



HAL
open science

Etude en laboratoire du collage béton hydraulique sur matériau bitumineux

Bertrand Pouteau, Armelle Chabot, François de Larrard

► **To cite this version:**

Bertrand Pouteau, Armelle Chabot, François de Larrard. Etude en laboratoire du collage béton hydraulique sur matériau bitumineux. Matériaux 2002, Oct 2002, Tours, France. hal-01685953

HAL Id: hal-01685953

<https://hal.science/hal-01685953>

Submitted on 16 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude en laboratoire du collage béton hydraulique sur matériau bitumineux

Bertrand Pouteau — Armelle Chabot — François de Larrard

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)

Centre de Nantes

Route de Bouaye BP4129 44341 Bouguenais Cedex

Tél. : 33(0)2 40 84 56 84 / Fax. : 33(0)2 40 84 59 94 / E-mail. : Bertrand.Pouteau@lcpc.fr

Tél. : 33(0)2 40 84 58 14 / Fax. : 33(0)2 40 84 59 94 / E-mail. : Armelle.Chabot@lcpc.fr

Tél. : 33(0)2 40 84 56 38 / Fax. : 33(0)2 40 84 59 94 / E-mail. : Francois.de-Larrard@lcpc.fr

RÉSUMÉ. Afin de proposer une solution économique alternative et complémentaire des chaussées en matériaux bitumineux, une meilleure connaissance du fonctionnement mécanique de structures de chaussées en béton (matériau traité au liant hydraulique de type ciment « blanc » élastique) comportant une couche de fondation bitumineuse (matériau traité au liant hydrocarboné « noir » viscoélastique) est visée. Ces chaussées composites exigent un collage durable blanc/noir. Les fissures verticales (de retrait) préexistantes dans la couche de béton génèrent des singularités mécaniques dans le milieu. L'étude intrinsèque du comportement et de la durabilité (initiation et propagation de fissure) de l'interface blanc/noir est réalisée, dans un premier temps, par un essai de laboratoire. Il consiste à tester, à déplacement imposé, sous chargement monotone et cyclique, une poutre composite en console. On montre ici que l'essai est apte à provoquer un décollement de l'interface quelque soit le mode de sollicitation. L'analyse de la rupture et le dimensionnement des éprouvettes sont testés à l'aide d'un modèle simplifié. Ils sont confrontés à une analyse fine par éléments finis 2D.

MOTS-CLÉS : fissuration, collage, fatigue, essai, modèle, chaussée composite, béton, matériau bitumineux

1. Introduction

En France, la part de marché, des routes et autoroutes non concédées, attribuée aux techniques « béton » est faible (inférieure à 3,5 %) car la non prise en compte du collage du béton sur son support conduit à des épaisseurs de béton nécessaires qui les rendent trop coûteuses (Pouteau, 2000). Afin de valider des solutions économiques alternatives et concurrentes des chaussées en matériaux bitumineux (Sainton, 2000), une meilleure connaissance du fonctionnement mécanique de structures de chaussées en béton (matériau « blanc » élastique) collé sur une couche de fondation bitumineuse (matériau « noir » viscoélastique) est visée et demandée par la Direction des Routes. L'étude intrinsèque du comportement et de la durabilité du collage de ces structures composites est présentée dans ce papier par les résultats d'un essai de laboratoire, conçu et mis au point en 2000 – 2001, et par des modélisations et interprétations mécaniques simplifiées.

2. Essai de laboratoire

Les chaussées composites blanc/noir sont des empilements composés d'une couche de béton de ciment, d'une couche de grave bitume et d'un massif de sol semi infini. Les fissures verticales (de retrait) préexistantes naturellement dans la couche de béton induisent, comme l'illustre la Figure 1, des singularités de contraintes lors du passage d'un essieu de poids lourd au droit de la fissure (Pouteau, 2001).

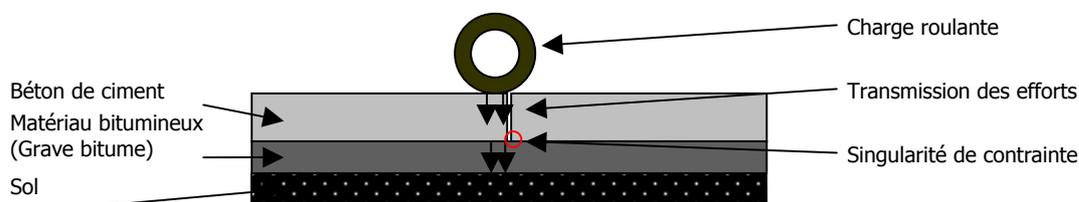


Figure 1. Effet d'une charge roulante sur une chaussée composite blanc/noir.

Afin d'étudier le collage et sa durabilité dans ces structures composites, un essai de Poutre Console en Fatigue (EPCF) a été mis au point sur la dalle du service Métrologie et Instrumentation du LCPC Centre de Nantes. Il réalise des chargements, monotones ou cycliques, à déplacement imposé $d(t)$. L'éprouvette composite blanc/noir sollicitée intègre une fissure (sous la forme d'un bord libre) dans le béton qui débouche à l'interface (Figure 22-a). La tête de l'éprouvette composite est composée ainsi uniquement de grave bitume (matériau viscoélastique). Elle est appelée *consolette*.

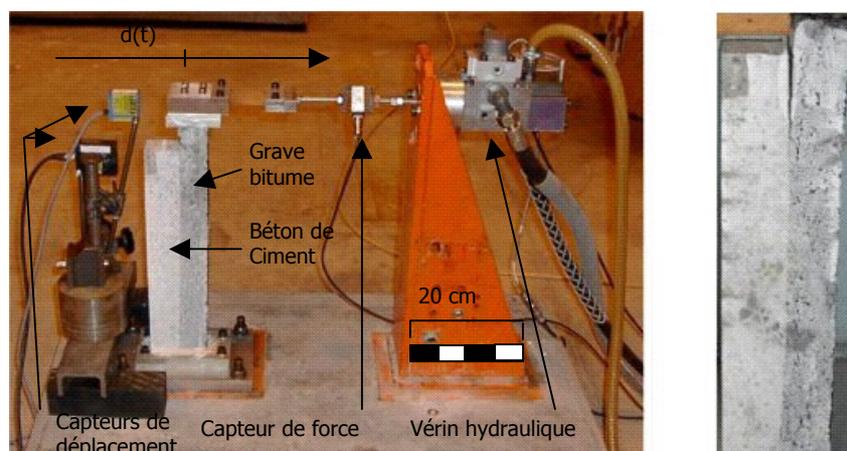


Figure 22. a) Dispositif de l'Essai de Poutre Console en Fatigue développé pour l'étude d'éprouvette composite blanc/noir. b) Rupture type, par décollement, d'une éprouvette composite lors d'un essai monotone.

Le dimensionnement global des éprouvettes est initialement mené par une étude de résistance des matériaux pour répondre aux capacités en puissance du vérin utilisé dans l'EPCF. Ces éprouvettes¹ sont réalisées en laboratoire suivant la procédure suivante : fabrication d'une plaque de grave bitume (40 cm x 60 cm x 5 cm), nettoyage de l'interface (pas de traitement spécifique), coffrage et coulage du béton sur une épaisseur de 5 cm, sciage de la plaque après 1 mois de cure du béton. Une plaque produit 6 éprouvettes. L'essai a lieu dans un délai de deux mois après cette phase de fabrication. Les éprouvettes sont badigeonnées au blanc de Meudon afin d'observer les fissures à l'œil nu.

Une campagne de faisabilité de cet essai a été menée à température ambiante (18°C) sur des chargements monotones et cycliques de fréquence 10 Hz.

En monotone, plusieurs gammes de vitesse, de tailles d'éprouvettes et de consolettes ont été testées. Ainsi, en particulier, sur deux des neuf essais monotones effectués, nous avons montré que si la vitesse était trop lente (environ 0,01 mm/s) et la longueur de la consolette trop longue (5 cm et plus), une rupture par fluage se créait dans la grave bitume au droit du point singulier. Par ailleurs, lorsque la console de l'éprouvette est trop longue, le bras de levier exercé sur l'encastrement conduit à une rupture à la base dans le béton. Grâce à ces résultats, une vitesse de déplacement de 0,1 mm/s ou une taille de consolette de 1 à 3 cm ont permis de régler le problème de fluage. Quant à l'effet de *bras de levier*, le choix d'une longueur de console de 25 cm suffit à l'éviter. Les sept autres essais ont alors tous conduit à une rupture de l'interface sur une longueur de 10 cm en moyenne. Ces essais ont ainsi montré que l'EPCF était capable de provoquer la rupture de collage souhaitée sous chargement monotone, comme l'illustre la Figure 22-b.

En cyclique, sur cinq essais, nous avons constaté les mêmes effets parasites que pour les chargements monotones. Nous avons de plus remarqué que ces effets étaient amplifiés par des signaux cycliques sinusoïdaux centrés autour d'une position d'équilibre. Pour s'affranchir de ces ruptures parasites et d'éventuels phénomènes d'échauffement et de dérive dus à la viscoélasticité du matériau grave bitume, nous avons alors choisi d'appliquer des signaux cycliques sinusoïdaux décentrés par salves (avec $d(t)$ positif). Pendant une minute, on sollicite l'éprouvette, puis, pendant trois minutes, on la maintient dans sa position initiale (trois minutes suffisent à obtenir une relaxation des contraintes dans l'éprouvette). Enfin, on sollicite à nouveau l'éprouvette. Ainsi, sur deux autres éprouvettes (consolette de 1 cm et 3 cm, une console de 25 cm et 43 cm), testées en fatigue par ces nouveaux signaux, nous avons observé une initiation puis une propagation lente d'un décollement de l'interface sur 5 cm en moyenne à 100 000 cycles de chargement. Le déplacement maximum était de 0,22 mm pour l'une et 0,35 mm pour l'autre.

3. Interprétation – modélisations

Un dimensionnement plus fin est recherché dans un second temps, afin d'obtenir un arrachement maximum ou non au bord de l'interface blanc/noir.

Nous avons modélisé tout d'abord l'EPCF en élasticité linéaire à l'aide du code éléments finis CESAR-LCPC. Sous l'hypothèse de déformations planes, le maillage utilisé, à éléments iso-paramétriques à 8 nœuds comptant 2000 mailles en tout, conduit à extrapoler aux nœuds les valeurs de cisaillement et d'arrachement à l'interface de l'éprouvette.

Nous nous proposons de comparer plus loin ces résultats avec ceux d'un modèle simplifié mis au point à l'ENPC (Naciri *et al.* 1998, Chabot, 1997, Chabot *et al.* 1998). Ce modèle est utilisé ici pour modéliser, plus simplement que pour une approche par éléments finis, les concentrations et distributions de contraintes aux interfaces, à la fois sur l'essai et sur la structure réelle. Il fait partie d'une famille de modèles simplifiés écrits en contraintes, construits pour les ingénieurs et donnant dans certains cas des solutions analytiques. Le principe général de ces modèles simplifiés repose ainsi sur une approximation polynomiale en z (coordonnée hors plan) des contraintes par couche. L'intérêt principal est qu'un objet initialement 3D (2D) est ainsi analysé par un objet 2D (1D) dont les épaisseurs et l'ordre des empilements sont rendus par l'intermédiaire d'indices de couche et d'interface. Le deuxième principal intérêt est que l'effet de bord dans ces modèles est rendu flou et se traduit par une valeur finie des contraintes. L'avantage de ce type de modélisation est donc qu'elle conduit à une description beaucoup plus globale qu'une description 3D tout en décrivant correctement les densités surfaciques d'énergie élastique de la structure multicouche. De cette famille de modèles simplifiés, le Modèle Multiparticulaire des Matériaux Multicouches (M4) à 5n équations d'équilibre est utilisé ici pour étudier les champs de contraintes à l'interface de nos bimatériaux. Il permet, entre autre, de prendre en compte les moments de flexion de chaque

¹ Les caractéristiques et la géométrie (modulable) sont, ici sur la Figure 22Figure 240 cm, section 5x5 cm²; grave bitume 0/14, hauteur 45 cm, section 5x5 cm²; interface grenailée avant coulage du béton pour un bon collage.

couche. Ses champs sont de plus très proches de ceux issus d'analyses fines par éléments finis 3D (Carreira *et al.* 2002).

Pour l'étude de l'EPCF, sous les hypothèses 2D de déformation plane, l'application du M4-5n élastique décrit ci-dessus donne des champs inconnus (6 en cinématique et 12 en statique) ne dépendant ainsi que d'une seule variable d'espace. En combinant les différentes équations d'équilibre et de comportement en particulier, les solutions principales du problème sont alors obtenues à partir d'un système différentiel (de rang 4) du second ordre, d'un système différentiel du premier ordre et d'équations algébriques qui sont résolues par la méthode des différences finies sous Matlab.

La distribution des contraintes d'arrachement et de cisaillement le long de l'interface montre des évolutions allant d'une valeur très faible à l'encastrement à une valeur finie concentrée au bord de l'interface. La comparaison au droit de la singularité entre la résultante des efforts de cisaillement dit M4-5n (-6,25 N pour une finesse de différences finies de 4 mm au droit de la singularité et -5,98 N pour une finesse de 0,4 mm) et celles obtenues par l'analyse éléments finis de l'EPCF (-5,67 N pour une finesse de maillage de 0,01 mm) confirme pour exemple la bonne corrélation de ces résultats.

Cet essai conduit à un mode mixte de rupture (mode d'ouverture I, arrachement combiné au mode d'ouverture II cisaillement plan). Ces modes de ruptures peuvent être plus ou moins modulés en fonction de la géométrie de l'éprouvette (principalement en faisant varier la longueur de la consolle) ainsi que le décrit la Figure 3. Plus la taille de la consolle est courte, plus l'arrachement est prépondérant par rapport au cisaillement.

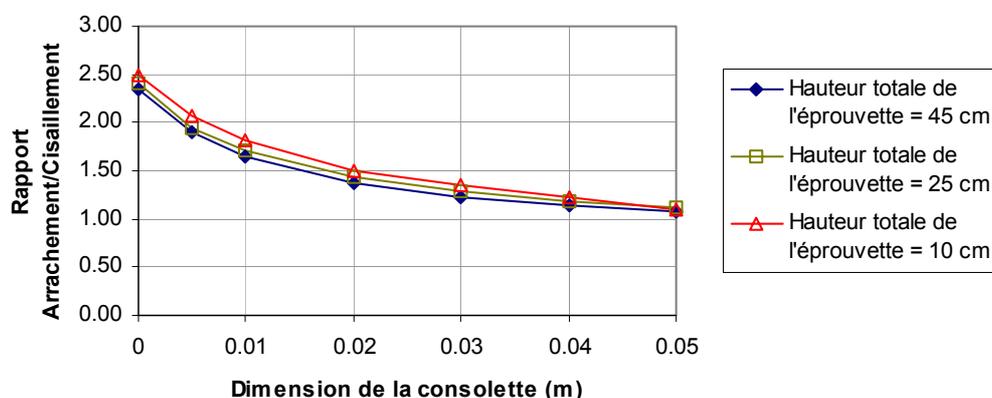


Figure 3. Calcul M4-5n de l'influence de la géométrie de l'éprouvette sur son mode de rupture.

L'analyse de l'initiation de la rupture au droit de la singularité est actuellement menée par calcul de taux de restitution d'énergie. L'objectif est de savoir si le matériau *interface* est plus fragile que le matériau *grave bitume*. Pour ce faire, deux cas sont envisagés (Figure 4). Le premier consiste à extrapoler notre calcul M4-5n de l'EPCF en considérant une fissure fictive sur l'interface. Le deuxième consiste à considérer l'existence d'une fissure au droit de la singularité dans la grave bitume. Ces deux configurations donnent deux taux de restitution d'énergie différents et fonctions du déplacement imposé. Tous calculs faits, nous pourrions comparer expérimentalement, sous chargement monotone, ces deux cas et déterminer lequel mobilise le taux de restitution d'énergie critique le plus faible (c'est-à-dire le matériau le plus fragile) pour initier la rupture à partir de la pré entaille.

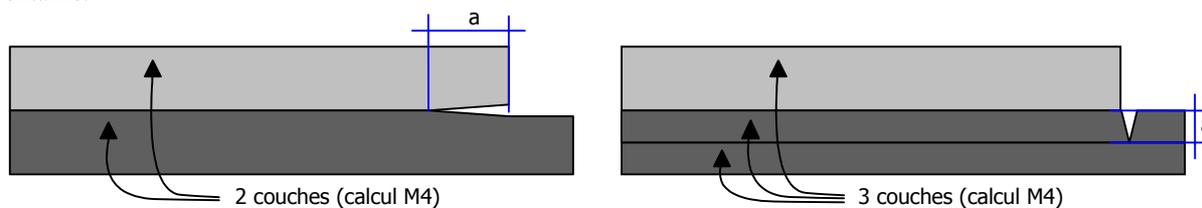


Figure 4. Cas de figure pour le calcul du taux de restitution d'énergie de l'éprouvette composite. a) fissure à l'interface. b) fissure dans la grave bitume.

4. Conclusions – perspectives

Dans cette étude, l'analyse du collage entre béton de ciment et matériau bitumineux et sa durabilité dans les chaussées composites est menée à l'aide d'un essai de laboratoire. Les différents modes de chargement (monotone, cyclique alterné et cyclique décentré par salves $-d(t)$ positif-) combinés à différentes géométries d'éprouvettes (longueurs de la console et de la consolette) montrent l'aptitude de l'EPCF à initier et propager des fissures à l'interface blanc/noir à partir du bord libre sur plusieurs centimètres. Une première campagne d'essai de fatigue est prévue afin d'éprouver la durabilité de l'interface du point de vue initiation et propagation de fissures, sous différentes conditions de chargement et de température.

La modélisation simplifiée retenue permet, sur les premiers calculs effectués en élasticité, d'étudier l'initiation du décollement ainsi que la distribution des champs de contrainte dans l'éprouvette composite. Ce modèle nous permet d'avoir un outil efficace, complètement paramétré, pour le calcul des champs de contrainte à l'interface. Programmé sous Matlab, nous pouvons jouer sur la géométrie et les chargements, afin de provoquer au maximum un décollement de l'interface. L'analyse de l'initiation de ce décollement est actuellement menée par calcul de taux de restitution d'énergie et expériences en chargement monotone, sur éprouvettes pré-entailles.

Ces modèles sont également utilisés pour modéliser la distribution des champs de contraintes d'arrachement et de cisaillement à l'interface dans une structure de chaussée réelle bidimensionnelle au droit de la fissure de la couche béton de ciment. Le sol est approché par un empilement fini de couches, selon (Tran, 2001) pour une structure 2D non fissurée en élasticité linéaire. Notre problème (Figure 1) a été entièrement posé en 2D, il reste à le résoudre numériquement. Ces derniers calculs pourront être comparés et validés par ceux actuellement démarrés en 3D dans une thèse en cours au LCPC (Tran) qui approche le sol par un massif de Boussinesq.

En fin de thèse, il est prévu de valider cette approche par des essais de fatigue sur structure à l'échelle 1, pour en déduire une méthode de vérification des interfaces à introduire, en cas de succès, dans la méthode française (LCPC-SETRA) de dimensionnement des chaussées.

5. Remerciements

Les auteurs remercient l'ATILH (Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques) pour sa participation au financement, ainsi que CIMBETON et le SPECBEA pour leur intérêt porté à ces travaux.

6. Bibliographie

- Balay J. M., de Larrard F., Sedran T., Laurent G., « Matériaux hydrauliques dans la route : programme et premiers résultats du thème de recherche du LCPC » *Revue Générale des Routes et Autoroutes*, N° 798, 2001, p. 29-33.
- Carreira R. P., Caron J. F., Diaz Diaz A., « Model of multilayered materials for interface stresses estimation and validation by finite element calculations », accepté à *Mechanics of Materials*, 2002.
- Chabot A., Analyse des efforts à l'interface entre les couches des matériaux composites à l'aide de modèle multiparticulaires de matériaux multicouches (M4), Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1997.
- Chabot A., Ehrlacher A., « Modèles multiparticulaires des matériaux multicouches M4-5n et M4-(2n+1) pour l'étude des effets de bord », *Comptes-rendus aux 11^{ème} Journées Nationales sur les Composites (JNC11)*, 1998, Arcachon, p. 1389-1397.
- de Larrard F., Pouteau B., Chabot A., Clément J. L., Balay J. M., « Chaussées composites et nouvelles applications du ciment dans la route », *TP Tech*, mars 2001, Paris.
- Naciri T., Ehrlacher A., Chabot A., « Interlaminar Stress Analysis with a new Multiparticle Modelisation of Multilayered Materials (M4) », *Composites Science and Technology* 58, N°3, 1998, p. 337-343.
- Pouteau B., Etude de l'adhérence entre béton hydraulique et matériau bitumineux pour la réalisation de chaussées en béton, rapport de DEA, Ecole Centrale de Nantes, 2000.
- Pouteau B., Rapport d'étape N°2 : étude du collage entre béton hydraulique et matériau bitumineux et valorisation dans le dimensionnement de structures de chaussées, rapport d'avancement, décembre 2001.
- Sainton A., « Partenariat CIMbéton, SPECBEA, SNBPE pour le développement du béton de ciment dans les chaussées », *Revue Générale des Routes et Autoroutes*, N°789, 2000, p. 44-48.

Tran Q. D., « Utilisation de modèles multiparticulaires pour l'analyse des champs dans un multicouche de chaussée élastique fissurée », stage de DEA, Université Paris VI, 2001.