

## **INFLUENCE DES FIBRES DE CAOUTCHOUC SUR LE POTENTIEL DE GONFLEMENT DES ARGILES**

*M. Bekhiti<sup>1</sup>, H. Trouzine<sup>1,3</sup>, F. Belabdelouahab<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> *Laboratoire de Génie Civil et Environnement, département de Génie Civil. UDL  
BP 89 DZ-22000 Sidi Bel Abbés*

<sup>2</sup> *ENSTP Ecole National Supérieure de Travaux Publics, Kouba, Alger.*

<sup>3</sup> *Association Scientifique Algérienne Des Géosynthétiques, 1 Rue Sidi Garidi Vieux  
Kouba Alger*

**Résumé :** Le principal inconvénient de l'utilisation des fibres en géotechnique demeure leurs prix. On s'intéresse dans ce papier à l'utilisation des fibres de caoutchouc des pneus usagés pour réduire le potentiel de gonflements des argiles. Les résultats de la campagne expérimentale montrent que l'association de fibres de caoutchouc à faible pourcentages (1 et 2.5%) réduit considérablement l'amplitude et la pression de gonflement de l'argile. Pour un pourcentage de fibre égale à 10%, la compressibilité de la mixture devienne importante.

**Mots clés :** Géo-fibres ; Caoutchouc ; Sols gonflants ; Potentiel de gonflement.

### **1. Introduction**

L'utilisation des fibres comme renforts aux seins des matrices, dépend essentiellement de la compatibilité des propriétés physiques, mécaniques et chimiques, que possède la fibre avec les constituants de la matrice (sol, béton, béton de sable, mortier...etc.), sans toutefois ignorer le facteur économique (coût), qui est très important dans la mesure où le prix des fibres sur le marché est relativement élevé par rapport aux armatures traditionnelles. Des fibres de toute nature ont été expérimentées dans le renforcement des matériaux. Les plus répondues sont : l'amiante, le verre, l'acier, le plastique (nylon et polypropylène), le carbone, les fibres des pneus usées, et les fibres végétales (Bledzki *et al.*, 1999).

Depuis peu de temps, des fibres sont ajoutées dans le sol pour améliorer le comportement de la résistance des sols (Cai *et al.*, 2006). L'utilisation de déchets de fibres comme renforcement a un énorme potentiel dans un matériau recyclable dans le domaine de la construction (Savastano *et al.*, 2005). Les fibres naturelles ont été utilisées dans le domaine de la stabilisation des sols, (Nilsson, 1975; Gram, 1983). Récemment, ce sont des fibres artificielles qui sont ajoutées dans des sols fins pour renforcer leur résistance (Akbulut *et al.*, 2007).

De nombreuses recherches expérimentales tendent à stabiliser les sols argileux avec des matériaux naturels, fabriqués et des sous-produits (Akbulut *et al.*, 2004; Kalkan, 2006; Al-Akhras *et al.*, 2008; Viswanadham *et al.*, 2009). Ainsi les pneus usagés, les cendres et les boues d'épuration ont montré un bon potentiel pour la stabilisation des sols (Alaa *et al.*, 2006).

Mélange les échantillons d'argile expansive avec des fibres de caoutchouc des pneus usés réduit la pression et l'amplitude de gonflement. Cela peut être attribué au remplacement d'argile gonflante par des fibres de caoutchouc des pneus usés et la résistance offerte par les fibres agissant par le contact argile - fibre (Trouzine *et al.*, 2012). Des chercheurs comme (Park, 2009 ; Izawa *et al.*, 2009 ; Consoli *et al.*, 2011) ont également étudié le comportement des sols sableux cimenté avec et sans fibres, et ont conclu que l'inclusion de fibres entraîne une augmentation de la résistance des échantillons.

L'absorption du gonflement des argiles par superposition de couches de matériaux non gonflants tel que le sable (Satyanarayana, 1969), ou par superposition du Polystyrène EPS (Ikizler *et al.*, 2007), ou par les géofibre (Viswanadham *et al.*, 2008) ou par mélange de l'argile à des copeaux de pneus (Cetin *et al.*, 2006) est une voie prometteuse pour la résolution des problèmes rencontrés lors de la conception sur sols gonflants (Trouzine *et al.*, 2008).

Les sols argileux mélangées avec des fibres ont montré que la pression et le potentielle de gonflement sont nettement inférieur au potentiel et a la pression de gonflement en comparaison avec les mêmes sols argileux sans fibres.

## **2. Matériels utilisés et méthodes**

Le principe de cette campagne expérimentale est de confectionner des éprouvettes d'argile identiques de même teneur en eau et densité. Les premiers essais de gonflement libre à l'appareil œdométrique (essais de référence) sont effectués sur des échantillons d'argiles reconstitués argile de Ayaida (Oran) et la bentonite de Maghnia (Tlemcen) puis des essais identiques sur des mélanges sol – fibres de caoutchouc sont entrepris, pour mettre en évidence, qualitativement, le pouvoir d'absorption du gonflement de l'argile par la poudrette de caoutchouc issue des pneus usés.

### **2.1. Sols étudiés**

Deux sols d'origine et de propriétés physiques différentes ont été choisis. Le premier échantillon provient de la région de Ayaida à Oran dans le nord-ouest de l'Algérie. Ce sol était à l'origine de plusieurs désordres au niveau des bâtiments. Le deuxième échantillon est de la bentonite fournie par l'unité Bental de Maghnia dans le nord-ouest de l'Algérie. Les caractéristiques de ces deux sols sont regroupées dans le Tableau 1. Ces deux types de sols ont été soumis à plusieurs tests d'identification au laboratoire à l'aide des procédures standards selon les normes AFNOR et ISO (NF P 94-051; NF P 94-054; NF P 94-056; NF P 94-057; NF P 94-068).

### **2.2. Les fibres de caoutchouc des pneus usés**

Les pneus usagés se composent essentiellement de caoutchouc synthétique ou naturel, de noir de carbone et d'oxyde de silicium, ainsi que d'acier et de tissu. Les pneus usagés qui ne peuvent plus être réutilisés ni rechapés selon les exigences en vigueur sont qualifiés de pneus non réutilisables. Une élimination des pneus non réutilisables sérieuse et respectueuse de l'environnement devient chère aujourd'hui. Les filières de valorisation classiques ne traitent qu'une petite quantité de ces déchets, de plus ces filières nécessitent des technologies développées. Les pneus usagés peuvent être déchiquetés selon deux méthodes ; (1) ambiante, et (2) cryogénique (Caltrans, 2006). Les fibres sont allongées entre 5 et 30 mm avec une valeur moyenne de 7 mm: l'échantillon contient aussi de la poudre de

caoutchouc des pneus (environ 41% du poids) qui est représentées sur la même Figure 1. Certains paramètres de comportement de fibres de caoutchouc des pneus usés sont donnés dans le Tableau 2.

Tableau 1. Caractéristiques des argiles utilisées (Trouzine et al. 2012) :

Propriétés	Normes	Sol de Ayaida	Bentonite
Limite de liquidité (%)	NF P 94-050	4	1
		5	3
Limite de plasticité (%)	NF P 94-054	2	3
		3	5
Limite de retrait (%)	NF P 94-060	/	0
Indice de plasticité (%) Densité spécifique		2	9
		2	8
<b>Analyse granulométrique</b>			3
Gravier (%)	NF P 94-041		2
Sable (%)	&		.
Limon (%)	NF P 94-057	0	6
Argile (%)		1	5
<b>Essais au bleu de méthylène</b>		6	
Volume de bleu VB (cm <sup>3</sup> )		17.	0
Surface spécifique SST (m <sup>2</sup> /g)	NF P 94-068	6	2
		55.	0

Tableau 2. Caractéristiques physiques et mécaniques de fibres de caoutchouc (Trouzine et al. 2012) :

Propriété	Valeur	Références
Densité (mg/m <sup>3</sup> )	1.153 à 1.198	[Akbulut <i>et al.</i> , 2007]
Résistance à la traction (MPa)	16-20	[Khorrami <i>et al.</i> , 2010]
Allongement (%)	400-500	[Khorrami <i>et al.</i> , 2010]

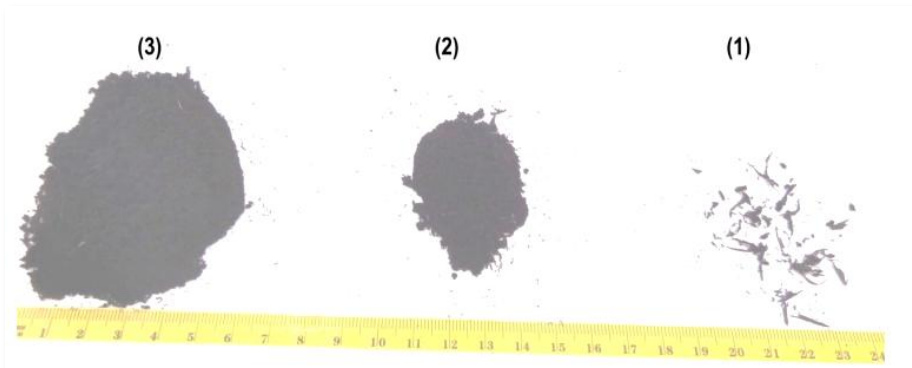


Figure 1 : Fibres de caoutchouc des pneus usés (1), Poudre de caoutchouc (2 & 3).

### 2.3. Préparation des échantillons

Pour l'essai œdométrique les échantillons sont confectionne de la manière suivante :

- Étuvage des échantillons de sol pendant de 24 h.
- Préparation des mélanges sols-poudrette avec des pourcentages massiques en poudrette de caoutchouc de 0% ; 1% ; 2.5% et 10%
- Humidification des échantillons à une teneur en eau de 20%.
- Malaxage des échantillons
- Compactage des échantillons par compression statique.
- Prélèvement grâce à des anneaux volumétrique identique, d'échantillon de même masse, hauteur et section.
- Placement des échantillons dans des cellules œdométrique et application des contraintes croissantes et décroissantes par palier.
- Alimentation en eau jusqu'à saturation des échantillons et lecture des déplacements en fonction du temps jusqu'à stabilisation des déformations verticales.

On notera pour tout ce qui va suivre :

- A : Argile d'Oran.
- B : Bentonite de Maghnia.
- F : Fibres de caoutchouc issue des pneus usés

### **3. Résultats et interprétations**

#### **3.1. Effet de la teneur en fibres de caoutchouc des pneus usés sur le potentiel de gonflement**

Les Figures 2 et 3 montrent la variation du potentiel de gonflement  $G$  en fonction le temps pour des échantillons de sol et les échantillons mélangés avec des teneurs en fibres de caoutchouc des pneus usés de 1%, 2.5% et 10%. Le taux de gonflement maximal noté est de 4.75 % indiquent le sol A, atteint en 26 jours, considérant que le sol B donne 15,75%, atteint en 28 jours. Le potentielle finale diminue pour les échantillons composites, à pratiquement la même durée pour les échantillons composites avec 1% de fibres de pneus, et en moins de temps pour des échantillons composites avec 2.5% et 10%. Les Figures 2 et 3 indiquent que les fibres des pneus usés est très efficace pour réduire le potentiel de gonflement des sols A et B. Pour les deux sols, la réduction de l'augmentation le potentiel de gonflement progressivement avec la teneur en fibres.

Pour le sol A, la réduction du potentiel de gonflement est d'environ 13,7% pour le mélange avec 1% de la teneur en fibres, et varie de 31,6% à 36,8% pour respectivement 2.5% et 10% de la teneur en fibres. Les échantillons ont été préparés à une teneur en eau de 20%, le caoutchouc peut absorber de 3% de son propre poids, le rapport eau d'argile au début de l'essai étaient d'environ 0,20, 0,20, 0,20 et 0,22 pour des échantillons avec 0%, 1%, 2.5% et 10% de caoutchouc de pneus usés, respectivement: ceux-ci peuvent être la raison de la réduction du temps nécessaire pour atteindre le maximum de potentiel de gonflement.

Une réduction de 36.84% pour un taux de poudrette de 10%. On remarque que plus le taux de poudrette de caoutchouc augmente plus le gonflement de l'argile diminue.

Pour le sol B mélangé à 1% de fibres de déchets de pneus, la réduction du potentiel de gonflement est d'environ 9,5%, alors que 2.5% de fibres des pneus usés, la réduction augmente à environ 33%. Une réduction supplémentaire du risque de gonflement du sol B est obtenue avec une augmentation de la durée. Le potentiel de gonflement de 10% bentonite/90% de fibres diminue à 9,75% en 14

jours (28 jours pour la bentonite seule) : Cette réduction du temps pris est certainement due à l'eau initiale, taux d'argile, qui étaient d'environ 0,2 et 0,22 pour les échantillons avec 0% et 10% de fibres des pneus usés. La réduction du potentiel de gonflement par rapport au potentiel de gonflement de la bentonite seule augmentation progressive de 9.52% à 38.1% lorsque la teneur en fibres augmente de 1% à 10%. Les mêmes allures de courbes pour (Figure 2 et 3) sont trouvées dans les travaux d'Ikizler *et al.*, 2007 concernant l'étude expérimentale du polystyrène EPS geofoam utilisé avec des sols gonflants et les travaux de (Trouzine *et al.*, 2012) concernant l'étude expérimentale de l'effets des fibres de caoutchouc des pneus usés sur le gonflement des sols argileux.

Les fibres, ici, modifié la microstructure du sol - comme nanofiller, altéré la texture et a produit un nouveau squelette avec une galerie d'argile sous forme de nanocomposites à travers les vides d'argile. Le phénomène du changement d'ions décrit clairement ce mécanisme (Hussain *et al.*, 2006). La formation de nanocomposites de différentes tailles à travers les vides peut réduire efficacement les vides inter-assemblages confirmés. Cela montre la réduction de l'enflure comportement dans le sol argileux.

### **3.2. Effet de la teneur en fibres de caoutchouc des pneus usés sur la pression de gonflement**

Les Figures 2 et 3 montrent les valeurs des pressions et les potentiels de gonflement pour les échantillons étudiés.

La pression de gonflement  $p_s$  diminue avec la teneur en fibres de caoutchouc. Pour le sol A, la pression de gonflement était de 65 kPa pour les échantillons de sol seul, tandis que les valeurs pour les échantillons composites à 1%, 2.5% et 10% de la teneur en fibres était de 51 kPa, 39 kPa et 36 kPa, respectivement (la Figure 2).

La pression de gonflement des sols B et ses mélanges diminue avec la teneur en fibres. La pression de gonflement était de 148 kPa pour les échantillons de bentonite, tandis que les valeurs pour les échantillons composites à 1%, 2.5% et 10% de la teneur en fibres étaient de 110 kPa, 74 kPa et 70 kPa, respectivement (la Figure 3).

Les valeurs de pression de gonflement du sol A était inférieur à la moitié de celles du sol B. La réduction de la pression de gonflement des échantillons composites avec 10% de fibres était d'environ 53% et 45% pour les sols B et A, respectivement.

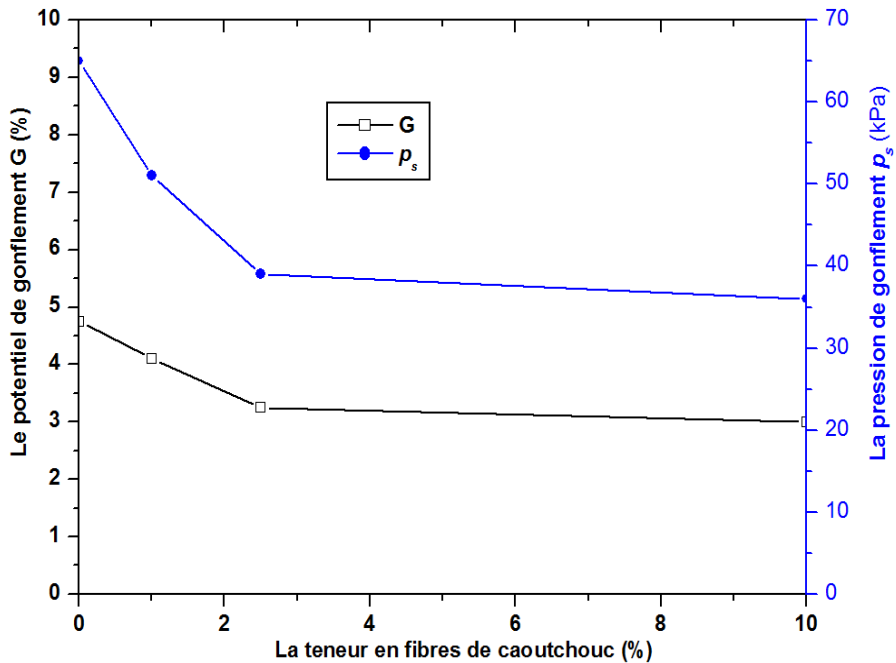


Figure 2 : Effet de la teneur fibres en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel et la pression de gonflement de sol A (Trouzine et al. 2012).



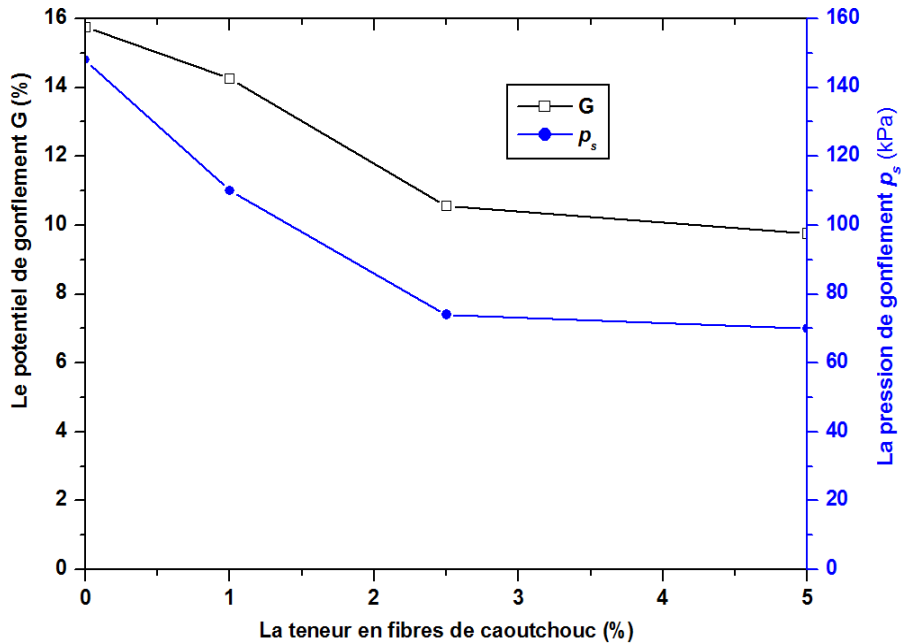


Figure 3 : Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel et la pression de gonflement de sol B (Trouzine et al. 2012).

L'effet de fibres de caoutchouc est similaire pour les deux argiles étudiées sur les paramètres du gonflement, plus le pourcentage augmente plus le gonflement libre et la pression de gonflement diminuent, à un pourcentage de 10% fibres, on constate à une diminution remarquable pour les deux argiles.

#### 4. Conclusions et perspectives

Le document présente les résultats pour les sols argileux à faible plasticité (CL) et une grande plasticité (CH) mélangé avec différents teneur en fibres de caoutchouc des pneus usé. Les principales conclusions sont les suivantes :

- Mélange des échantillons d'argile expansive avec des fibres de caoutchouc des pneus usés réduit le potentiel et la pression de gonflement.

- Une réduction progressive a été enregistrée avec l'ajout des fibres de caoutchouc. Pour la Bentonite du taux de gonflement maximal pour la bentonite est de 15.75%. Une fois mélangée à de la poudrette de caoutchouc, le taux de gonflement diminue jusqu'à atteindre 9.75% pour un taux de poudrette de 10% avec une réduction d'environ 38.10%. Pour l'argile d'Oran le taux de gonflement maximal noté est de 4.75 %, avec une réduction de gonflement allant de 13.7% pour un taux de poudrette de 1% à une réduction de 36.8% pour un taux de fibres de 10%.
- les fibres de caoutchouc absorbent l'eau jusqu'à un maximum de 3% de son propre poids, des échantillons composites (fibre-sol) atteignent soulèvement finale en moins de temps que les échantillons d'argiles pures.

Enfin, on peut conclure que les fibres des pneus usés réduit considérablement le comportement de gonflement indépendamment de la plasticité du sol argileux, mais augmente la compressibilité des mélanges. Afin de contrôler la compressibilité de fibres de caoutchouc des pneus usés renforcé d'un sol argileux, les sols peuvent être renforcés en couches séparées par des géosynthétiques. L'expériences sur le terrain plein échelle ou de projets de démonstration sont nécessaires pour valider davantage cette recommandation.

## Références

- [1] Alaa, A., Rory, M., Delfin C., Fikret, A., Stabilization of marginal soils using recycled materials, Florida department of transportation, (2006).
- [2] Al-Akhras, N.M., Attom, M. F., Al-Akhras, K. M., Malkawi, A. I. H., Influence of fibres on swelling properties of clayey soil. *Geosynthetics International*, 15, No. 4(2008), 304–309.
- [3] Akbulut, S., Arasan, S., Kalkan, E., Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers, *Applied Clay Science* 38(2007). pp. 23–32.
- [4] Akbulut, S., Hasiloglu, A.S., Pamukcu, Data generation for shear modulus and damping ratio in reinforced sands using adaptive

- neuro-fuzzy inference system. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, No. 11(2004), 805–814.
- [5] Bledzki, A. K., Gassan, J., Composites reinforced with cellulose based fibers, Elsevier, *Progress in polymer science*, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [6] Cai , Y., Shi, B., Charles, W.W., Tang, C., Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil, *Engineering Geology*, 87(2006) , pp. 230-240. Caltrans, *Asphalt rubber usage guide*. Caltrans, State of California Department of Transportation, Sacramento, CA, USA (2006), 71 pp.
- [7] Cetin, H., Fener, M., Gunaydin, O., Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as fill material. *Engineering Geology*, 88, No. 1–2 (2006), 110 – 120.
- [8] Consoli, N. C., Moraes, R. R., Festugato, L., Split tensile strength of monofilament polypropylene fiber-reinforced cemented sandy soils. *Geosynthetics International*, 18, No. 2(2011), 57–62.
- [9] Gram, H.E., Durability of natural fibres in concrete, CBI Research No. 1-83, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1983, 255p.
- [10] Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M., Gorga, R.E., Review article: polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: an overview. *J Compos Mater* 40(2006): 1511–1565.
- [11] Ikizler, S. B., Aytékina, M., Nas, E., Laboratory study of expanded polystyrene (EPS) geofoam used with expansive soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 26 (2007) 189–195.
- [12] Izawa, J., Ito, H., Saito, T., Ueno, M., Kuwano, J., Development of rational seismic design method for geogrid-reinforced soil wall combined with fibre-mixed soil-cement and its applications. *Geosynthetics International*, 16, No. 4 (2009), 286–300.
- [13] Kalkan, E., Utilization of red mud as a stabilization material for preparation of clay liners. *Engineering Geology*, 87, No. 3–4(2006), 220–229.
- [14] Khorrami, M., Vafai, A., Khalilitabas, A. A., Desai, C. S., Ardakani, M. H., Experimental investigation on mechanical characteristics and environmental effects on rubber concrete.

- [15] International Journal of Concrete Structures and Materials, 4, No. 1(2010), 17–23.
- [16] Nilsson, L.H., Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibres, Swedish Council for Building Research, Document DIY, Stockholm, Sweden, 1975, 68p.
- [17] Park, S.S., Effect of fiber reinforcement and distribution on unconfined compressive strength of fiber reinforced cemented sand. Geotextiles and Geomembranes, 27, No. 2(2009), 162–166.
- [18] Satyanarayana, B., Behavior of expansive soil treated or cushioned with sand , In Proceedings of Second International Conference on Expansive Clay Soils, Texas A&M University, College Station, 1969, TX, p. 308–316.
- [19] Savastano, H., Warden, Jr. P.G., Coutts, R.S.P., “Microstructure and mechanical properties of waste fibre–cement composites”. Cement & Concrete Composites. (2005), pp.583–592.
- [20] Trouzine, H., Asroun, A., Long, N. T., Pneus usés et sols gonflants, Actes du ORGAGEC'08 Third European Symposium. Organic materials for construction: Technical and environmental performances, Paris, Marne-la-Vallée, 2008.
- [21] Trouzine, H., Bekhiti, M., Asroun, N., Effects of scrap tire rubber fibre on swelling behaviour of two clayey soils in Algeria, Geosynthetics International, 19, N° 2(2012), January 2012.
- [22] Viswanadham, B. V. S., Phanikumar, B.R., Mukherjee, R.V., Swelling behavior of geofiber- reinforced expansive soil, Geotextiles and Geomembranes, doi: 10.1016 /j.geotexmem. 2008.06.002.
- [23] Viswanadham, B. V. S., Phanikumar, B.R., Mukherjee, R.V., Effect of polypropylene tape fibre reinforcement on swelling behavior of an expansive soil. Geosynthetics International, 16 No. 5 (2009) 393–401.