

EFFET DE LA COUCHE D'ACCROCHAGE SUR LES STRUCTURES DE CHAUSSEES

AFECHKAR Mohamed – Chef de Service Recherche / CNER – DRCR

I - INTRODUCTION

La méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées est basée d'une part, sur des critères de comportement en fatigue des produits hydrocarbonés et, d'autre part, sur des critères d'orniérage des couches non liées. Elle considère un collage parfait des couches bitumineuses entre elles pendant toute la durée de vie de la structure.

L'utilisation des couches d'accrochage lors de la réalisation des structures routières est une technique courante pour assurer le collage des couches de chaussée. Ces couches, ou films d'émulsion bitumineuse, sont de légers enduits de bitume pur ou modifié. Elles sont essentiellement soumises à des sollicitations de cisaillement cyclique alterné dues au trafic routier. Ces sollicitations sont particulièrement importantes dans les tronçons de chaussée à fortes sollicitations horizontales (zones de freinage-accélération, pentes, virages, parkings).

Il est reconnu que les conditions de collage à l'interface entre les couches de chaussées modifient la distribution des contraintes et des déformations dans une chaussée souple ou semi-rigide et influencent la résistance à la fatigue du revêtement sous chargement cyclique. Une mauvaise adhésion entre les couches peut mener à la dégradation prématurée de la chaussée et à l'apparition de fissures longitudinales de fatigue en traces des roues, de faïençage, des pelades, des nids-de-poule, etc.

Par ailleurs, malgré que la technique de la couche d'accrochage est une pratique courante au niveau des chantiers routiers dans notre pays, elle est peu regardée comme étant importante dans la tenue des structures de chaussées, et en outre, il n'existe pas à l'heure actuelle d'essais ou de procédures normalisées pour vérifier l'efficacité de cette technique et quantifier la qualité du collage qu'elle assure.

Le but du présent papier est de montrer à la fois l'intérêt des couches d'accrochage, de présenter à travers une recherche bibliographique, quelques tendances pour développer des essais ou des procédures pour qualifier sur site le collage des couches entre elles et vérifier ainsi l'efficacité technique des couches d'accrochage. De plus nous essayerons de montrer à travers des exemples de calcul l'incidence de la couche d'accrochage sur les durées de vie des structures de chaussées.

II - EXPERIENCE INTERNATIONALE

La technique de la couche d'accrochage est une technique très pratiquée dans le monde. Et il n'existait pas de différences notables entre les différents pays en terme de liants utilisés et méthode de mise en place. Les caractéristiques principales concernant l'application de cette technique sont comme suit :

- Le type de liant utilisé est principalement des émulsions cationiques sauf aux USA où l'utilisation de bitume pur chaud (même caractéristiques que le liant des enrobés) voire d'émulsion anionique.
- Les quantités minimales varient de 0.12 à 0.40 de liant résiduel par m² pour l'accrochage d'un enrobé bitumineux traditionnel.
- Le laps de temps, entre l'application de cette couche d'accrochage et l'application d'un enrobé conventionnel, s'étale de 20 mn pour un liant rompu ou froid à plusieurs heures pour obtenir un liant « sec » (notion de couche sèche; plus de collage)

- Dans de nombreux pays et ceci est lié au fait de l'application d'enrobés minces (4cm) voire très mince (moins de 2,5 cm) , beaucoup parlent de couche d'accrochage appliquée simultanément avec l'enrobé bitumineux avec des systèmes intégrés de répandage sur le finisseur. De même, en France, certains procédés d'entreprise font appel à des couches d'accrochage dites circulables. Ces procédés sont liés à des émulsions de bitume permettant une rupture très rapide et contrôlée.
- Concernant les spécifications, elles semblent exister dans de nombreux pays. Ces spécifications sont parfois de simples recommandations de chantier dans les cahiers des charges des appels d'offre. Des recommandations spécifiques sont précisées pour des revêtements non traditionnels comme les enrobés drainant en Grande Bretagne, Pays Bas et États Unis.
- Pour les contrôles et essais applicables à cette technique, il n'existe pas de procédure normalisée sauf en Autriche, en Suisse et un projet de norme en Grande Bretagne. En Autriche, un test existe basé sur les caractéristiques liées au cisaillement des couches, en Suisse un test basé sur la traction. En Grande Bretagne, la proposition porte sur un essai de torsion. Au Québec, un projet a été élaboré, depuis quelques années, s'appuyant sur un appareillage utilisé en chantier afin de caractériser le collage des couches et ceci avec différents liants et différents dosages.
- La pratique française

Pendant la période dans les années 70 où le bitume a été très cher, l'absence de la couche d'accrochage a montré que rapidement l'enrobé bitumineux de surface a fatigué de manière excessive et a obligé la direction des routes a réparé à des coûts importants.

Il est à noter que ces observations se sont faites sous des climats allant du chaud dans le sud de la France au froid de l'est de la France. Ces phénomènes de fatigue accélérée ne sont apparus qu'après un temps certain de sollicitations dues au trafic. voyons pratiquement les dosages couramment utilisés en France.

Il est à noter également que l'application de la couche d'accrochage est réalisée à l'aide de répandeuses de liant et non à la lance ou avec des procédés plus rustiques. Ceci permet de réaliser le dosage de la façon la plus industrielle possible et la plus précise. Il est important de décrire le dosage des couches d'accrochage en liant résiduel (bitume restant à l'interface après évacuation de l'eau) plutôt qu'en émulsion de bitume dont la teneur en bitume peut être variable suivant les usages. Quelques dosages de la couche d'accrochage appliqués en France sont donnés ci-dessous :

❖ **Interface Grave non traitée / Grave bitume**

La grave non traitée, après compactage, est imprégnée en surface d'une couche de scellement de 1.2 kg/m² d'émulsion de bitume et recouvert d'un répandage de granulats 4/6 mm. Avant l'application de la couche de grave bitume, une couche d'accrochage de 0.2 kg/m² de liant résiduel est appliquée.

❖ **Interface Grave bitume / Grave bitume**

La couche d'accrochage est systématique même lorsque les graves bitumes inférieurs sont récentes. Le dosage utilisé est de 0.2 kg/m².

❖ **Interface grave bitume / enrobés bitumineux en épaisseur supérieure à 50 mm**

Pour cette application, le dosage est de l'ordre de 0.250 kg/m².

❖ **Interface Grave bitume / Enrobés bitumineux minces**

➤ **Cas des enrobés drainants**

Dans ce cas, la couche d'accrochage doit également faire office de couche d'étanchéité pour protéger la chaussée existante de toute venue d'eau dans la structure de la chaussée.

L'application est très proche d'un enduit superficiel avec des granulats 4/6 mm bien que le dosage soit plus important que pour un enduit superficiel classique.

Parfois sur autoroute à péage et afin de limiter la gêne à l'utilisateur (client de l'autoroute) un enrobé coulé à froid est appliqué la veille de la réalisation de l'enrobé drainant. Le trafic est remis sur l'enrobé coulé à froid et ceci permet de limiter la gêne mais d'assurer un très bon collage et une très bonne étanchéité.

➤ **Cas des enrobés bitumineux très minces**

Dans cette application, la couche d'accrochage est beaucoup plus importante afin de faire adhérer l'enrobé sur la chaussée existante. Le dosage est de 0.400 kg/m² et parfois plus.

III - QUELQUES ESSAIS DISPONIBLES OU EN COURS DE DEVELOPPEMENT A L'ECHELLE INTERNATIONALE

1 - Méthode suisse SN 671 961

Cette méthode teste une carotte d'au moins deux couches d'enrobés de 150 mm de diamètre. La couche supérieure est soumise à un effort de cisaillement qui est de 15 KN pour les couches de roulement et de 12KN pour les couches de base. Cet essai a permis d'établir des dosages minimaux.

2 - Méthode autrichienne

Cette méthode teste une carotte d'au moins deux couches d'enrobés. Des plaques métalliques sont collées de part et d'autre de la carotte. L'échantillon est soumis à un effort de traction. Suivant la nature du liant, les forces de traction doivent être supérieures au moins à 1.5N/mm² pour un liant modifié et au moins supérieures à 1 N/mm² pour un liant non modifié. Des pénalités importantes sont prévues pour chaque 0.1 N/mm² inférieurs à cette spécification.

3- Projet en cours en Grande Bretagne

Cette méthode d'essai utilise des carottes de 100 mm de diamètre. Des plaques métalliques sont collées aux deux extrémités et un test de torsion est réalisé sur ce montage. Il n'y a pas encore de spécifications sur les valeurs à atteindre.

4 - Projet du Québec

Jusqu'à tout récemment, aucun essai ne permettait de quantifier, en chantier, la qualité du collage des couches. Depuis 1998, le ministère des Transports du Québec (MTQ) réalise des essais en chantier au moyen d'un appareil de traction hydraulique.

L'appareil a été conçu en 1998 en partenariat avec le Centre de recherche et de contrôle appliqué à la construction (CRCAC) au Québec.

L'essai a pour objet la mesure de la force de liaison entre deux couches, il consiste à effectuer un carottage d'un diamètre de 100 mm à environ 10 à 20 mm sous l'interface entre la couche de surface et la couche sous-jacente. Un système de préhension sans colle est placé sur le pourtour de la carotte jusqu'à une profondeur de 35 mm dans la couche de surface.

Une contrainte de traction est appliquée à un taux de chargement d'environ 240 N/s. La contrainte maximale atteinte avant la rupture de même que l'endroit où la rupture se produit sont enregistrés.

Les essais sont difficilement réalisables lorsque la température du liant entre les deux couches est supérieure à 25 °C. L'application de glace à la surface de l'enrobé, quelques minutes avant l'essai, permet de contourner ce problème et de procéder à des essais quelques heures seulement après la mise en place d'un enrobé ou sur une chaussée en service lors d'une journée chaude. L'enrobé de surface doit avoir une épaisseur supérieure à 35 mm pour que puisse être installé le système de mesure.

Après avoir réalisé de nombreux essais en chantier et en laboratoire simulant les pires et les meilleures conditions, le MTQ considère que l'adhésion entre deux couches d'enrobé est adéquate si la résistance à la contrainte de traction est supérieure ou égale à 0,20 MPa à 20 °C. Les couches d'enrobé sont considérées comme parfaitement liées si la résistance à la contrainte de traction est supérieure ou égale à 0,40 MPa à 20 °C. À une température relativement chaude (plus de 25 °C), la cohésion du liant d'accrochage limite la liaison entre les deux couches, alors qu'à basse température (moins de 5 °C), la force de liaison est habituellement limitée par l'adhésion entre le liant d'accrochage et l'enrobé. Il est préférable de mesurer la force de liaison entre deux enrobés entre 10 °C et 25 °C lorsque le liant et l'enrobé ne sont pas dans un état trop rigide ni trop visqueux.

IV - INTERET DES COUCHES D'ACCROCHAGE POUR LES STRUCTURES DE CHAUSSEES

L'objet de ce paragraphe est d'évaluer l'incidence de la présence ou non d'une couche d'accrochage sur le dimensionnement des chaussées.

Dans cet exemple étudié nous prenons arbitrairement l'exemple d'une structure souple, et nous comparons les résultats obtenus dans les deux cas suivants :

- Interface couche de surface/couche de base collée ;
- Interface couche de surface/couche de base décollée.

Les démarches de calcul de cette étude sont issues du Guide Technique 1994 « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » du LCPC 3 -SETRA 4. La chaussée type retenue à titre d'exemple est issue des fiches du « Catalogue marocain des structures types de chaussées neuves » 1995.

Le calcul des contraintes et déformations est réalisé par le logiciel ALIZE du LCPC-SETRA. Ce logiciel assimile la chaussée à un milieu multicouches semi infini. Chaque couche est considérée être homogène, isotrope et élastique, dont le comportement est défini par le module élastique et le coefficient de Poisson.

HYPOTHESES

La structure étudiée est issue de la fiche n°3 du Catalogue 95 :

Sol support P3 + 20 cm GNF1 + 8cm GBB +5cmEB

D'après le Catalogue 95 cette structure est définie pour un trafic compris entre 0.57 et 1.1 millions d'essieux équivalents à l'essieu standard jumelé de 13 T, et est conçue pour une durée de service calculée de 10 ans, avec un risque de 35%.

Les caractéristiques des matériaux sont conformes à celles du catalogue et sont rappelées dans le tableau suivant :

Matériau	Module (MPa) à 20 °C	ϵ_6	Coefficient de Poisson
EB	5000	/	0.35
GBB	6500	$90 \cdot 10^{-6}$	0.35
GNF1	300	/	0.35
P3	1200	/	0.35

RESULTATS

Les déformations horizontales à la base de la couche de GBB sont (voir tableaux de calcul en annexe :

- Cas 1 : interface collée, $\epsilon_{t1} = 176. 10^{-6}$
- Cas 2 : interface décollée, $\epsilon_{t2} = 221. 10^{-6}$

Considérons que ces valeurs correspondent respectivement à la déformation admissible pour chacune des deux structures envisagées avec ou non interface EB/GBB collée.

Dans ces conditions, toutes choses étant égales par ailleurs, on peut lier le rapport du nombre d'essieux équivalents (NE) à celui des déformations admissibles ($\epsilon_{t1}/ \epsilon_{t2}$) à partir de la formule de calcul de la déformation horizontale admissible (cf. Guide Technique 94 LCPC-SETRA, paragraphe VI.4.2.3) :

$$\epsilon_{t1} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) [E(10^\circ\text{C})/E(\theta_{\text{eq}})]^{0.5} (\text{NE1}/10^6)^b$$

$$\epsilon_{t2} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) [E(10^\circ\text{C})/E(\theta_{\text{eq}})]^{0.5} (\text{NE2}/10^6)^b$$

avec :

NE1 : nombre d'essieux cumulés sur la durée de vie équivalents à l'essieu de 13T dans le cas de l'interface **collée**.

NE2 : nombre d'essieux cumulés sur la durée de vie équivalents à l'essieu de 13T dans le cas de l'interface **décollée**.

Donc en calculant le rapport ($\epsilon_{t1}/ \epsilon_{t2}$) on a :

$$\epsilon_{t1}/ \epsilon_{t2} = (\text{NE1}/\text{NE2})^b \text{ donc avec } b = - 0.2 \text{ on a :}$$

$$\text{NE1}/\text{NE2} = (\epsilon_{t1}/ \epsilon_{t2})^{-5}$$

Avec les résultats précédents on obtient : **NE1/NE2 = 3,12**

Ainsi pour cet exemple, faire l'hypothèse d'une interface décollée conduirait à diviser par trois environ la longévité calculée avec l'hypothèse des couches collées.

La valeur du rapport du nombre d'essieux équivalent lorsqu'on considère les cas collé et décollé, varie d'un type de structure à l'autre en fonction des différentes hypothèses de dimensionnement. Par conséquent la valeur calculée précédemment n'est valable que dans le cadre de ce cas de figure qui nous montre bien l'enjeu du collage des couches bitumineuses.

V - CONCLUSIONS

On a vu à travers cet article que la couche d'accrochage est un élément essentiel dans la construction routière et qu'elle participe, malgré son faible coût, à la pérennité de la structure de chaussée. Aussi, la communauté routière nationale doit être à l'écoute afin de profiter des essais en développement au niveau d'autre pays pour pouvoir assurer leur transfère au niveau national. Car cette technique doit être définie afin de mieux caractériser la couche d'accrochage en début de vie, et ainsi permettre de montrer son incidence à long terme et son efficacité. Ceci devrait également permettre suivant les conditions locales d'affiner et d'optimiser son dosage selon les différents types d'application d'enrobés bitumineux.

Il y'a lieu de signaler que des études de laboratoire approfondies doivent être menées afin de caractériser le comportement en fatigue des couches d'accrochage et de permettre ainsi au concepteur des chaussées de pouvoir introduire le comportement réaliste de l'interface dans un code de modélisation de structures multicouches.

Cette prise en compte du comportement réaliste de l'interface permettra aussi de voir l'influence de celle-ci sur l'endommagement de la structure de chaussée et notamment sous les conditions de trafic sévères.

Annexe : Tableaux de calculs de dimensionnement effectués avec ALIZE

Interface collée

POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE

A SOUS UNE ROUE SIMPLE

B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE

C AU CENTRE DU JUMELAGE

A=12.500 D=37.500 Q=6.620

NOMBRE DE COUCHES :4

* Z * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *

* .00* * .197E-03C* .172E+02B* -.136E-03C* .662E+01A*

* * E= 50000. * * * * *

* * NU= .35 * * * * *

* * H1= 5.00 * * * * *

* 5.00* * .508E-04C* .601E+01B* -.465E-04C* .528E+01B*

----- COLLE---*-----*-----*-----*

* 5.00* * .508E-04C* .696E+01B* -.474E-04C* .528E+01B*

* * E= 65000. * * * * *

* * NU= .35 * * * * *

* * H2= 8.00 * * * * *

* 13.00* * -.176E-03B* -.153E+02B* .172E-03B* .143E+01B*

----- COLLE---*-----*-----*-----*

* 13.00* * -.176E-03B* .276E-01B* .456E-03B* .143E+01B*

* * E= 3000. * * * * *

* * NU= .35 * * * * *

* * H3= 20.00 * * * * *

* 33.00* * -.216E-03C* -.572E+00C* .329E-03C* .639E+00C*

----- COLLE---*-----*-----*-----*

* 33.00* * -.216E-03C* -.224E-01C* .528E-03C* .639E+00C*

* * E= 1200. * * * * *

* * NU= .35 * * * * *

* * H4=INFINI * * * * *

* D * 46.19MM/100 * R*D *

* R * 294.43M * 13600.66M*MM/100 *

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

Interface décollée

POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE

A SOUS UNE ROUE SIMPLE

B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE

C AU CENTRE DU JUMELAGE

A=12.500 D=37.500 Q=6.620

NOMBRE DE COUCHES :4

```
*****
*      *      *      *      *      *
*  Z  *      * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*****

* .00*      * .131E-03B* .128E+02B* -.565E-04C* .662E+01A*
*  * E= 50000. *      *      *      *      *
*  * NU= .35 *      *      *      *      *
*  * H1= 5.00 *      *      *      *      *
* 5.00*      * -.199E-03B* -.108E+02B* .262E-03B* .625E+01B*
*-----*---DECOLLE---*-----*-----*-----*
* 5.00*      * .246E-03B* .259E+02B* -.162E-03B* .625E+01B*
*  * E= 65000. *      *      *      *      *
*  * NU= .35 *      *      *      *      *
*  * H2= 8.00 *      *      *      *      *
* 13.00*      * -.221E-03B* -.191E+02B* .225E-03A* .229E+01B*
*-----*--- COLLE---*-----*-----*-----*
* 13.00*      * -.221E-03B* .299E+00B* .677E-03B* .229E+01B*
*  * E= 3000. *      *      *      *      *
*  * NU= .35 *      *      *      *      *
*  * H3= 20.00 *      *      *      *      *
* 33.00*      * -.316E-03C* -.823E+00C* .454E-03C* .889E+00C*
*-----*--- COLLE---*-----*-----*-----*
* 33.00*      * -.316E-03C* -.418E-01C* .731E-03C* .889E+00C*
*  * E= 1200. *      *      *      *      *
*  * NU= .35 *      *      *      *      *
*  * H4=INFINI *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *
```

```

*****
*   D   *   55.97MM/100          *   R*D          *
*   R   *   162.56M              *   9098.62M*MM/100  *
*****

```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

BIBLIOGRAPHIE

- Ashayer S. M. A. (1998) « Comportement en fatigue des enrobés bitumineux », Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, France.
- LCPC - SETRA Conception et dimensionnement des structures de chaussées, guide technique, Paris 1994, France.
- Diakhaté M. (2003) « Comportement en fatigue des couches d'accrochage dans une structure de chaussée » Mémoire de DEA, Université de Limoges, France.
- Pavement Analysis, Design and Research, Amsterdam, The Netherlands, pp. 111-123.
Romanoschi A. S. (1999) « Characterization of pavement layer interfaces », Ph.D., Louisiana State University Baton Rouge, USA.
- François Chaignon Jean-Claude Roffé, Couches d'accrochages Enquête mondiale, Pertinence, Essais développés, Recommandations par :
Fédération Internationale des Émulsions de Bitume (IBEF), Paris 75008 – France