



Simulation numérique des tassements d'une chaussée souple sous l'effet dynamique du poids lourd

KAHIL Amar¹, MEZIANI Faroudja², AKLI Ghiles³

^{1,2,3} Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou, Faculté du Génie de la Construction, Département de Génie Civil, 15000, Algérie

Résumé :

Les infrastructures routières, doivent présenter une efficacité économique et sociale. A travers des avantages et des coûts sociaux des aménagements réalisés, elles sont le principal vecteur de communication et d'échange entre les populations et jouent un rôle essentiel dans l'intégration des activités économiques à la vie locale. L'augmentation du chargement dû aux passages des poids lourds et de leurs fréquences engendrent des dégradations dans les différentes couches constituant les chaussées souples.

La présente étude s'intéresse à l'évaluation des tassements d'une chaussée souple sous l'effet du passage d'un camion tracteur et semi-remorque à 4 essieux (TSR4E), le cas fréquent en Algérie à l'aide d'un logiciel de calcul numérique (Plaxis 2D). Les résultats obtenus, montrent que les tassements maximaux sont localisés au-dessous des roues. L'interface la plus sollicitée en termes de déplacement (tassement) est la couche de roulement dans laquelle les pics de tassements sont localisés au-dessous des roues favorisant la dégradation de la couche de roulement.

Mots clé : Chaussées souples/ Plaxis 2D/ tassements/ poids lourds/chargement dynamique.

Abstract

Road infrastructures must be economically and socially efficient. Through the social benefits and costs of the developments carried out, they are the main vector of communication and exchange between populations and play an essential role in the integration of economic activities into local life. The increase in loading due to the passage of heavy goods vehicles and their frequency causes damage to the various layers of flexible pavements.

The present study is interested in the evaluation of the settlements of a flexible pavement under the effect of the passage of a 4-axle tractor truck and semi-trailer (TSR4E), the frequent case in Algeria, using a numerical calculation software (Plaxis 2D). The results obtained show that the maximum settlements are located below the road wheels. The results obtained show that the maximum settlements are located below the wheels. The interface most solicited in terms of displacement (settlement) is the wearing course where the settlement peaks are located below the wheels, which favors the degradation of the pavement.

Key words: Flexible pavement/ 2D Plaxis/ Settlements/ Heavy vehicles/ dynamic load

1. Introduction

Le réseau routier (corps de chaussée) joue un rôle essentiel dans le développement d'un pays car il représente une base sur laquelle se fonde plusieurs secteurs tels que le transport [1], donc il est le moyen vital de l'économie et du développement social d'un pays.

Le corps de chaussée est constitué principalement des couches de surfaces, d'assises et de forme [2], [3].

Les contraintes engendrées par les différents types de véhicules circulant sur les chaussées provoquent l'endommagement progressif de celle-ci et les rendent plus vulnérables.

Dans la réalité, l'interaction entre la surface de corps de chaussée et les véhicules notamment les poids lourds entraînent des charges dynamiques dues à l'oscillation verticale des roues, ce qui augmente les dégâts de la chaussée [4], [5], [6]. L'amplitude des charges dynamiques est dépendante du niveau de la rugosité de surface, de ses caractéristiques, ses propriétés, et les vitesses des véhicules lourds. La mesure de charges dynamiques dans des conditions normales d'exploitation est coûteuse, et l'estimation de la dégradation de la chaussée qui en résulte est difficile à cause de la grande variation des caractéristiques mécaniques des véhicules lourds circulant sur le réseau [7].

Le phénomène des charges dynamiques n'est pas pris en compte lors du dimensionnement et de l'analyse des structures de chaussées, bien qu'il puisse avoir une importance significative sur la durée de vie des chaussées. L'objectif principal de cet article est d'étudier l'effet du poids lourds sur la structure d'une chaussée souple, l'étude c'est focalisée sur l'évolution des tassements aux

niveaux des interfaces supérieures des différentes couches constituant le corps de chaussée souple.

2. Modélisation numérique

Le passage récidivé des poids lourds entraîne un endommagement progressif dans structures de chaussée dans le temps. Les structures en service, sont soumises à des sollicitations très complexes (multiples essieux) et l'agressivité de ces véhicules cause de plusieurs dégâts (tassements) dans le corps chaussée notamment dans la couche de roulement.

Dans la présente étude, l'endommagement est représenté par les tassements des couches constituant le corps de chaussée, ou le logiciel Plaxis 2D [8] est utilisé afin de modéliser le problème.

2.1. Modèle géométrique

Le modèle géométrique choisi pour la modélisation de la chaussée est présenté dans la figure 1, le modèle géométrique est composé d'un sol support d'une hauteur de 5m, cette hauteur est déterminée après une étude de convergence du maillage surmonté par les couches constituant le corps de chaussée.

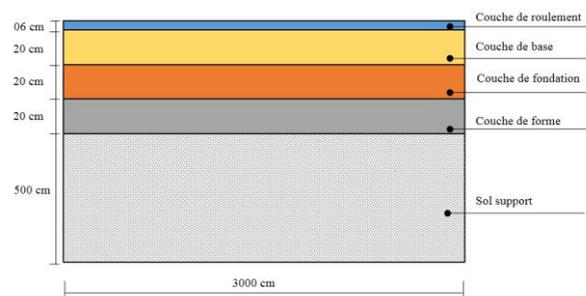


Figure 1. Modèle géométrique du corps de chaussée

2.2. Lois de comportement utilisées

Les lois de comportement utilisées dans la simulation numérique sont, le modèle élasto-plastique de Mohr-coulomb pour les différentes couches du corps de chaussée ainsi que le sol support, et le modèle élastique pour la couche de

roulement. Les paramètres géotechniques utilisés pour les deux modèles sont récapitulés dans le tableau 1 [8].

Tableau 1. Paramètres géotechniques des différentes couches de chaussée.

Matériaux	Couche de roulement (CR)	Accotement	Couche de base (CB)	Couche de fondation (CF)	Couche de forme (CFR)	Sol support (SS)
Épaisseur (m)	0,06	0,66	0,2	0,2	0,2	5
Module de Young [E] (KN/m ²)	5,4.10 ⁵	3.10 ⁵	2,5.10 ⁵	3.10 ⁵	1,4.10 ⁵	1,4.10 ⁵
Coefficient de Poisson [ν]	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Le poids volumique[γ] (KN/m ³)	25	22	21,3	22	22	20
Cohesion [C] (KN/m ²)	/	20	30	20	20	20
Angle de frottement(φ) (degré)	/	44	43	44	36	36
Angle de dilataance (ψ) (degré)	/	14	13	14	6	6

2.3. Charges et surface de contact pneu – chaussée

La charge des véhicules poids lourd est transmise à la chaussée sous forme de pressions par l'intermédiaire des pneumatiques qui exercent des efforts sur la surface de contact pneu-chaussée.

La surface de contact est un paramètre important pour l'analyse du comportement des chaussées. Pour la majorité des analyses, la forme de l'empreinte du pneu est supposée circulaire [9], mais, en réalité, elle est plus près d'un rectangle que d'un cercle. Weissman et al [10], ont confirmé que l'empreinte est proche de la forme rectangulaire indépendamment du type de pneu. Par contre, Luo [11] a montré que la forme de l'empreinte évolue de la forme rectangulaire avec un pneu simple à une forme ovale pour un pneu super single et Blab [12] a confirmé que l'utilisation d'une géométrie circulaire de l'empreinte est insuffisante. L'équation suivante est utilisée pour déterminer les dimensions du rectangle [13] :

$$A_c = \pi(0.3L)^2 + (0.4L)(0.6L) = 0.5227L^2 \quad (1)$$

En modélisation 2D, la surface de contact pneu-chaussée est représentée par deux demi-cercles et

un rectangle. Elle est convertie en rectangle équivalent (Figure 2) de surface $0.5227L^2$ et de largeur $0,6L$; avec : (L) est en fonction de la charge (Q) et de la pression de contact (q) [13].

$$L = \sqrt{\left(\frac{Q}{q \cdot 0.5257}\right)} \quad (2)$$

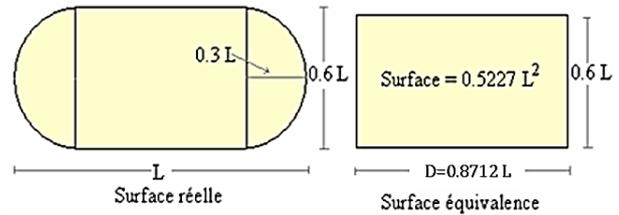


Figure 2. Simplification de la surface de contact pneu-chaussée [3].

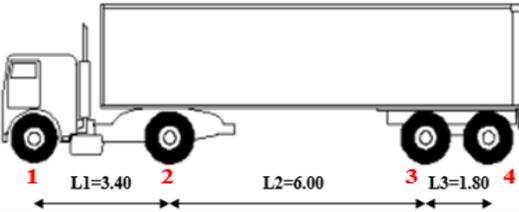
2.4. Configuration des essieux

Trois configurations d'essieux sont utilisées : essieu simple ; tandem et tridem. Le nombre et l'espacement d'essieux sont des facteurs déterminants pour la transmission des charges à la chaussée. L'augmentation du nombre d'essieux réduit la charge transmise à la surface de la chaussée à charge égale [14]. Un essieu simple produit plus d'endommagement qu'un essieu tandem [15]. Egalement, un essieu tridem produit moins d'endommagement qu'un essieu tandem.

Hajek et al. [16] ont montré qu'une augmentation de l'espacement d'essieux semble réduire l'endommagement des chaussées souples [14]. Contrairement à cette nuance, Gillespie [7] a signalé que l'espacement d'essieux n'a pas d'influence sur l'orniérage des chaussées souples. La norme AASHTO [17] stipule que l'effet d'espacement d'essieux augmente avec la rigidité des chaussées [14]. Le tableau 2 récapitule les différentes charges de références à prendre en compte dans les calculs (Q), la longueur équivalente de chaque roue d'un essieu (D), les différentes longueurs entre les essieux (L) et les différents temps de passage des roues des essieux

sur le même point (au-dessous des essieux) (T) pour un camion tracteur et semi-remorque à 4 essieux (TSR4E), le cas fréquent en Algérie.

Tableau 2. Caractéristiques des camions tracteur et semi-remorque à 4 essieux (TSR4E),

Camion porteur à 4 essieux (TSR4E)	
	
Longueur équivalente de chaque roue d'un essieu D (cm)	D ₁ = 31 D ₂ = 46 D ₃ = D ₄ = 39
Charge d'essieu fréquente Q (kN)	Q ₁ =90 Q ₂ =190 Q ₃ =140 Q ₄ =140
Le temps T(s)	T ₁ =0.15 T ₂ =0.27 T ₃ =0.08

3. Simulation du chargement du trafic

3.1. Cas d'un camion porteur à quatre essieux (TSR4E)

Pour modéliser numériquement la charge dynamique des poids lourds sous les quatre essieux (figure 3), on considère que la vitesse reste constante et que l'intensité de la charge varie en fonction du temps de chargement. Afin de simplifier le processus de simulation d'une charge roulante, a été proposé par Huang [13] pour décrire la relation entre la durée de charge mobile et l'amplitude de cette charge à la surface de la chaussée [18], [19]. Dans la présente étude, la charge est modélisée par une fonction sinusoïdale dans laquelle l'amplitude maximale (le pic) est localisée au moment de passage de la roue sur un point donné de la chaussée. La simulation de la charge dynamique du passage de camions de type TSR4E est effectuée avec un déplacement imposé qui suit l'évolution illustrée dans la figure 4.

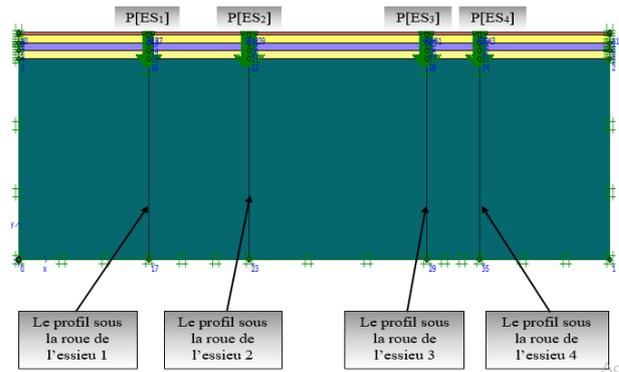


Figure 3. Profils verticaux au-dessous des roues

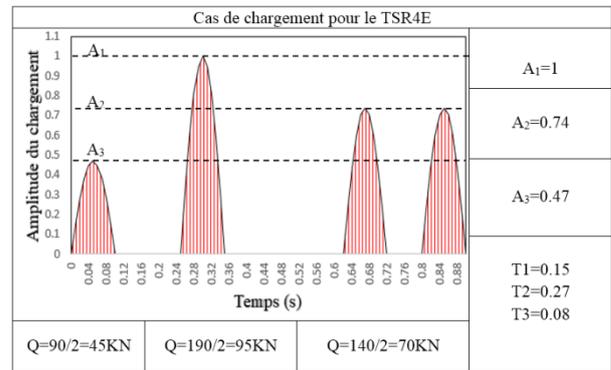


Figure 4. Chargement dynamique du passage du camion

3.2. Tassements suivant le profil en long

L'évolution des tassements sur les interfaces supérieures des couches (figure 5) du corps de chaussée lors de passage du camion de type TSR4E sont représentés sur les figures 6 à 10 suivantes

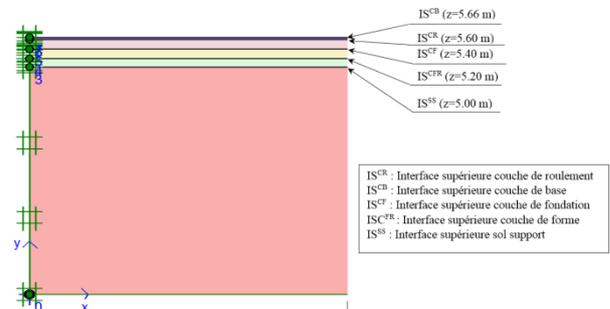


Figure 5. Interfaces supérieures des couches du corps de chaussée

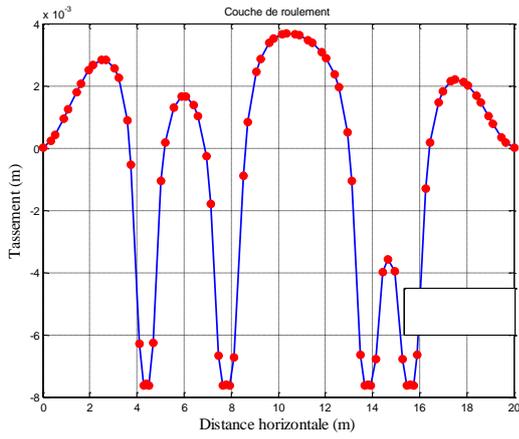


Figure 6. Variation des tassements sur IS^{CR}
(Z=5.66m)

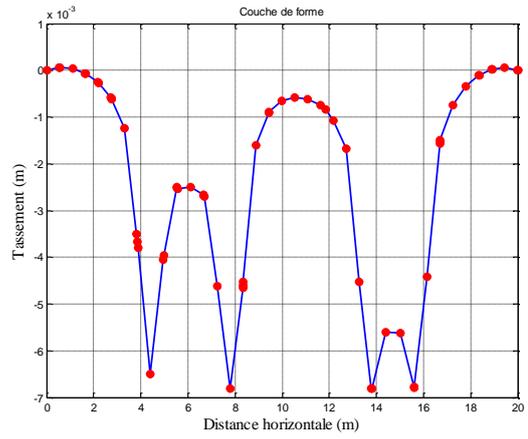


Figure 9. Variation des tassements sur IS^{CFR}
(Z=5.20m)

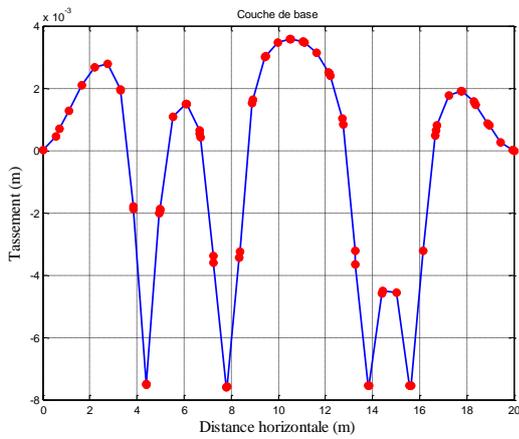


Figure 7. Variation des tassements sur IS^{CB}
(Z=5.60m)

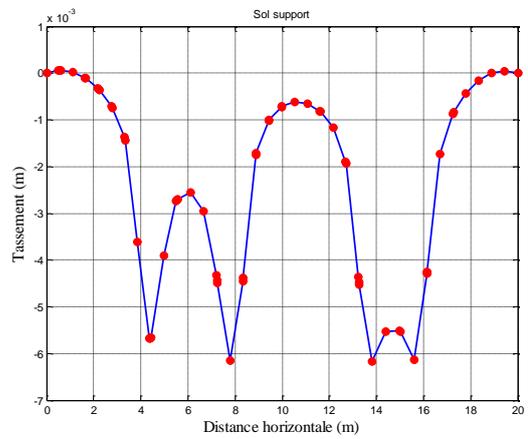


Figure 10. Variation des tassements sur IS^{SS}
(Z=5.00m)

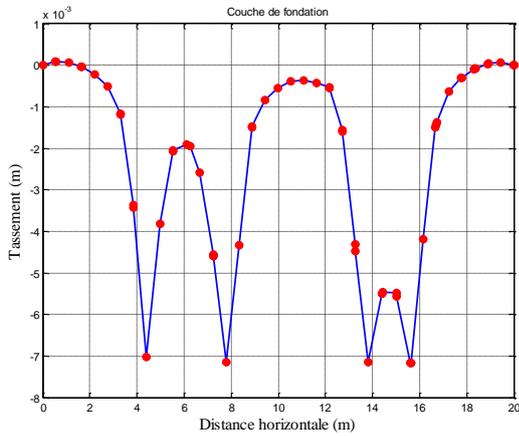


Figure 8. Variation des tassements sur IS^{CF}
(Z=5.40m)

Les figures (6 à 10) représentent la variation des tassements sur les interfaces supérieures des couches du corps de chaussée, selon le cas étudié (TRS4E), les tassements maximaux sont localisés au-dessous des roues. L'interface la plus sollicitée en termes de déplacement (tassement) est la couche de roulement avec une valeur de 7.62 mm (Figure 6).

La figure 11 représente l'évolution des tassements max sous les roues de TSR4E. Ils sont en mode décroissant d'une couche à une autre (Figure 11).

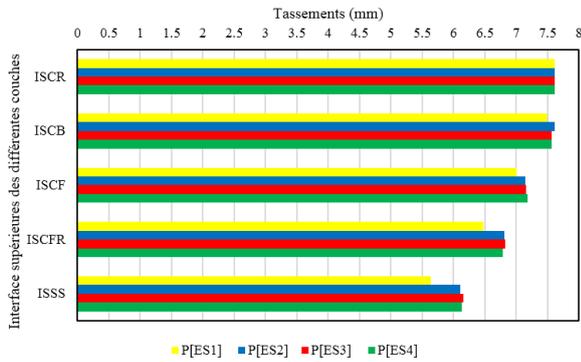


Figure 11. Tassements maximaux sur les interfaces supérieures des couches aux profils P[ES₁], P[ES₂], P[ES₃] et P[ES₄].

Les tassements aux différents profils verticaux sont pratiquement les mêmes sauf pour ceux de P[ES₁] qui sont clairement plus faible que les autres, car la charge appliquée sous P[ES₁] est plus légère que les autres charges. Pour (IS^{CR}), les tassements sont égaux sur tous les profils (7.62 mm).

La figure 12 représente l'évolution des tassements sur les profils P[ES₁], P[ES₂], P[ES₃] et P[ES₄]. Le tassement maximal obtenu se trouve à l'interface supérieure de la couche de roulement avec une valeur de 7.62 mm et il suit une fonction décroissante jusqu'à ce que la valeur du tassement s'annule à la base du modèle (soit à z=0.0m).

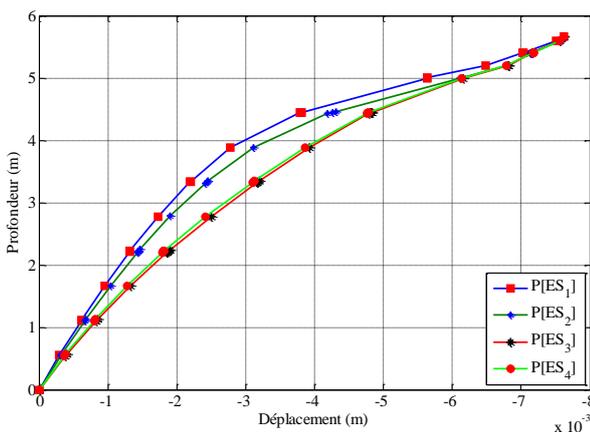


Figure 12. Evolution des tassements sous le profil P[ES₁], P[ES₂], P[ES₃] et P[ES₄]

4. Conclusion

Le comportement des chaussées routières souples est sans aucun doute la compréhension de la variation de l'état de charge et de déformation y régnant durant le passage d'une charge de trafic. La détermination de ces sollicitations peut se réaliser selon des modélisations numériques.

Dans cette étude numérique, nous avons fixé comme objectif, l'étude de l'effet du trafic sur l'évaluation des tassements d'une chaussée souple. Le calcul de déformations et de tassements a été réalisé à l'aide du logiciel de calcul en éléments finis Plaxis 2D.

Les résultats obtenus après la modélisation montrent que le passage d'une tractrice semi-remorque à quatre essieux (TSR4E), engendre un tassement maximal de 7.62 mm sur la l'interface supérieure de la couche de roulement.

Sur la base des résultats obtenus, les déplacements à la surface de contact concordent bien avec la réalité mais les tassements obtenus sous le passage d'un camion semi-remorque à 4 essieux (le cas le plus courant en Algérie) peuvent être à l'origine de dégradation du corps de chaussé par la formation des orniérages.

5. References

- [1] Si, Z. Little, D. and Lytton, R. (2002). Characterization of Microdamage and Healing of Asphalt Concrete Mixture. *Journal of Materials in Civil Engineering/* November/December 461-470.
- [2] MEZIANI, F., (2008). Amélioration des caractéristiques mécaniques d'une couche de chaussée souple par des matériaux composites, Tizi Ouzou: UMMTO.
- [3] PAUTE J.-L., HORNYCH P., BENABEN J.-P. (1994), Comportement mécanique des graves non traitées, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 190, mars-avril, pp. 27-38.

- [4] Cebon, D. (1993). Interaction Between Heavy Vehicles and Roads. Technical report, Cambridge University Engineering Department, Cambridge, UK
- [5] Blab, R., Harvey, J. (2002). Modeling Measured 3D Tire Contact Stresses in a Viscoelastic FE Pavement Model. *Journal of Engineering Mechanics* Volume 2, Issue 3, pp. 271-290.
- [6] Panoskaltis, V. and Panneerselvam, D. (2005). An Anisotropic Hyperelastic-ViscoplasticDamage Model for Asphalt Concrete Materials and Its Numerical Implementation. 5th GRACM International Congress on Computational Mechanics Limassol, 29 June – 1 July,
- [7] Gillespie, D., Karanahas, M., Sayers, W., Nasim, A., Hansen, W., Ehsan, N., and D. Cebon. (1993). Effects of Heavy-Vehicle Characteristics on Pavement Response and Performance. NCHRP Report 353. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board. Washington. pp. 132.
- [8] Brinkgreve R.B.J, Engin E., Swolfs W.M.(2012). Tutorial plaxis 2D, delft university of technology & plaxis bv, The Netherlands.
- [9] Park, D-W., Martin, A. and Masad, E., (2005). Effects of Nonuniform Tire Contact Stresses on Pavement Response. *Journal of Transportation Engineering* Volume 131, Issue 11, pp. 873-879 (November 2005)
- [10] Weissman, S., Harvey, J., Sackman, J., and Long, F. (1999). Selection of Laboratory Test Specimen Dimensions for Permanent Deformation of Asphalt Concrete Pavements. published in *Transportation Research Record*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C, 1999.
- [11] Luo, R. and Prozzi, J. (2005) Evaluation of the Joint Effect of Wheel Load and Tire Pressure on Pavement Performance Research Report SWUTC/05/167245-1 Center for Transportation Research University of Texas at Austin Austin, Texas.
- [12] Blab, R. (1999). Introducing Improved Loading Assumptions into Analytical Pavement Models Based on Measured Contact Stresses of Tire. Paper Number: CS5-3 Submitted to the International Conference on Accelerated Pavement Testing.
- [13] Huang, Y.H. (1993). *Pavement Analysis and Design*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [14] Stolarski, H. (1999). Load Testing of Instrument Pavement Section, prepared by: University of Minnesota Department of Civil Engineering submitted to: Mn/DOT Office of Materials and Road Research Maplewood.
- [15] Kim, D., Salgado, R. and Altschaeffl, A. (2005). Effects of Super single Tire Loadings on Pavement. *J. Transp. Engrg.*, Volume 131, Issue 10, pp. 732-743
- [16] HAJEK J. J., AGARWAL A. C., (1991). “Influence of Axle Group Spacing on Pavement Damage”, *Transportation Research Record*: 1286, pp. 138-148.
- [17] AASHTO, (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington.
- [18] G. Pan and S. N. Atluri, (1995). Dynamic response of finite sized elastic runways subjected to moving loads: A coupled BEM/FEM approach, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, vol. 38, no. 18, pp. 3143-3166.
- [19] W. Shen and D. J. Kirkner (2001), Non-linear Finite-Element Analysis to Predict Permanent Deformations in Pavement Structures Under Moving Loads, *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 187-199.