
Méthodologie numérique et expérimentale pour définir les propriétés mécaniques d'un enrobé poreux

Christina El Sawda¹, Fateh Fakhari Tehrani¹⁻², Joseph Absi³, Philippe Reynaud¹,
Christophe Petit¹

¹Université de Limoges, GC2D, Egletons, France ;

²Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France ;

³Université de Limoges, IRCER, UMR-CNRS, 7315 Limoges, France ;

RÉSUMÉ. Pour diminuer la pollution sonore due aux bruits de roulement générés par le trafic urbain, une solution se présente sous la forme d'un enrobé poreux ayant des propriétés phoniques. Cependant, ce dernier présente des propriétés mécaniques différentes de celles d'un enrobé conventionnel. Cet article présente deux approches pour déterminer la durabilité et efficacité de ce revêtement. Une méthode numérique basée sur une approche multi-échelle sera adoptée. À chaque échelle, le milieu hétérogène est considéré comme un milieu biphasique composé d'inclusions élastiques et une matrice viscoélastique. Les inclusions sont générées d'une manière aléatoire grâce à un logiciel interne à notre laboratoire. Par la suite, les modèles sont importés sous le code des éléments finis ABAQUS pour le calcul numérique. L'approche expérimentale consiste à tester des éprouvettes fournies par la société COLAS en tension/compression. Enfin, les valeurs de ces méthodes (numériques et expérimentaux) seront corrélées et les propriétés mécaniques comme le module complexe seront déterminés.

ABSTRACT. To reduce noise pollution generated by traffic, porous asphalt with phonic properties is considered as a solution. However, this type of asphalt has different mechanical properties than a conventional one. This article presents two approaches to determine its durability and efficiency. A numerical method which is based on a multi-scale approach. At each scale, the heterogeneous medium is considered as a biphasic medium composed of elastic inclusions and a viscoelastic matrix. These inclusions are obtained from M.O.A, a software that generates granular skeletons. These models are imported into ABAQUS for numerical calculations. Then, an experimental approach that consists of testing specimens provided by COLAS. The tests are tension/compression. Finally, the values of these methods (numerical and experimental) will be correlated and mechanical properties such as the complex modulus will be determined

MOTS-CLÉS : enrobé poreux, éléments finis, module complexe, approche multi-échelle.

KEY WORDS: Porous asphalt, finite element, complex modulus, multiscale approach

1. Introduction

En France, la première application de l'asphalte poreux date de 1976. Il se caractérise par sa résistance au dérapement, son augmentation du frottement et sa réduction du bruit créée par l'interaction pneu-chaussée. Les propriétés d'un enrobé poreux restent toujours un sujet controversé sur lequel plusieurs études ont été menées. [LIU 09] définit la chaussée poreuse comme un enrobé ouvert ayant un pourcentage de vides entre 18 et 25% et une épaisseur de 4-5cm. [BON 97] suggère que la présence d'un important pourcentage de vides pourra causer le vieillissement rapide du liant. De même, [KAN 88] énonce que ces vides augmentent le potentiel de déchaussement de la chaussée et accélère son vieillissement. Cependant, [MAN 12] déclare qu'une chaussée poreuse bien conçue et réalisée ne devrait pas présenter de problèmes de déchaussement et conserve une perméabilité adéquate tout au long de sa vie. En fait, l'utilisation de ce type d'asphalte présente de nombreux avantages. Les vides créent une perméabilité qui permet de diminuer l'accumulation de l'eau sur la route [HUB 00] et donc améliorer la sécurité de la conduite. Une étude japonaise montre que l'utilisation de l'enrobé poreux réduit le taux d'accident de 80% et le bruit de 3 à 5 dB en comparaison avec un enrobé conventionnel. [LIU 09]. De même, d'après [TAP 93], la surface de l'enrobé poreux réduit l'éblouissement grâce à sa texture et donc mieux concevoir la route et ses indications durant le jour et la nuit. Dans cet article nous étudierons l'enrobé Rugosoft de COLAS. Ce dernier est identifié comme un matériau phonique possédant une porosité variant entre 20 à 25 %.

2. Objectif

L'étude de la durabilité et de l'efficacité de l'enrobé poreux Rugosoft de COLAS constituent les principaux objectifs de ce travail de recherche. Pour se faire, un travail expérimental de sollicitation mécanique sur des échantillons de Rugosoft sera réalisé et accouplé à un travail de modélisation numérique par éléments finis basés sur les propriétés intrinsèques du Rugosoft et ayant pour objectifs la prédiction de son comportement mécanique

3. Matériel

On s'intéresse à un mélange bitumineux provenant de la société COLAS. C'est un béton bitumineux très mince (0/6) ayant un faible dosage en sable (0/2) de 15.2%. Le liant utilisé est un bitume modifié par des polymères de type SBS, appelé "Cole". Le mélange bitumineux se caractérise par la présence d'un pourcentage de vides important entre 20% et 25% et d'un pourcentage massique de liant de 5.5 %. Le produit final, appelé « Rugosoft » est décrit comme un enrobé phonique ayant une adhérence élevée. Il permet d'éviter la formation de brouillard en temps de pluie, il résiste à l'ornièrage et enfin il supporte bien le trafic des poids lourds.

4. Méthode

Pour étudier la durabilité de cet enrobé, deux méthodes ont été adoptées : numérique par éléments finis et expérimentale. Les résultats obtenus de l'approche expérimentale seront comparés à ceux de l'approche numérique dans l'objectif de valider le calcul numérique.

4.1. Approche Numérique

La méthode numérique se déroule en plusieurs étapes. Premièrement, le squelette granulaire est obtenu en utilisant un logiciel interne à notre laboratoire dénommé « modeleur d'objet aléatoire ou M.O.A ». C'est un programme développé depuis 2003 en langage C++. Il est capable de générer des squelettes granulaires en 2D et 3D. Les inclusions peuvent être circulaires, polygonales, tétraédriques ou sphériques. Le remplissage du conteneur est possible grâce à la courbe granulométrique. Etant donné que les enrobés bitumineux possèdent une compacité importante, il est impossible de construire la géométrie complète en passant par une seule échelle (l'enrobé). Par conséquent, une approche multi-échelle doit être adoptée. Cette méthode considère le mélange bitumineux comme un milieu bi-phasique composé de granulats ayant des propriétés mécaniques élastique et une matrice bitumineuse ayant des propriétés viscoélastiques pour des déformations faibles [TEH 16]. Les différentes échelles (Figure 1) sont :

1. L'échelle du bitume considérée comme une échelle homogène
2. L'échelle du mastic qui représente le bitume et les fines avec un diamètre inférieur à 63 μm
3. L'échelle du mortier qui représente le mastic et le sable ($63 \mu\text{m} \leq d \leq 2\text{mm}$)

4. L'échelle de l'enrobé qui représente le mortier, les vides et les agrégats de ($2 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$)

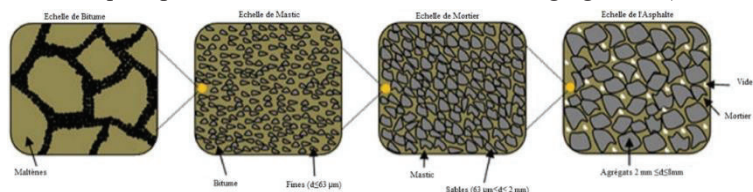


Figure 1. Schéma représentant les échelles d'un mélange bitumineux [TEH 16]

Pour représenter le Rugosoft à différentes échelles, plusieurs tirages des squelettes granulaires correspondant au mastic, mortier et asphalte ont été générés par M.O.A pour un pourcentage de remplissage de particules de 30%, 28% et 59% respectivement. A chaque échelle, les dimensions du contenant sont dix fois plus grandes que la taille du plus gros agrégat. Ensuite, ces géométries ont été importées sous ABAQUS.

En amont, plusieurs opérations booléennes successives sont effectuées pour différencier les inclusions de la matrice et des vides. La figure 2 montre un modèle d'inclusions en deux dimensions ainsi que les différentes opérations booléennes réalisées.

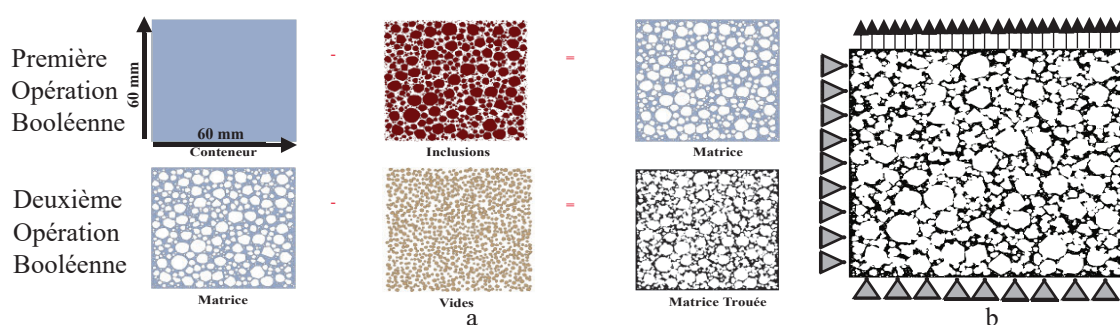


Figure 2. modèles 2D représentatifs de l'enrobé (a) et les conditions aux limites imposées (b)

Les conditions aux limites imposées sont :

- Sur le côté inférieur, le déplacement vertical est bloqué
- Sur le côté gauche, le déplacement horizontal est bloqué

Ensuite, une déformation cyclique de 10^{-4} m/m est imposée sur la surface supérieure. Enfin, pour obtenir la valeur du module complexe, l'équation [1] est utilisée :

$$|E| = |\sigma_{max} - \sigma_{min}| / |\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}| \quad [1]$$

Nous avons utilisé les données expérimentales présentées par Delaporte [DEL 07] afin de modéliser le comportement viscoélastique du mastic par le modèle maxwell généralisé à 10°C . Cependant, nous sommes capable de modéliser le comportement de l'enrobé en utilisant les valeurs des paramètres de maxwell à diverses températures. La figure 3, représente l'espace Cole-Cole pour différentes fréquences de l'enrobé à 10°C . En effet, à haute fréquence, la valeur du module complexe augmente, tandis que l'angle de phase diminue considérablement. Puisqu'en augmentant la température et en diminuant la fréquence, le comportement visqueux devient plus significatif. En conséquence, le matériau devient moins rigide tout en présentant un déphasage plus important.

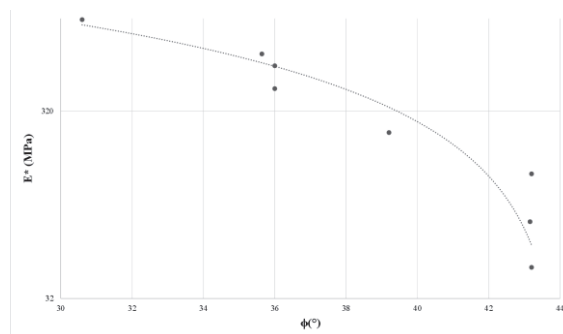


Figure 3. Espace Black à 10°C de l'enrobé

4.2. Approche Expérimentale

Cette méthode nécessite la préparation des échantillons afin de réaliser les essais de module :

- Préparation

Avant d'entamer les essais de tension/compression, des échantillons ont été carottés des plaques fournies par la société COLAS (Figure 4.a). Ils ont une hauteur de 150 mm et un diamètre de 75 mm. Les côtés inférieurs et supérieurs des carottes sont rectifiés (Figure 4.b) et ensuite montés sur la MTS (Material Test System).

- Essai de module

Les essais expérimentaux sont réalisés à l'aide d'une presse hydraulique équipée d'une cellule de charge. La presse est utilisée pour contrôler la déformation axiale appliquée sur les échantillons. L'amplitude de cette déformation est d'environ $50 \mu\text{m/m}$ pour des fréquences variantes entre 0,01 Hz et 20 Hz. La MTS possède une chambre climatique pour le conditionnement thermique et la température est mesurée à l'aide d'un capteur thermique fixé à la surface des échantillons (Figure 4.c). Les valeurs obtenues de cet essai sont ajustées en utilisant la méthode des moindres carrés. Par la suite, ces résultats seront comparés à ceux de la simulation numérique.

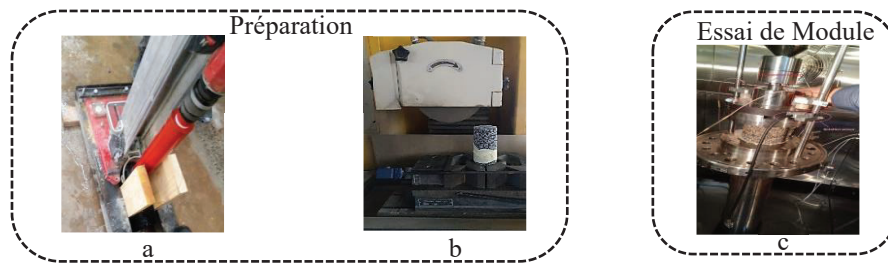


Figure 4. Préparation de l'échantillon (a) (b) et sa mise en place(c)

5. Conclusion

L'élaboration de modèles à plusieurs échelles permet de mieux comprendre le comportement mécanique de l'enrobé poreux. Dans ce travail, une méthodologie a été développée pour prédire le module dynamique du bitume pour une variété de fréquences en utilisant ABAQUS. Les résultats du module dynamique seront comparés à ceux expérimentaux pour différentes températures et fréquences. Ces valeurs aideront à définir la durabilité de l'enrobé poreux de COLAS. Cet article présente le squelette d'un ouvrage à son début. En effet, les données expérimentales sont en cours de traitement et donc on n'a pas pu les inclure et les comparées aux résultats numériques.

6. Bibliographie

- [BON 97] BONNET, J. « French experience of porous asphalt», *European Conference on Porous Asphalt*, Madrid, vol II, March 1997, p.12-14.
- [DIB 04] DI BENEDETTO, H. et al. «Linear viscoelastic behaviour of bituminous materials: From binders to mixes», *Road Materials and Pavement Design*, n°4, 2004, p.163-202.
- [DEL 07] DELAPORTE, B. et al. «Linear viscoelastic properties of bituminous materials: from binders to mastics», *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, vol 76, 2007.
- [HUB 00] HUBER, G. « Performance survey on open-graded friction course mixes», *Transportation Research Board*, vol.284, 2000.
- [KAN 88] KANDHAL, PRITHVI S., ET RAJIB B. MALLICK. « Open graded asphalt friction course: State of the practice», *Transportation Research Board of The National Academies*, Rep. No. E-C005, Washington DC, 1988.
- [LIU 09] LIU, QINGQUAN., DONGWEI CAO. «Research on material composition and performance of porous asphalt pavement», *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol 21, n°4, 2009, p.135-140.
- [MAN 12] MANSOUR, TALAT N., ET BRADLEY J. PUTMAN. «Influence of aggregate gradation on the performance properties of porous asphalt mixtures», *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol 25, n°2, 2012, p.281-288.
- [TAP 93] TAPPEINER, WALTER J. « Open-graded asphalt friction course», information Series 115. *National Asphalt Pavement Association*, Lanham, MD, 1993.
- [TEH 16] FAKHARI TEHRANI, F., AL. «Micromechanical modelling of bituminous materials' complex modulus at different length scales», *International Journal of Pavement Engineering*, vol19, n°8, 2016, p.685-696.