

# COMPORTEMENT MECANIQUE DES CHAUSSEES SOUPLES A L'INCORPORATION DU FONDU DE DECHETS DE SACHETS PLASTIQUES SUR LA CONSISTANCE DE L'HUILE LOURDE DE TSIMIRORO : APPLICATION A LA PREVISION DE L'ORNIERAGE



MECHANICAL BEHAVIOR OF FLEXIBLE PAVEMENTS ON THE INCORPORATION OF MELTED PLASTIC BAG WASTE ON THE CONSISTENCY OF TSIMIRORO HEAVY OIL: APPLICATION TO THE PREDICTION OF RUT

| Ratsifaherandahy Flemond Dolin <sup>1\*</sup> | Mamiharijaona Ramaroson <sup>1</sup> | Rajaonah Rabevala <sup>1</sup> | Ramorason Jean De Dieu <sup>2</sup> | et | Randriamalala Tiana Richard <sup>3</sup> |

<sup>1</sup> Université d'Antsiranana | Ecole Supérieure Polytechnique | Laboratoire de Métallurgie et Chimie | B.P. : O, 201, Antsiranana | Madagascar |

<sup>2</sup> Directeur de Recherches Associées Département Matériaux ET Génie Civil/ CNRIT Madagascar |

<sup>3</sup> Chef de Département de Recherche, Développement et Matériaux au LNTPB Madagascar |

| Received February 02, 2022 |

| Accepted February 14, 2021 |

| Published February 18, 2022 |

| ID Article | Ratsifaherandahy-Ref03-ajira080222 |

## RESUME

**Contexte :** Cette communication concerne l'étude du mécanisme d'orniérage des chaussées souples à l'aide d'une élaboration d'un modèle numérique destiné à mieux comprendre le mécanisme de formation de l'orniérage. Le comportement des couches de l'enrobé bitumineux à l'aide d'huile lourde et poudre de sachets plastique est décrit en utilisant un modèle élasto-viscoplastique. Le modèle prend en compte l'influence de la température en utilisant le principe de superposition temps- température. Un modèle élasto-plastique est utilisé pour les couches inférieures. Le modèle reproduit d'une manière réaliste le chargement appliqué par la circulation. **Objectif :** Des recommandations sont proposées pour réduire le risque de formation de l'orniérage de chaussée à l'incorporation du fondu de déchets de sachets plastiques sur la consistance de l'huile lourde de Tsimiroro. **Méthode :** Après une analyse du mécanisme de formation de l'orniérage, on présente une étude de l'influence des principaux paramètres sur ce mécanisme, notamment les propriétés des matériaux constitutifs, la température et la pression de gonflage. **Résultat :** Nous avons obtenus en augmentant la température de 20 à 40 °C, E décroît de 25%, ce qui a pour conséquence diminutions de l'orniérage avec la teneur en poudre plastic de 6% - 10% (Figure 5). L'augmentation de la charge de 8 à 13 tonnes avec pression de gonflage de 800 kPa fait augmenter l'orniérage de 35%, (Figure 6), En augmentant la module de déformation de 4000 - 6000 MPa, l'orniérage décroît de 91% (Figure 7). L'augmentation de la charge de 13 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa fait augmenter l'orniérage de 20% (Figure 8). Par contre l'augmentation de la pression de gonflage de 600 à 900 kPa avec une charge par essieu de 11,5 tonnes ne la fait augmenter que de 8% (Figure 9). La charge de 11,5 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa donne des profondeurs environ de 4% par rapport au béton bitumineux sans déchet plastique (Figure 10). Par contre, l'augmentation de la pression de gonflage à 800 kPa avec une charge par essieu de 11,5 tonnes fait augmenter jusqu'à 24% (Figure 11). La mesure de cisaillement de même charge de 11,5 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa donne des profondeurs environ de 4% (Figure 12). La charge de 11,5 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa fait augmenter l'orniérage de 16% (Figure 13). **Conclusion :** on a constaté qu'on peut faire une étude numérique du mécanisme d'orniérage dans les chaussées souples à l'incorporation du fondu de déchets de sachets plastiques sur la consistance de l'huile lourde de Tsimiroro. Les résultats obtenus montrent qu'une modélisation élasto-viscoplastique pour les couches de surface et élastoplastique pour les couches inférieures reproduit bien ce phénomène. Les enrobés à haut module de déformation présentent une meilleure résistance à la température, réduisent le risque d'orniérage. L'intensité de la charge par essieu a une influence plus significative sur l'orniérage que la pression de gonflage.

**Mots clefs :** Chaussée ; Orniérage ; Eléments finis ; Viscoplasticité, huile lourde, déchet plastique.

## ABSTRACT

**Context:** This communication concerns the study of the rutting mechanism of flexible pavements using the development of a numerical model intended to better understand the mechanism of rutting formation. The behavior of layers of bituminous mix using heavy oil and plastic bag powder is described using an elasto-viscoplastic model. The model takes into account the influence of temperature by using the principle of time-temperature superposition. An elasto-plastic model is used for the lower layers. The model realistically reproduces the loading applied by traffic. **Objective:** Recommendations are proposed to reduce the risk of formation of pavement rutting when incorporating melted plastic bag waste on the consistency of Tsimiroro heavy oil. **Method:** After an analysis of the rutting formation mechanism, we present a study of the influence of the main parameters on this mechanism, in particular the properties of the constituent materials, the temperature and the inflation pressure. **Result:** We obtained by increasing the temperature from 20 to 40 °C, E decreases by 25%, which results in reductions in rutting with the plastic powder content of 6% - 10% (Figure 5). Increasing the load from 8 to 13 tons with an inflation pressure of 800 kPa increases the rutting by 35%, (Figure 6), By increasing the modulus of deformation by 4000 - 6000 MPa, the rutting decreases by 91 % (Figure 7). Increasing the load by 13 tonnes with an inflation pressure of 800 kPa increases rutting by 20% (Figure 8). On the other hand, increasing the inflation pressure from 600 to 900 kPa with an axle load of 11.5 tonnes only increases it by 8% (Figure 9). The load of 11.5 tons with an inflation pressure of 800 kPa gives depths of approximately 4% compared to asphalt concrete without plastic waste (Figure 10). On the other hand, increasing the inflation pressure to 800 kPa with an axle load of 11.5 tonnes increases the pressure by up to 24% (Figure 11). The shear measurement for the same load of 11.5 tons with an

inflation pressure of 800 kPa gives depths of approximately 4% (Figure 12). The load of 11.5 tons with an inflation pressure of 800 kPa increases rutting by 16% (Figure 13). **Conclusion:** it has been found that a numerical study of the rutting mechanism in flexible pavements can be made with the incorporation of melted plastic bag waste on the consistency of Tsimiroro heavy oil. The results obtained show that an elasto-viscoplastic modeling for the surface layers and elastoplastic for the lower layers reproduces this phenomenon well. Asphalt mixes with a high deformation modulus have better resistance to temperature, reduce the risk of rutting. Axle load intensity has a more significant influence on rutting than inflation pressure.

**Keywords:** Roadway; Rutting; Finished elements ; Viscoplasticity, heavy oil, plastic waste.

## 1. INTRODUCTION

Les chaussées souples sont composées de trois couches : une couche de surface en enrobé bitumineux, la couche d'assises en graves latériques et la couche de support. Ce type de structures 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 qui peut 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 l'orniérage qui constitue la principale pathologie des chaussées souples [1]. Ce phénomène peut résulter des déformations dans la couche de surface ou des déformations dans les autres couches de la chaussée [2]. Le comportement mécanique des chaussées souples, application à la prévision de l'orniérage fait partie des investigations [3]. Notre travail comporte une étude par éléments finis du comportement mécanique des chaussées dans les buts de mieux comprendre les mécanismes d'initiation, le développement de l'orniérage dans les chaussées souples. Plusieurs modèles ont été proposés pour étudier le phénomène d'orniérage dans l'enrobé bitumineux [4, 5]. Le présent article est consacré à l'étude de l'influence de l'incorporation au bitume de l'huile lourds, 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 Matériaux utilisés

Les matériaux sur lesquels ont porté les tests rapportés dans cet article sont catégorisés comme ils suivent.

- Pour les différents essais, respectivement de pénétrabilité et de ramollissement à bille et anneau : le bitume de l'huile lourde désigné M0 d'une part, et le même bitume 50/70 additionné de poudre de sachets plastiques, à teneurs de 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18% et 21% en masse du bitume de l'huile lourds, d'autre part. Ces mélanges ont été identifiés respectivement par M1, M2, M3 à M7, soient sept variantes de mélanges-liants et le témoin M0.

- **Pour les essais d'adhésivité** : les matériaux utilisés sont les mélanges liants M0 à M5 précédents et les fines de granites concassés, de tailles comprises entre 0,2mm et 0,5mm, de masse volumique absolue 2690 kg/m<sup>3</sup> ;

- **Pour les essais Marshall** : les matériaux impliqués sont issus du granite concassé et fractionné en trois classes granulaires 10/14, 6/10 et 0/6 au pk 23 sur la RN5a présentés à la Figure 1a, la poudre plastique Figure 1b et Huile lourde Figure 1c.



**Figure 1a** : Granulats.



**Figure 1b** : Poudre plastique.



**Figure 1c** : Huile lourde.



**Figure 2a :** échantillons. **Figure 2b :** échantillons à 9%. **Figure 2c :** échantillons à 12%.

**Tableau 1 :** Série de tamis utilisés et granulométrie optimale théorique.

Ouverture tamis (mm)	4	5	6,3	8	10	12.5	14	16
Passants (%)	100	96,5	89,5	74	65,5	55	52,5	45
Ouverture tamis (mm)	0,08	0,16	0,315	0,63	2	1,25	3,15	2,5
Passants (%)	7	10.5	15	19	26,5	34	36,5	41

La série des tamis utilisés est celle de la norme AFNOR dont les ouvertures et les différents pourcentages de passants théoriquement attendus sont consignés dans le Tableau 1.

## 2.2 Matériels utilisés

Les matériels utilisés sont : Machine de résistance à l'orniérage, Compacteur de plaques, Malaxeur, ordinateur, ...ects.



**Figure 3a:** Malaxeur.



**Figure 3b:** Compacteur de plaques.

## 2.2 Méthode

Nous avons fait l'étude du mécanisme d'orniérage des chaussées souples à l'aide d'une modélisation par éléments finis. La couche de surface est modélisée en utilisant un modèle élasto-plastique associé à une loi de fluage en puissance. Les couches d'assises sont décrites à l'aide d'un modèle élasto-plastique.

## 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1 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 [1] et au développement du trafic et de la charge par essieu [3]. 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.

### 3.2 Modélisation de la chaussée

#### a) Modélisation des couches de surface

L'étude est réalisée à l'aide d'un modèle rhéologique combinant un modèle élastoplastique isotrope et une loi de fluage en puissance. La déformation viscoplastique en fonction de la température et du temps est donnée [9] :

$$\varepsilon^{vp}(T) = A_T(\sigma)^n (t)^{m+1} \quad (1)$$

Où  $n$  et  $m$  sont des paramètres du modèle.  $A_T$  est défini par

$$A_T = A' / ((a_T)_{vp})^{m+1} \quad (2)$$

Avec  $A'$  une constante

$$\text{et } (a_T)_{vp} = t/\xi \quad (3)$$

Le facteur de changement de température ( $\xi$  est le temps réduit).

La surface d'écoulement est de type Drucker-Prager modifié :

$$F = f - p \tan \phi - c \quad (4)$$

$$\text{Avec: } f = \frac{1}{2} q \left[ 1 + \frac{1}{K} - \left( 1 - \frac{1}{K} \right) \left( \frac{r}{q} \right)^3 \right] \quad (5)$$

C'est le paramètre de cohésion de matériaux est comme suit :

$$q = \sqrt{3/2(s:s)} \quad (6)$$

La contrainte équivalente de Von Mises est comme suit :

$$S = \sigma - pI \quad (7)$$

Le déviateur de contrainte est comme ci-dessous :

$$p = \text{tr}(\sigma)/3 \quad (8)$$

La contrainte moyenne est :

$$r = (9/2 s:s)^{1/3} \quad (9)$$

Le troisième invariant des contraintes,  $\phi$  l'angle de frottement et  $k$  le facteur de forme qui modifie l'aspect de la surface d'écoulement. Pour des matériaux cohésifs comme l'enrobé bitumineux ( $k=1$  et  $\phi=0$ ), la surface d'écoulement coïncide avec celle de Von Mises est comme suit :

$$F = q - c \quad (10)$$

### 3.3 Modélisation des couches d'assises

Le comportement des matériaux des couches d'assises est décrit à l'aide d'un modèle élastoplastique utilisant le critère de Mohr-Coulomb modifié :

$$F = R_{mc}q - p \tan \phi - c \quad (11)$$



$$R_{mc}(\theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{3} \cos \phi} \sin \left( \theta + \frac{\pi}{3} \right) + \frac{1}{3} \cos \left( \theta + \frac{\pi}{3} \right) \tan \phi \quad (12)$$

Avec :

$$\cos(3\theta) = \left( \frac{r}{q} \right)^3 \quad (13)$$

La surface d'écoulement fait intervenir la cohésion  $c$  et l'angle de frottement  $\phi$

La déformation élastique  $\varepsilon^e$  est calculée par la loi de Hooke.

#### 4 Analyse du comportement de la chaussée à l'orniérage

##### 4.1 Exemple de référence

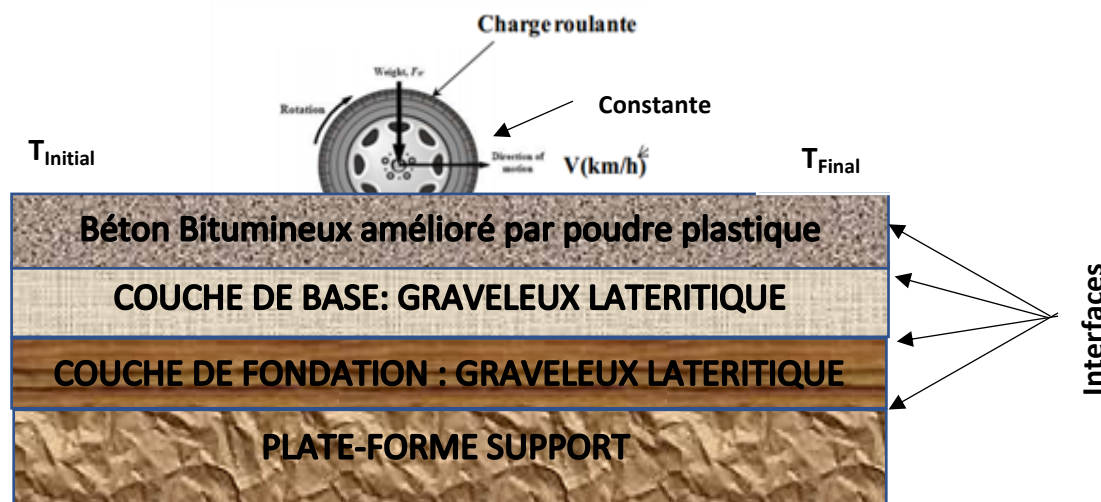
L'étude est réalisée sur une chaussée dont la structure est identique à celle utilisée par LAVOC à Lausanne pour des essais en vraie grandeur [10,11]. Elle est composée de (Figure 2) :

- **Une couche de roulement** : 5 cm de béton bitumineux ;
- **Une couche de base** : 20 cm en GNT (0/31,5 mm) ;
- **Couche de fondation** : 20cm GNT (0/37,5 mm) ;
- **Plate-forme support** : graveleux latéritique.

Les calculs ont été effectués à l'aide du code ABAQUS avec les conditions des essais, à savoir :

- Charge de l'essieu de 11,5 tonnes ;
- Pneu « super single » (38 mm) ;
- Vitesse de déplacement de 12 km/h ;
- Pression de pneus de 800 kPa ;
- Température de 50°C à l'interface entre la couche de roulement et les couches d'enrobés.

La figure 4 présente le principe du modèle de chaussée sous charge roulante avec de vitesse constante.

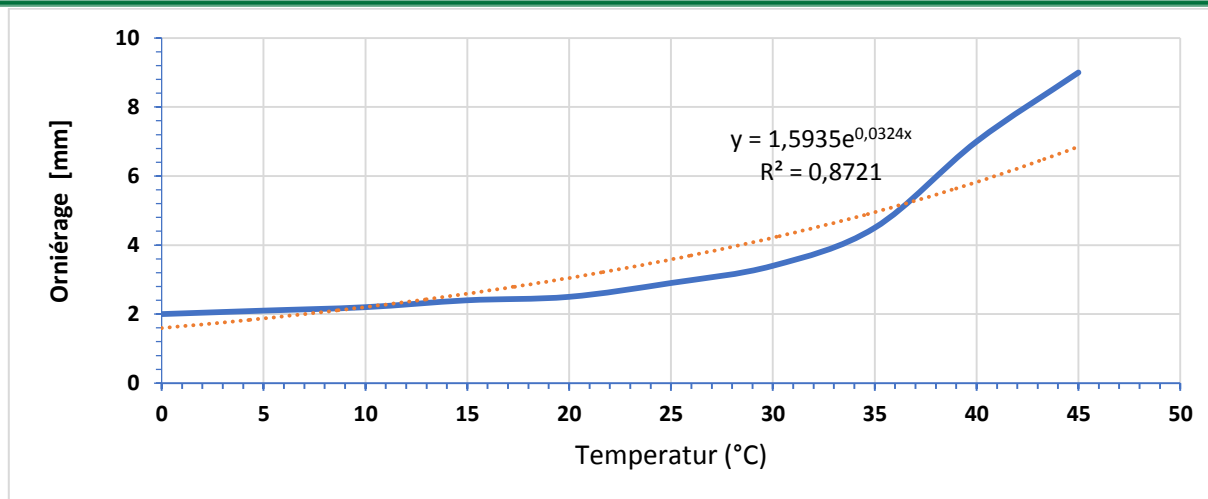


**Figure 4 :** La figure montre le schéma de principe du modèle de chaussée sous charge roulante.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

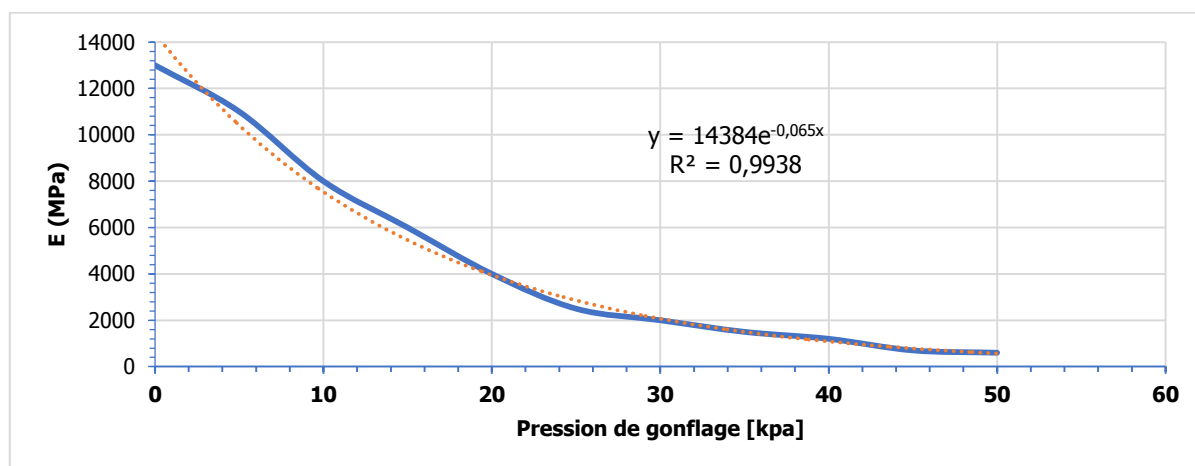
#### 3.1 Influence des paramètres des matériaux et de la température

Analysons d'abord l'influence de la température sur l'orniérage. Les résultats numériques montrent que la température joue un rôle très important sur le développement de l'orniérage. Une élévation de la température de 20 à 35 °C fait augmenter l'orniérage de 0,6 à 1,53 mm avec 28 000 de passages (Figure 5).



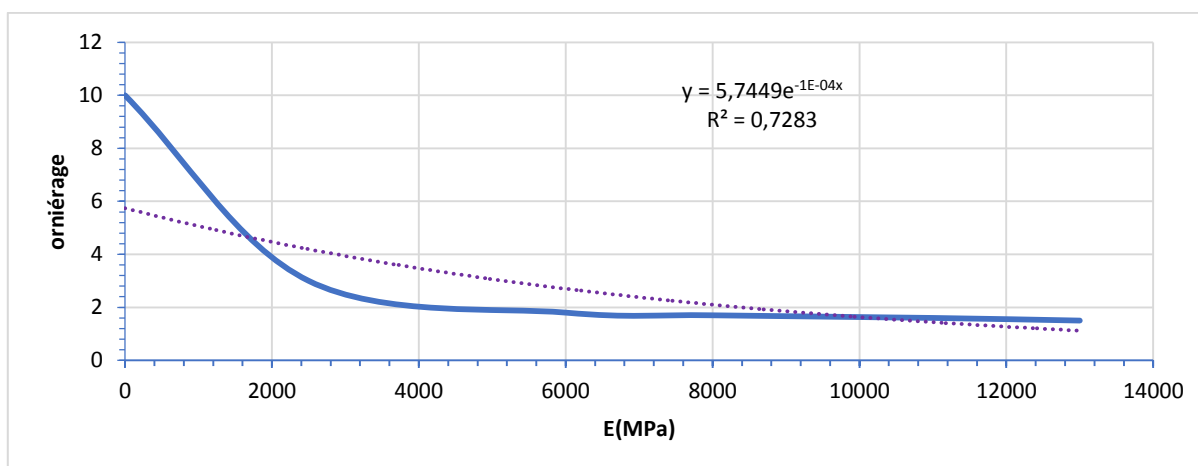
**Figure 5 :** La figure montre l'influence de la température sur l'orniérage avec la teneur en poudre plastic.

La figure 6 illustre l'influence de la température sur le module de déformation. En augmentant la température de 20 à 40 C°, E décroît de 25%, ce qui a pour conséquence diminutions de l'orniérage avec la teneur en poudre plastic de 6% - 15%. On constate que l'enrobé bitumineux avec des valeurs élevées de E présente une bonne résistance à l'orniérage. Nous avons présenté sur les figures ci-dessous les résultats.



**Figure 6 :** La figure montre l'influence de la température sur E suivant la teneur en poudre plastic.

La figure 6 illustre l'influence de la pression de gonflage sur le module de déformation. L'augmentation de la charge de 8 à 13 tonnes avec pression de gonflage de 800 kPa fait augmenter l'orniérage de 35%, l'augmentation de la pression de gonflage de 600 à 900 kPa avec une charge par essieu de 12 tonnes ne la fait augmenter que de 10%.



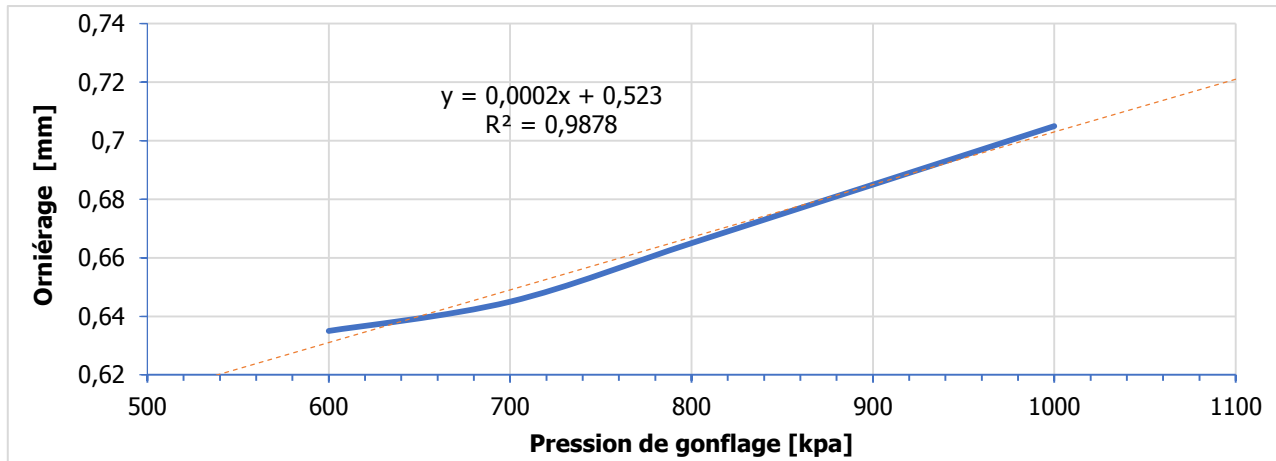
**Figure 7 :** La figure montre l'influence de E sur l'orniérage.

La figure 7 présente l'influence du module de déformation sur l'orniérage. En augmentant le module de déformation de 4000 - 6000 MPa, l'orniérage décroît de 91%, ce qui a pour conséquence diminutions de l'orniérage avec la teneur en poudre plastic de 6% à 10%. On constate que l'enrobé bitumineux avec des valeurs élevées de E présente une bonne résistance à l'orniérage.

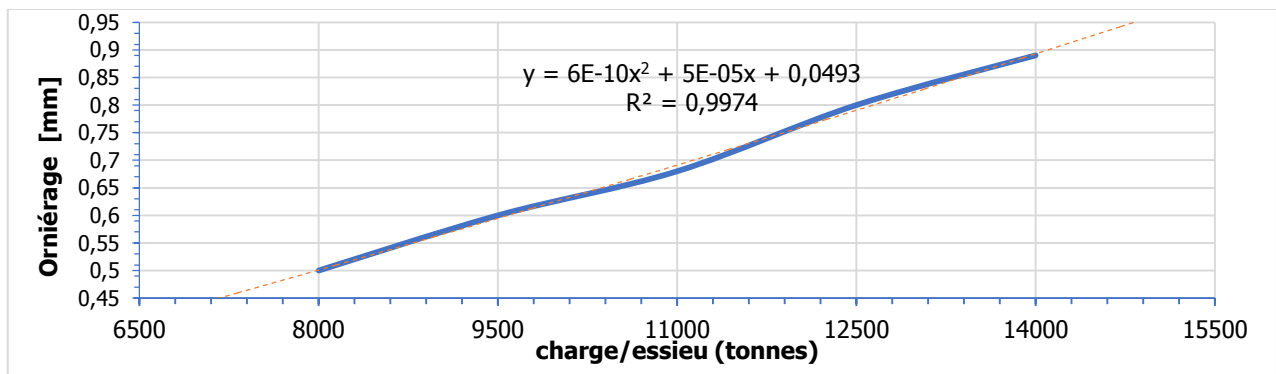
## 3.2 Développement de l'orniérage par les nombres de passages

### 3.3.2 Influence des paramétrés liés au trafic

Etudions maintenant l'effet des paramètres liés au trafic qui sont l'intensité de charge et la pression de gonflage. Les résultats de modélisation montrent que l'intensité de chargement a une influence plus importante que la pression de gonflage. L'augmentation de la charge de 13 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa fait augmenter l'orniérage de 20% (Figure 8). Par contre, l'augmentation de la pression de gonflage de 600 à 900 kPa avec une charge par essieu de 11,5 tonnes ne la fait augmenter que de 8% (Figure 9).

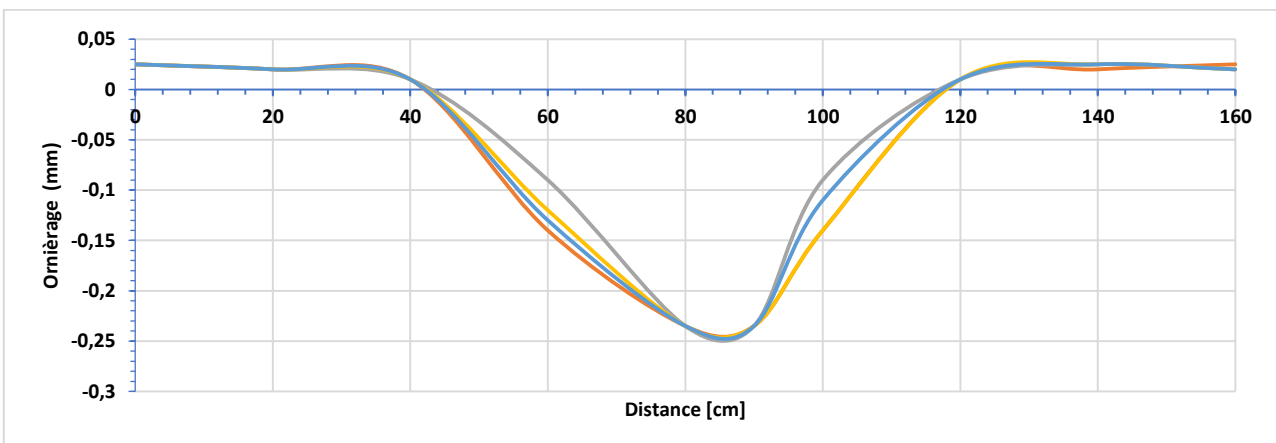


**Figure 8 :** La figure montre l'évolution de l'orniérage en fonction de la pression de gonflage suivant la teneur en poudre plastic.

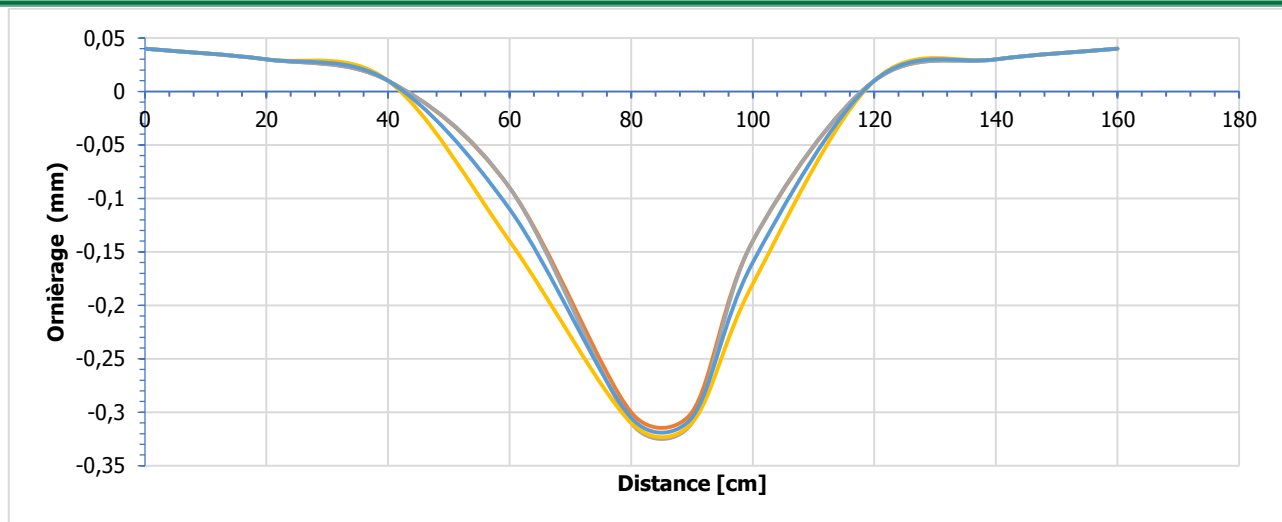


**Figure 9 :** La figure montre l'évolution de l'orniérage en fonction de la charge par essieu suivant la teneur en poudre plastic.

Maintenant, nous avons étudié l'effet des paramètres liés au charge et pression de gonflage qui sont montre la mesure de cisaillement. La charge de 11,5 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa donne des profondeurs environ de 4% par rapport au béton bitumineux sans déchet plastique (Figure 10) [12]. Par contre, l'augmentation de la pression de gonflage à 800 kPa avec une charge par essieu de 11,5 tonnes fait augmenter jusqu'à 24% (Figure 11). La profondeur de l'orniérage de béton bitumineux avec l'incorporation de déchet plastique est fiable par rapport au béton bitumineux avec le bitume [12].

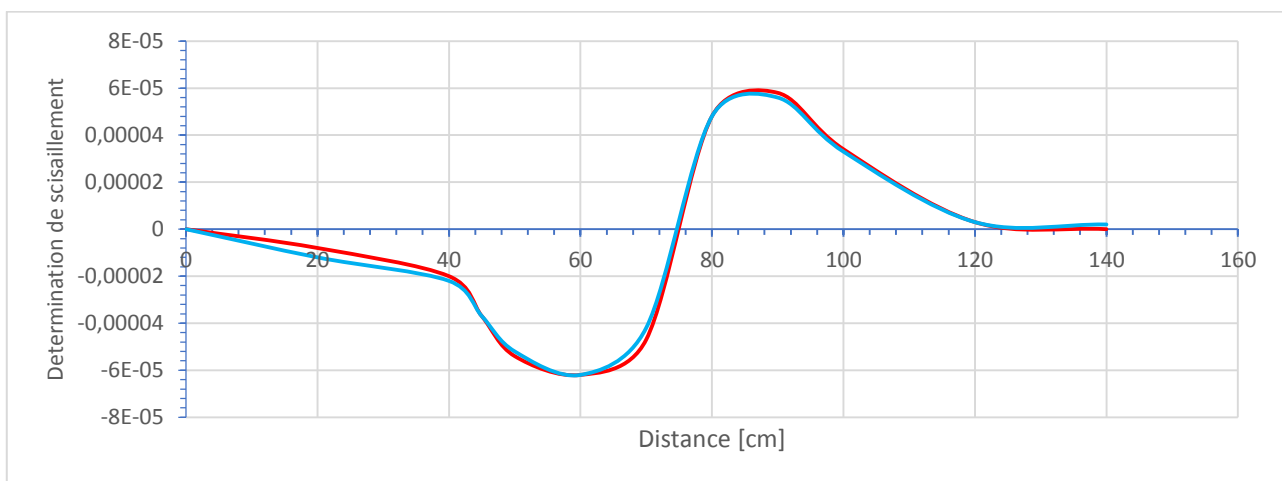


**Figure 10 :** Evolution de l'orniérage en fonction de incréments-temps de T et charge par essieu de 11,5t avec pression de gonflage 600 KPa.



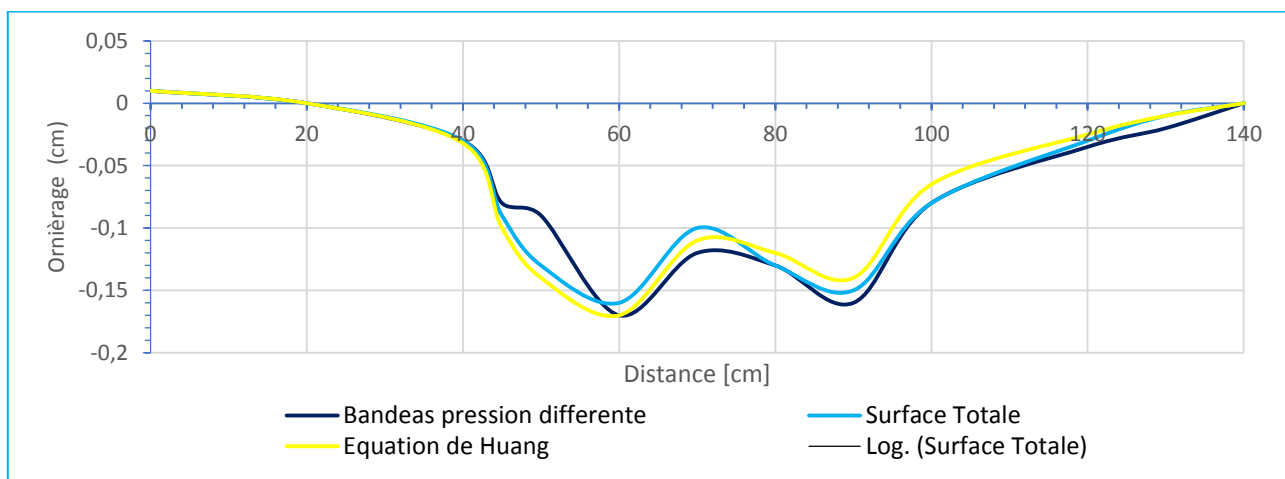
**Figure 11 :** La figure montre l'évolution de l'orniérage en fonction de incréments-temps de T et charge par essieu de 11,5t avec pression de gonflage 800 KPa.

Etudions présentement l'effet des paramètres liés au charge et pression de gonflage qui sont montre la mesure de cisaillement. La charge de 11,5 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa donne des profondeurs environ de 4% par rapport au béton bitumineux sans déchet plastique (Figure 12) [12].



**Figure 12 :** La figure montre l'évolution de l'orniérage en fonction de la charge par essieu de 11,5t avec pression de gonflage 600 KPa.

Etudions maintenant l'effet des paramètres liés au charge et pression de gonflage et bandes de roulement qui sont connaître la profondeur de de l'orniérage. La charge de 11,5 tonnes avec une pression de gonflage de 800 kPa fait augmenter l'orniérage de 16% (Figure 13). La profondeur de l'orniérage de béton bitumineux avec l'incorporation de déchet plastique est fiable par rapport au béton bitumineux avec le bitume [12].

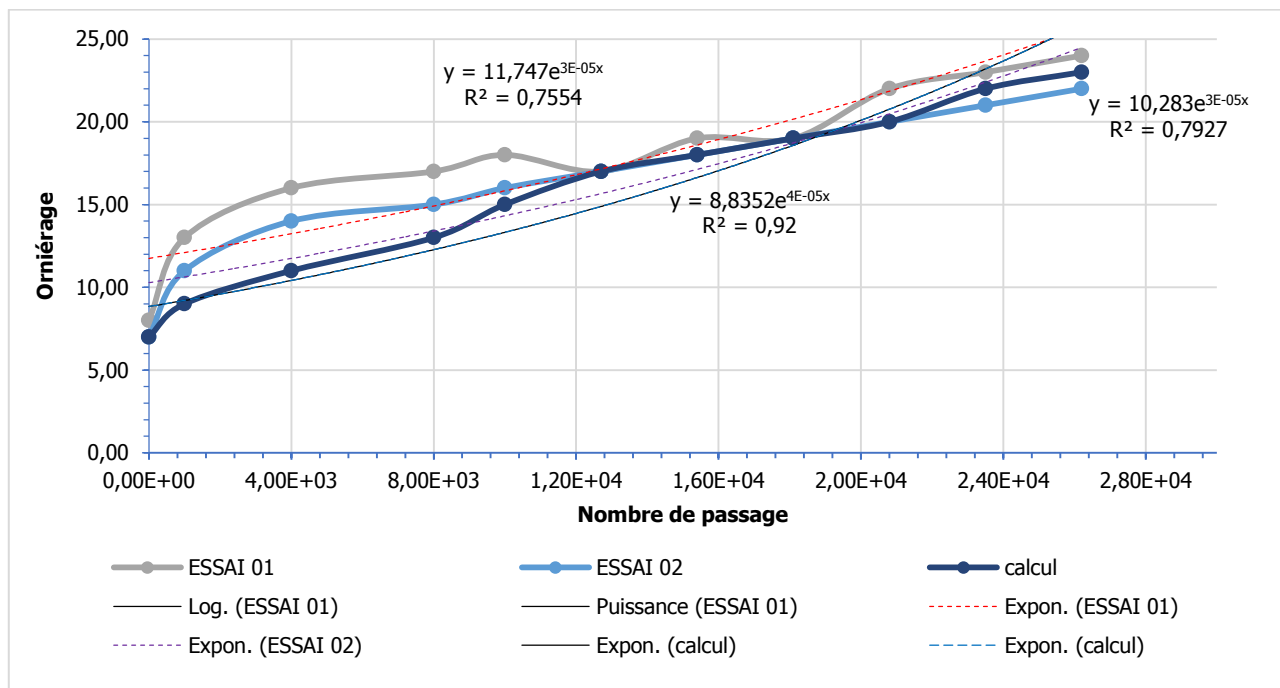


**Figure 13 :** La figure montre la détermination de cisaillement de l'orniérage en fonction de la Bandes pression avec charge par essieu de 11,5t avec pression de gonflage 800 KPa.



### 3.3 Comparaison essais – modélisation

La figure 14 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 [12].



**Figure 14 :** La figure montre le développement de l'orniérage en fonction de nombre de passages.

## 4. CONCLUSIONS

Cette communication a comporté une étude numérique du mécanisme d'orniérage dans les chaussées souples avec couches de surface en Huile Lourde de Tsimiroro incorporée de poudre de déchets plastique. Les résultats obtenus montrent qu'une modélisation élasto-viscoplastique pour les couches de surface et élastoplastique pour les couches inférieures reproduit bien ce phénomène. Les enrobés à haut module de déformation présentent une meilleure résistance à la température, et par conséquent réduisent le risque d'orniérage. L'intensité de la charge par essieu a une influence plus significative sur l'orniérage que la pression de gonflage, selon les tests et contrôle effectués par le Laboratoire National des Travaux Publics ainsi que des observations et recommandations pour construire des routes imperméables et durables à Madagascar. L'utilisation de ces nouveaux matériaux permet d'avoir beaucoup d'avantage :

- 1- Résistance à la température du béton bitumineux ;
- 2- Résistance à la viscoplastique et viscoélastique du béton bitumineux ;
- 3- Réduisent le risque d'instabilité ;
- 4- Maniabilité du béton bitumineux ;
- 5- Résistance à l'inondation.

**Remerciements :** Les auteurs tiennent à remercier Laboratoire Nationale, Le centre Nationale de Recherche Industriels et Technologie (CNRIT) Madagascar et des Travaux Publics Madagascar (LNTPB) 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] Collop A., Cebon D. A visco-elastic approach to rutting in flexible pavements, *Journal of transportation engineering*. January/February 1995;121(1):82-93.
- [2] A. Archilla, S. M. adanat. Estimation of rutting models by combining data from different sources pavements. University of Washington, Seattle, pp.673-692. 1997.
- [3] Skok E., Johnson E., Turk A.. Asphalt pavement analyses (APA) evaluation technical. Technical report, Minnesota department of transportation, September 2002.
- [4] A. Scarpas, R. Al-Khoury, R. Van C. Gurp S. Erkens. Finite element simulation of damage development in asphalt concrete pavements. Proceedings of 8th International conference on asphalt, 1997.
- [5] Lu Y., Wright J. Numerical Approach of Visco-elastoplastic analysis for asphalt mixtures. *Journal of Computers & Structures*. 1998; 69: 139-157.
- [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. 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/trb/1993/1384/1384-010.pdf>
- [8] White T., John M., Haddoc E., K Adam, Hand J., Hongbing F. Contributions of pavement structural layers to rutting of hot mix asphalt pavements. NCHRP report 468. 2002.
- [9] Chehab G., Kim Y., Schapery R., Witczack M., Bonaquist R. Time-temperature superposition principle for asphalt concrete mixtures with growing damage in tension state. *Journal of Asphalt paving technology*. 2002; 71: 559-593.
- [10] Perret J., Dumont A., Turtshy J., Ould-Henia M. Rapport de recherche : Evaluation des performances de nouveaux matériaux de revêtement (1ère partie) : Enrobés à haut module, OFROU (Office fédéral des routes), décembre 2001.
- [11] Perret J. Déformation des couches bitumineuses au passage d'une charge de trafic. Thèse présentée à l'EPFL Lausanne. 2003.
- [12] Ali B., Shahrour I., Woznica K. Etude du comportement mécanique des chaussées souples application à la prévision de l'orniérage, 17ème Congrès Français de Mécanique, Troyes, Septembre 2005. Available on : [https://www.researchgate.net/profile/Isam-Shahrour/publication/266491438\\_Etude\\_du\\_comportement\\_mecanique\\_des\\_chaussees\\_souples\\_application\\_a\\_la\\_prevision\\_de\\_l%27orni%C3%A9rage/links/544789370cf2f14fb811fddd/Etude-du-comportement-mecanique-des-chaussees-souples-application-a-la-prevision-de-lorni%C3%A9rage.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Isam-Shahrour/publication/266491438_Etude_du_comportement_mecanique_des_chaussees_souples_application_a_la_prevision_de_l%27orni%C3%A9rage/links/544789370cf2f14fb811fddd/Etude-du-comportement-mecanique-des-chaussees-souples-application-a-la-prevision-de-lorni%C3%A9rage.pdf)



**Cite this article: Ratsifaherandahy Flemond Dolin, Mamiharijaona Ramarason, Rajaonah Rabevala, Ramorason Jean De Dieu, et Randriamalala Tiana Richard. OMPORTEMENT MECANIQUE DES CHAUSSEES SOUPLES A L'INCORPORATION DU FONDU DE DECHETS DE SACHETS PLASTIQUES SUR LA CONSISTANCE DE L'HUILE LOURDE DE TSIMIRORO : APPLICATION A LA PREVISION DE L'ORNIERAGE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2022; 14(2): 74-83.**

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/>