

UTILISATION DE COPEAUX DE PNEUS EN REMBLAI ROUTIER

USE OF SHREDDED-TYRES IN ROAD BALLAST

Jean-Luc RZADKIEWA, Didier VIRELY

CETE SO Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse, France

RÉSUMÉ – Un exemple d'utilisation de copeaux de pneus en remblai est présenté. Des pneus déchiquetés ont été utilisés, sur la déviation de Maubourguet (Hautes Pyrénées) seuls ou mélangés à des sablines *déchets* issus des gravières locales après lavage des granulats.

ABSTRACT – This paper illustrate the use of shredding of scrap tires in ballast. The shredded tyres were used on the Maubourguet (Hautes-Pyrénées county) bypass alone or blended with sablines ("waste" of the local gravel pits after washing).

1. Introduction

Le recyclage des pneus représente un défi pour tous les pays. Chaque année en France, les industriels doivent trouver une destination pour 350 000 tonnes de pneus usagés. Ils doivent aussi traiter les multiples stocks sauvages existants. La directive européenne (Parlement Européen, 2000) interdit la mise en décharge de pneus. L'objet de cette communication est de faire partager une expérience d'utilisation de pneus déchiquetés en remblai.

Les copeaux de pneus mis en remblai, présentent un comportement global déstabilisant pour un géotechnicien, en effet, l'armature métallique des pneus procure au remblai un comportement de matelas à ressorts. Alors que dans le cadre de terrassements, un effet d'enclume est recherché afin de permettre le compactage. L'utilisation de ces produits en remblai constitue un défi.

2. Aspect environnemental

Les études des lixiviats collectés sur d'autres sites montrent que pour tous les métaux lourds et composés organiques, les mesures donnent des niveaux sensiblement inférieurs aux exigences réglementaires (Toxicity Characteristics Leaching Procedure,(ACCWA, 2003)). Les substances qui peuvent éventuellement se dégager des pneus usagés sont présentes à bas niveau dans les nappes des zones habitées. Les niveaux des lixiviats sont significativement sous les limites réglementaires et présentent un impact négligeable sur la qualité de l'eau. En d'autres termes, il n'est pas utile, à ce jour, de se préoccuper des ruissellements qui pourraient prendre place au travers des remblais réalisés avec des copeaux étant entendu que les produits sont propres.

Les exigences environnementales pour les copeaux de pneus sont résumées, ci-après, suivant un extrait de AC CWA 114243 (ACCWA, 2003) :

- Énergie consommée pour la préparation : 125 kWh/t

- Précautions :
 - Pneus non contaminés par des huiles, graisses, et autres produits qui pourraient être lessivés dans la nappe ;
 - Absence de pneus partiellement brûlés ;
 - Absence après déchiquetage d'armatures métalliques exposées sur plus de 12 mm ;
 - Protection des ouvriers avec les Équipements de Protection Individuels usuels.

La présence de nombreuses armatures nues, laisse cependant penser que des altérations de ces fils métalliques sont à attendre lorsque les couteaux de la déchiqueteuse ne sont pas régulièrement entretenus.

Une approche de type *bilan carbone* permet de comparer les coûts de transport. Un camion (avec une benne de grand volume du type utilisé pour le transport de céréales) transporte 25 tonnes de copeaux de pneus, qui, une fois mis en œuvre, génèrent 40 m³ de remblai. Un camion transporte 28 tonnes de terre qui, une fois compacté, génère 14 m³ de remblai. Il s'agit là d'une approximation, car selon la granulométrie des pneus déchiquetés, il peut y avoir des écarts de densité et donc de quantités d'au moins 15 %. L'écart d'impact (coût, CO₂), à distance égale, entre le transport de copeaux de pneu et de terre est donc supérieur à 2. Cet avantage est, cependant, fortement dépendant de la distance entre le chantier et le centre de collecte et déchiquetage des pneumatiques.

3. Stabilité, comportement et conception

La reptation et l'auto-combustion sont deux paramètres qui sont à prendre en compte lors de la conception.

Mis en œuvre sans précaution particulière, le remblai constitué uniquement de copeaux de pneus voit ses flancs évoluer sous l'effet des charges dynamiques répétées. Un phénomène de reptation des pneus faisant évoluer des faces pentées à trois horizontal pour deux vertical vers une pente sub-v verticale est constaté. L'utilisation d'un géotextile en renforcement des flancs du remblai (burrito) permet de pallier ce comportement. Sur le chantier de la déviation de Maubourguet, un géotextile a été utilisé pour encager le mélange sol – copeau constituant les faces du remblai.

Les copeaux de pneus mis en remblai sont susceptibles de brûler par auto combustion (trois cas de combustion aux USA, mal documentés et donc sans identification des causes (HUMPHREY, 1996)). Bien que l'auto-combustion soit exclue par l'atelier européen (ACCWA, 2003), le remblai a été protégé de ce désordre par un encagement de terre coupant les pneus d'une source d'oxygène.

4. Caractéristiques physiques et mécaniques

L'évaluation de la densité de ces matériaux et de leur porosité (Tableau I) est importante. Des essais de compactage en laboratoire ont été pratiqués à l'aide d'un moule Proctor géant (ce moule d'un diamètre et d'une hauteur de 300 mm est compatible avec des copeaux de 150 mm × 150 mm). Les caractéristiques de la dame, masse et hauteur de chute ont été déterminées pour correspondre à l'énergie Proctor normal. Le moule est étanche. Les pneus ont donc été mis en place par

compactage, pesés, puis, le volume a été complété avec de l'eau pour estimer le volume des vides.

Un second test a été réalisé avec un mélange de pneu et de sol.

Tableau I. Caractéristiques physiques des différents mélanges

<i>Pneus seuls</i> (copeaux de 150 mm x 150 mm)	<i>Pneus seuls</i> (copeaux de 75 mm x 75 mm)	<i>Pneus et sol</i> (mélange 50% de pneus et 50% de sol à la teneur en eau OPN)
Densité des pneus compactés seuls: 0,54 t/m ³ Densité spécifique des pneus: 1,319 t/m ³ Porosité = 59,2 %	Densité des pneus compactés seuls: 0,63 t/m ³ Densité spécifique des pneus: 1,307 t/m ³ Porosité = 51,6 %	Densité du mélange sol-pneu: 1,361 t/m ³ Densité du sol au sein des pneus: 1,381 t/m ³ Densité du sol utilisé à l'OPN : 1,91 t/m ³

Les pneus mis en place seuls gardent un volume de vide très important. Ce produit est utilisé à des fins de drainage ou de réservoir écrêteur de crues. Le compactage contribue à la mise en place des pneus mais une part importante de l'énergie de compactage est restituée élastiquement. La taille des copeaux peut amener des écarts d'au moins 15% en terme de densité et, par conséquent, de quantité mise en œuvre.

Les caractéristiques mécaniques du mélange sol-pneus (50 / 50) ont été évaluées avec les copeaux de 75 mm × 75 mm dans une boîte de cisaillement de grande dimension du Centre d'essai routier de Rouen (0,50 m × 0,50 m). Les cisaillements ont été menés aux trois contraintes de 50, 100 et 150 kPa (Figure 1). L'angle de frottement interne et la cohésion mesurés sont $c' = 4,2$ kPa et $\phi' = 58^\circ$.

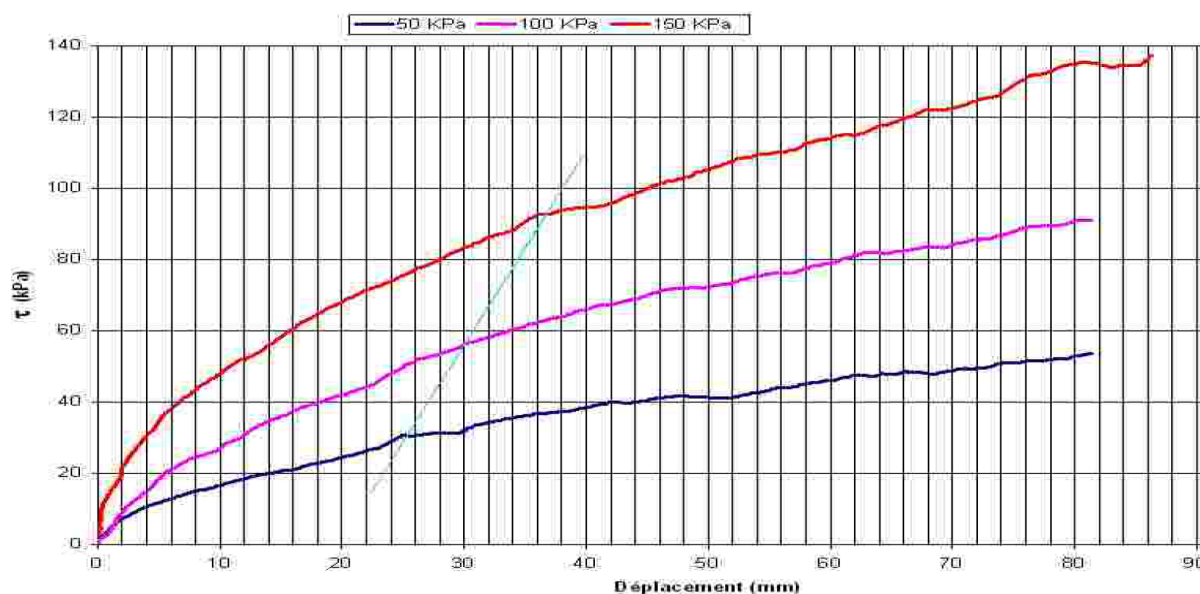


Figure 1. Essai de cisaillement d'un mélange copeaux (50 %) et sablines (50 %) (CER-Rouen)

Pour la sabline l'angle de frottement et la cohésion sont $c' = 6,4$ kPa et $\varphi' = 36,1^\circ$. Ces valeurs ont été déterminées au triaxial (Figure 2) avec une contre-pression de 400 kPa. Les sablines ont été reconstituées à la masse volumique de l'optimum Proctor Normal, l'essai a porté sur la fraction 0 – 5 mm.

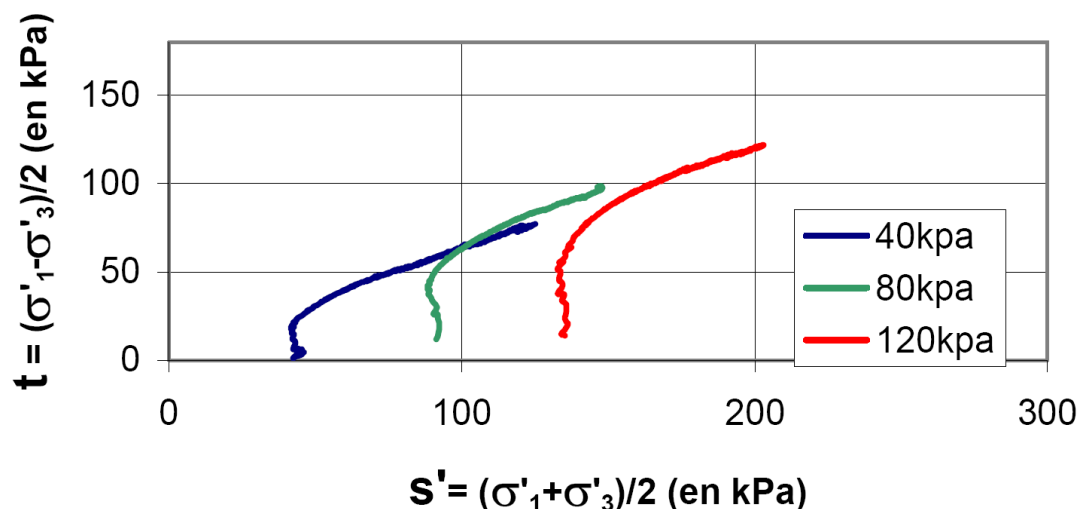


Figure 2. Essai triaxial S 272 (L.R.P.C. Toulouse)

Comme le montre les données compilées par (EDINÇLILER et al., 2004) et plus particulièrement les essais pratiqués par (TATLISOZ et al., 1998), la présence de copeaux augmente sensiblement les valeurs de l'angle de frottement. Le tableau II présente les résultats de ces derniers auteurs.

Tableau II. Essais de cisaillement à la boîte (TATLISOZ et al., 1998)

Composition	Poids volumique (kN/m³)	Cohésion et angle de frottement
100 % chips (¹)	5,9	$c' = 0,0$ kPa et $\varphi' = 30^\circ$
100 % sable silteux	18,3	$c' = 2,0$ kPa et $\varphi' = 30^\circ$
90 % ss + 10 % chips	17,6	$c' = 8,0$ kPa et $\varphi' = 53^\circ$
80 % ss + 20 % chips	17,0	$c' = 38,0$ kPa et $\varphi' = 54^\circ$
70 % ss + 30 % chips	18,9 (?)	$c' = 8,0$ kPa et $\varphi' = 53^\circ$

Les résultats obtenus avec les produits de la présente étude sont tout à fait comparables aux données tirées de la bibliographie.

5. Description du remblai

Le remblai comporte trois parties (Figure 3) :

- Une base de 1,8 m de copeaux de pneus utilisés seuls encagés sous le terrain naturel ;

¹ Suivant les recommandations européenne, la terminologie nomme chips des éléments d'une taille inférieure aux copeaux (10 – 50 mm).

- 0,5 m d'un mélange de sol et de copeaux issu de la planche expérimentale de 2008 suivi de 1 à 2 m de mélange de pneus 50 % et de 50% de sabline ;
- Entre 1,4 et 2,5 m de grave alluvionnaire D3 (norme NF P 11-300) appelée couche de forme sur pneu.

La couche de forme est identique à celle rencontrée sur l'ensemble alluvionnaire :

- 30 cm de grave alluvionnaire D3 identique à la couche précédente ;
- 15 cm de couche de réglage en 0/20 concassé.

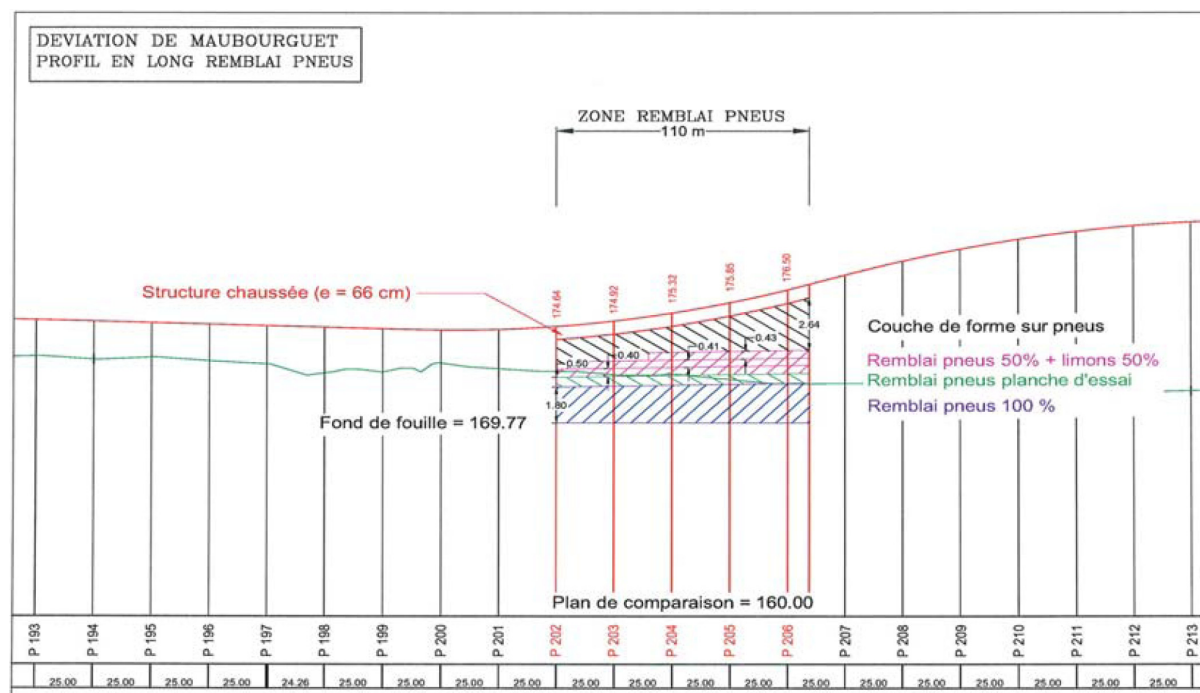


Figure 3. Vue en coupe selon profil en long

6. Mise en œuvre - compactage

La préparation du mélange sol copeaux de pneus in situ doit respecter les étapes suivantes :

1. Régalaie d'une couche de pneu ;
2. Régalaie d'une couche de sol sur ces pneus ;
3. Premier mélange par ripage au bull trois dents ;
4. Mise en tas du mélange au bull ;
5. Reprise à la pelle et transport par tombereau ;
6. Régalaie à la lame par le compacteur à pieds de moutons SP1.

La figure 4 montre le mélange sol-copeaux de pneus qui est régalaie au pied de mouton SP1. Le géotextile placé sur le bord du remblai est replié avant de mettre la couche suivante (burrito). Le compactage est effectué au vibrant à pied dameurs VP5.

La mise en place des pneus seuls a été réalisée au rouleau à pied dameur statique de 15 tonnes (SP1). Un compacteur de 32 tonnes (SP2) aurait été préférable ; ce type de rouleau avait été utilisé pour la planche expérimentale.

Le compactage du mélange sol-pneu a été effectuée au vibrant à pied d'homme VP5. Des essais de compactage comparatifs ont montré que l'efficacité de cet engin était nettement supérieure à celle du SP1, trop léger et utilisé sur une zone trop exigüe.



Figure 4. Vue générale du chantier - préparation d'un burrito

7. Vibrations

Un comportement singulier du remblai aux vibrations a été relevé. Plusieurs campagnes de mesures avec des transducteurs de fréquence propre 2 Hz et des accéléromètres. En dépit d'une couche épaisse de grave alluvionnaire recouvrant les copeaux de pneus, ceux-ci semblent « réfléchir » les vibrations. Un camion circulant sur une chaussée génère, au niveau du sol, une sollicitation vibratoire fonction de la qualité de l'uni de la chaussée. Cette vibration semble être réfléchiée par les pneus et remonte vers la surface. Cette caractéristique pourrait peut être avoir une incidence sur le vieillissement des couches de chaussées. Si l'uni de la chaussée est « parfait », ce comportement est masqué.

8. Suivi du comportement du remblai par profilomètre

Les profilomètres sont constitués de tubes souples en PEHD installés à l'interface mélange de pneus et sabline et de la couche de grave alluvionnaire. Les déplacements verticaux du tube (horizontal) sont mesurés à l'aide d'une sonde déplacée d'une extrémité à l'autre du tube. Les mesures sont « calées » par rapport à une dalle de béton dont la position a été repérée par nivellement. La mesure

fournit un profil en travers du remblai avec une précision de ± 5 mm (selon le fabricant de l'appareil).

Les tassements enregistrés (Figure 5) sont pour l'instant proportionnels à la charge appliquée au remblai en copeaux de pneus. Les mesures se poursuivent.

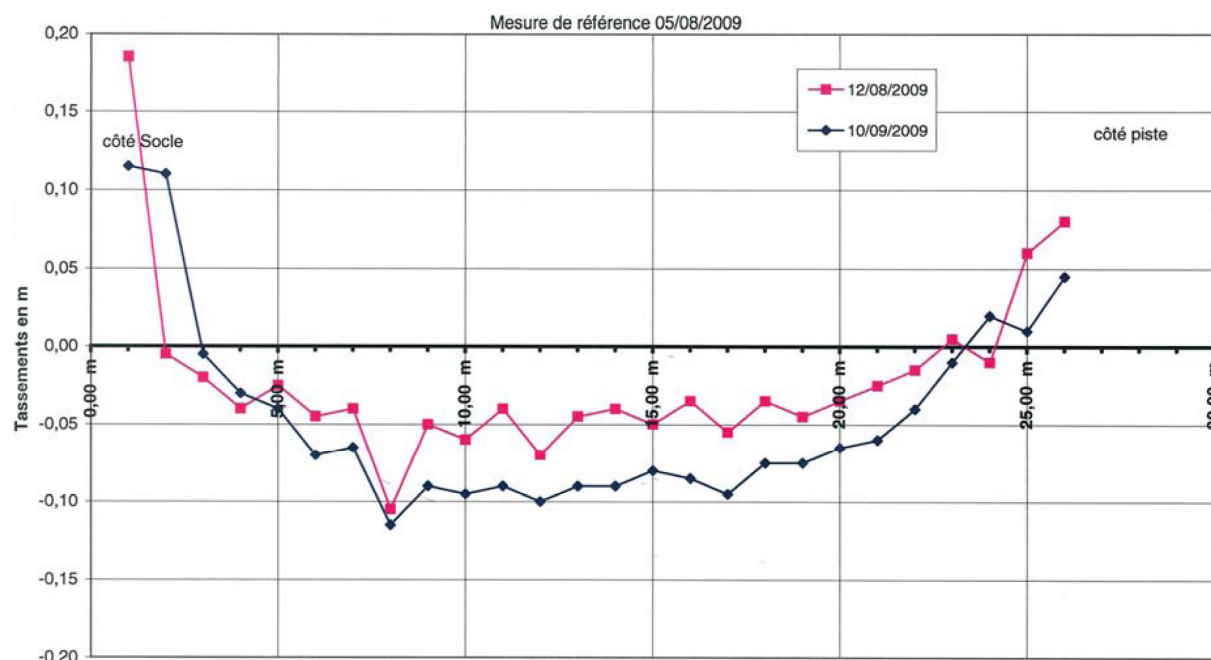


Figure 5. Suivi des tassements au profilomètre - Profil 206 (L.R.P.C. de Bordeaux)

9. Qualité de la plate forme support de chaussée

Les mesures de déflexions effectuées au niveau de la couche de réglage sur la couche de forme montrent des valeurs semblables pour la zone pneu et pour les zones en matériaux naturels. La plate-forme est homogène au niveau des déflexions mesurées : de l'ordre de 50 centièmes de millimètre ce qui correspond à une PF3. Ces mesures sont pratiquées avec des matériels (plaque, dynaplaque ou déflectographe) dont la zone d'influence reste dans la couche de forme en grave.

10. Chaussée

Pour la zone en copeaux et sabline, les couches de chaussée et de roulement ont été réalisées avec des techniques d'enrobé à froid, développées au L.R.P.C. de Toulouse dans le cadre de la *route verte*. Hors expérimentation, des structures de chaussée à *chaud* classiques ont été appliquées.

Un suivi à long terme sera réalisé :

- pour observer le vieillissement comparé des deux types de chaussées
- pour observer une structure reposant sur deux remblais différents.

11. Conclusions

Les copeaux de pneus déchiquetés peuvent être employés en matériaux de remblai, seuls ou mélangés avec un sol. La principale difficulté dans l'emploi de ce type de produit en remblai routier est la nécessité de les recouvrir d'un matériau dont l'épaisseur est suffisante pour gommer le comportement élastique apporté par les copeaux de pneus. Les matériaux de couverture doivent aussi pouvoir être densifiés en dépit d'un effet d'enclume limité. La plate forme routière érigée sur ce chantier présente les mêmes qualités sur le remblai en pneus que sur le remblai classique avec les moyens d'investigation classique.

Cette expérience laisse des zones d'ombre, et notamment l'étude du comportement aux vibrations des massifs de copeaux de pneus (les pneus semblent réfléchir les ondes de choc). Il est possible que cette caractéristique ait une incidence sur le vieillissement des couches rigides situées à proximité des copeaux de pneu.

L'usage des copeaux de pneus ne requiert pas d'atelier de mise en œuvre spécifique contrairement à la technique du pneu-sol. La densité finale de ces deux types de structures est très voisine.

12. Remerciements

Nous remercions le conseil général des Hautes-Pyrénées et le SETRA (Service d'Études sur les Transports les Routes et leurs Aménagements) pour leur contribution et leur aide.

13. Références bibliographiques

- ACCWA, 14243 (2003) "Matériaux issus de pneumatiques usés et leurs applications," In: CEN - AFNOR, Ed.: AFNOR, p 112.
- EDINÇLILER, Ayse, Gökham BAYKAL, and Kagan DENGILI (2004) "Determination of static and dynamic behavior of recycled material for highways," *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 42, pp 223-237.
- HUMPHREY, D.N. (1996) "Investigation of Exothermic Reaction in Tire Shred Fill Located on SR 100 in Ilwaco, Washington." ORONO: University of MAine.
- Parlement_Européen (2000) "Directive relative aux véhicules hors d'usage," In: Parlement européen, and Conseil de l'Union européenne, Eds.: JO L 269 du 21-10-2000, p 15.
- TATLISOZ, N, TB EDIL, and Craig H BENSON (1998) "Interaction between reinforcing geosynthetics an soil-tire chip mixture," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol. 124, No. 11, pp 1109-1119.