300} élevées correspondent à des valeurs de capacité portante faible. D'autre part, le dispositif permet de donner directement une estimation du module résilient de chaque couche à travers un calcul itératif.

Le tableau 4 donne la moyenne des mesures de l'indice structurel pour quatre sites réparés d'une longueur de 300 ml. Les résultats montrent une amélioration des indices après travaux d'injection. Ceci est une preuve de la réussite de la méthode d'injection. Par ailleurs, la Figure 8 présente les valeurs de calcul du module réversible des différentes couches pour le cas du site n°03, avant et après travaux de d'injection. Dans cette figure, on peut constater l'amélioration importante du module résilient de la couche traitée, surtout dans les zones fissurées. Pour la couche de roulement, l'amélioration est beaucoup plus due à la nouvelle couche de surface. Par contre, dans le cas du sol support, on constate une légère amélioration. Ceci peut être expliqué par une quantité de mortier qui a pénétré à l'intérieur du sol support. Cette observation confirme l'efficacité de la méthode pour limiter la perte de coulis à l'intérieur du sol support. Si la quantité de mortier utilisé est supérieure, on aura en effet une amélioration excessive du module résilient du sol support.

Tableau 4. Mesures FWD des sites réparés.

Chainage (km)		IS300 avant réparation	IS300 après réparation
82+573	82+799	43	39
86+100	86+180	49	37
88+100	87+880	33	30

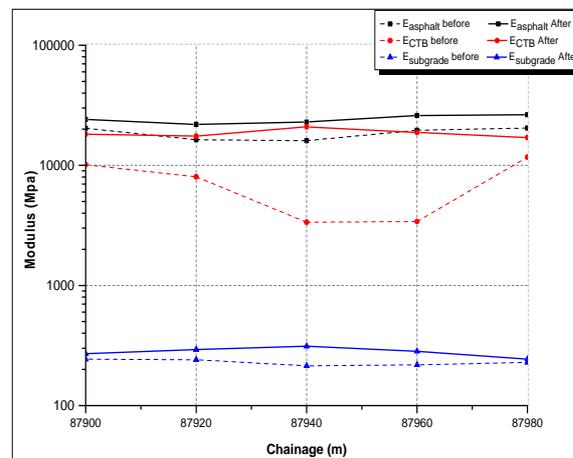


Figure 8. Module résilient des couches avant et après travaux d'injection.

8.3. Autres travaux de carottage

Après les travaux d'injection, un autre carottage a été exécuté afin de vérifier la situation à l'intérieur de la chaussée. Les résultats démontrent que toutes les carottes peuvent être extraites sur toute leur longueur. L'inspection visuelle des carottes montrent aussi les fissures parfaitement scellés dans leurs longueurs (Figure 9). Le coulis du mortier a pénétré à travers les fissures et a restauré l'intégrité de la chaussée. Ces constatations ont été confirmées par l'amélioration des performances mécaniques (voir § précédent).



Figure 9. Carottage après injection

8.4. Evaluation de long terme

L'évolution des fissures scellées a été surveillée pendant deux années. Les résultats ont été comparés avec trois autres méthodes de maintenance exécutées auparavant, mais dans les mêmes zones, avec des conditions similaires de trafic et de climat. Les résultats présentés dans le Tableau 5 indiquent que les performances techniques sont très satisfaisantes. Deux années après l'exécution, on remarque l'inexistence de développement de fissure à la surface de la route, contrairement aux autres méthodes de maintenance, pour lesquelles les fissures ont resurgi très rapidement. En outre, il est recommandé d'injecter la zone de remblai toute entière, bien qu'il ne soit pas complètement fissuré. Ceci pour avoir un résultat efficace, car bien que la surface n'est pas fissurée, les fissures existent dans la couche de base traitée, et elles peuvent remonter après un certain temps.

Tableau 5. Observation de l'évolution des fissures dans les zones réparées.

Méthode de réparation	Avant réparation		01 année		02 années	
	Long	Larg	Après réparation		Après réparation	
			Long	Larg	Long	Larg
	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)
Rebouchage et remplissage	108	10	111	5	116	5
Couche bitume (seule)	210	8	7	3	21	5
Injection (seule)	150	25	0	0	0	0
Couche bitume + Geotextile	35	20	0	0	6 (*)	5(*)
Couche bitume +Geotextile+injection	152	15	0	0	0	0

* apparue à côté de la zone réparée.

8.5. Aspects économiques

En plus de l'aspect technique, il est important de considérer le coût effectif de l'opération en comparaison avec les autres méthodes. L'étude est faite en considérant les prix unitaires et les données des fissures apparues pour un kilomètre d'autoroute réparé. La durée de vie de la route étant de 20 ans, nous estimons que la réparation avec ce procédé nécessite une seule injection pendant cette durée contre une application tous les 10 ans pour l'emploi du géotextile seul [DAV 05]. Pour le colmatage classique, l'opération doit être répétée une fois tous les deux ans [JOH 00].

Dans ce contexte, la figure.11 présente le calcul de coût effectif pour plusieurs variantes de maintenance. Il en ressort que le coût des travaux d'injection seul représente la moitié du coût de l'emploi du géotextile, tandis que le coût du colmatage superficiel est le moins cher mais comparable au cout de l'injection seul en tenant compte de la durée de service de la route. De ce fait il est clair que le procédé d'injection présente un coût effectif très intéressant.

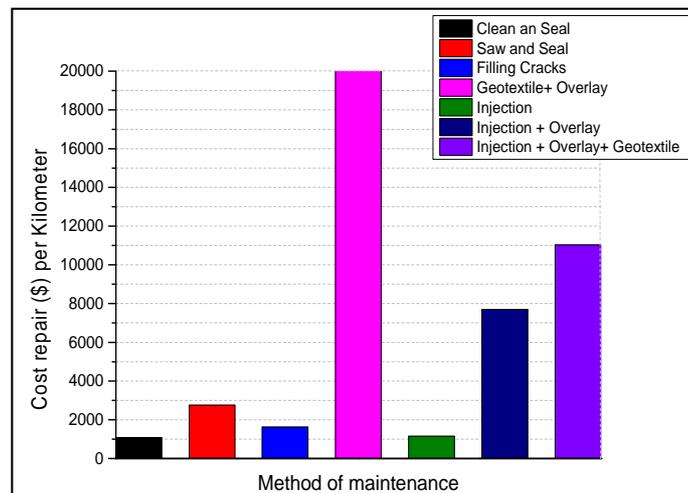


Figure 10. Le coût effectif de maintenance pour différentes méthodes de réparation.

9. Conclusions

L'objectif recherché est le développement d'une méthode d'injection des fissures longitudinale sur site caractérisée par une efficacité, rapidité d'exécution et un coût financier acceptable.

Malgré que le temps d'observation est relativement court (2ans), les conclusions suivantes peuvent être tirées, à travers l'évaluation des zones réparées :

- Une réparation combinée selon le procédé décrit, avec l'emploi de l'injection sous pression et l'emploi des géo-synthétiques peut retarder la remontée des fissures, pendant la durée de vie de la chaussée. Toutefois, l'injection seule des matériaux de scellement sans emploi de géotextile peut satisfaire cet objectif. Bien évidemment cette conclusion est sous réserve de connaître les causes réelles de l'apparition des fissures, si elle est due à la fissuration réfléctive depuis la couche traitée ou à des problèmes liés aux changements volumétriques des sols (retrait/gonflement). Dans ce dernier cas, cette solution ne peut pas seule résoudre le problème.
- Les mesures de capacité portante des zones réparées ont montré une amélioration significative de la portance par rapport à l'état initial fissuré.
- Le coût financier de l'emploi des matériaux de scellement est le moindre coût en comparaison avec celui des géo-synthétiques.
- Il est vivement recommandé de ne pas traiter la partie fissurée seule, mais toute la zone de remblai, ceci pour un résultat optimal.

10. Bibliographie

- [CHO 06] CHO, Y. H., LEE, K. W., & RYU, S. W. (2006). Development of cement-treated base material for reducing shrinkage cracks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1952), 134-143. DOI: 10.3141/1952-15
- [DAV 05] DAVIS, L. "Chip sealing over fabric in Borrego Springs, California". *Geotechnical Special Publication*, 130(142), 311. Doi: 10.1061/40776(155)24, 2005.
- [ELS 11] ELSEIFI, M., & BANDARU, R. "Cost Effective Prevention of Reflective Cracking in Composite Pavements". No. *FHWA/LA. 11/478*. Louisiana Transportation Research Center, 2011.
- [FAR 05] FARSHAD A. "Potential applications of paving fabrics to reduce reflective cracking". No. *FHWA/MS-DOT-RD-05-174*. Jackson State University, 2005.
- [JUN 09] JUNG SU, Y., ZOLLINGER, D. G., WON, M., & WIMSATT, A. J. 2009. Subbase and Subgrade Performance Investigation for Concrete Pavement. *Technical Report n° No. FHWA/TX-09/0-6037-1*. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System.
- [JOH 00] JOHNSON, A. M. "Best Practices Handbook on Asphalt Pavement Maintenance" (No. MN/RC-2000-04), 2000.
- [HAN 13] HAN J, GAUTAM A, POKHAREL S K, PARSONS R L. "Tolerable strains for hot mix asphalt overlays over concrete pavements". No. *K-TRAN: KU-08-3*. Environmental & Architectural Engineering Department, University of Kansas Civil, 2013.
- [HUG 00] HUGHES, J. J., AND SOMERS, E. "Geogrid Mesh for Reflective Crack Control in Bituminous Overlays". No. *PA 200-013-86-001*, Pennsylvania Department of Transportation, 2000.
- [LIU 11] LIU Gang, LP Cao, XS Hou. "Grouting method and construction process for longitudinal crack of asphalt pavement". *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2011-04, en.cnki.com.cn China.
- [MIL 14] MILLER, J. S., & BELLINGER, W. Y. Distress identification manual for the long-term pavement performance program. No. *FHWA-HRT-13-092*. Federal highway Administration, 2014.
- [MOS 09] MOSES, T. L., HULSEY, J. L., & CONNOR, B. "Airport Managers' Guide for the Maintenance of Asphalt Pavements of General Aviation Airports". (No. *CA08-0564*). University of Alaska - Fairbanks. pp25, 2009.
- [ORR 06] Orr, D. P. Pavement Maintenance. *Cornell Local Roads Program*, 416, 1-27, 2006.
- [WIL 86] WILLIAMS, R. I. T. 1986. Cement-treated pavements: materials, design, and construction. *Elsevier Applied Science Publisher*; New York, NY, USA. Elsevier Science Pub. Co, London; New York
- [ZHA 09] ZHANG, P., & LI, Q. 2009. Experimental study on shrinkage properties of cement-stabilized macadam reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. Vol. 29, 12/2010, DOI: 10.1177/0731684409337336, June 2009.