



34^{es} Rencontres Universitaires du Génie Civil
Liège, 24-27 mai 2016

ÉTUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE D'ENROBÉS BITUMINEUX RECYCLÉS PAR LA MÉTHODE DE LA GRILLE

STUDYING THE LOCAL MECHANICAL BEHAVIOR OF RECYCLED ASPHALT PAVEMENTS USING THE GRID METHOD

M.-C. TEGUEDI^{1,2}, E. TOUSSAINT^{1,2}, B. BLAYSAT^{1,2}, M. GRÉDIAC^{1,2},
S. MOREIRA³, S. LIANDRAT³

¹Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, 63000, Clermont-Ferrand, France

²CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171, Aubière, France

³Département Laboratoire de Clermont-Ferrand (CEREMA, DterCE)

1. INTRODUCTION

Le recyclage des matériaux bitumineux récupérés à partir des chantiers de resurfacement et de réhabilitation des routes est devenu une pratique courante qui permet non seulement de réduire le coût de construction des nouvelles routes, mais aussi de contribuer à la préservation des ressources naturelles. Les matériaux bitumineux recyclés (Recycled Asphalt Pavement : RAP) sont généralement composés des granulats et de liant âgé. La quantité de RAP qui est couramment utilisée dans les enrobés bitumineux recyclés fabriqués à chaud est réglementée par des normes et se situe généralement entre 10% et 30%. Aujourd'hui, un certain nombre de technologies sont disponibles pour produire des mélanges recyclés à 100% [ZAU 14]. Comme la tendance industrielle actuelle vise à augmenter le pourcentage de recyclage, des questions sont soulevées concernant l'effet de l'introduction de RAP sur les propriétés mécaniques des mélanges bitumineux. La problématique qui

affecte directement la performance des enrobés recyclés est liée à l'homogénéité du mélange entre les matériaux recyclés et vierges. En effet, après le malaxage, des granulats recyclés restent recouverts de liant âgé mélangé à de fines particules. Ils forment une coquille présentant une viscosité élevée qui ne se mélange pas avec le liant vierge et reste collé sur le granulat recyclé [ALQ 09]. Il est alors clair que la caractérisation de la réponse mécanique des mélanges recyclés nécessite l'utilisation d'outils de mesure appropriés qui permettent d'accéder à des informations à la même échelle que celle de ce phénomène. Cette étude vise donc à étudier l'effet de recyclage sur le comportement mécanique d'enrobés bitumineux recyclés en utilisant la méthode dite de la grille.

Des études récentes ont démontré la pertinence d'un tel outil pour la caractérisation et la comparaison de la réponse mécanique de ces matériaux [GRE 13, GRE 14b, GRE 16]. À cet effet, des échantillons cylindriques fabriqués à chaud avec différents pourcentages de RAP ont été préparés. Des essais de



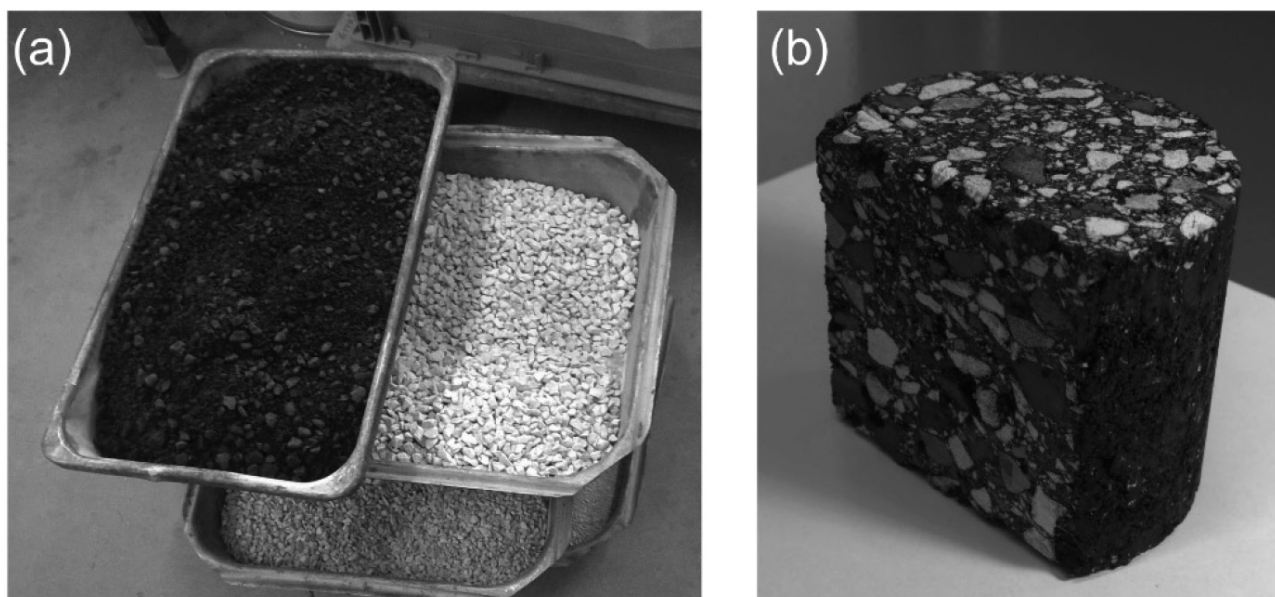


Figure 1 : (a) Matériaux recyclés (noir) et les granulats de calcaire (blanc) et (b) forme des échantillons testés.

compression ont été effectués. La méthode de la grille a été utilisée pour mesurer les champs de déplacement et de déformation de la face avant des échantillons testés. Ces mesures ont été utilisées pour comparer, à différentes échelles, l'effet du recyclage sur le comportement des enrobés recyclés.

2. MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Quatre enrobés bitumineux fabriqués à chaud et incorporant différents pourcentages d'agrégats (0%, 20%, 40% et 100%) ont été considérés dans la présente étude. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques fournies par le Cerema Direction Territoriale Centre-Est, France, et compactées selon le procédé Duriez (EN 12697-26, 2012). Les agrégats proviennent de la même source. Ils sont composés de granulats de granite, de basalte et de gneiss ainsi que d'un liant âgé. Les matériaux d'apport sont constitués des granulats de calcaire et d'un liant bitumineux (50/70). Les granulats sont choisis en se basant sur la différence de leurs couleurs: noir pour les granulats recyclés et blanc pour les granulats vierges (figure 1a). Ainsi, après le processus de malaxage, les matériaux recyclés peuvent facilement être identifiés, et par la suite leur réponse mécanique peut être observée séparément pendant le test (figure 1b). Le malaxage est effectué sur deux étapes : la première étape consiste à mélanger les granulats d'apport et les agrégats d'enrobé chauffée préalablement à 160°C dans un malaxeur durant 30 secondes. La deuxième étape consiste en l'ajout du liant d'apport puis mélanger l'ensemble durant 2 minutes.

La région d'étude a été obtenue en coupant l'échantillon cylindrique parallèlement à son axe (figure 1b). La dimension de la surface testée est d'environ 6,5 cm x 7 cm. Les tests de compression et de recouvrance effectués dans cette étude ont été réalisés dans une pièce à température contrôlée à 21°C, avec une vitesse de chargement de 0,01 mm/s pour les essais

de compression. La compression a été conduite jusqu'à la force maximale pour chaque échantillon. La durée de la phase de chargement est d'environ 200s. Ensuite la charge est enlevée et la phase de recouvrance est enregistrée durant 2h. Les déplacements maximaux du vérin de compression durant la phase de chargement sont compris entre 1.4 et 2mm. La configuration de l'essai est illustrée sur la figure 2.

Étant donné que les faces opposées de l'échantillon ne sont pas parfaitement parallèles après le processus de sciage, une feuille mince en caoutchouc est placée entre les faces de l'échantillon et les plaques de compression, ceci pour assurer une distribution la plus homogène possible des efforts appliqués. La technique de mesure de déplacement/déformation est la méthode de la grille. Son principe consiste à analyser la déformation d'une grille transférée préalablement sur la surface de l'échantillon [PIR 04, BAD 09]]. La grille est supposée suivre parfaitement la déformation de la surface de l'échantillon. Il est à noter que la procédure de transfert de la grille décrite dans [PIR 04] implique une phase de durcissement de 40 heures à 37 °C. Pour éviter toute détérioration thermique de l'échantillon, le durcissement de la colle est effectué à température ambiante (20°C) pendant une durée de polymérisation d'une semaine. L'étape suivante consiste à acquérir des images de cette grille par une caméra à différentes étapes du chargement. Ces images sont traitées après le test en utilisant un programme développé dans le laboratoire. Ce programme repose sur le calcul du changement de phase de ce motif régulier (grille) entre l'état de référence et les étapes courantes [BAD 09]. Généralement, une résolution en déformation de quelques centaines de microdéformations avec une résolution spatiale égale à environ 30 pixels sont atteints [GRE 14a]. La caméra utilisée ici pour capturer les images de la grille est une 14 bits PCO 2000 avec un capteur CCD d'une résolution de 2048 x 2048 pixels. Le nombre de pixels utilisés pour numériser une période de la grille est égal à 5 pixels.



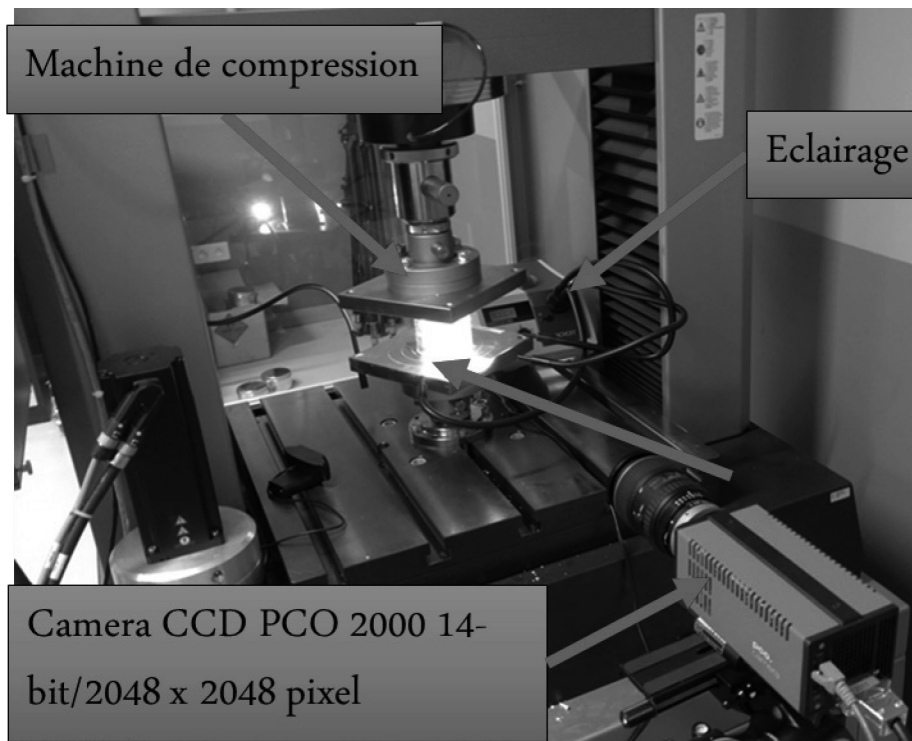


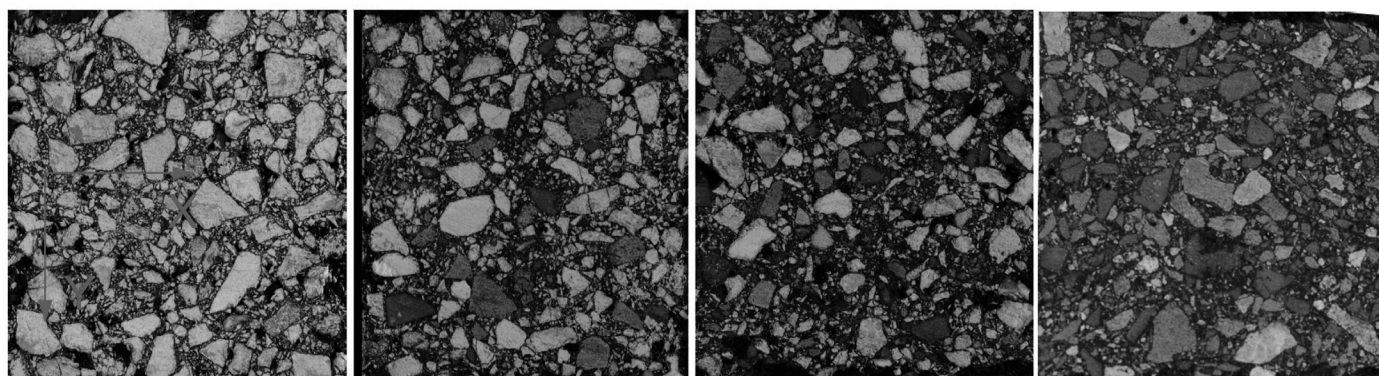
Figure 2 : La configuration de l'essai.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSIONS

3.1. Champs de déformation

Dans ce qui suit, seuls les résultats relatifs à chacun des échantillons 100% RAP, 40% RAP et le mélange vierge seront présentés. Le pourcentage des vides pour ces échantillons est respectivement de 3.4%, 12.7% et 10.5%. Les champs de déformation obtenus avec la méthode de la grille à la fin de la phase de chargement sont présentés sur la figure 3. Les champs de déformations sont calculés par rapport à l'état initial avant chargement. Pour chaque échantillon, les cartes de ϵ_{xx} , ϵ_{yy} et ϵ_{xy} sont présentées. La composante de déformation ϵ_{xx} souligne l'expansion globale de l'échantillon suivant la direction x tandis qu'une déformation de compression ϵ_{yy} apparaît

suivant la direction verticale. On peut observer que la répartition des granulats de grande taille impacte la distribution des déformations. En effet, la déformation est quasi-nulle dans les zones correspondant aux agrégats, ce qui signifie que la totalité des déformations est supportée par le mastic. Ce résultat était prévu du fait de la grande différence de rigidité entre le liant bitumineux et les agrégats. La figure 4 montre également que le mélange avec 100% RAP présente les déformations les plus élevées. Celles-ci sont principalement distribuées dans la partie inférieure de l'échantillon. Des concentrations de déformation sont observées à l'interface entre les agrégats et le liant. Il a été vérifié que ces concentrations correspondent à une rupture de l'interface entre les granules et le mastic (rupture cohésive). D'autre part, pour le mélange vierge, la déformation est principalement concentrée dans la partie centrale de l'échantillon et des pics de déformation peuvent être observés dans le mastic.



100% Limestone (virgin mix)

20% RAP

40% RAP

100% RAP

Figure 3 : Faces avant des échantillons étudiés.



3.2. Comportement local des granulats recyclés dans le mélange 40% RAP

Comme il est mentionné dans l'introduction, le processus de malaxage mécanique ne permet pas la libération totale du liant vieilli. Ainsi, après le malaxage, des granulats recyclés restent encore enrobés avec du liant âgé et de fines particules. Cette section vise à évaluer l'effet de la couche de liant vieilli sur la distribution des déformations locales autour des granulats recyclés. L'échantillon avec 40% de RAP est donc étudié dans cette section.

La différence de couleur entre les granulats vierges (blanc) et les granulats recyclés (noir) permet de facilement distinguer ces derniers dans la zone d'étude. Huit régions correspondant aux granulats RAP ont été sélectionnées dans l'échantillon 40% RAP. La déformation équivalente au sens de von Mises qui correspond aux régions précédentes est présentée sur la figure 5. La bordure des granulats recyclés (respectivement les granulats vierges) est présentée en couleur bleue (blanche).

Un phénomène intéressant est observé à la bordure des granulats recyclés: un durcissement localisé du liant se produit autour des granulats dans les régions R2, R4 et R8. Ce phénomène est particulièrement prononcé dans la région R2 où le morceau du liant âgé entourant un granulat recyclé reste pratiquement rigide lors de la phase de chargement, et se comporte comme une partie de ce dernier. Des remarques similaires peuvent être formulées pour le groupement de particules recyclées situées dans la région de R8. Ce groupement des particules se déforme très peu pendant la phase de chargement et se comporte comme un solide rigide. Ceci est également le cas pour le groupement des particules situées dans les régions R1, R3 et R6 par exemple.

Les observations précédentes suggèrent qu'une rigidification locale du liant se produit autour de certains granulats recyclés. Ceci est attribué dans le cas étudié à la présence de liant vieilli et de fines particules recyclées attachées aux granulats dans ces zones. En outre, la formation de groupement de petites particules de RAP est observée dans certaines régions.

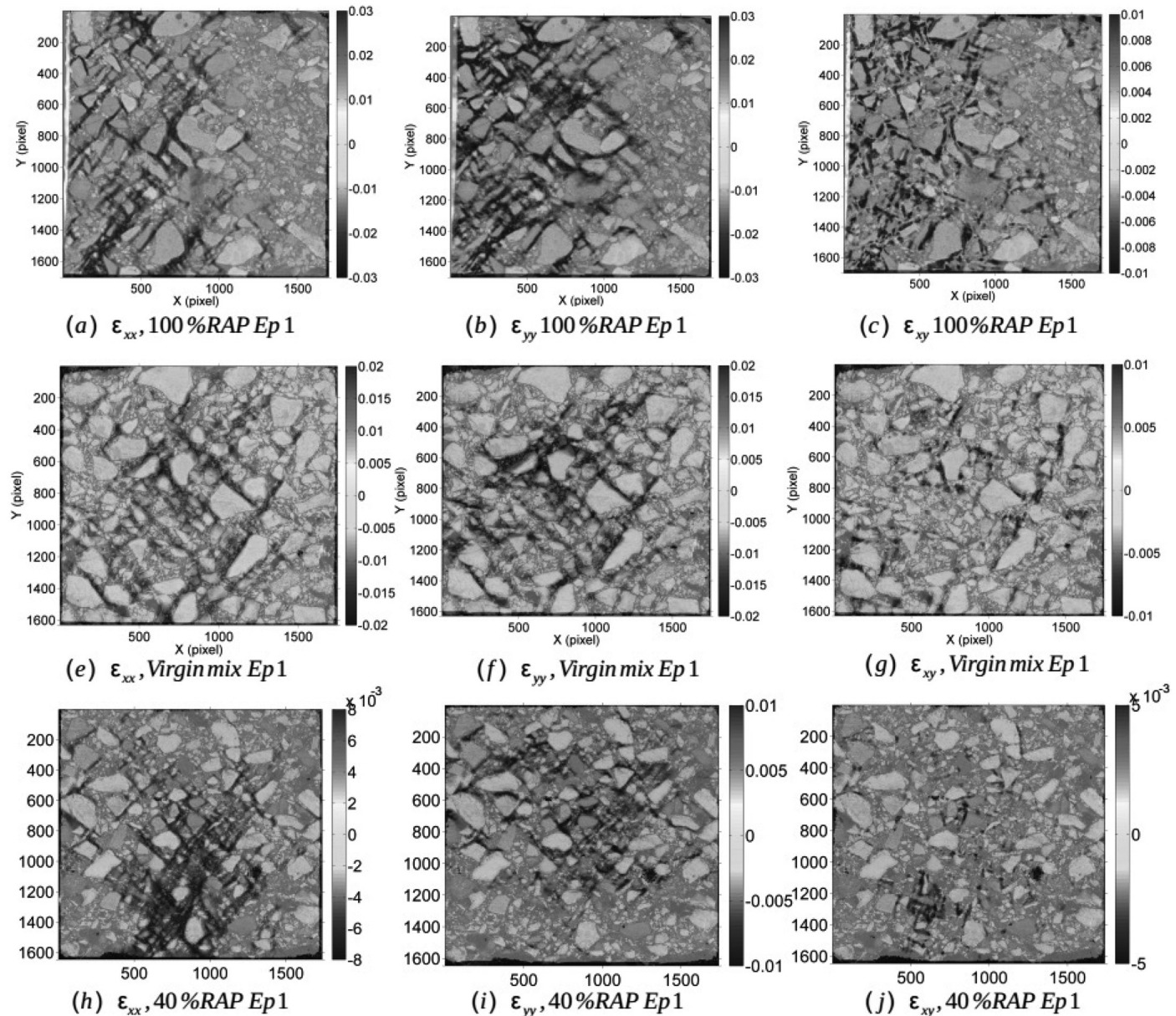


Figure 4 : Champs de déformation à force maximale, pour chaque échantillon, ϵ_{xx} , ϵ_{yy} et ϵ_{xy} sont présentées.

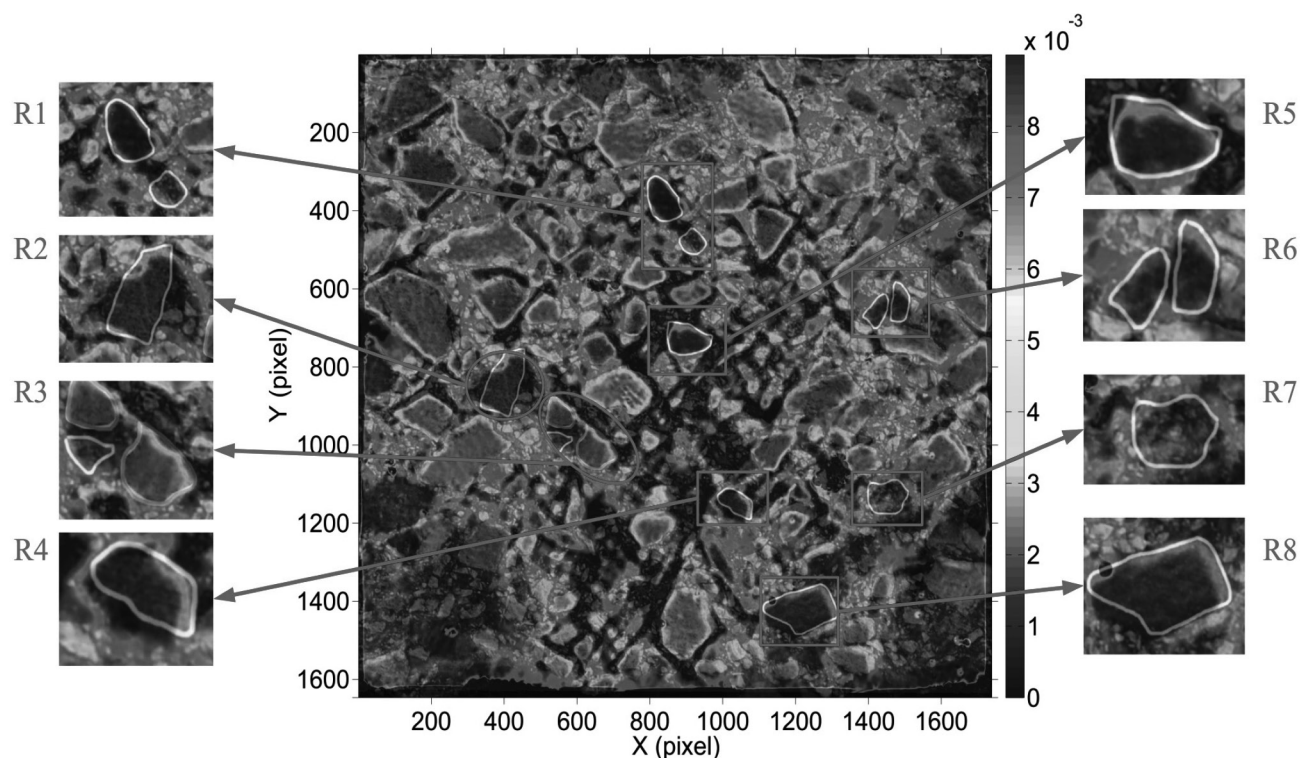


Figure 5 : Déformation équivalente de von Mises sur la surface de l'échantillon 40%RAP ainsi que dans les régions R1-R8.

4. CONCLUSION

Dans la présente étude, la méthode de la grille a été utilisée pour étudier la réponse mécanique à la compression des mélanges bitumineux incorporant différents pourcentages des matériaux recyclés. La réponse mécanique a été observée à l'échelle du liant. Les champs de déformation obtenus montrent des différences significatives dans les réponses mécaniques des échantillons étudiés. Les échantillons avec 100% RAP affichent des concentrations de déformations autour des granulats alors que pour le mélange vierge la déformation est répartie d'une manière plus homogène. L'analyse fine du comportement des échantillons avec 40% RAP met en évidence l'existence d'une rigidification locale du liant dans le voisinage de ces particules. D'une manière générale, les résultats obtenus avec cette méthode de la grille sont très prometteurs pour caractériser le comportement local d'enrobés recyclés.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la région Auvergne pour le financement de ce projet.

6. RÉFÉRENCES

[ALQ 09] Al-Qadi, Imad L. ; Carpenter, Samuel H. ; Roberts, Geoff ; Ozer, Hasan ; Aurangzeb, Qazi ; Elseifi, Mostafa ;

Trepanier, James : *Determination of usable residual asphalt binder in RAP* : Illinois Center for Transportation (ICT), 2009.

[BAD 09] Badulescu, C ; Grédiac, M ; Mathias, J D : Investigation of the grid method for accurate in-plane strain measurement. In: *Measurement Science and Technology* Bd. 20 (2009), Nr. 9, S. 095102.

[GRE 13] Grédiac, M. ; Toussaint, E. : Studying the mechanical behaviour of asphalt mixture with the grid method. In: *Strain* Bd. 49 (2013), Nr. 1, S. 1–15.

[GRE 14a] Grédiac, M. ; Sur, F. : Effect of sensor noise on the resolution and spatial resolution of displacement and strain maps estimated with the Grid Method. In: *Strain* Bd. 50 (2014), Nr. 1, S. 1–27.

[GRE 14b] Grédiac, M. ; Toussaint, E. ; Petit, C. ; Millien, A. ; Ngyuen, D. C. : A comparative study of the heterogeneous local mechanical response of two types of asphalt mixes. In: *Materials and Structures* Bd. 47 (2014), Nr. 9, S. 1513–1529.

[GRE 16] Grédiac, M. ; Sur, Frédéric ; Benoît, Blaysat : The grid method for in-plane displacement and strain measurement: a review and analysis. (2016).

[PIR 04] Piro, J.-L. ; Grédiac, M. : Producing and Transferring Low-Spatial-Frequency Grids for Measuring Displacement Fields with Moiré and Grid Methods. In: *Experimental Techniques* Bd. 28 (2004), Nr. 4, S. 23–26.

[ZAU 14] Zaumanis, Martins ; Mallick, Rajib B. ; Frank, Robert : 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. In: *Resources, Conservation and Recycling* (2014).

