



HAL
open science

Essai accéléré de durabilité du collage blanc sur noir dans une chaussée composite

Bertrand Pouteau, Armelle Chabot, Jean-Maurice Balay, François de Larrard

► **To cite this version:**

Bertrand Pouteau, Armelle Chabot, Jean-Maurice Balay, François de Larrard. Essai accéléré de durabilité du collage blanc sur noir dans une chaussée composite. 17e Congrès Français de Mécanique, Aug 2005, Troyes, France. 6p. hal-04227042

HAL Id: hal-04227042

<https://hal.science/hal-04227042>

Submitted on 3 Oct 2023

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.

Essai accéléré de durabilité du collage blanc sur noir dans une chaussée composite

Bertrand Pouteau*, Armelle Chabot**, Jean-Maurice Balay**, François de Larrard**

*Eurovia Management
2, rue Thierry Sabine – BP 67
33703 Mérignac cedex

**Laboratoire Central des Ponts et Chaussées,
Route de Bouaye BP 4129,
44341 Bouguenais Cedex.

Résumé :

La mise en évidence d'un décollement à l'interface des couches en béton de ciment (« blanc ») sur enrobé bitumineux (« noir ») est réalisée à partir d'essais accélérés de charge lourde sur une chaussée composite à l'échelle 1. L'analyse de la rupture est menée à l'aide d'un outil d'auscultation non destructif, de prélèvements in-situ de matériau et l'utilisation d'un modèle simplifié.

Abstract :

To analyze the durability of bond between concrete and asphalt of new composite pavement structures – ie whitetopping – an in-situ experiment has been done using an accelerated pavement loading facility. The results of these fracture tests are given and analyzed with a non destructive auscultation tool, in-situ material samples and a simplified modelling.

Mots clefs :

Expérience à échelle 1 ; Chaussée BCMC ; Décollement.

1 Introduction

Depuis 1996, afin de se prémunir contre les effets des déformations permanentes ou orniérage des chaussées particulièrement dans les zones à chargement lent, quasi-statique ou statique (voies lentes d'autoroute, les voies et couloirs de bus de ville, les approches des carrefours et croisements de voies, les parkings, les aires de péages et les aires de repos poids lourds des autoroutes, les aires de stationnements aéroportuaires, etc.), la communauté technique française des chaussées en béton a adapté au contexte français les techniques de béton de ciment mince collé (BCMC) [1] ou white-toppings des Etats-Unis. Cette technique consiste à fraiser ou raboter la structure bitumineuse « noire » dégradée sur une épaisseur adéquate, et, à mettre en œuvre, après nettoyage de la surface, une couche mince de ciment (6 à 10 cm) « blanche » qui, à l'état initial, adhère parfaitement à la couche bitumineuse résiduelle sous-jacente. Cependant, les chaussées travaillant en flexion, pour que de tels structures soient économiquement et mécaniquement intéressantes, il faut pouvoir prouver que l'hypothèse de collage entre les couches de béton de ciment et d'enrobé bitumineux soit durable. Aussi, dans le cadre de la thèse CIFRE ATILH de Pouteau [2] [3], des essais accélérés « FABAC » en vraie grandeur sur le site de Nantes du LCPC ont été réalisés.

Ce papier illustre dans un premier paragraphe le détail des essais mécaniques de durabilité de collage blanc sur noir à l'échelle 1:1 des structures en BCMC. Dans un second paragraphe, l'analyse de ces essais de rupture à l'aide de la méthode des plans d'expérience est présentée avant de conclure sur les paramètres influençant le plus les dégradations.

2 Essai de fatigue accéléré à l'échelle 1:1

2.1 Description de l'essai

Les chaussées composites blanc/noir sont composées d'un empilement de 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 des singularités de contraintes qu'il faut pouvoir simuler et modéliser lors du passage d'un essieu de poids lourd au droit de la fissure (figure 1).

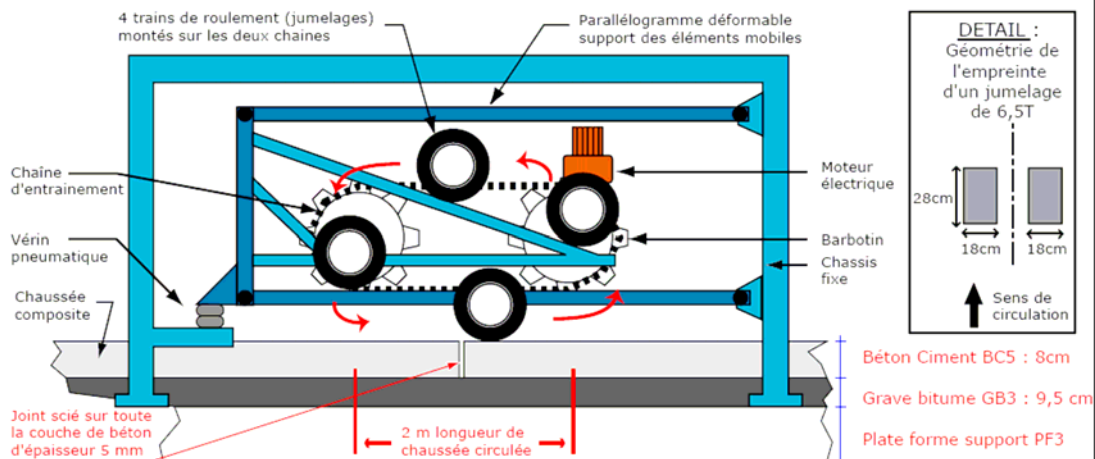


FIG. 1 – Schéma du principe de l'essai sur un joint d'une structure type BCMC

Pour étudier en laboratoire, l'effet de ces singularités sur la durabilité mécanique du collage entre les couches de béton et d'enrobé, une expérimentation en vraie grandeur a été réalisée sur le site de Nantes du LCPC. Cette expérimentation repose sur l'utilisation de deux accélérateurs de trafic linéaire (FABAC [4] - vitesse maximale de 7 Km/h) (figure 1) et la réalisation d'une plate forme d'essais de 30 mètres de long et 2 mètres de large à neuf joints ($J_i, i=1,9$) (figure 2). Ces joints sont classés selon leur nature (avec ou sans décollement initial à l'interface Blanc/Noir) et l'état de leur interface (non traitée ou grenillée).

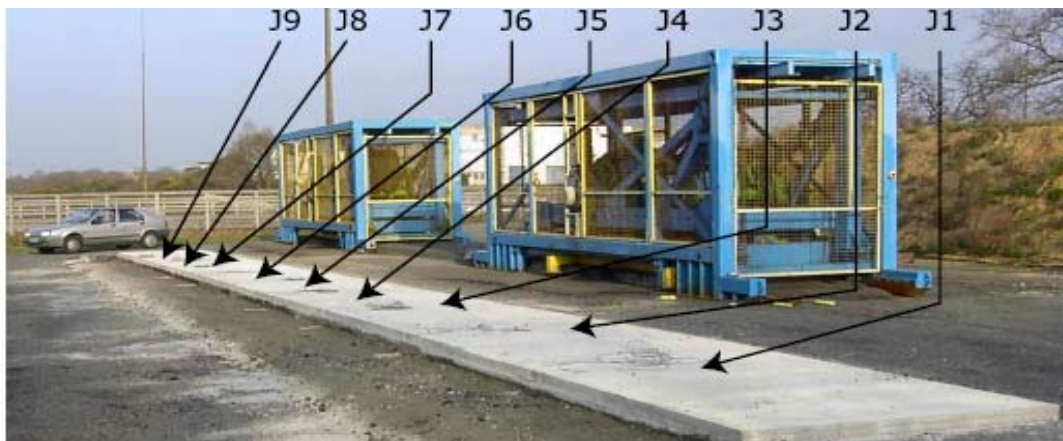


FIG. 2 – Photo de la structure de chaussée expérimentale à 9 joints et des machines FABAC [3].

Etant donné la capacité des machines FABAC finalement à dégrader ces structures, les joints sans décollement d'interface initial ont seuls été testés. Ainsi quatre essais ont été réalisés pour un trafic cumulé de 1 million de cycles de chargement type d'un demi-essieu de poids lourd (65kN). Pour pouvoir estimer la valeur ajoutée d'une interface traitée par grenailage, les 2 natures d'interface ont été sollicitées en parallèle dans des conditions d'essais d'abord estivales (joint J3 non traité et joint J7 grenailé - T: 16 à 30°C) puis hivernales (joint J2 non traité et joint J6 grenailé - T: 5 à 15°C).

2.2 Analyse mécanique à l'état initial

Pour analyser en 3D l'état initial des contraintes au droit des fissures verticales à l'interface des couches de ce type de structure (figure 1), les modèles simplifiés usuels de dimensionnement des chaussées sont à cet égard très mal adaptés et l'emploi de modélisations numériques 3D nécessite des maillages très fins, coûteux en temps de programmation et de calcul. Aussi, un modèle simplifié de calcul de chaussées fissurées a été développé dans le cadre de la thèse ENPC de Tran [5] [6]. Cette approche alternative s'appuie, pour la modélisation du corps de chaussée, sur les modèles multiparticulaires des matériaux multicouches (M4) développé à l'ENPC (Chabot, 1997). Le modèle simplifié adapté aux problèmes de flexion, le M4-5n (5 équations d'équilibre par couche) est couplé au modèle élastique de Boussinesq pour le sol support. Les premiers calculs, faits sur des structures idéales aux bord libres infinis, pour une seule charge centrée en zéro, donnent un état de contrainte mixte de part et d'autre de la fissure (cisaillement, compression et arrachement) lors du passage de la charge (figure 4).

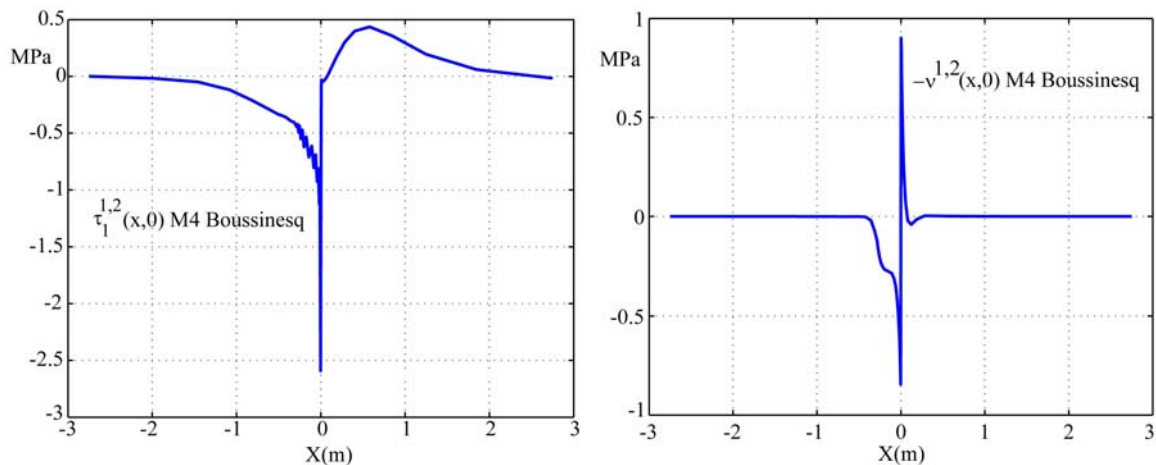


FIG. 4 – Etat des contraintes de cisaillement et d'arrachement (dans le plan $y=0$) le long d'une interface noir/blanc d'une chaussée chargée (0.28×0.18 m², $q=0.662$ MPa) à gauche d'une fissure centrée en $x=0$ ($e_{BC} = 0.08$ m, $E_{BC} = 36500$ MPa, $\nu_{BC} = 0.25$; $e_{GB} = 0.095$ m, $E_{GB} = 8485$ MPa, $\nu_{GB} = 0.35$; $E_{sol} = 120$ MPa, $\nu_{sol} = 0.35$) [7]

2.3 Auscultation non destructive de l'évolution de l'état d'interface

Les dégradations occasionnées à l'interface blanc/noir, au niveau d'un joint, sont observées à l'aide du système d'auscultation non destructif (CND) COLIBRI [2] [3] [8]. Son principe repose sur l'analyse de la fonction de transfert du corps de chaussée, soumis à une excitation dynamique (choc) et dont on mesure l'accélération verticale (à 0,010 m du choc). L'information relative à la qualité de l'interface (collée ou non) se traduit en pratique par l'analyse de la moyenne du module de la fonction de transfert entre les fréquences 1025 et 1318 Hz: l'indicateur de qualité d'interface est noté $D_{col}(1025,1318)$ [3]. Les campagnes d'auscultations avec l'appareil COLIBRI ont été réalisées en deux étapes. Lors de l'étape initiale sur les structures non chargées, l'ensemble des 9 joints a été ausculté sur des profils d'une longueur de plus ou moins un mètre par rapport au joint. On a ainsi pu constater qu'une interface collée (J2 à J9 sauf J4 et J5) et une interface décollée (J1, J4 et J5) présentent une signature différente (zones grisées de la figure 4). La deuxième étape d'auscultation a consisté à pratiquer des mesures pour deux états de chargements : 500 000 passages et 1 000 000 de passages. La caractérisation de l'évolution progressive de l'état d'interface parfaitement collé initialement à un état partiellement décollé en fin d'essai est ainsi possible (figure 4).

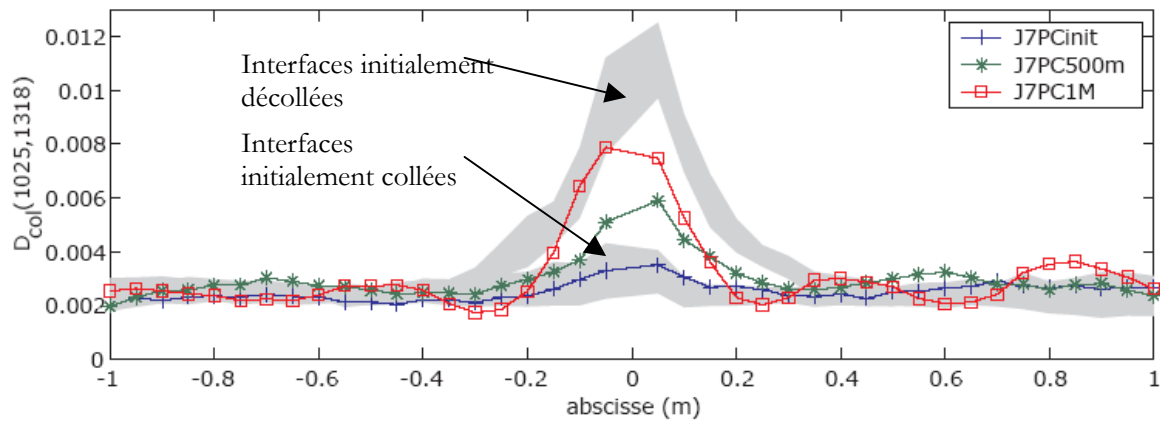


FIG. 5 – Exemple d'évolution de l'indicateur de qualité d'interface, $D_{col}(1025,1318)$ pour le joint J7 entre l'état initial (J7PCinit), l'état intermédiaire à 500 000 passages (J7PC500m) et la fin de l'essai à 1 million de passages (J7PC1M) [3]

2.4 Auscultation finale à l'aide de moyen destructif

En fin d'essai, chaque joint a été soumis à une campagne de carottage de manière à valider les constats issus des mesures COLIBRI concernant la pertinence de l'approche par CND pour suivre l'état de l'interface. En effet, comme le montre l'exemple du joint J7 (figure 5), le béton de ciment est bien décollé de la grave bitume en fin d'essai.

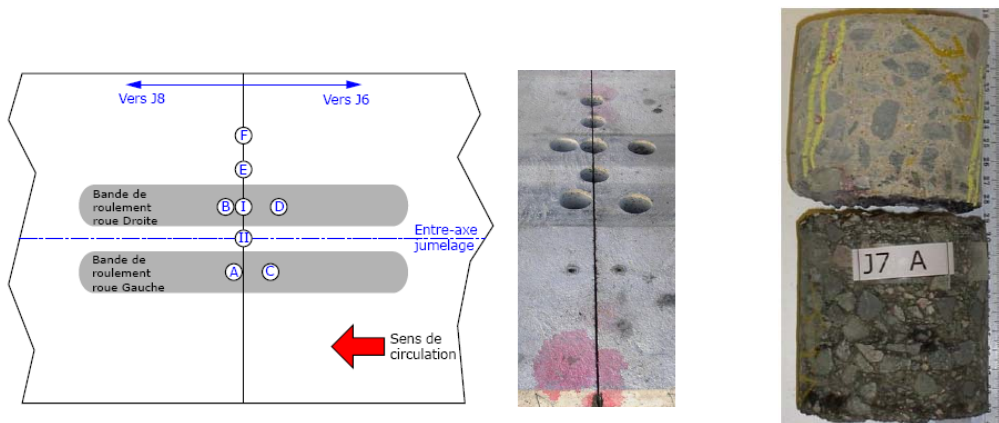


FIG. 6 – Exemple d'implantation et de résultat de carottage pour le joint J7 [3]

3 Analyse des résultats par plan d'expérience

En s'appuyant sur les mesures réalisées lors de la campagne d'auscultation initiale, il est possible, par calage sur la longueur connue des décollements J1, J4 et J5, de traduire, la forme de l'indicateur de décollement $D_{col}(1025,1318)$ en longueur de décollement en fin d'essai [3]. Pour les quatre essais réalisés, la longueur moyenne du délaminage final au niveau d'un joint est de 25 cm. Les quatre essais réalisés permettent l'étude de l'influence de trois paramètres x_α , $\alpha \in \{G, T, P\}$, sur la longueur de délaminage en fin d'essai : x_G le grenailage ou non de l'interface, x_T la température moyenne en cours d'essai et x_P la position de la mesure de décollement par rapport aux deux roues du jumelage. Par analogie avec le formalisme mathématique utilisé dans l'analyse des plans d'expériences, les différents paramètres x_α sont codés en unités centrées réduites (comprises entre -1 pour la valeur la plus basse du paramètre à +1 pour la valeur la plus haute) [9]. Le tableau 1 présente suivant ce formalisme les huit configurations expérimentales, relatives aux quatre essais élémentaires, ainsi que la longueur de décollement mesurée à l'aide de COLIBRI.

No d'essai	Codage des paramètres			Description	Longueur de décollement
	x _G	x _T	x _P		
J2PC	-1	-1	-1	Non grenailé, hivers, mesure dans l'axe du jumelage	25 cm
J6PC	+1	-1	-1	Grenailé, hivers, mesure dans l'axe du jumelage	30 cm
J3PC	-1	+1	-1	Non grenailé, été, mesure dans l'axe du jumelage	35 cm
J7PC	+1	+1	-1	Grenailé, été, mesure dans l'axe du jumelage	30 cm
J2PR	-1	-1	+1	Non grenailé hivers, mesure sous une roue	5 cm
J6PR	+1	-1	+1	Grenailé, hivers, mesure sous une roue	20 cm
J3PR	-1	+1	+1	Non grenailé, été, mesure sous une roue	30 cm
J7R	+1	+1	+1	Grenailé, été, mesure sous une roue	25 cm

TAB. 1 – Résultats des essais pour les différentes modalités expérimentales [3].

L'analyse des résultats s'appuie sur l'identification de la réponse LDD (Longueur De Décollement) à un modèle descriptif du premier degré de la forme (1). a_0 représente la valeur moyenne et $a_{\{G,T,P,GT,GP,TP,GTP\}}$ représentent les effets des différents paramètres et de leurs interactions sur la réponse LDD. L'identification des effets et des interactions des paramètres des modèles se fait par résolution du système linéaire défini à partir des résultats expérimentaux (tableau 1). Les valeurs numériques des paramètres des différents modèles sont présentées dans le tableau 2.

$$\text{LDD} = a_0 + a_G \cdot x_G + a_T \cdot x_T + a_P \cdot x_P + a_{GT} \cdot x_G \cdot x_T + a_{GP} \cdot x_G \cdot x_P + a_{TP} \cdot x_T \cdot x_P + a_{GTP} \cdot x_G \cdot x_T \cdot x_P \quad (1)$$

a ₀	a _G	a _T	a _P	a _{GT}	a _{GP}	a _{TP}	a _{GTP}
25	1,25	5	-5	-3,75	1,25	2,5	-1,25

TAB. 2 – Valeurs (en cm) des effets et interactions du modèle descriptif de LDD

En s'intéressant aux effets du premier ordre (a_G , a_T et a_P), il apparaît que la nature de l'interface n'est pas un paramètre influent. Par contre, la température d'essai (influençant le module du matériau bitumineux à comportement viscoélastique thermo-susceptible [3]) et la position de la charge sont des paramètres influents équivalents. Leur influence s'exprime ainsi : une température élevée (16°C à 30 °C) conduit à une augmentation de la taille du décollement de 5 cm ; la mesure du décollement sous l'axe du jumelage révèle des longueurs de décollement supérieure de 5 cm à la moyenne.

4 Proposition du schéma des dégradations

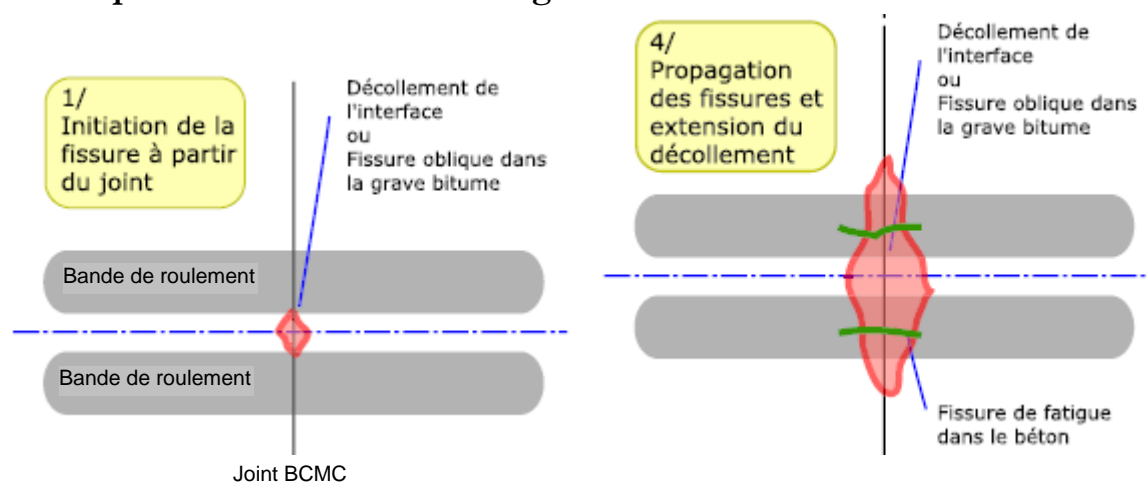


FIG. 6 – Schéma des dégradations [3]

D'après les observations réalisées en partie à l'aide de campagne de carottage et des mesures COLIBRI, le mécanisme type de dégradation des joints non décollés initialement est schématisé sur la figure 6. En effet, ces observations montrent que l'initiation du décollement (ou de la décohésion de la grave bitume à partir d'un joint) s'initie dans l'axe du jumelage (étape 1), là où les effets du cisaillement de bord de charge à l'interface sont les plus importants. Puis, le décollement se propage latéralement sous le passage des roues (étape 2). Des fissures de fatigue à la base de la couche de béton apparaissent alors sous le passage des roues avant de se propager complètement suivant le sens de roulement de la charge (étape 3 et 4).

5 Conclusions

Pour analyser la tenue du collage entre couches de béton de ciment et d'enrobés bitumineux d'une chaussée, quatre expériences de fatigue à l'échelle 1:1 ont été réalisées à l'aide de simulateurs de trafic linéaire accélérés (FABAC). La planche d'essai a été construite de façon à étudier plusieurs configurations de joint du béton (siège de contraintes mixtes singulières à l'interface). Un indicateur de mesure du décollement a été mis au point à l'aide du système d'auscultation non destructif COLIBRI. Ces mesures corrélées aux campagnes destructives de carottage montrent qu'un décollement peut s'initier dans l'axe du jumelage et se propager ensuite sous le chemin de roulage des pneumatiques. D'après l'analyse des résultats suivant la méthode des plans d'expérience, la position de la charge et la valeur de la température moyenne saisonnière sont des paramètres plus importants que celui du grenailage ou non de l'interface. Ces résultats remettent en question l'intérêt du grenailage des chaussées composites, alors que l'analyse bibliographique et d'autres essais de fatigue en laboratoire (pour une température basse de 0°C [10]) montrent le contraire.

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.

References

- [1] Bonnet G., Christory J. P., Duchaillet J. F., Grob D., Abdo J., Sainton A., 1998. Le recours au béton de ciment mince collé (BCMC) pour remédier à l'orniérage, *RGR4*, n°768, Décembre.
- [2] Pouteau B., Balay J.-M., Chabot A., De Larrard F., 2004. Fatigue test and mechanical study of adhesion between concrete and asphalt. *9th International Symposium on Concrete Roads*, 3-6 April, Istanbul, Turkey.
- [3] Pouteau B., 2004. Durabilité mécanique du collage blanc sur noir dans les chaussées. Thèse de Doctorat de l'ECN et l'Université de Nantes.
- [4] IREX, 2000. Restitution des résultats du projet national FABAC (FATigue du Béton Armé Continu). *Journée d'étude IREX Paris*.
- [5] Tran Q. D., Chabot A., Ehlacher A., Tamagny P., 2003. Modèle simplifié pour le calcul de chaussées. *16^{ème} Congrès Français de Mécanique*, 1-3 Septembre, Nice.
- [6] Tran. Q. D. 2004. Modèle simplifié pour les chaussées fissurées multicouches. Thèse de Doctorat de l'ENPC.
- [7] Chabot A., Tran Q. D., Pouteau B., 2004. Simplified modelling of a cracked composite pavement. *First International Elsevier Conference on Failure Analysis*, 12-14 juillet, Lisbonne, Portugal.
- [8] Bats Villard M., 1991. Influence des défauts de liaison sur le dimensionnement et le comportement des chaussées. Thèse de doctorat de l'Université de Nantes.
- [9] Montgomery D., 1995. Design and analysis of experiments, Wiley.
- [10] Pouteau B., Chabot A., De Larrard F., 2002, "Etude en laboratoire du collage béton/matériaux bitumineux". *Matériaux 2002*, 21-25 octobre, Tours.