

LAIT DE CHAUX EN PROTECTION DES COUCHES DE COLLAGE : IMPACT SUR L'ADHESION INTER-COUCHES

DIDIER LESUEUR, JÜRGEN HANSSENS

Lhoist

ALEXANDRA DESTREE, JOËLLE DE VISSCHER

Centre de Recherches Routières

Summary

Une couche de collage est répandue sur le support des couches bitumineuses afin d'assurer une répartition optimale des charges sur l'ensemble du corps de chaussée. Cependant, le trafic de chantier la détériore immanquablement. Aussi, une solution consiste à protéger la couche de collage par un lait de chaux stabilisé dilué. Avec une expérience accumulée de plus de 10 millions de m², l'arrachement des couches de collage par le trafic de chantier est ainsi évité, garantissant une bonne durabilité des infrastructures, limitant les salissures aux abords des chantiers et facilitant le nettoyage des engins. Les conséquences de ce procédé sur l'adhésion inter-couches sont étudiées ici à l'aide d'essais développés au CRR. Il apparaît que les échantillons traités au lait de chaux donnent un collage comparable à celui obtenu sur les matériaux de référence.

Een kleeflaag wordt gespreid over de bitumineuze onderlaag om een optimale verdeling te garanderen van de belasting over de volledige wegstructuur. Echter, het werfverkeer beschadigt deze kleeflaag onvermijdelijk. Een oplossing in de vorm van een verdunde stabiele kalkmelk draagt bij tot het beschermen van deze kleeflaag. Met een opgebouwde ervaring van meer dan 10 miljoen m², kan het scheuren van deze aanhechtingslagen door het verkeer vermeden worden zodat de duurzaamheid van de infrastructuur wordt gegarandeerd, de vervuiling rond de bouwplaats wordt verminderd en de reiniging van het materieel wordt vergemakkelijkt. De gevolgen van dit proces op de aanhechting van de tussenlagen worden hier bestudeerd met behulp van testen ontwikkeld door het OCW. Het blijkt dat de stalen behandeld met kalkmelk een vergelijkbare aanhechting garanderen als die van de referentiematerialen.

1. Introduction

Il est maintenant bien établi que le bon fonctionnement structurel d'une chaussée passe par un bon collage des couches la composant. A ce titre, une couche de collage est répandue entre les différentes couches^(réf.1). L'absence de couche de collage, ou des désordres dans cette dernière, a des conséquences fâcheuses, comme observé en France dans les années 1980, lorsque des dégâts affectant plus de 1 000 km de chaussées neuves ou renforcées ont été attribués à des couches de collage déficientes. Ceci a entraîné une programmation des opérations de maintenance en moyenne deux fois plus tôt qu'initialement prévue, générant une dépense environ 2 à 5 fois supérieure à la normale^(réf.2). De nos jours, la pose des couches de collage fait l'objet de soins particuliers et les entreprises ont développé des formulations d'émulsions performantes permettant de limiter le collage du bitume aux pneumatiques et chenilles des engins de chantier^(réf.3). Malgré cela, il apparaît que les températures estivales et l'ensoleillement, y compris dans le nord de l'Europe, engendrent un ramollissement du bitume qui favorise son collage aux pneumatiques. Ce problème devient prépondérant sur les surfaces fraisées, du fait de leur géométrie particulière avec arêtes et vallées, ce qui nécessite des dosages plus importants en émulsion qui se traduisent également par des départs de bitume plus fréquents. Ainsi, le problème n'est à ce jour que partiellement résolu. Pour tenter d'améliorer la situation, différentes options sont encore utilisées, tel que l'arrosage au-devant des engins, le sablage / gravillonnage des couches de collage et le nettoyage systématique des camions quittant le chantier. Cependant, l'arrosage doit être permanent et nécessite une rotation incessante par forte chaleur, immobilisant un opérateur et une citerne pendant une journée complète. Un arrosage permanent des chenilles des finisseurs est également envisageable, mais il implique une logistique plus lourde et l'utilisation systématique d'additifs dans l'eau. La consommation d'eau est en outre importante ce qui pose des problèmes évidents en période de sécheresse. Quant au sablage et/ou au gravillonnage, ce sont des opérations lourdes et coûteuses qui nécessitent un réglage fin pour éviter le surdosage qui nuirait au bon collage entre les couches. Enfin, le nettoyage systématique des camions quittant le chantier est une mesure particulièrement difficile à réaliser en pratique et représente une perte de temps considérable dès que le chantier est important. L'idée de répandre du lait de chaux sur les couches de collage est apparue il y a une vingtaine d'années. Outre le côté « farine sur le moule à gâteau » qu'apportent les particules de chaux hydratée, la couleur blanche permet de réduire la température du bitume sous-jacent, limitant ainsi son collage aux pneumatiques des engins de chantier.

(réf.1) Destrée A. et Brichant P.-P., «Les émulsions cationiques bitumineuses en tant que couches de collage - Recommandations pratiques de mise en œuvre », Dossier 14, Annexe au Bulletin CRR n° 90 Trimestriel: janvier – février – mars 2012 (<http://www.brrc.be/pdf/bulletin/bul90t.pdf>)

(réf.2) SETRA/DCT « Le décollement des couches de revêtement de chaussées », Note d'information chaussées-dépendances n°25, SETRA, 1986 (<http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/dtrf/pdf/pj/Dtrf/0000/Dtrf-0000692/DT692.pdf>)

(réf.3) Conan J. et Marchand J.-P., « Accostyr : La couche d'accrochage au bitume polymère adaptée, sûre et propre », Revue Générale des Routes et Aéroports 735, pp.70-73, 1995

Egalement, le lait de chaux ayant une teneur en eau élevée, il permet une diminution de la température du support par évaporation. Malgré un argumentaire prometteur, cette technologie s'est vite heurtée à la difficulté de fabriquer un lait de chaux stable et sa mise en œuvre à grande échelle n'a pas pu se développer. Le groupe Lhoist fabrique depuis peu un lait de chaux concentré stable à 45 % en masse de solide, commercialisé sous le nom d'Asphacal[®] TC. Ce tournant a permis la réémergence de l'idée de répandre du lait de chaux en protection des couches de collage et le réseau du groupe SANEF a été pionnier dans ce développement, avec l'aide notamment de l'entreprise Eurovia. De cette manière, il est maintenant enfin possible de s'opposer à la dégradation des couches de collage par le trafic de chantier, ce qui garantit non seulement une bonne durabilité des infrastructures routières, mais aussi limite les salissures aux abords des chantiers (Figure 1) et facilite le nettoyage des engins.



Figure 1 : Mise en œuvre d'enrobés sur l'autoroute A29 en France avec couche de collage traitée au lait de chaux.

Dans ce contexte, la question du bon collage des couches s'est posée immédiatement. En effet, si le lait de chaux garantit l'intégrité de la couche de collage, il fallait s'assurer qu'il ne diminuait pas la qualité du collage entre les couches. Cela a été validé par des carottages de contrôle sur nombre de chantiers parmi les 10 millions de m² de chaussées traités à ce jour en France. Cependant, ces carottages ne permettent pas de quantifier la qualité du collage, car ils consistent à vérifier visuellement le bon collage des couches dans la carotte. Aussi, le groupe Lhoist a demandé au CRR de procéder à une étude plus détaillée de l'adhésion inter-couches, sur la base du programme d'essai en laboratoire décrit ci-dessous. Ces résultats ont ensuite été validés à échelle réelle en Belgique sur le chantier de la N25 réalisé par Eurovia à l'automne 2012 à hauteur de Court-Saint-Etienne.

2. Utilisation Pratique du lait de chaux en protection de la couche de collage

Le lait de chaux concentré stable est généralement livré en cubitainer de 1 m³. Il est dilué avec de l'eau dans la citerne du dispositif de répandage à raison de 1 volume de lait de chaux concentré stable pour 10 volumes d'eau.

Le lait de chaux dilué est alors répandu à raison de 250 g/m² sur la couche de collage rompue. La pose des enrobés peut être faite immédiatement après.

Le système d'épandage peut consister en une répandeuse à liant ou une saumureuse. Il nécessite une légère adaptation afin de fonctionner de manière optimale avec un lait de chaux dilué. A cette fin, le groupe SANEF a ainsi modifié les saumureuses utilisées pour la viabilité hivernale de manière à les rendre compatibles avec cette nouvelle application. L'adaptation a consisté essentiellement à équiper les saumureuses d'une pompe permettant une recirculation dans la cuve, d'un groupe électrogène et d'un système de nettoyage haute-pression des buses associé à une citerne d'eau additionnelle de 1 m³.



Figure 2 : Répandage de lait de chaux dilué à la saumureuse (crédit photo : SANEF).

3. Les essais d'adhésion inter-couches

Les conséquences de l'application de lait de chaux dilué sur l'adhésion inter-couches ont été étudiées en laboratoire à l'aide de deux essais récemment développés au CRR permettant de quantifier les performances de collage :

- L'essai de cisaillement direct (Figure 3a) exécuté selon la prénorme prEN 12697-48^(réf.4) ;
- L'essai de traction directe (Figure 3b) exécuté selon la méthode interne au CRR^(réf.5).

L'expérience acquise par le CRR a démontré la complémentarité de ces deux modes de sollicitation (traction, cisaillement) pour établir un diagnostic adapté de l'adhésion inter-couches d'une chaussée. A l'heure actuelle, seules l'Allemagne^(réf.6) et la Suisse^(réf.7) donnent des spécifications quant à la valeur minimale de résistance moyenne de cisaillement à atteindre pour obtenir un collage efficace des revêtements multicouches.

^(réf.4) pr EN 12697-48 : Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud –
Partie 48: Essai de collage entre les couches

^(réf.5) "Evaluation of tack coat performance for thin and ultra-thin asphalt pavements", A. Destrée, J. De Visscher, A. Vanelstraete, 5th Eurasphalt&Eurobitume, 13-15 juin 2012, Istanbul

^(réf.6) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [FGSV], 2011

^(réf.7) SN640 430b, Enrobés bitumineux-compactés — Conception, exécution et exigences relatives aux couches en place, VSS, Zürich, p1-35, 2008

Ils considèrent que l'adhésion inter-couches est adéquate lorsque la moyenne de la résistance au cisaillement est supérieure ou égale à 0,85 MPa. En matière de résistance à la traction, nous nous baserons sur les résultats obtenus, dans le cadre d'un projet de recherche financé par le Bureau de Normalisation NBN^(réf.8).

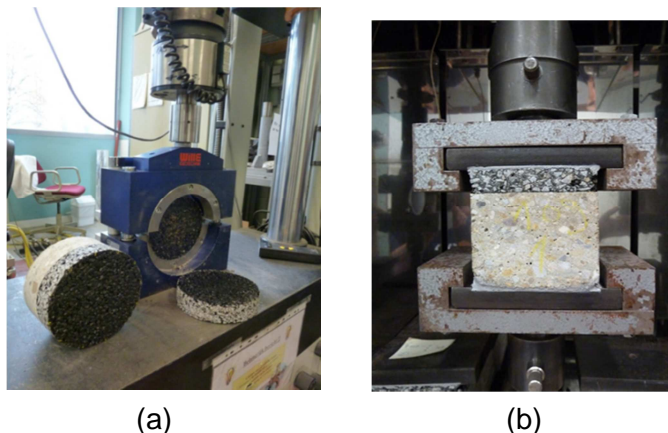


Figure 3 : Dispositifs de cisaillement direct (a) et de traction directe (b) disponibles au CRR

4. Matériaux étudiés

4.1. Echantillons préparés en laboratoire

Les échantillons ont été fabriqués en laboratoire à l'aide du compacteur de plaque selon les normes EN 12697-35^(réf.9) et EN 12697-33^(réf.10). Ces échantillons sont un assemblage de quatre couches :

- La sous-couche en enrobé bitumineux de type AC-14 base 3-1;
- La couche de collage de type C60B1, C60B1 (AA) ou C60BP1, appliquée au taux unique de 300 g/m² de liant résiduel ;
- Le lait de chaux dilué, appliqué au vaporisateur sur la couche de collage rompue et mûrie (4h) aux dosages de 250 g/m², 375 g/m² et 500 g/m². En ce qui concerne les deux derniers dosages, il était difficile de contrôler correctement le taux de lait de chaux dilué appliqué puisque celui-ci s'écoulait hors de la surface traitée.
- La couche de roulement de type SMA-6,3-2 (directement appliquée sur le lait de chaux dilué) ou de type BBTM10D2 (appliquée après un séchage préalable de 1h du lait de chaux dilué).

^(réf.8) « Développement d'essais performantiels pour les couches bitumineuses minces et ultraminces », Conventions CC CCN/PN/NBN-705-755

^(réf.9) NBN EN 12697-35 : « Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud — Partie 35 : Malaxage en laboratoire »

^(réf.10) NBN EN 12697-33 : « Mélange bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud — Partie 33 : Confection d'éprouvettes au compacteur de plaque »

Nous avons également fabriqué des échantillons dits « de référence » selon le même procédé, pour lesquels aucune application de lait de chaux dilué n'a été mise en œuvre (0 g/m²).

4.2. Echantillons prélevés sur chantier

En novembre 2012, des carottes ont été prélevées dans quatre zones de la bande d'arrêt d'urgence (BAU) de la N25 (en direction de Nivelles):

- une zone sur laquelle il n'y a pas eu d'application de lait de chaux dilué (zone de référence) ;
- trois zones sur lesquelles on a appliqué le lait de chaux dilué au taux moyen de 250 g/m² (zones 1 à 3).

Ces échantillons extraits de la N25 sont composés de plusieurs couches :

- La sous-couche en enrobé bitumineux ;
- La couche de collage de type C60BP1 (AA) appliquée, la veille de la mise en œuvre de la couche de roulement, au taux moyen de 300 g/m² de liant résiduel;
- Le lait de chaux dilué, appliqué sur la couche de collage rompue et mûrie aux taux moyens de 0 g/m² et 250 g/m² ;
- La couche de roulement de type SMA-10-2, appliquée après un séchage préalable moyen du lait de chaux de ± 1 h30.

5. Résultats et discussion

5.1. Impact en laboratoire du lait de chaux dilué sur l'adhésion inter-couches

5.1.1. Application de lait de chaux dilué sans séchage préalable à la mise en œuvre de la couche de roulement

La première phase de l'étude menée au CRR, sur des échantillons préparés en laboratoire, avait pour but :

- d'analyser l'impact de l'application de taux croissant de lait de chaux sur l'adhésion inter-couches ;
- de corroborer le taux optimal de 250 g/m² de ce procédé de protection de la couche de collage qui avait été établi sur le terrain par la SANEF.

Les résultats de cette première phase sont présentés à la Figure 4. Son analyse montre que :

- Les résistances moyennes au cisaillement sont conformes aux spécifications suisse et allemande (0,85 MPa) et impliquent par conséquent un collage adapté des couches quel que soit le taux de lait de chaux dilué appliqué sur la couche de collage.

On constate toutefois une différence entre la référence (sans lait de chaux dilué) et les échantillons avec une teneur de 250g/m², mais celle-ci est très faible vis-à-vis de l'étendue des résultats de résistances au cisaillement. Les deux autres dosages présentent quant à eux une résistance équivalente en termes de statistique à la référence et la teneur de 375 g/m² semble donner la résistance moyenne au cisaillement la plus élevée. Cependant comme explicité précédemment cette teneur était difficile à contrôler au vue de l'écoulement du lait de chaux en dehors de la sous-couche.

- Les résistances moyennes à la traction [essais réalisés une semaine (T1) et un an (T2) après la fabrication des échantillons] sont dans une gamme tout à fait correcte, comparativement aux valeurs obtenues dans le cadre d'un projet de recherche financé par le NBN^(réf.8) ; elles corroborent donc les résultats obtenus lorsque la sollicitation de cisaillement a été utilisée pour tester les performances de collage. On constate également que cette période de conditionnement d'un an (T2) implique généralement une amélioration significative de la résistance moyenne à la traction.

SMA-6,3-2 sur AC-14 base1-3

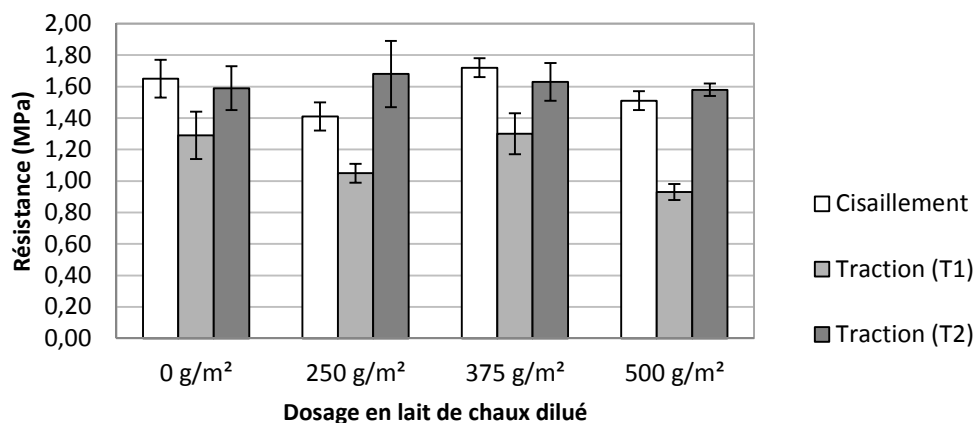


Figure 4 : Résistances moyennes au cisaillement et à la traction en fonction du taux de lait de chaux dilué appliqué sur la couche de collage de type C60B1 (AA)

5.1.2. Application de lait de chaux dilué avec séchage préalable à la mise en œuvre de la couche de roulement

La seconde phase de l'étude menée au CRR, sur des échantillons préparés en laboratoire, avait pour but :

- d'analyser l'impact du taux de lait de chaux dilué en fonction de la nature de la couche de collage utilisée ;
- de vérifier l'adéquation d'un taux unique de 250 g/m² en lait de chaux dilué pour trois émulsions cationiques bitumineuses couramment appliquées comme couche de collage.

Le séchage préalable du lait de chaux dilué avant la compaction de la couche de roulement a été intégré dans les étapes de préparation des échantillons pour :

- être plus réaliste vis-à-vis des conditions rencontrées sur chantier (paragraphe 3.2)
- analyser l'impact de ce séchage et par conséquent du phénomène de carbonatation en surface (lié à l'évaporation de l'eau du lait de chaux) sur l'adhésion ultérieure avec la couche de roulement
- se mettre dans les conditions les plus défavorables, une étude préliminaire ayant montré que le séchage tendait à diminuer la résistance de l'interface.

Les résultats de cette seconde phase sont résumés à la Figure 5. Son analyse montre :

- Que les résistances moyennes au cisaillement sont généralement conformes aux spécifications suisse et allemande (0,85 MPa) et impliquent par conséquent un collage adapté des couches quel que soit le taux de lait de chaux dilué appliqué.
- Que l'application du lait de chaux et son séchage préalable implique généralement une diminution significative de la résistance moyenne au cisaillement pour les couches de collage de type C60B1 et C60B1(AA). Les premiers essais de cisaillement sur des éprouvettes prélevées directement sur chantier (paragraphe 3.2) ne corroborent pas les résultats obtenus en laboratoire. L'explication de cette inadéquation des effets du lait de chaux dilué réside peut-être dans les temps d'attente utilisés pour obtenir la rupture et le mûrissement de la couche de collage, ceux-ci étaient respectivement en laboratoire et sur chantier de 4h et 12h.
- Qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux dosages en lait de chaux dilué (250 et 375 g/m²), en termes de résistance au cisaillement moyenne, et cela quelle que soit la nature de la couche de collage. Cependant comme explicité précédemment le taux de 375 g/m² en lait de chaux dilué était difficile à contrôler au vue de l'écoulement de ce produit en dehors de la sous-couche.

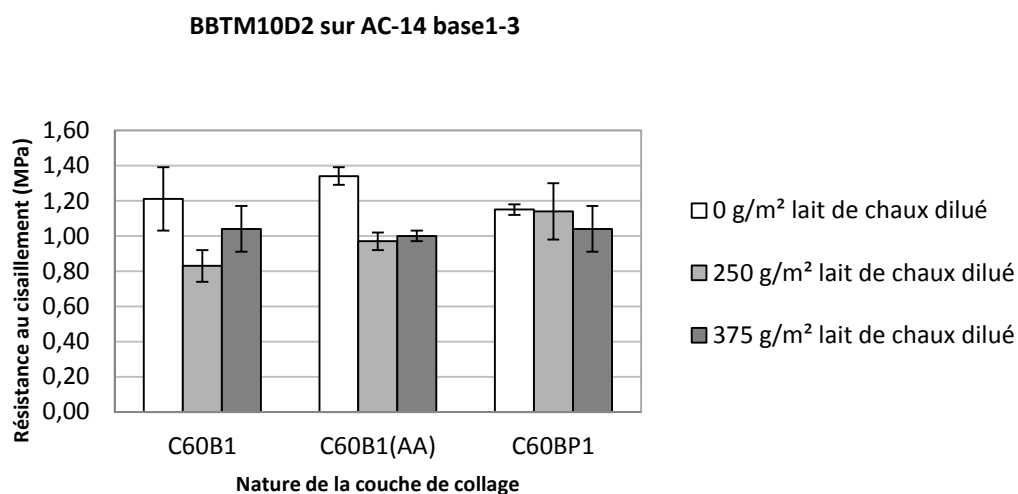


Figure 5 : Résistances moyennes au cisaillement en fonction du taux de lait de chaux dilué appliqué et de la nature de la couche de collage

5.2. Impact sur chantier du lait de chaux dilué sur l'adhésion inter-couches

L'objectif de cette campagne d'essais avait pour but de comparer les résultats d'adhésion inter-couches des échantillons prélevés sur chantier dans des conditions réelles de mise en œuvre et ceux obtenus sur des échantillons préparés en laboratoire. Les résultats de cette campagne d'essais sur des échantillons prélevés in-situ sont présentés à la Figure 6.

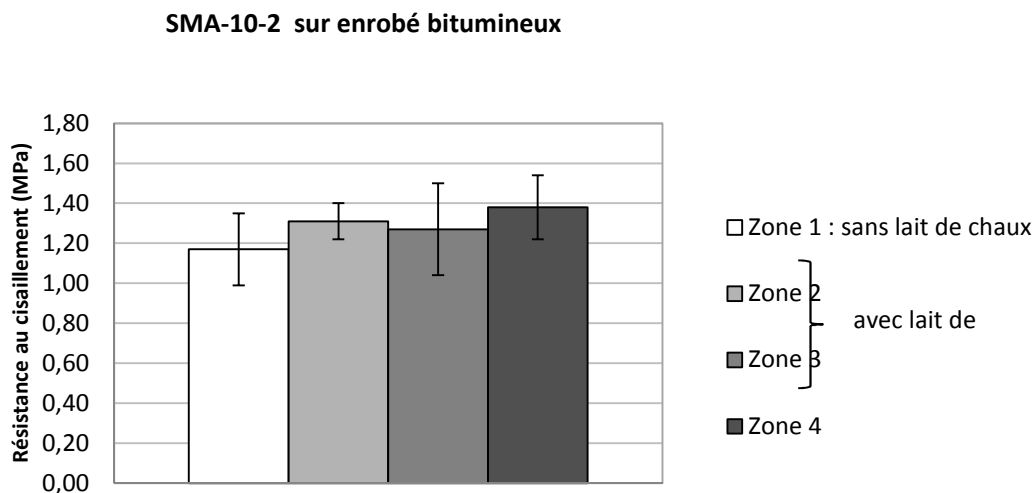


Figure 6 : Résistances moyennes au cisaillement des carottes prélevées dans quatre zones de la BAU de la nationale N25

Son analyse montre :

- Que les résistances moyennes au cisaillement sont conformes aux spécifications suisse et allemande (0,85 MPa) et impliquent par conséquent un collage adapté des couches quel que soit le taux de lait de chaux dilué appliqué (0 g/m² ou 250 g/m²)
- Qu'il n'existe pas de différence significative en termes d'adhésion inter-couches entre la zone sans lait de chaux dilué et les trois zones sur lesquelles le procédé de protection de la couche de collage avait été appliqué ; et aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les trois zones où a été appliqué ce lait de chaux dilué.
- Que le dosage de 250 g/m² en lait de chaux dilué et son séchage préalable se révèle adéquat pour d'une part, protéger la couche de collage des pneumatiques des engins de chantier (Figure 7); et d'autre part, conserver l'adhésion avec la couche de roulement posée ultérieurement.



Figure 7 : Application du lait de chaux stabilisé dilué sur la couche de collage lors du chantier de la nationale N25. L'absence de traces de bitume sur les pneumatiques du camion est criante.

6. Conclusions

L'analyse de *l'impact en laboratoire* du lait de chaux stabilisé dilué sur l'adhésion inter-couches nous a permis de constater que :

- L'application de ce produit :
 - sans séchage préalable, n'a pas d'impact négatif sur l'adhésion inter-couches à court et moyen terme. Dans certains cas, on assiste toutefois à une diminution des résistances au cisaillement et en traction lors de l'application de lait de chaux stabilisé dilué ; mais celle-ci est très faible vis-à-vis de la précision des essais d'adhésion inter-couches.
 - avec séchage préalable, n'a pas d'impact négatif sur l'adhésion inter-couches dans le cas où la couche de collage sous-jacente est parfaitement rompue et mûrie. Dans certains cas, on assiste toutefois à une diminution significative des résistances au cisaillement lors de l'application de lait de chaux stabilisé dilué ; mais les premiers essais de cisaillement sur des éprouvettes prélevées directement sur chantier ne semblent pas corroborer les résultats obtenus en laboratoire.
- La mise en œuvre en laboratoire de ce produit à des taux supérieurs à 250 g/m^2 implique irrémédiablement son écoulement en dehors de la surface de la sous-couche et par conséquent la difficulté de contrôler correctement le dosage en lait de chaux dilué. Ce phénomène d'écoulement est observable sur chantier pour de fortes pentes y compris avec des teneurs de 250 g/m^2 , et il peut être nécessaire de répandre alors en deux passes pour éviter les coulures. Ce dernier point implique que le risque d'avoir un surdosage en lait de chaux est faible en pratique, et les résultats de ce travail montrent que, même si une quantité double du dosage préconisé était répandue, cela ne présenterait pas de risque pour le collage des couches.

L'analyse de ***l'impact sur chantier*** du lait de chaux stabilisé dilué sur l'adhésion inter-couches nous a permis de constater :

- Que l'application de lait de chaux dilué (avec séchage préalable) n'a pas d'impact négatif sur l'adhésion inter-couches si la couche de collage sous-jacente est parfaitement rompue et mûrie.
- Qu'un taux de 250 g/m² en lait de chaux dilué est adapté pour qu'il puisse jouer correctement son rôle de protection de la couche de collage sans altérer l'adhésion ultérieure avec la couche de roulement.
- Que la faible diminution des résistances observée en laboratoire n'est pas confirmée, et qu'en revanche on observe plutôt une augmentation; mais celle-ci est très faible vis-à-vis de la précision des essais d'adhésion inter-couches.

En résumé, la qualité du collage est suffisante et le traitement au lait de chaux, sous réserve de l'appliquer selon les recommandations d'usage précisées ici, s'avère donc être une solution prometteuse afin de préserver l'intégrité des couches de collage.

Remerciements

Les auteurs remercient O. Moens et F. Kaddouri, pour leur support technique ; les producteurs d'émulsions, de bitumes et les carrières pour la fourniture des échantillons ainsi que les administrations.