

COMPARAISON DES MESURES D'ORNIERAGE EN LABORATOIRE ET IN SITU SUR DES CHAUSSEES SOUPLES INCORPORANT DES SACHETS DE DECHETS PLASTIQUES FONDUS SUR LA CONSISTANCE DE L'HUILE LOURDE DE TSMIRORO ET DU BITUME PUR



COMPARISON OF LABORATORY AND IN-SITU RUTTING MEASUREMENT ON FLEXIBLE PAVEMENTS INCORPORATING MELTED PLASTIC WASTE SACHETS ON THE CONSISTENCY OF TSMIRORO HEAVY OIL AND PURE BITUMEN

| Ratsifaherandahy Flemond Dolin ^{1*} | Mamiharijaona Ramaroson ¹ | Rajaonah Rabevala ¹ | Ramaroson Jean De Dieu ² | et | Randriamalala Tiana Richard ³ |

1. Université d'Antsiranana | Ecole Supérieur Polytechnique | Laboratoire de Métallurgie et Chimie | B.P. : O, 201, ANTSIRANANA | MADAGASCAR |

2. Département Matériaux ET Génie Civil/ CNRIT | Madagascar |

3. Développement et Matériaux au LNTPB | Madagascar |

| Received April 17, 2023 |

| Accepted April 21, 2023 |

| Published April 27, 2023 |

| ID Article | Dolin-Ref1-4-16ajiras170423 |

RESUME

Objectif : L'objectif principal de cette étude est de comparer les valeurs d'orniérage mesurées sur le terrain avec les valeurs obtenues à l'aide d'essais en grandeur réelle pour une chaussée incorporant du fondu de déchets de sachets plastiques dans de l'huile lourde de Tsimiroro. **Méthode** : Les essais ont été réalisés dans des conditions de température et de chargement identiques, tandis que les essais sur l'enrobé bitumineux semi-grenu ont été réalisés dans des conditions différentes. Les caractéristiques de déformation, l'effet de la température et la résistance au cisaillement ont été analysés. Le profil transversal de l'orniérage a été mesuré à l'aide d'un profilomètre. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus en laboratoire. **Résultats** : Les différences de déformations de soulèvement dans la couche de BBSG avec huile lourde et bitume pur au laboratoire sont plus importantes que les enrobés bitumineux BBSG avec huile lourde et bitume pur in situ après 100 000 cycles à une température constante de 38°C. La profondeur d'ornièr maximale est d'environ 6 mm pour le BBSG avec bitume pur et de 3 mm pour le BBSG avec huile lourde. **Conclusion** : Cette étude montre qu'il est possible de faire une étude numérique du mécanisme d'orniérage dans les chaussées souples à l'incorporation de fondu de déchets de sachets plastiques dans de l'huile lourde de Tsimiroro. Les enrobés à haut module de déformation présentent une meilleure résistance à la température et aux trafics, et réduisent le risque d'orniérage.

Mots clefs : Orniérage, huile lourde, Bitume pur, huile lourde, déchet plastique.

ABSTRACT

Objective: The main objective of this study is to compare the rutting values measured in the field with the values obtained using full-scale tests for a pavement incorporating melted plastic bag waste in Tsimiroro heavy oil. **Method**: The tests were carried out under identical temperature and loading conditions, while the tests on the semi-grained bituminous mix were carried out under different conditions. The deformation characteristics, the effect of temperature and the shear strength were analyzed. The transverse profile of the rut was measured using a profilometer. The results were compared with those obtained in the laboratory. **Results**: The differences in heaving deformations in the layer of BBSG with heavy oil and pure bitumen in the laboratory are greater than the bituminous mixes BBSG with heavy oil and pure bitumen in situ after 100,000 cycles at a constant temperature of 38°C. The maximum rut depth is approximately 6 mm for BBSG with pure bitumen and 3 mm for BBSG with heavy oil. **Conclusion**: This study shows that it is possible to carry out a numerical study of the rutting mechanism in flexible pavements by incorporating melted plastic bag waste into heavy oil from Tsimiroro. Asphalt mixes with a high deformation modulus have better resistance to temperature and traffic, and reduce the risk of rutting.

Keywords: Rutting, heavy oil, Pure bitumen, heavy oil, plastic waste.

1. INTRODUCTION

Les chaussées souples sont composées de trois couches : une couche de surface en enrobé bitumineux, la couche d'assise en graves latéritiques et la couche de support. Ce type de structure conduit à un comportement complexe, car les différentes couches peuvent présenter un comportement dépendant ou indépendant du temps, réversible ou irréversible, et dépendant ou indépendant de la température. Une étude fine de ce comportement nécessite l'élaboration d'un modèle numérique capable de reproduire la structure de la chaussée et le comportement de ses différents matériaux. Ce modèle permet de mieux comprendre le mécanisme de formation de l'orniérage et d'analyser le rôle de différents facteurs dans l'apparition de cette pathologie. Dans cette communication, on propose d'étudier ce phénomène à l'aide d'une modélisation non linéaire par éléments finis de l'ensemble des couches de la chaussée. Après une description du mécanisme d'orniérage, nous présentons le modèle utilisé et l'analyse de l'influence sur l'orniérage de principaux paramètres, à savoir la température, la pression des pneus et la charge par essieu. Des études antérieures faites par quelques chercheurs ont permis de démontrer que le développement du trafic et des charges transportées

peut conduire à des dégradations importantes des chaussées, en particulier le comportement mécanique des chaussées souples à l'incorporation du fondu de déchets de sachets plastiques sur la consistance de l'huile lourde de Tsimiroro : application à la Prévision de l'Orniérage [1]. Le comportement mécanique des chaussées souples, application à la prévision de l'orniérage fait partie des investigations [2]. Notre travail comporte une étude par éléments finis du comportement mécanique des chaussées dans les buts de mieux comprendre les mécanismes d'initiation et développement de l'orniérage dans les chaussées souples. Plusieurs modèles ont été proposés pour étudier le phénomène d'orniérage dans l'enrobé bitumineux [3,4]. Le présent article est consacré à l'étude de l'influence de l'incorporation au bitume de l'huile lourde, de sachets plastiques fondus, refroidis et mis en poudre, par le comportement mécanique, dans la perspective de l'utilisation massive des déchets plastiques dans les procédés de construction de chaussées souples.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Orniérage des couches de surfaces

L'orniérage est l'une des principales pathologies rencontrées en couche de surface en particulier lorsque la température est importante (environ 47°C) [9]. L'orniérage est causé par l'accumulation de déformations permanentes sous l'action de charges de trafic répétées (**Figure 1**). Une simple observation du profil transversal d'une ornière montre deux principales origines du déplacement vertical : le tassement des couches structurales ou la déformation des couches bitumineuses. La première origine est généralement manifestée par des ornières à grand rayon.



Figure 1 : Illustration de l'orniérage d'une chaussée (Ali, B. 2006).

2.1 Matériel utilisé

Le matériel utilisé est : Profilomètre



Figure 2a: Système de mesure de l'orniérage (Profilomètre)



Figure 2b: Système de mesure de l'orniérage (Règle)

2.2 Méthode

Nous avons fait les mesures de l'orniérage des chaussées souples sur in situ à l'aide de profilomètre

2.2.1 Système de mesure de l'orniérage par Profilomètre

Pour suivre l'évolution de l'orniérage de la couche de surface, des mesures du profil transversal ont été effectuées avec un profilomètre. Il s'agit d'un dispositif de mesures se composant d'une poutre en acier et d'une roue sur la face inférieure. Pour chaque mesure, la poutre est d'abord posée sur deux plaques d'acier collées à la surface de la chaussée, en dehors de la zone de trafic pour la mesure des « points de référence ». La distance entre le faisceau porté par la poutre et la chaussée peut être réglée à l'aide d'une paire de pieds réglables à chaque extrémité du faisceau. Cette configuration fournit un cadre stable pour les mesures. Une roue mobile située dans la partie basse de la poutre se déplace au contact de la surface de la chaussée relevant toutes irrégularités jusqu'à 1mm. La combinaison des mouvements verticaux et horizontaux permet de dessiner le profil. Ce profil évolue tout au long des essais en raison de l'apparition d'une déformation permanente. Par conséquent, des mesures ont été prises périodiquement après un nombre régulier de cycles afin de suivre l'augmentation de l'orniérage par rapport au nombre de charges accumulées.

2.2.2 Analyse de l'orniérage

L'orniérage est une déformation permanente située dans l'axe du passage des roues. Elle est attribuée à une augmentation de la pression des pneus [5] et au développement du trafic et de la charge par essieu [2]. Les ornières sont classées en trois catégories : petites (6 à 12,5mm), moyennes (12,5 à 25mm) et grandes (>25mm) [6]. Toutefois, on signale l'existence de trois types d'orniérage dans les chaussées de béton bitumineux :

- **Les ornières d'usure** : elles sont dues à la perte progressive des particules de granulats de la couche de surface. Ce type d'orniérage est causé par la combinaison de l'environnement et du trafic.
- **Les ornières structurelles** : elles résultent de la déformation verticale permanente dans la structure de la chaussée sous les chargements du trafic répétés.
- **Les ornières d'instabilité** : elles sont dues au déplacement latéral des matériaux dans la couche de la chaussée et sont d'autant plus importantes pour des chaussées avec des matériaux dont les propriétés structurelles sont mauvaises.

Plusieurs mécanismes peuvent être à la base du phénomène d'orniérage [7]. Les ornières dans l'enrobé bitumineux sont dues à la densification et l'augmentation du cisaillement. L'orniérage initial est causé par la densification de la chaussée sous le passage des pneus. L'évolution de l'orniérage est liée au cisaillement qui conduit à la formation de bourrelet aux abords du passage des roues. Toutefois, pour les chaussées bien compactées, la contrainte de cisaillement dans la couche du béton bitumineux est le mécanisme principal d'orniérage. L'orniérage de la chaussée est provoqué par les mécanismes suivants [8] :

- La déformation plastique verticale dans la couche de l'enrobé bitumineux.
- Le fluage latéral dans la couche de l'enrobé bitumineux (on peut définir la résistance à ce mécanisme par la capacité d'un enrobé bitumineux à maintenir intact son squelette minéral).
- La déformation des couches inférieures.

Plusieurs facteurs peuvent influencer ce mécanisme comme la construction de la chaussée, les facteurs liés au trafic (type de pneus, charge par essieu, vitesse de déplacement, pression de gonflage) et les facteurs environnementaux.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Profondeur de l'orniérage en fonction de la température et le lieu des essais

Les figures ci-dessous donnent les comparaisons entre l'orniérage au laboratoire et les mesures effectuées sur site. La **Figure 3** ci-dessous présente les profils transversaux de matériaux mesurés à température et de site des essais différents par un profilomètre à la même position (0,5 m de l'axe transversal) après 100.000 cycles de chargement. Une dépression longitudinale se développe progressivement avec l'augmentation des cycles de chargement.

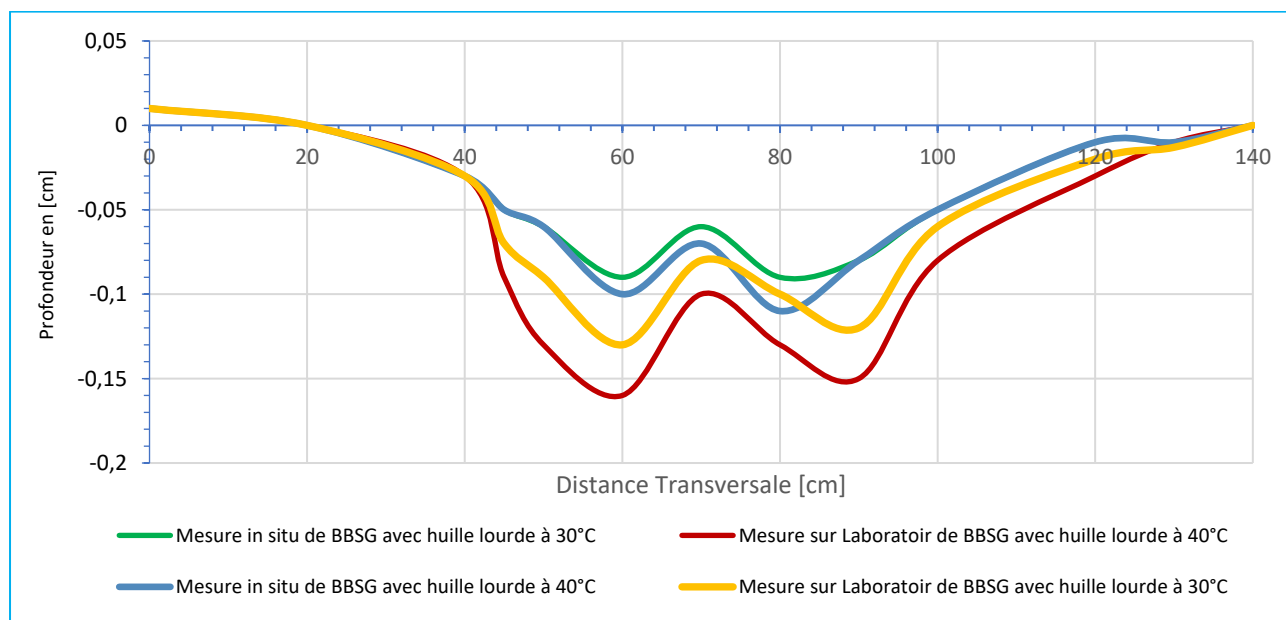


Figure 3 : Profils transversaux relevés après 100.000 Cycles.

Les profils transversaux présentent une déformation en forme de W. Une dépression se situe sous les pneumatiques tandis qu'un soulèvement se situe entre les deux pneumatiques et sur les bords extérieurs de la zone de contact. La déformation par soulèvement perceptible au niveau de la ligne médiane indique qu'un écoulement de cisaillement se produit dans les enrobés bitumineux BBSG avec huile lourde pendant les essais à différentes températures. La différence de la déformation de soulèvement dans la couche de BBSG au laboratoire atteint **10% à 30°C, alors que la différence est de 20% à 40°C**, donc les essais au laboratoire sont plus importants que les essais in situ.

3.2 Profondeur de l’orniérage en fonction de matériaux

La **Figure 4** ci-dessous présente les profils transversaux des deux matériaux mesurés à température constante de 38°C par un profilomètre à la même position (0,5 m de l’axe transversal) après 100.000 cycles de chargement. Une dépression longitudinale se développe progressivement avec l’augmentation des cycles de chargement.

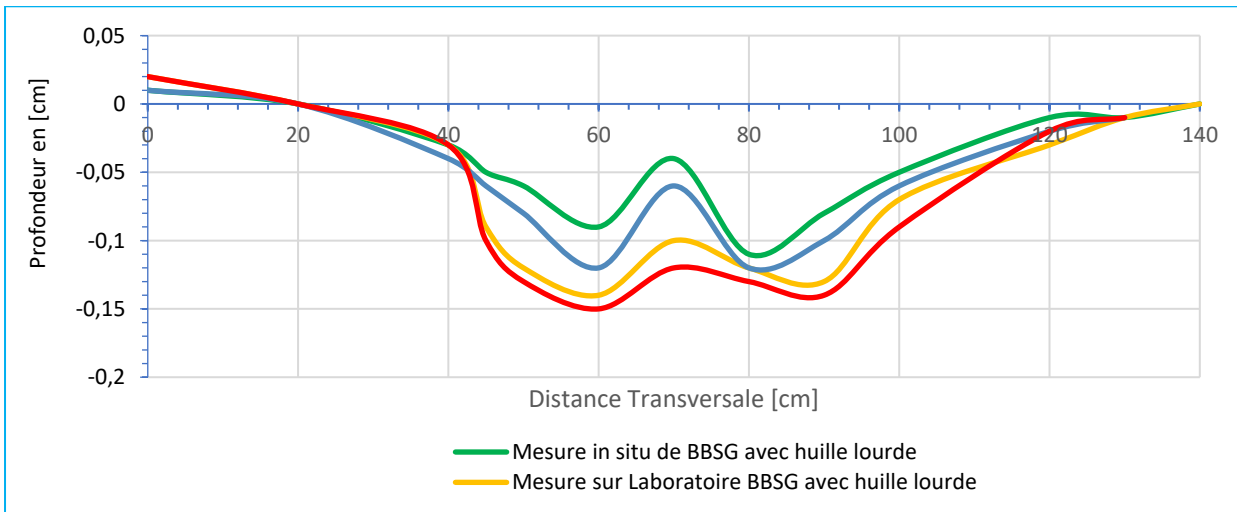


Figure 4 : Profils transversaux relevés après 100.000 Cycles à 38°C

Les profils transversaux présentent une déformation en forme de W aussi. La déformation par soulèvement perceptible au niveau de la ligne médiane indique qu’un écoulement de cisaillement se produit dans les enrobés bitumineux BBSG avec huile lourde et les enrobés bitumineux BBSG avec bitume pur à température constante 38°C.

D’après la **figure 5**, on a vu que les déformations de soulèvement dans la couche de BBSG au laboratoire sont plus importantes que les enrobés bitumineux BBSG in situ.

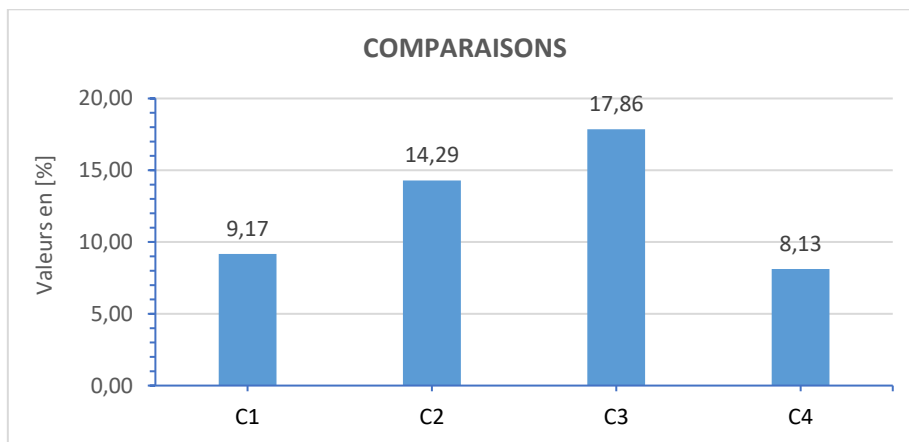


Figure 5 : Différences de mesure de période différente in situ entre huile lourde et Bitume pur après 100.000 Cycles à 38°C.

- C1 :** Mesure in situ de BBSG avec huile lourde et mesure in situ de BBSG avec Bitume pur
- C2 :** Mesure in situ de BBSG avec Bitume pur et mesure sur Laboratoire de BBSG avec Bitume pur
- C3 :** Mesure in situ de BBSG avec huile lourde et mesure sur Laboratoire BBSG avec huile lourde
- C4 :** Mesure in situ de BBSG avec Bitume pur et mesure sur Laboratoire de BBSG avec huile lourde

D’après la **figure 5**, on a vu que les différences des déformations de soulèvement dans la couche de BBSG avec huile lourde et bitume pur au laboratoire sont plus importantes que les enrobés bitumineux BBSG avec huile lourde et bitume pur in situ après 100.000 Cycles à températures constante de 38°C.

3.3 Profondeur de l’orniérage en fonction des trafics et du temps

La **figure 6** donne une comparaison entre l’orniérage calculé et les mesures effectuées. On constate que l’orniérage se développe en deux phases distinctes (initiation et propagation) avec des vitesses clairement distinctes. La première phase correspond à l’orniérage par densification de l’enrobé bitumineux, alors que la deuxième est relative au fluage. Les résultats numériques sont proches des mesures. Pour la phase d’initiation, ils sont plus proches de l’essai 02. Pour la phase de propagation d’orniérage, les résultats numériques se situent entre les résultats des deux essais [9].

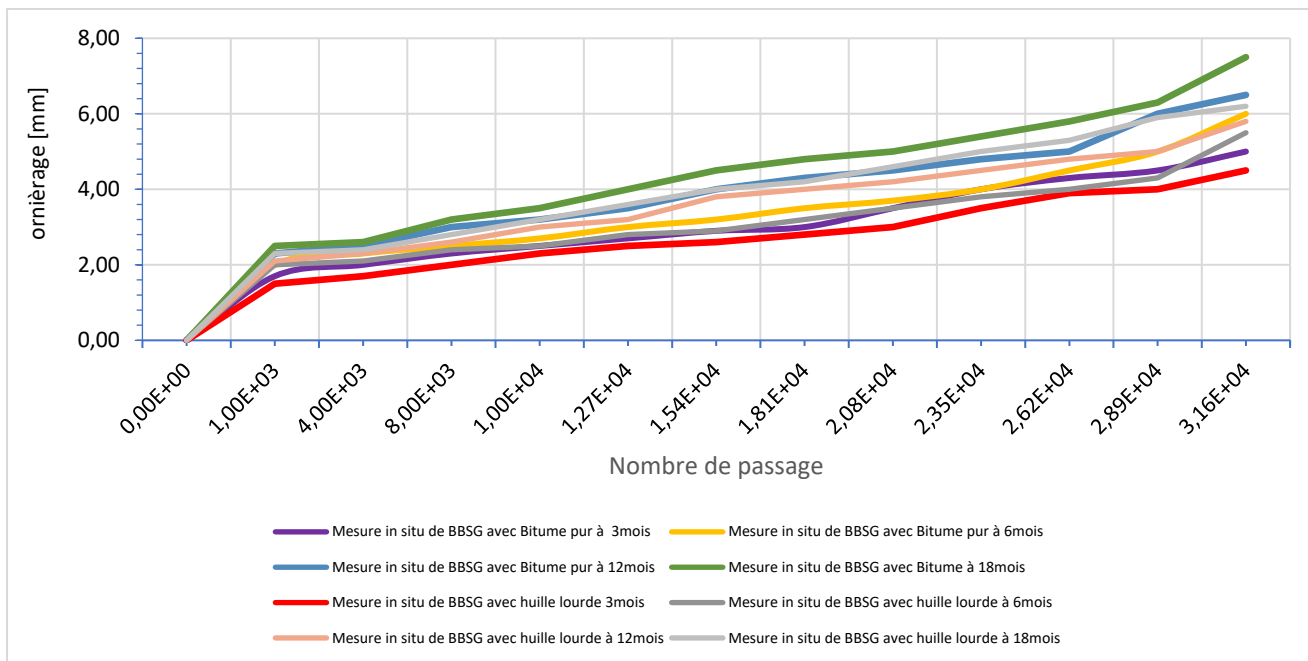


Figure 6 : Développement de l'orniérage en fonction de nombre de passages.

D'après la **figure 6**, on a vu que les déformations de soulèvement dans la couche de BBSG au laboratoire sont plus importantes que les enrobés bitumineux BBSG in situ.

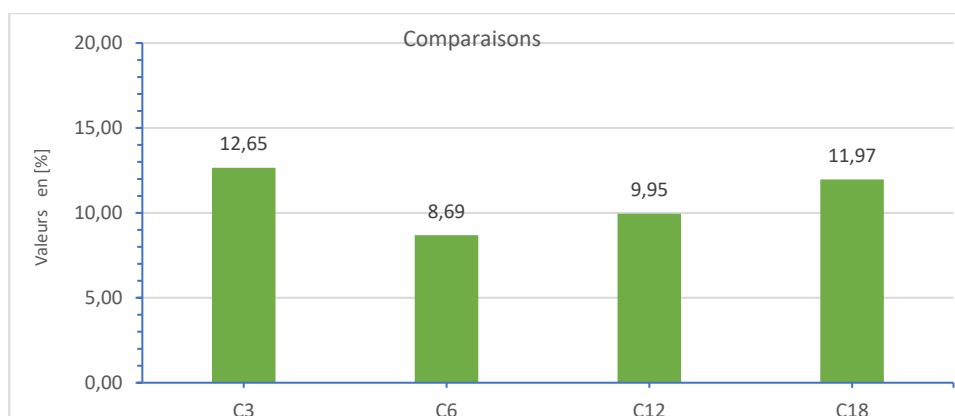


Figure 7 : Différences des mesures de période différent in situ et au laboratoire entre huile lourde et Bitume.

C3 : Mesure in situ de BBSG avec huile lourde et Mesure sur Laboratoire de BBSG avec Bitume pur

C6 : Mesure in situ de BBSG avec huile lourde et Mesure sur Laboratoire de BBSG avec Bitume pur

C12 : Mesure in situ de BBSG avec Bitume pur et Mesure sur Laboratoire BBSG avec huile lourde

C18 : Mesure in situ de BBSG avec Bitume pur et Mesure sur Laboratoire BBSG avec huile lourde

Selon la Figure 7, on constate que les écarts de déformations de soulèvement dans la couche de BBSG avec huile lourde en laboratoire sont supérieurs à ceux des enrobés bitumineux BBSG avec huile lourde in situ après trois (03) et dix-huit (18) mois de circulation à une température constante de 38°C.

3.3 Profondeur de l'orniérage en fonction des trafics et température

Les mécanismes impliqués dans le développement de la profondeur de l'ornière peuvent être évalués à l'aide d'observations sur le terrain et via la connaissance de ces mécanismes. La différence constatée entre la profondeur maximale mesurée et la ligne de référence (déterminée sur la base de mesures de profondeur de profil prises avant l'application du chargement, c'est-à-dire à 0 cycle de chargement) est définie comme la profondeur maximale mesurée de l'ornière après un certain nombre de cycles. La comparaison des profondeurs d'orniérage nous a permis d'évaluer les performances d'orniérage des deux matériaux testés en laboratoire et in situ. Les essais sur les deux matériaux ont été réalisés dans des conditions de température quasi identique jusqu'à 100.000 cycles. L'évolution de la profondeur d'ornière en fonction du nombre de cycles et de la température est présentée sur la **Figure 8**.

Les premiers cycles réalisés à 30°C correspondent à une phase de post-compactage. La température ne présente pas d'effet significatif pour la couche de BBSG avec huile lourde au laboratoire, l'augmentation de l'ornière est alors de 2 mm et 2,5 mm in situ. Tandis que pour la couche de BBSG avec bitume pur au laboratoire, l'augmentation de l'ornière est alors de 2 mm A 30°C, elle augmente de 0,6 mm puis diminue jusqu'à 1,2 mm pour se stabiliser vers 40°C. L'effet

de la température est en revanche bien marqué sur les couches de BBSG avec huile lourde au laboratoire et bitume pur au laboratoire.

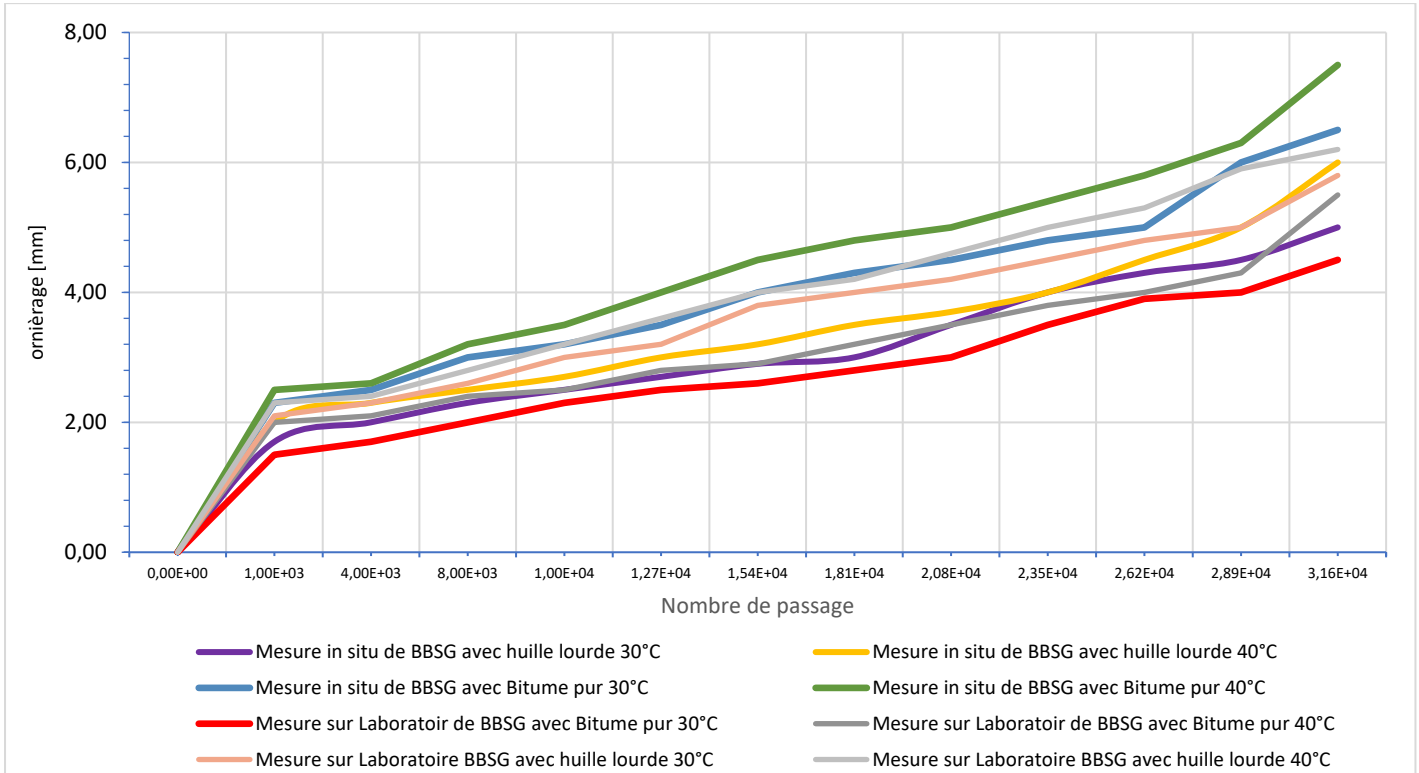


Figure 8 : Développement de l’orniérage en fonction du nombre de passage et température.

On constate sur la même figure que la profondeur d’ornièr augmente avec le nombre de cycles pour les deux matériaux. Toutefois, la tendance d’évolution diffère selon les températures pour les deux matériaux. Il est observé que jusqu’à 100 000 cycles et pour des conditions de température identiques, la couche de BBSG avec du bitume pur présente une évolution de la profondeur d’ornièr deux fois supérieure à celle de la couche de BBSG avec de l’huile lourde. Par exemple, à 100 000 cycles et pour des conditions de température identiques, l’enrobé de référence présente une profondeur d’ornièr maximale d’environ 12 mm, alors que la profondeur d’ornièr maximale est d’environ 6 mm pour le BBSG avec du bitume pur et de 3 mm pour le BBSG avec de l’huile lourde. Les analyses indiquent que le BBSG avec de l’huile lourde présente une meilleure résistance à l’orniérage, tandis que l’enrobé de référence (BBSG) est le plus défavorable quelle que soit la condition de chargement.

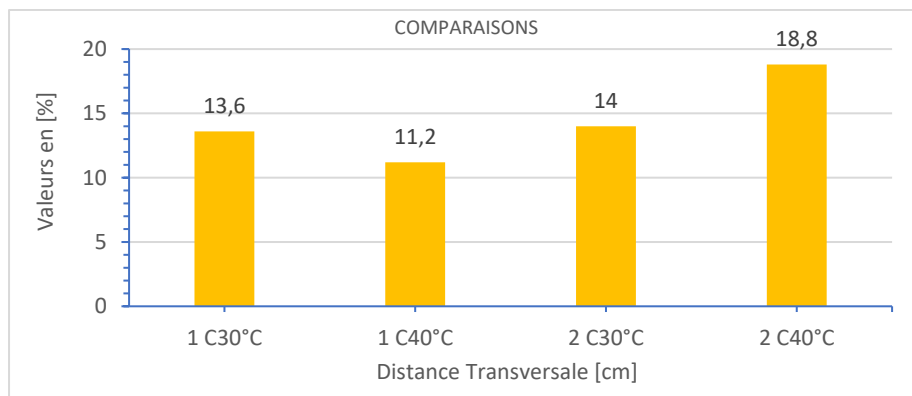


Figure 9 : Différences des mesures de période différent in situ et au laboratoire entre huile lourde et Bitume pur en fonction de nombre de passages et température.

- 1 C30°C1 :** Mesure in situ de BBSG avec huile lourde et Mesure sur Laboratoire de BBSG avec Bitume pur
- 1 C40°C :** Mesure in situ de BBSG avec huile lourde et Mesure sur Laboratoire de BBSG avec Bitume pur
- 2 C30°C :** Mesure in situ de BBSG avec Bitume pur et Mesure sur Laboratoire BBSG avec huile lourde
- 2 C40°C :** Mesure in situ de BBSG avec Bitume pur et Mesure sur Laboratoire BBSG avec huile lourde

Selon la Figure 9, les variations de déformation due au soulèvement sont plus marquées dans la couche de Mesure in situ de BBSG avec Bitume pur que dans les Béton Bitumineux Semi Grenue (BBSG) avec huile lourde in situ.

4. CONCLUSION

En conclusion, cette étude a permis de caractériser le mécanisme d'orniérage dans les chaussées souples avec couches de surface en Huile Lourde de Tsimiroro incorporée de poudres de déchets plastiques. La performance vis-à-vis de l'orniérage est étroitement liée à la rigidité du revêtement bitumineux. Un modèle de prédiction d'orniérage intégrant les essais accélérés a été développé, qui prend en compte le nombre de cycles et la température. Les résultats ont montré que la température a une influence significative sur l'orniérage.

De plus, cette étude a également exploré la possibilité d'utiliser le principe d'équivalence temps-température pour prédire la profondeur de l'orniérage. L'utilisation de nouveaux matériaux tels que ceux étudiés ici présente de nombreux avantages, tels que la résistance à la température du béton bitumineux, la réduction du risque d'instabilité, la maniabilité du béton bitumineux et la résistance à l'inondation. Ces résultats sont importants pour le développement de chaussées plus durables et plus résistantes à l'orniérage. Des études futures sont nécessaires pour approfondir ces résultats et pour explorer d'autres possibilités d'amélioration des performances des chaussées.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier le Laboratoire Nationale des Travaux Publics Madagascar (LNTPB), Le centre Nationale de Recherche Industriels et Technologie (CNRIT) Madagascar et CHINA ROAD AND BRIDGE CORPORATION (CRBC) à Madagascar, la société COLAS Madagascar pour la mise à disposition à la réalisation de ce travail.

5. REFERENCES

- [1] Ratsifaherandahy Flemond Dolin, Mamiharijaona Ramarason, Rajaonah Rabevala, Ramarason Jean De Dieu, et Randriamalala Tiana Richard. Comportement mécanique des chaussées souples à l'incorporation du fondu de déchets de sachets plastiques sur la consistance de l'huile lourde de tsimiroro: application à la prévision de l'orniérage. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2022; 14(2): 74-83. Available on: <http://www.american-jiras.com/Ratsifaherandahy-Ref03-ajira080222.pdf>
- [2] Ricardo Archilla and Samer M. Madanat. Estimation of Rutting Models by Combining Data from Different Sources. *Journal of Transportation Engineering.* 2001; 127: 379-389. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:5(379)
- [3] Skok E., Johnson E., Turk A. Asphalt pavement analyses (APA) evaluation technical. Technical report, Minnesota department of transportation, September 2002. Available on: <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/886/1/200302.pdf>
- [4] Scarpas A., Al-Khoury R., Van R. Gurp C. Erkens S. Finite element simulation of damage development in asphalt concrete pavements. Proceedings of 8th International conference on asphalt, 1997. Available on:
- [5] Lu Y., Wright P.J. Numerical approach of visco-elastoplastic analysis for asphalt mixtures. *Computers & Structures.*1998; 69(2):139-147. Available on: [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(98\)00139-4](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(98)00139-4).
- [6] Chowdhury A., Button J., Jose D., Grau Project. Effects of superpave restricted zone on permanent deformation. *International center for aggregate research ICAR*, Report o. 201, May 2001. DOI:10.15781/T2982C. Available on: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.587.9462&rep=rep1&type=pdf>
- [7] Sousa J., Weissman S., Sackman J., Monismith C., A nonlinear elastic viscous with damage model to predict permanent deformation of asphalt. *Transportation research board.* 1993. 1384: 80-93. Washington 1993. Available on: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1993/1384/1384-010.pdf>
- [8] White T., John M., Haddoc E., Adam K, Hand J., Hongbing F. Contributions of pavement structural layers to rutting of hot mix asphalt pavements. NCHRP report. 2002. Available on: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_468-a.pdf
- [9] Sohm, J. (2011). Prédiction des déformations permanentes des matériaux bitumeux. PhD Thesis. Ecole centrale de Nantes.



Cite This Article: Ratsifaherandahy Flemond Dolin, Mamiharijaona Ramarason, Rajaonah Rabevala, Ramarason Jean De Dieu et Randriamalala Tiana Richard. COMPARAISON DES MESURES D'ORNIERAGE EN LABORATOIRE ET IN SITU SUR DES CHAUSSEES SOUPLES INCORPORANT DES SACHETS DE DECHETS PLASTIQUES FONDUS SUR LA CONSISTANCE DE L'HUILE LOURDE DE TSIMIRORO ET DU BITUME PUR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 16(4): 231-237.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>