

Interfaces de chaussées: de la caractérisation du comportement mécanique de l'interface à sa modélisation

R. KTARI, I. LEANDRY, A. MILLIEN, F. FOUCHAL, O. POP, P. VO THU PHAN, C. PETIT,

Université de Limoges, GEMH-GCD, 17, Boulevard Jacques Derche, 19300 Egletons, France

Résumé :

Si, pour les matériaux composites élaborés, de nombreuses études expérimentales ainsi que des modèles locaux de comportement ont été développés, la maîtrise du comportement des interfaces entre couches de surface ou d'assise de chaussées est actuellement un réel verrou scientifique. La méthode de dimensionnement française actuelle ne prend en compte, aux interfaces, que des conditions conventionnelles de collage ou de glissement parfait. Afin d'appréhender le comportement local de l'interface ou de l'interphase, les outils de la photomécanique apparaissent incontournables. La faisabilité de cette approche est présentée pour un essai de traction directe sur un bicouche en enrobé bitumineux. Les résultats obtenus (rugosité, adhésion) seront les paramètres d'entrée d'un modèle d'endommagement d'interface.

Abstract :

Even if, for composite materials, many experimental studies as well as behavior laws have been developed, evaluation of the behavior of interfaces between pavement layers is an actual scientific lock. The current French design method only takes into account interfaces, as conventional perfect bonding or slipping plane. In order to understand the behavior of the interface or interphase, the photomechanical tools are unavoidable. The feasibility of this approach is presented for a direct tensile test on double-layered asphalt pavement specimen t. The results (roughness, adhesion) will be input parameters of a damage model interface.

Mots clefs: Interface, analyse d'images, mesure de champs, rugosité, modèle d'endommagement.

1 Introduction et objectifs

En construction routière, les composites multi-couches, qui constituent une structure de chaussée, sont soumis à des sollicitations combinées de trafic et d'actions environnementales. Dans le cadre du développement durable, les travaux de réparation ou de renforcement ainsi que les solutions proposées en travaux neufs ont actuellement recours à des matériaux bitumineux pour couches de surface ou d'assise à caractéristiques mécaniques optimisées et donc de plus en plus minces. Cette stratégie induit une augmentation des sollicitations thermo-mécaniques au niveau des interfaces du multicouche, principalement entre couches traitées au liant hydrocarboné ou hydraulique. Des pathologies associées au décollement sont observées, alors qu'un collage par interposition d'une couche d'accrochage en émulsion de bitume a été rendu obligatoire. La prise en compte des conditions d'interface reste également un point faible de la méthode de dimensionnement, qui ne considère d'un collage ou un glissement parfait. Les études internationales portent principalement sur les performances mécaniques en traction ou en cisaillement de complexes bicouches, sous sollicitations monotones ou de fatigue [1, 2, 3, 4, 5]. Les résultats obtenus montrent une forte dépendance aux niveaux de sollicitations, au dosage résiduel de la couche d'accrochage et aux conditions de mise en œuvre sur chantier. Par ailleurs, la modélisation du comportement mécanique des interfaces dans les structures de chaussées est peu abordée dans la littérature. Les modèles proposés sont essentiellement basés sur des lois locales élasto-plastiques [6, 7, 8] de type Mohr-Coulomb. Notre contribution dans ce contexte porte sur la faisabilité d'une approche locale, basée sur les techniques d'analyse d'images et permettant d'identifier des paramètres de modélisation de type variables d'endommagement locales et profil de rugosité.

2 Description du dispositif expérimental et méthodologie

Le matériau testé est issu d'une planche expérimentale, réalisée dans le contexte du projet RILEM ATB. Il s'agit d'un complexe bicouche, composé de deux couches d'enrobé bitumineux de type EB 12,5 roulement/liaison 70/100, selon la norme NF EN 13108-1, séparées par une couche d'accrochage en émulsion cationique modifiée par SBS et dosée à 210 g/m² en bitume résiduel. Des essais de traction simple ont été réalisés des éprouvettes parallélépipédiques, dont la géométrie est précisée figure 1, Afin d'assurer les liaisons entre éprouvette et machine, des casques métalliques ont été préalablement collés sur l'éprouvette (figure 1). Ces casques sont reliés, par liaison vissée, aux axes de la machine d'essai (presse électromécanique Zwick, contrôlée en vitesse de déplacement imposée de 0,5 mm/min.). En phase de faisabilité, la vitesse d'acquisition des données mécaniques et des images est de l'ordre d'une mesure par seconde. La température est celle du local (soit environ 22°C).

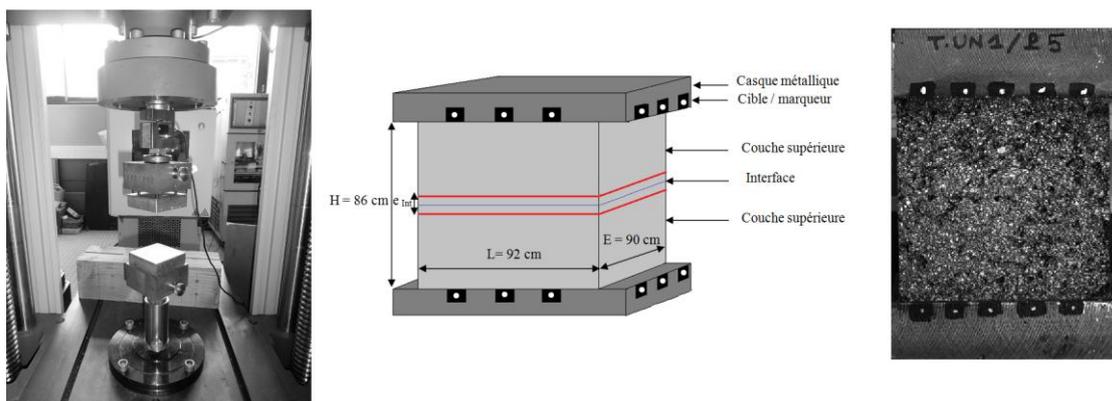


Figure 1 Machine d'essai, géométrie des éprouvettes, préparation des surfaces pour analyse d'images

3 Analyse des champs globaux.

Les champs globaux sont obtenus par analyses de suivis de marqueurs, avec le logiciels DEFTAC développé par l'axe PEM du Département GMSC de l'Institut P' de Poitiers et corrélation d'images, avec le logiciel CORRELA développé par l'axe PEM du Département GMSC de l'Institut P' de Poitiers [9]. Pour le suivi de marqueurs, des taches blanches ont été placés sur les casques de part et d'autre de l'éprouvette (figure 2). Le principe de la mesure consiste à repérer ces marqueurs dans l'image par calcul du centre géométrique pondéré par l'intensité lumineuse. Les positions des barycentres des marqueurs au cours de l'essai permettent d'obtenir la variation globale de longueur ΔU_y . Le rapport entre ΔU_y et la hauteur initiale de l'éprouvette est définie comme la déformation globale ϵ_{yy} conventionnelle.

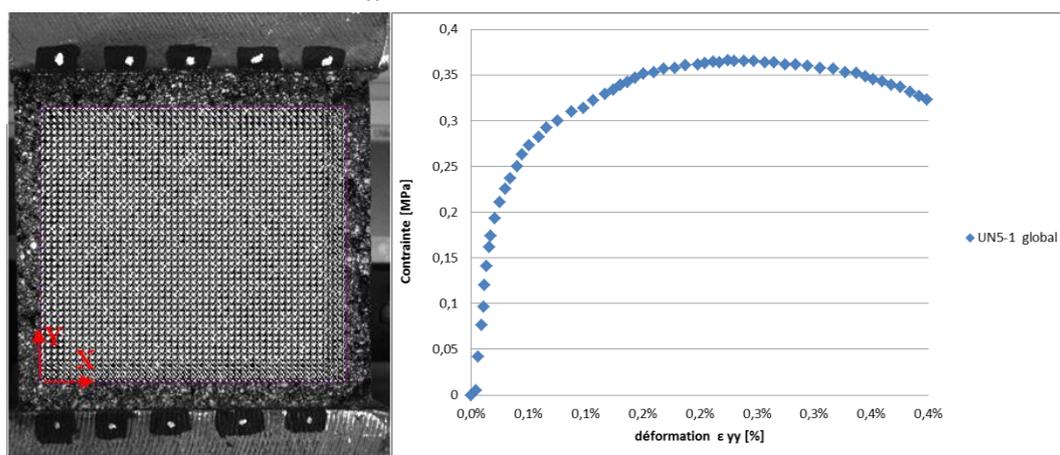


Figure 2 : Champs globaux a) Zone d'étude (référentiel, marqueurs et grille de corrélation) b) Courbe contrainte déformation globale

La corrélation d'images consiste à mettre en correspondance deux images de la vue de la surface plane de l'éprouvette, à deux états mécaniques distincts ; le premier est dit de référence et le deuxième est dit déformé.

La mesure du déplacement consiste à retrouver le déplacement nécessaire pour que le motif de l'état de référence se superpose avec celui de l'état déformé [9].

Le motif correspond soit à la texture naturelle de l'échantillon soit à un motif artificiel (projection de peinture). Dans notre cas, la surface de l'éprouvette n'étant pas suffisamment texturée, un mouchetis de peinture blanc sur noir a été projeté sur la surface de l'éprouvette. L'étude par corrélation a été réalisée avec un grandissement = 0.202 mm/pixel et avec des fenêtres de corrélation de 32x32 pixels (avec un décalage de 8 pixels). Deux champs sont présentés figure 3 : La contrainte maximale étant obtenue à l'image 41, le premier champ (a) correspond à la partie linéaire initiale de la courbe contrainte-déformation globale et permet de visualiser l'hétérogénéité du matériau, le second (b) est post-pic et met en évidence la localisation des déformations à l'interphase.

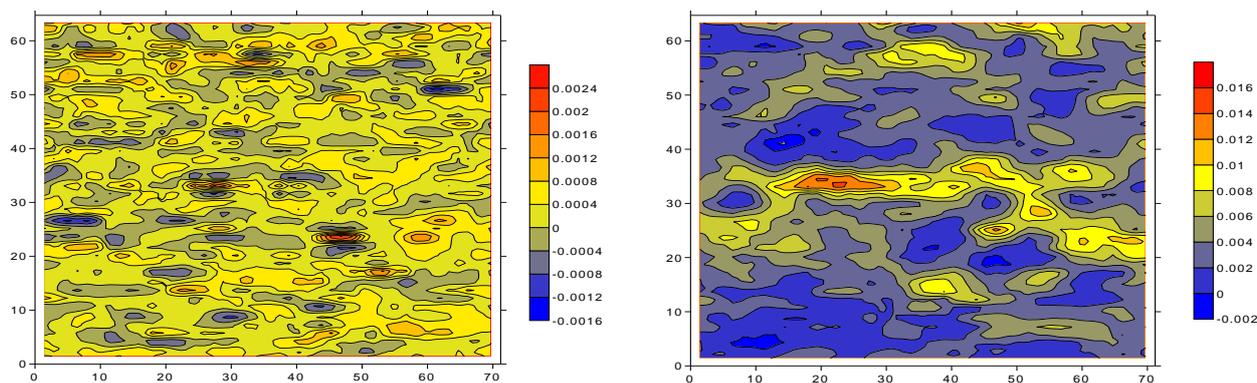


Figure 3 : Champs globaux de déformation ϵ_{yy} a) image 13 b) image 60

4 Analyse des champs locaux

Pour l'obtention des champs locaux, une étude spécifique des champs cinématiques est effectuée sur une zone d'étude réduite de 90 x 13 mm² (figure 4a)

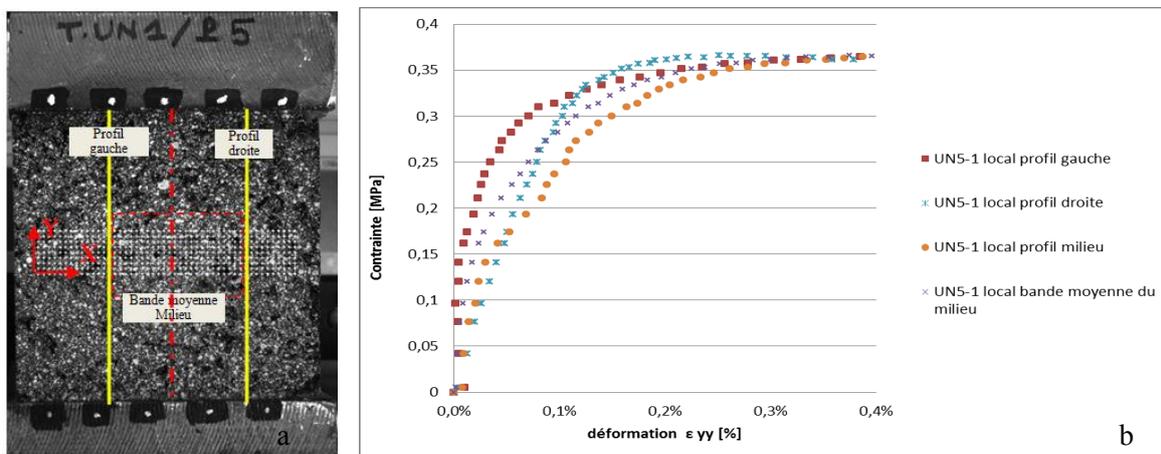


Figure 4 a) Référentiel et nomenclature de l'éprouvette à l'échelle locale b) Courbe contrainte déformation locale

Des profils d'évolution du déplacement U_y en fonction de la position selon y sont tracés pour chaque image, dans la zone de corrélation analysée. Différents profils (droite, milieu, gauche, moyenne sur une bande centrale) sont définis. Un exemple de résultats obtenus est présenté figure 5, pour le profil milieu. Ces profils, sont utilisés pour évaluer la déformation locale au niveau de l'interphase (ou, pour une modélisation de type joint, le saut de déplacement [U_y]) ainsi que l'épaisseur de cette zone. La déformation locale a été définie comme le coefficient directeur du segment médian de chaque profil au cours de l'essai. La dispersion observée de la déformation locale pour différents profils au voisinage de l'interface/interphase en fonction de la déformation globale de l'éprouvette (figure 4b) est un indicateur de l'effet de la rugosité ainsi que de l'hétérogénéité du matériau.

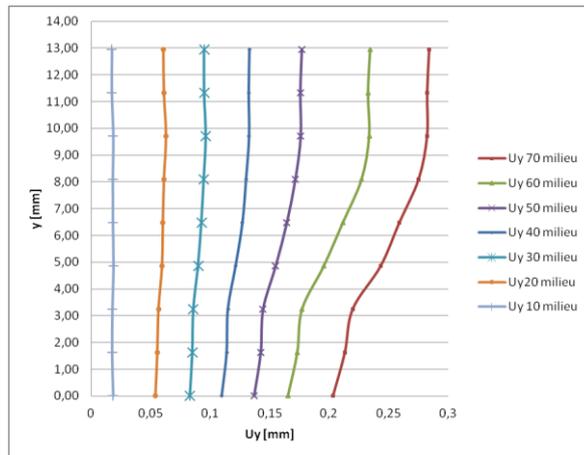


Figure 5 Localisation de l'interface au cours de l'essai

5 Confrontation de l'analyse locale avec l'analyse globale

La superposition des courbes déformation globale et déformations locales (figure 6) permet de visualiser la différence de comportement de l'éprouvette totale (données usuelles) et de l'interface (données par DIC). L'amorçage semble être très précoce. Dans le cadre d'une modélisation de type RCCM [10, 11], la variable d'intensité d'adhérence β introduite par Frémond [12] peut être identifiée expérimentalement à partir de la raideur sécante de la courbe contrainte – déformation (figure 7).

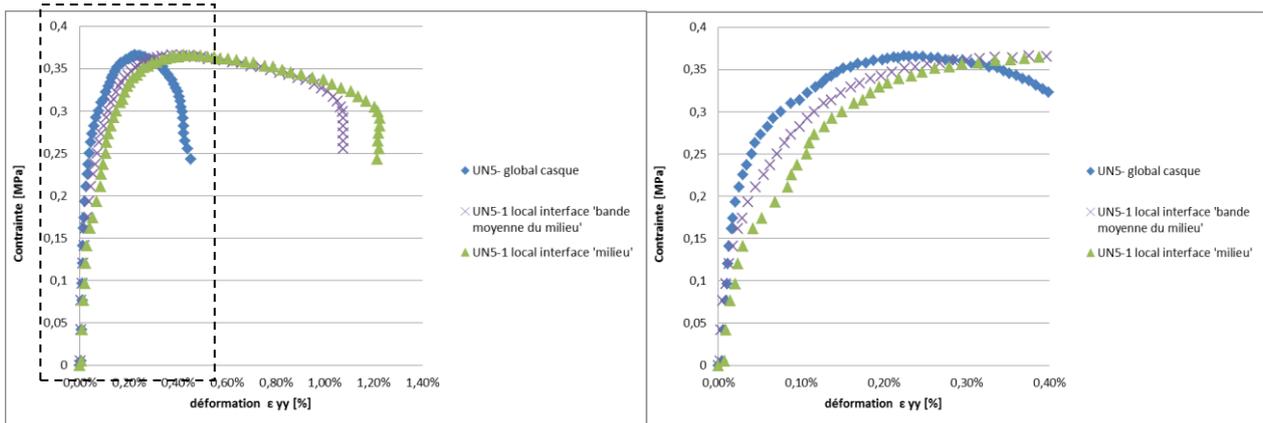


Figure 6 a) Superposition des courbes de comportement global et local - b) Zoom sur la localisation de l'interface

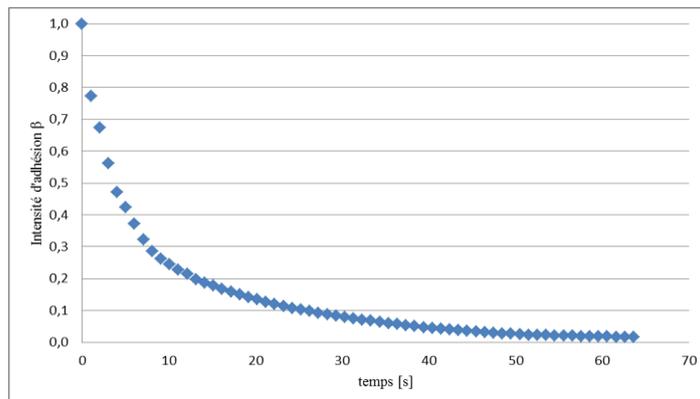


Figure 7 Evolution de l'intensité d'adhérence de l'interface au cours de l'essai

6 Morphologie et rugosité de l'interface

Le principe de la projection de franges est le même que celui du moiré d'ombre qui permet de visualiser et d'obtenir directement le relief de la surface de l'objet étudié. Pour cette étude, un volume de référence a été utilisé à la place du plan de référence pour plus de précision [13]. Ces images sont enregistrées sous un autre

angle de vue à l'aide d'une caméra CCD. Les franges de moiré ne sont pas directement observées car la superposition se fait numériquement et les images sont analysées séparément. L'analyse de ces images permet de récupérer la phase du réseau projetée sur l'objet. Bien que la surface à analyser ne présente pas de forte discontinuité, une méthode de décalage de phase mettant en œuvre une analyse spectrale utilisant une transformée de Fourier a été utilisée. Le logiciel utilisé est Light3D, toujours développé par l'axe PEM du Département GMSC de l'Institut P' de Poitiers.

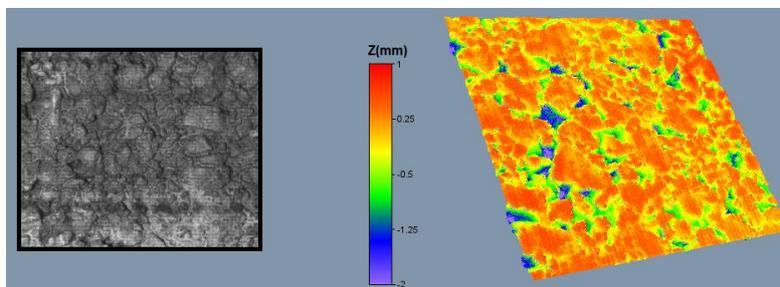


Figure 8 a) Echantillon avant rupture - b) Profil de rugosité de l'interface à l'état initial

Pour effectuer la mesure, la surface d'étude doit être préparée : une projection de peinture blanche a été réalisée (figure 8a). Le profil de rugosité d'une zone surface de l'échantillon à l'état initial est présenté sur la figure 8b. Un profil de rugosité est présenté figure 9. L'objectif visé est de pouvoir introduire des paramètres de rugosité voire des profils types dans une modélisation.

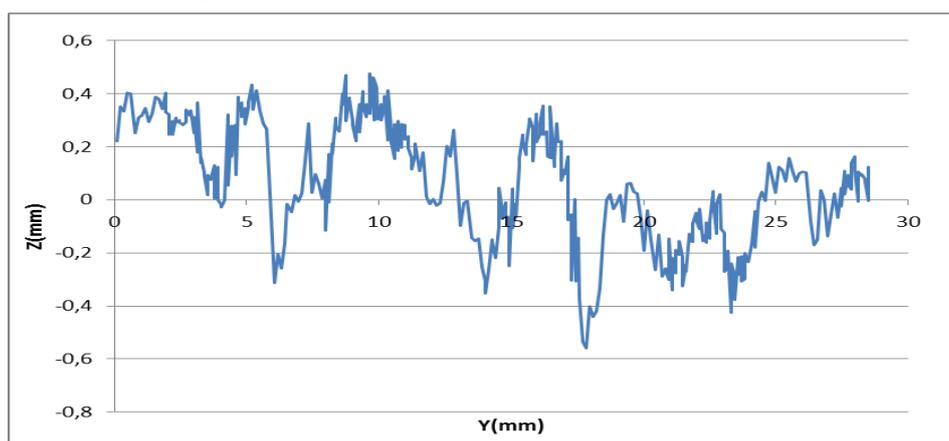


Figure 9 Profil de rugosité de surface de l'échantillon à l'état initial

L'analyse de la rugosité de cette surface se fait par le calcul de paramètres de type Ra et Rq correspondant respectivement à l'écart moyen arithmétique et à l'écart moyen géométrique par rapport à la ligne moyenne de rugosité [14, 15, 16]. Ces indicateurs sont issus de la Norme ISO 4288 (1996). Pour cet échantillon, les résultats statistiques partiels sont donnés dans le tableau ci-dessous. On peut remarquer une augmentation globale des rugosités moyennes, en post-rupture, liée à des arrachements de grains.

	A l'état initial	Post rupture
Ra [mm]	0.32	0.50
Rq [mm]	0.44	0.67

Tableau 1 Rugosités moyennes sur la zone d'étude

7 Conclusions et perspectives

Cette étude de faisabilité confirme les possibilités d'identification des paramètres de comportement local d'interphases ou d'interfaces entre enrobés bitumineux, ainsi que de profil type de rugosité. La largeur de bande reste à analyser plus finement, elle dépendra de la macrostructure ainsi que des rugosités. L'objectif est de disposer de paramètres nécessaires à la construction de modèles réalistes du comportement de l'interface. Des essais complémentaires, en traction directe et en double cisaillement, sont en cours, ils doivent permettre d'enrichir la base de données de modélisations (adhésion et frottement avec prise en compte de l'influence de la température et de la vitesse de sollicitation, compte tenu de la

viscoélasticité des matériaux). Dans le cadre d'interfaces de chaussées, il s'agit également d'élargir la modélisation aux sollicitations de fatigue.

Références

- [1] Diakhaté M., Fatigue et comportement des couches d'accrochage dans la structure de chaussée, Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2007.
- [2] Diakhaté M., Millien A., Petit C., Phelipot-Mardelé A., Pouteau B., Experimental investigation of tack coat fatigue performance: towards improved lifetime assessment of interfaces in pavement structures, *Construction and Buildings*, 25, (2), 2011, p. 1123-1133,
- [3] Pouteau B., Durabilité mécanique du collage blanc sur noir dans les chaussées, Thèse de doctorat, Ecole Centrale et Université de Nantes, décembre 2004.
- [4] Piber H., Canestrari F., Ferrotti G., Lu X., Millien A., Partl M.N., Phelipot-Mardelé A., Raab C., Mechanical Testing of Bituminous Pavements – Part 2 Interlayer bonding in asphalt pavements, in *Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials, State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 206-ATB*, Springer, Partl, M.N.; Bahia, H.U.; Canestrari, F.; De la Roche, C.; Di Benedetto, H.; Piber, H.; Sybilski, D. (Eds.), 453 p., 2013..
- [5] Hun M., Influence de l'eau sur le décollement d'une interface par flexion d'une bicouche de chaussée urbaine, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2012.
- [6] Romanoschi S., Metcalf J., Characterization of Asphalt Concrete Layer Interfaces, *Transportation Research Record*, 1778, (1), p. 132-139, 2001.
- [7] Kim H., Arraigada M., Raab C., and Partl M., Numerical and Experimental Analysis for the Interlayer Behavior of Double-Layered Asphalt Pavement Specimens. *J. Mater. Civ. Eng.* 23, Special issue: Multiscale and Micromechanical Modeling of Asphalt Mixes, p. 12–20, 2011
- [8] Ozer H., Al-Qadi I.L., Leng Z. , Fracture-Based Friction Model for Pavement Interface Characterization , *Transportation Research Record* , 2057, (1), p. 54-63, 2008
- [9] Brémand F., Cottron M., Doumalin P., Dupré J.C., Germaneau A., Valle V., Mesures en mécanique par méthodes optiques, *Techniques de l'Ingénieur*, juin 2011.
- [10] Monerie Y., Raous M., A model coupling adhesion to friction for the interaction between a crack and a fiber/matrix interface, *Z.A.M.M.*, 205-209, 2000.
- [11] Raous M., Interface models coupling adhesion and friction, *C.R. Mécanique*, 333, (7-8), p. 491–501, 2011.
- [12] Frémond M., Adhérence des solides, *J. Méc. Théor. Appl.*, 6, 383-407, 1987
- [13] Léandry I., Brèque C., Valle V. Calibration of a structured-light projection system: Development to large dimension objects, *Optics and Lasers in Engineering*, 50, 3, 373-379, 2012.
- [14] Santos P., Julio E., A state-of-art review on roughness quantification methods for concrete surfaces, *Construction and Building Materials*, 38, p. 912 – 923, 2013.
- [15] Ech M., Yotte S., Morel S., Breyse D., Pouteau B., Qualification of wearing course material surface evolution after durability test, *Construction and Building Materials*, 35, 313–320, 2012
- [16] Raposeiras A.C., Vega-Zamanillo A., Calzada-Pérez M.A., Castro-Fresno D., Influence of surface macro-texture and binder dosage on the adhesion between bituminous pavement layers, *Construction and Building Materials*, 28, (1), p. 187-192, 2012.