
Approche analytique par changement d'échelle du comportement dynamique du multi matériau pneus usés –sol

Amina Lazizi^{1*}, Habib Trouzine¹, Aissa Asroun¹, Abdeldjalil Zadjaoui², Farid Belabdelouahab³

¹ Département de Génie Civil, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Djillali Liabés, BP 89, DZ-22000 Sidi Bel Abbés, Algérie.

² Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université AbouBekr Belkaid, BP230, Tlemcen, Algérie.

³ Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (E.N.S.T.P), 1 Rue Sidi Garidi, Kouba, Alger, Algérie

* Lazizi_a18@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Les pneus usagés sont des déchets encombrants et polluants et non biodégradables. L'association des pneus usagés, entiers, partiellement ou entièrement découpés, à des sols, pulvérulents, cohérents ou déchetés, peut donner des matériaux performants en génie civil et solutionner plusieurs problèmes rencontrés par l'ingénieur dans le secteur du BTPH. Plusieurs techniques, en génie civil, associant des pneus usagés à des sols, sont connues dans le monde. L'objectif de ce travail est de présenter la problématique des pneumatiques usagés en Algérie, et de donner les résultats d'une tentative d'homogénéisation analytique du multi matériau pneus usés sol utilisant les techniques d'homogénéisation des milieux périodiques.

ABSTRACT: The scrap tires are bulky, pollutants and non-biodegradable waste. The combination of waste tires, cut partially or completely to soils, can provide high-performance materials in civil engineering and solve several engineering problems. Several techniques in engineering, that use waste tires with soils, are known worldwide. The objective of this work is to present the problem of waste tires in Algeria, and give the results of an analytical homogenization attempt of Tiresoil material using the techniques of homogenization of periodic media.

MOTS-CLES: Pneus usés, sol, homogénéisation, comportement dynamique.

KEY WORDS: Waste tire, soil, homogeneization, dynamic behavior.

1. Introduction

Dans l'objectif de préserver l'environnement devant l'agressivité des déchets pneumatiques, il est devenu nécessaire d'étudier les différentes possibilités de les réutiliser. Des millions des tonnes des pneus usés sont jetés chaque année dans les décharges. L'association de ces déchets entiers, partiellement ou entièrement découpés à des sols pulvérulents, cohérents peut donner des matériaux performants en génie civil. Le but de ce travail est de présenter la problématique des pneus usés en Algérie et de donner les résultats d'une tentative d'homogénéisation analytique du multi matériau pneus usés sol, en utilisant les techniques d'homogénéisation des milieux périodiques, pour étudier son comportement dynamique.

2. Problématique des pneus usés en Algérie

L'environnement est un enjeu très important, et sa préservation est une responsabilité commune. Le problème des pneus usés est non seulement mondial mais aussi maghrébin et africain. Dans le bassin méditerranéen, l'Algérie a pris conscience de ce problème et a donné naissance à des stratégies locales ou en coopérations internationales qui font face à la pollution. Sur le plan réglementaire, plusieurs textes et lois ont été promulgués pour définir, gérer et éliminer les déchets. (Journal officiel de la République Algérienne n°77 du 15/12/2001). L'annexe III du décret exécutif n°06-104 classe les pneus hors d'usages comme des déchets spéciaux (classe S) sous le code (16.1.1) sans aucun critère de dangerosité. (Journal officiel de la République Algérienne n°13 du 05/03/2006).

2.1. Les quantités des pneus usagés

Les chiffres des déchets pneumatiques montrent que des millions de tonnes sont jetées, chaque année, dans le monde (Etats-Unis, Canada, Union Européen (EU), Algérie...). Le tableau 1 donne l'accumulation annuelle des PU dans l'UE en tonne (www.etra-eu.org). Le tableau 2 estime les quantités des PU par an en Algérie, selon une étude statistique estimative du gisement des PU (Trouzine *et al.*, 2008).

2.2. Les filières de valorisation des pneus usages

Certain pourcentage des PU peut faire l'objet de plusieurs formes de valorisation.

2.2.1. Le rechapage

C'est une technique qui consiste à reconstituer la bande de roulement du PU pour prolonger sa durée de vie. Michelin a réalisé en Algérie l'unique unité du groupe en Afrique, avec une capacité de production de 250 000 enveloppes PL par an, sur un marché Algérien de 700 000 unités/an dominé par les produits chinois (environ 30% de parts de marché) (www.andpme.org.dz/).

Etat membre	Pneu découlant en tonne	Population
France	401 000	58 265 400
Allemagne	640 000	81 845 000
Italie	434 500	57 330 500
Espagne	280 000	39 241 900
Ukraine	435 000	58 684 000
Union Européen	2 659 100	372 662 100

Tableau 1. L'accumulation annuelle des pneus découlant par l'UE en tonne (www.etra-eu.org).

Types de pneus	Pneus/an	Tonne/an	Pneu/personne/an
Véhicule Léger VL	1 107 410	7 967	-
Poids Lourd PL	332 104	17 951	-
Total	1 439 514	25 918	0,0413

Tableau 2. Quantités des PU générés par an en Algérie (Trouzine et al., 2009).

2.2.2. Valorisation énergétique

Les pneus possèdent un pouvoir calorifique important : 3 tonnes de pneus se substituent à environ 2 tonnes de fioul. L'industrie principale consommatrice des PU est l'industrie cimentière. Les PU sont introduits déchetés au niveau de la tour de pré-calcination, ou entières au niveau du four (www.ademe.fr). Les inconvénients de ces procédés sont dus à l'utilisation d'installations fixes, le transport des PU et des conditions d'émissions dans l'air. En Algérie cette valorisation est absente vue que l'utilisation du gaz naturel en industrie cimentaire est préférée.

2.2.3. Valorisation en matière première

Après un tri, les PU peuvent être broyés en poudrettes ou en granulats de caoutchouc. Les poudrettes sont des particules de caoutchouc ayant des dimensions inférieures à 2mm, les granulats sont des particules d'une taille supérieure à 2mm. Les deux sont utilisés dans la fabrication des revêtements du sol industriels et sportifs, des matériaux d'isolation phonique, membranes anti fissure, anti vibration...etc. (www.ademe.fr).

2.2.4. Emploi en domaine génie civil

Les pneus possèdent des propriétés multiples qui leur donnent un intérêt dans l'ingénierie civil et géotechnique : ductilité, faible conductivité thermique. Plusieurs techniques utilisant les PU en génie civil sont connues dans le monde : la technique Pneusol et ses dérivées « Pneurésil, Pneutex et l'Arma-Pneusol », la technique TDA « Tires Derived Aggregate », la technique Tires Balles et la technique Tirecel. (Trouzine et al., 2008). Le Pneusol est une association des pneus usés entiers,

partiellement ou entièrement découpés à des sols pulvérulents ou cohérents. Les domaines d'application sont variés « Ouvrages de soutènements, remblai léger, répartiteur des contraintes, protection des pentes... ». Plus de 2000 ouvrages valorisant les PU, selon les différentes techniques sont connues dans le monde, dont environ une vingtaine en Algérie (Long, 1993 ; Trouzine *et al.*, 2008 ; Belabdelouahab et Djidjli, 2009).

3. Le comportement de la terre renforcée

La terre armée est un massif de remblai granulaire mis en place par couches successives horizontales entre les quelles sont disposés des éléments de renforcement (armatures métalliques ou synthétiques). Les ouvrages réalisés par la Terre armée sont de deux types : murs de soutènements des terres, et ouvrages porteurs comme les culées des ponts. La terre transmet aux armatures par le biais du frottement les efforts développant dans la masse. Les armatures se tractent et tout se passe comme si la terre possédait dans la direction des armatures une cohésion proportionnelle à la résistance à la traction. L'étude des massifs en terre armée se fait en analysant la stabilité externe et interne (Quang *et al.*, 2008)

La justification se fait par rapport au poinçonnement et au glissement à la base du mur ainsi qu'au renversement du bloc. Les études expérimentales et numériques ont montré que le mur se comporte comme un massif cohérent et souple et peut admettre sans désordre irréversible des tassements différentiels. Il transmet au sol des contraintes quasi linéaires dues au poids propres, aux surcharges et aux poussées latérales qui le sollicitent. La contrainte de référence appliquée à la base σ_v est calculée par la formule Meyerhof.

$$\sigma_v = \frac{R_v}{L-2e} \quad \text{Avec} \quad e = \frac{M}{R_v} \quad [1] \text{ et } [2]$$

R_v = résultante verticale par mètre longitudinale de parement au centre de la base du massif. L = longueur du mur correspondant à celle des armatures. M étant le moment résultant au centre de la base du mur par mètre du parement.

Pour la stabilité interne, la vérification se fait au niveau de chaque lit d'armatures. Les efforts de tractions des armatures doivent être inférieurs à la résistance au frottement d'interface sol/armature et à la résistance en traction de l'armature. L'analyse du comportement interne et de la répartition des efforts de traction le long des armatures dans un massif en terre armée a montré qu'un effort de traction maximum T_m est mesuré sur un point de l'armature éloigné du parement en haut du mur et proche du parement en profondeur. L'ensemble des points forment une courbe, appelée ligne des tractions maximales, séparant le massif en deux zones :

- Une zone active située près du parement dans laquelle la contrainte tangentielle τ exercée par le sol sur chaque face de l'armature est dirigée vers le parement.

- Une zone résistante dans laquelle τ est dirigée vers l'intérieur. Le sol a tendance à retenir les armatures.

$$\tau = \frac{dT}{dL} \frac{1}{2b} \quad [3]$$

Avec b = largeur de l'armature, L = abscisse sur l'armature et T = effort de traction dans l'armature.

4. Homogénéisation du multi matériaux Pneusol

La méthode d'homogénéisation est utilisée pour déterminer les lois de comportement d'un milieu hétérogène à l'échelle macroscopique à partir d'une description de ses constituants à l'échelle microscopique. L'homogénéisation d'un multi matériau pneu usé-sol se traduit par une superposition de plusieurs milieux appelés phases, représentant le sol et le pneu en interaction mutuelle. On se limite à la présentation du modèle biphasique en déformation plane et en évolution élastique (Trouzine *et al.*, 2010).

Soi Ω un volume constitué d'un sol homogène, modélisé comme un milieu continu, renforcé par des pneus, représentant le matériau hétérogène à l'échelle microscopique. Supposons qu'en tout point \underline{x} du volume Ω , ils coexistent deux particules en interaction mutuelle, formant sur tout le volume renforcé Ω deux phases : phase matrice et phase renforcement, désignées par l'exposant m et r représentant le sol et le pneu respectivement. Ces deux phases sont obtenues en homogénéisant séparément celles-ci sur l'ensemble du volume Ω (Trouzine *et al.*, 2010).

On définit en amont le système mécanique étudié S et ses sous –systèmes S' , s'ensuit alors de la définition de l'espace vectoriel noté U des mouvements virtuels (m, v) noté \hat{U} et celui des mouvements virtuels rigidifiant (m, v, r) . Les mouvements réels du système doivent être contenus dans U . On postule les expressions de la puissance virtuelle des efforts intérieurs $P(i)$ et $P(e)$, ainsi que les quantités d'accélération A pour tout sous –système S' . Un sous –système $S'j$ occupant un volume Ω' est dit monophasique s'il est constitué des seuls particules de la phase j contenues dans Ω' . Un sous –système S' est dit multiphasique s'il est constitué de toutes les particules de toutes les phases contenues dans Ω' . Il est nécessaire de définir la cinématique pour chaque phase, pour le milieu multiphasique, un mouvement virtuel est défini par la donnée de champ de vitesse \hat{U}^m et \hat{U}^r décrite séparément pour chaque phase, associée respectivement à la phase matrice et la phase de renforcement. Le milieu se réduit au milieu biphasique. Ces mouvements sont supposés indépendants, continus et continûment différentiables sur Ω . L'ensemble de ces mouvements virtuels constitue un espace vectoriel U qui contient les mouvements réels du système. Les équations constitutives du modèle peuvent être établies par la méthode des puissances virtuelles à partir du principe fondamental de la dynamique. En référence galiléenne, celui-ci exprime l'égalité des

efforts appliqués au système et des quantités d'accélération. Le principe des puissances virtuelles est :

$$\forall S' \subset S, \forall \hat{U} \text{ m. v. r.}, P_{(i)}(\hat{U}) = 0 \quad [4]$$

$$\text{En référence galiléenne : } \forall \hat{U} \text{ m. v. r.}, P_{(i)}(\hat{U}) + P_{(e)}(\hat{U}) = A(\hat{U}) \quad [5]$$

On peut à ce niveau évoquer le postulat des expressions des puissances virtuelles en exprimant successivement les efforts intérieurs et extérieurs. Les efforts intérieurs sont obtenus par l'intégration d'une densité volumique sur tout sous-système occupant un volume Ω' . Cette densité comprend les termes associés à chacune des phases ainsi que le terme d'interaction entre chaque phase de renforcement et phase matrice.

$$\begin{aligned} P_{(i)}(\hat{U}) &= -\int_{\Omega} \underline{A}^m(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) + \underline{B}^m : \text{grad } \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) d\Omega' \\ &- \int_{\Omega} \sum_{r=1}^N \underline{A}^r(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^r(\underline{x}) + \left(\underline{e}^r \otimes \underline{B}^r(\underline{x}) \right) : \text{grad } \underline{\hat{U}}^r(\underline{x}) d\Omega' \\ &- \int_{\Omega} \underline{I}^m(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) + \int_{\Omega} \sum_{r=1}^N \underline{I}^r(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^r(\underline{x}) d\Omega' \end{aligned} \quad [6]$$

Les efforts extérieurs sont définis pour tout sous-système S^j occupant un domaine géométrique Ω' , et ils sont de trois types :

- Forces de volumes correspondant à l'action à distance exercée par l'extérieur du système multiphasique complet S , caractérisées par une densité volumique $\rho^j(\underline{x}) F^j(\underline{x})$ indépendante du sous-système considéré.

- Des efforts de contacts définis pour le pourtour $\partial\Omega'$ par une densité surfacique. Ils correspondent aux actions exercées sur S^j par les particules de la phase j extérieures à S^j .

- Des efforts d'interaction appliqués par les autres phases $I^j(\underline{x})$.

Toutefois, dans le cas d'un sous-système multiphasique, les efforts d'interaction ont plutôt le statut des efforts intérieurs. La puissance virtuelle des efforts extérieurs à tout sous-système multiphasique se réduit à :

$$\begin{aligned} P_{(e)}(\hat{U}) &= -\int_{\Omega} \rho^m(\underline{x}) \underline{F}^m(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) + \sum_{r=1}^N \rho^r(\underline{x}) \underline{F}^r(\underline{x}) \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) d\Omega' \\ &- \int_{\Omega} \underline{T}_{\Omega}^m(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) + \sum_{r=1}^N \underline{T}_{\Omega}^r(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^r(\underline{x}) dS' \end{aligned} \quad [7]$$

La puissance virtuelle des quantités d'accélération sur tout sous-système est exprimée sous la forme de l'intégrale de la forme linéaire suivante :

$$A(\hat{U}) = \int_{\Omega} \rho^m(\underline{x}) \underline{y}^m(\underline{x}) \cdot \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) + \sum_{r=1}^N \rho^r(\underline{x}) \underline{y}^r(\underline{x}) \underline{\hat{U}}^m(\underline{x}) d\Omega' \quad [8]$$

Avec : $y^j(\underline{x})$: Accélération de la particule de la phase j située au point x

$\rho^m(x)$: Densité volumique de la phase j au point x.

A partir des deux énoncés du principe des puissances virtuelles, on aboutit aux équations du mouvement pour le modèle multiphasique de matériau renforcé.

$$\forall S' \subset S, \forall \underline{x} \in \Omega'$$

$$\text{div} \underline{\sigma}^m(\underline{x}) + \rho^m(\underline{x}) (\underline{F}^m(\underline{x}) - \underline{v}^m(\underline{x})) + \sum_{r=1}^N \underline{I}^r(\underline{x}) = 0 \quad [9]$$

$$\text{div} \sigma^r(\underline{x}) \underline{e}^r \otimes \underline{e}^r + \rho^r(\underline{x}) (\underline{F}^r(\underline{x}) - \underline{v}^r(\underline{x})) - \underline{I}^r(\underline{x}) = 0 \quad [10]$$

Pour les conditions aux limites :

$$\forall S' \subset S, \forall \underline{x} \in \Omega'$$

$$\underline{T}_\Omega^m(\underline{x}) = \underline{T}^m(\underline{x}) = \underline{\sigma}^m(\underline{x}) \cdot \underline{n}(\underline{x}) \quad [11]$$

$$\underline{T}_\Omega^r(\underline{x}) = \underline{T}^r(\underline{x}) = \sigma^r(\underline{x}) \cdot (\underline{n}(\underline{x}) \cdot \underline{e}^r) \underline{e}^r, r = 1, \dots, N \quad [12]$$

4.1. Volumes élémentaires représentatifs

Il existe deux possibilités d'assemblage des nappes du Pneusol, la disposition normale ou la disposition orthorhombique (figure 1), on remarque pour les deux cas une périodicité dans le plan XOZ, cela permet de définir une cellule de base ou VER « Volume élémentaire représentatif » (Trouzine et al, 2008).

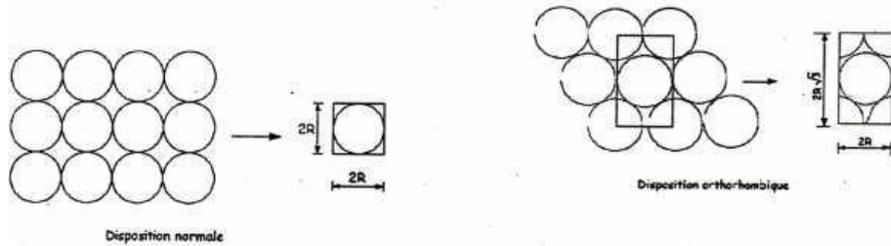


Figure 1. Types d'assemblage et cellules de bases correspondantes (Trouzine et al., 2008).

Soit η_j la fraction volumique de la phase j. η_r est la fraction volumique de la phase renforcement.

$$\text{Posons } \omega = \frac{R_{int}^2}{R_{ext}^2} \quad \text{et} \quad t = \frac{h_a}{h_m} \quad [13] \text{ et } [14]$$

Avec R_{int} et R_{ext} les rayons intérieurs et extérieurs de l'armature, et h_a hauteur de l'armature et h_m hauteur de la matrice.

$$\text{Pour la disposition normale : } \eta^r = \frac{\pi}{4} (1 - \omega) \frac{t}{(1+t)} \quad [15]$$

$$\text{Pour la disposition orthorhombique : } \eta^r = \frac{\pi}{(2\sqrt{3})} (1 - \omega) \frac{t}{(1+t)} \quad [16]$$

Pour le calcul dynamique des structures, plusieurs méthodes sont utilisées. Les méthodes se basant sur l'équilibre limite tel que la théorie de Mononobe – Okabe (Okabe, 1924), l'approche des deux blocs adjacents (Bonaparte *et al.*, 1986). D'autres méthodes se basant sur l'analyse limite, utilisant des mécanismes de rupture type log spiral (Michalowski, 1998) ou mécanisme de rupture plane (Ausili *et al.*, 2000).

Dans l'analyse de la stabilité sismique, la magnitude de l'incrément de force dynamique due aux secousses est calculée par l'approche Mononobe – Okabe (Basha et Babu, 2010). C'est une approche pseudo-statique qui calcule la force dynamique du sol dont la pression totale P_{ae} est exprimée par [4] (Zeghina, 2007) :

$$P_{ae} = \frac{1}{2}(1 \pm K_v)K_{ae}\gamma H^2 \quad [17]$$

Où γ représente le poids volumique, H la hauteur.

$$K_{ae} = \frac{\frac{\cos^2(\varphi + \psi - \theta)}{\cos\theta \cos^2\psi \cos(\delta - \psi + \theta)}}{1 + \sqrt{\frac{\sin(\Phi + \delta)\sin(\Phi - \beta - \Phi)}{\cos(\delta - \psi + \theta)\cos(\psi + \beta)}}} \quad [18]$$

Avec Φ l'angle du frottement, ψ l'angle d'inclinaison, $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{coef}{1 \pm K_v}\right)$

K_v étant le coefficient sismique vertical.

Dans le cadre de l'approche pseudo dynamique, des nouvelles techniques permettent de déterminer la stabilité interne sous une charge sismique. Cette méthode suppose que les vibrations sinusoïdales horizontales et verticales commencent en même temps et il n'y a pas de déphasage entre ces deux vibrations, ainsi que les accélérations sismiques horizontales et verticales (à n'importe quelle profondeur z en dessous du sommet du mur). Le temps (t) et le facteur d'amplification du sol (f) varient linéairement. L'accélération sismique donnée à la base à une valeur plus élevée au sommet du mur (Basha et Babu, 2010).

$$a_h(z, t) = \left(1 + \frac{H-z}{H}(f-1)\right) K_h g \sin\omega \left(t - \frac{H-z}{V_s}\right) \quad [19]$$

$$a_v(z, t) = \left(1 + \frac{H-z}{H}(f-1)\right) K_v g \sin\omega \left(t - \frac{H-z}{V_p}\right) \quad [20]$$

Où V_s et V_p sont les vitesses des ondes de propagation du cisaillement primaires et le long du remblai du sol. $K_h g$ et $K_v g$ étant les amplitudes des accélérations horizontales et verticales.

Basha et Babu (2010) proposent la formule [21] pour calculer la force d'inertie horizontale.

$$Q_h = \int_0^H m(z) a_h(z, t) dz \quad [21]$$

Où $a_h(z, t)$ est l'accélération horizontale et $m(z)$ étant la masse d'une bande élémentaire.

$$a_h(z, t) = \left(1 + \frac{H-z}{H}(f-1)\right) K_h g \sin \omega \left(t - \frac{H-z}{V_s}\right) \quad [22]$$

$$m(z) = \frac{\gamma}{g} (br_0) dz \quad [23]$$

$$Q_h = K_h \gamma br_0 \int_0^H \left(f + \frac{z}{H}(1-f)\right) \sin \omega \left(t - \frac{H-z}{V_s}\right) dz \quad [24]$$

De la même manière, en déterminant la force d'inertie horizontale, en remplaçant K_h par K_v et V_s par V_p .

Un programme sous Matlab est proposé afin de calculer les caractéristiques du multi matériaux pneus usés sol, les déplacements horizontaux des deux phases (matrice-inclusions) ainsi que les contraintes dans la phase de renforcement. Le tableau 3 regroupe les résultats du calcul analytique pour les deux dispositions étudiées dans le cas de pneus usés poids lourds associés à du sable. Les déplacements horizontaux des deux phases matrice et renforcement obtenus pour un nombre de cellules de 16 avec un paramètre d'interaction égale 10^4 N/m^3 sont représentés en figure 2 (Touzine et al., 2010).

Disposition normale	Disposition orthorhombique
E=121	E=125
v=0.22	v=0.26

Tableau 3. Résultats de calcul d'homogénéisation analytique (Touzine et al., 2010).

Les résultats de cette étude ont fait ressortir ce que suit :

- Les déplacements des deux phases sont très proches dans le noyau central

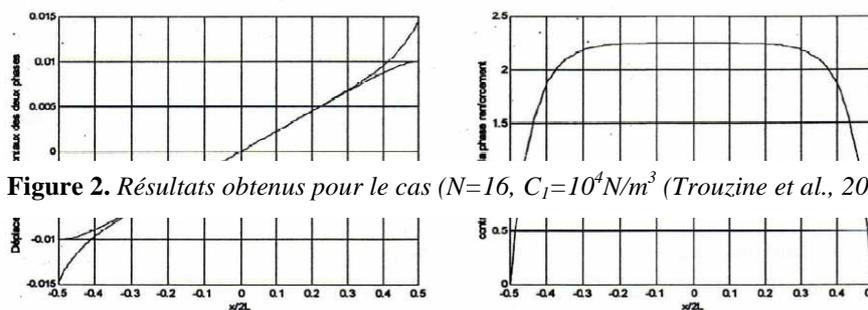


Figure 2. Résultats obtenus pour le cas ($N=16$, $C_1=10^4 \text{ N/m}^3$) (Touzine et al., 2010).

de l'éprouvette. C'est en effet le terme linéaire en x qui est prépondérant.

- Corrélativement la contrainte σ^f est à peu près constante au milieu de l'éprouvette.

- Les déplacements s'écartent lorsqu'on s'approche des bords latéraux ($x = \pm L$) et la contrainte σ^r tend brusquement vers zéro imposé par la condition de bord libre.

5. Conclusion

Ce travail avait pour objet de présenter la problématique des PU en Algérie, en effet environ 1 439 514 PU sont générés, chaque année. Le secteur du génie civil est la principale filière de valorisation des déchets pneumatiques dans notre pays.

La périodicité du matériau Pneusol a permis la définition d'un volume élémentaire représentatif en fonction des deux possibilités d'arrangement des PU dans le sol et d'homogénéiser analytiquement ce multi matériau en utilisant la théorie d'homogénéisation des milieux périodiques pour l'étude de son comportement dynamique.

6. Bibliographie

- ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, <http://www2.ademe.fr/>, consulté le 25 janvier 2011.
- ADPme, L'Agence Nationale de Développement de la Petite et Moyenne Entreprises. Rapport de l'industrie du plastique et du caoutchouc. <http://www.andpme.org.dz/>, consulté le 11 janvier 2011.
- Ausilio E., Conte E., Dente G. R., "Seismic stability analysis of reinforced slopes". *Soil dynamics and earthquake engineering*, Vol. 19, n. 3, 2000, p. 159
- Basha B. M., Babu G. L. S., « Reliability assessment of internal stability of reinforced soil structures: a pseudo-dynamic approach », *Soil dynamics and earthquake engineering* 30, 2010, p. 336-353
- Belabdelouhab F., Djidjli Z., « Recherche-Valorisation pneumatiques usagés dans la protection de l'environnement » *19^{ème} Congrès Français de Mécanique*, Marseille, 2009.
- Bonaparte R., Schmertmann G.R., Williams N.D., « Seismic design of slopes reinforced with geogrids and geotextiles ». In: *Proceedings of the Third International Conference on Geotextiles*, Vienna, 1986.
- ETRA, The European Tyre Recycling Association, <http://www.etra-eu.org/>, consulté le 20 décembre 2010.
- Journal officiel de la République Algérienne n°13 du 05/03/2006 & n°77 du 15/12/2001.
- Long N T., Le Pneusol : recherches-réalisations-perspectives, *Thèse de doctorat du LCPC*, INSA Lyon, 1993.
- Michalowski RL. Soil reinforcement for seismic design of geotechnical structures. *Computers and Geotechnics*, Vol. 23, 1998, p. 1-17.

XXIX^e Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011.

Okabe S., "General Theory on Earth Pressure and Seismic Stability of Retaining Wall and Dam", *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, 1924.

Quang T. S., Ghazi H., De Buhan P., « Modélisation multiphasique appliquée à l'analyse de stabilité d'ouvrages en sols renforcés avec prise en compte d'une condition d'adhérence sol-armatures » *Studia géotechnica et mechanica*, Vol. 30, n°1-2, 2008, p. 51-56.

Trouzine H., Asroun A., Long N. T., « Pneus usés et sols gonflants » Actes Orgagec'08 Organic Materials for Construction: Technical and Environmental Performances. Paris, le 27, 28 et 29 Aout 2008.

Trouzine H., Asroun A., Rahali B., Belabdelouahab F., Long N. T., « Approche analytique par changement d'échelle des caractéristiques mécaniques du multi matériau Pneus usés et sol » *Conférences pluridisciplinaire sur les matériaux*, Nantes, France, 18-20 Octobre 2010.

Zeghina H., Comportement dynamique d'un talus renforcé par des géotextiles, Thèse de doctorat, Université de Batna, 2008.