

ETUDE DU PNEUSOL

"LE PNEUSOL REDUCTEUR DE POUSSEE"

F. BELABDELOUAHAB
Ingénieur d'Etat, ENTP Alger
Docteur, INSA Lyon
Chargé de Cours, ENTP Alger

Résumé

Le "Pneusol", association de pneumatiques usagés et de sols, est une technique développée par le LCPC et dont les domaines d'utilisation sont variés, soutènement, raidissement de pentes, remblai léger, protection de berges, effet voûté...

La mise en œuvre du "Pneusol" derrière un ouvrage de soutènement permet de réduire la poussée. Des essais sur modèle réduit réalisés à l'ENTP ont permis de mettre en évidence l'influence de cet effet "réducteur".

Cette expérimentation a traité l'influence de certains paramètres tels que ; le nombre de pneus par nappe, l'espacement des nappes de pneus et la disposition des pneus.

Mots clés : pneusol • couronnes • nappes • attaches • espacement • pneus • poussée.

1 INTRODUCTION

C'est par l'état de l'art de la recherche, que plusieurs ingénieurs et chercheurs tentent de trouver des solutions à chaque obstacle qu'ils rencontrent, et ceci dans tous les domaines possibles.

Dans le domaine du Génie Civil, des recherches ont été entreprises afin d'améliorer les caractéristiques des sols utilisés pour la construction des ouvrages en terre. De plus l'idée d'utilisation de certains déchets plus ou moins abondants pour obtenir un matériau de génie civil économique pouvant rivaliser avec des matériaux existants en est une préoccupation d'actualité.

Des innovations ont été développées à partir d'idées, de produits ou de procédés de constructions originaux, la terre armée en est un exemple déjà ancien particulièrement réussi, mais il existe bien

d'autres procédés comme les géotextiles, le clouage, le texsol, le Pneusol ainsi que d'autres procédés plus ou moins connus.

Les caractéristiques principales de tous ces procédés résident dans leur conception même, ils sont constitués par l'association de deux matériaux, le sol et un autre produit industriel aux caractéristiques mécaniques très différentes et pouvant soit être associé intimement lors de la construction du remblai, soit utilisé comme inclusion dans le sol en place, soit enfin comme élément de substitution complet ou partiel du remblai.

Parmi tous ces produits et procédés de construction, nos recherches se sont basées sur l'utilisation du «Pneusol», procédé développé par Long [5] et le laboratoire central des Ponts et chaussées (L.C.P.C). Parmi toutes ces applications, le Pneusol peut aussi être utilisé comme réducteur de poussée.

Nous présentons dans cet article, des résultats d'études menées à l'E.N.T.P d'Alger sur le "Pneusol réducteur de poussée" faites sur modèle réduit tridimensionnel.

Cette phase de recherche a pour objet de mettre en évidence des résultats d'ordre qualitatif qui permettent de mettre en évidence l'influence de certains paramètres. Les essais simulent la présence du pneusol derrière un mur de soutènement.

2 MODELE D'EXPERIMENTATION

Dans l'expérimentation en génie civil, l'utilisation d'un modèle réduit est intéressante pour mettre en évidence des phénomènes physiques. Bien que le modèle présente certains inconvénients bien connus, en particulier le difficile respect des lois de similitude, il reste cependant indispensable pour l'étude des ouvrages complexes.

Dans le modèle expérimental on appellera "Pneusol" l'association de sable et de "couronnes" en polystyrène (ENTP), dont seules les dimensions respectent une similitude géométrique.

2.1 Le Modèle

L'étude sur modèle réduit est réalisé dans une cuve parallélépipédique, ayant une hauteur de 0.78m, une largeur de 0.76m et une longueur de 1.20m (Figure 1).

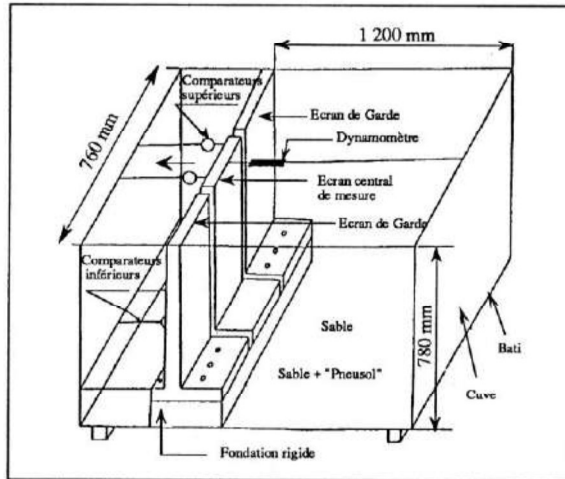


Figure 1 : Le modèle réduit d'expérimentation (E.N.T.P Alger)

Le sol mis en place dans la cuve, est retenue par deux écrans de garde et un écran central de mesure identique afin d'éliminer les effets de bord, et suivant une longueur de 0.72m. Ces écrans sont des voiles minces, ayant une largeur de 0.24m et une hauteur de 0.70m, avec une semelle à même largeur de 0.12m, et une longueur amont de 0.085m (Figure 2).

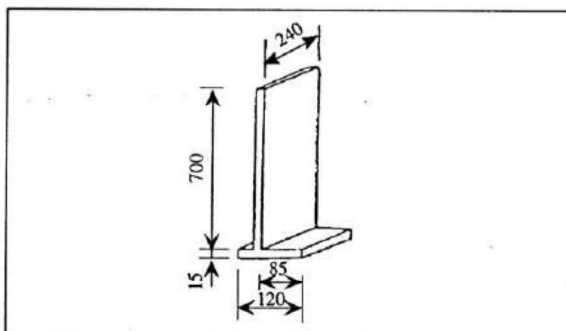


Figure 2 : Elément du mur.

L'acquisition des données est faite directement sur l'écran central de mesure grâce à une chaîne composée d'un dynamomètre placé en tête de l'écran et de 04 comparateurs au 1/100° de mm, 02 sont placés horizontalement à 600 mm de la base de la semelle et les deux autres sont placés à 100 mm de la base de la semelle (Figure 3). La conception même du modèle réduit a pour effet de provoquer un léger basculement

de l'écran en cours d'essai, cela nous a obligé à mesurer les déplacements horizontaux en pieds et en tête de l'écran.

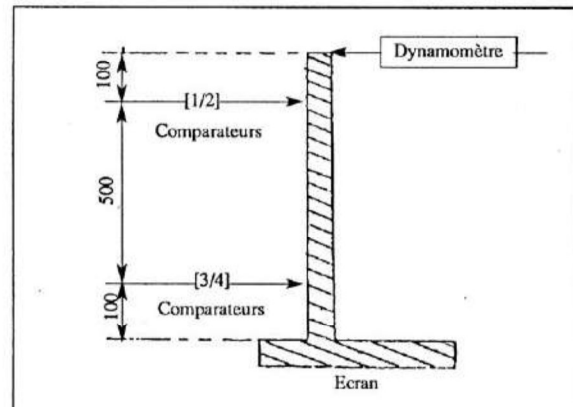


Figure 3 : Dispositif de mesures

A noter que le mur repose sur une fondation rigide, les écrans de gardes étant fixes. Une bande de polyane forme un joint souple qui assure une certaine étanchéité pour éviter toute infiltration du matériau d'essai entre les écrans et tout effet parasite de frottement entre eux.

2.2 Le matériau d'essai (Caractéristiques physiques et mécaniques)

Dans toutes la campagne expérimentale, nous avons effectué des essais en utilisant un sable concassé à granulométrie uniforme ($D_{min} = 0.08 \text{ mm}$; $D_{max} = 2 \text{ mm}$), provenant de la côte d'Alger. Il est mis en place à une densité moyenne de 1.56. L'angle de frottement interne de ce matériau étant de $\phi = 31^\circ$.

2.3 Le matériau de renforcement

Dans l'étude expérimentale, les pneus utilisés sont en polystyrène (ENTP). Ce sont des couronnes de 12 mm d'épaisseur et respectivement 30 et 60 mm de diamètre intérieur et extérieur (échelle de l'ordre du 1/20 par rapport à un pneu de poids lourd), à noter qu'il est plus intéressant d'utiliser des pneus de poids lourds, car ce sont des déchets plus encombrants et leur mise en œuvre nécessite un minimum de main d'œuvre (Figure 4).

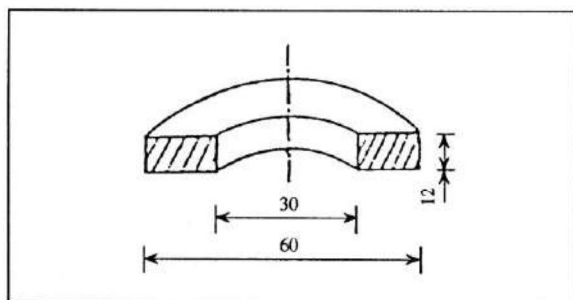


Figure 4 : Matériau d'expérimentation «Pneu».

3 DEROULEMENT D'UN ESSAI DE POUSSEE SUR MODELE

Au sein de la cuve d'essai, le matériau est mis en place dans un état lâche, cette opération s'effectue par déversement du matériau à l'aide d'un tamis dont le diamètre est supérieur au diamètre du sable utilisé, et ceci afin d'assurer une bonne répartition.

La nature et la géométrie du mur, du sable et de chaque pneu étant fixées, les paramètres étudiés sont relatifs à la constitution du massif en "Pneusol", l'espacement "E" des nappes de pneus entre elles (c'est à dire l'épaisseur de la couche de sable entre deux nappes successives), et le nombre "Np" de pneus de chaque nappe, et éventuellement les attaches au mur. Pendant toute la campagne expérimentale, nous avons adopté strictement le même mode opératoire. Pour chaque cas étudié, le relevé des mesures s'effectue à chaque mise en place de couche de sable (tous les 10 mm).

4 PRESENTATION DES RESULTATS

4.1 Essais avec le sable seul

La série d'essai (12 essais) a permis d'obtenir la courbe de référence (Figure 5) pour le cas du sable seul avec laquelle seront comparées les courbes avec pneusol. Nous constatons sur la courbe de référence déduite de ces essais, que le mur commence à se déplacer légèrement lorsque le massif de sable atteint une hauteur de 120 mm. Ce déplacement évolue rapidement à partir d'une hauteur de 400 mm. A partir de cette hauteur le renversement du mur et la ruine du massif commence à se faire sentir, par les comparateurs qui deviennent très sensibles, jusqu'au renversement brutal en rupture.

Lors de l'exécution de certains essais, on a observé des déplacements négatifs du mur, cela est dû essentiellement, lors de la mise en œuvre du remblai, à une stabilisation de la semelle sur le massif de fondation qui

présente une certaine rugosité, ces phénomènes parasites ne se stabilisent que lorsque la surcharge du sol est suffisante sur la semelle amont, notons que ces phénomènes n'affectent pas l'analyse des résultats. la hauteur moyenne notée du début de déplacement du mur étant de l'ordre de 220 mm.

4.2 Essais avec 'Pneusol'

La campagne expérimentale a permis de faire varier les paramètres suivants :

- Le nombre de pneus par nappes 'Np'
- l'espacement entre les nappes 'E'
- la disposition en nappes et en files

En premier lieu nous constatons que pour tous les essais avec pneusol, la hauteur du massif au début de déplacement de l'écran est nettement supérieure à celle du sable seul et ceci quelque soit le cas de variation des paramètres. Ceci est dû à l'amélioration de la stabilisation du mur dès l'introduction du pneusol.

4.3 Influence du nombre de pneus par nappe

Afin de bien apprécier cette influence, nous avons fixé l'espacement des nappes ($E = 10$ mm) et varier le nombre de pneus liés, avec un assemblage du type orthorhombique ; chaque nappe compte ($4 \times N_p$) pneus, 'Np' variant de 0 à 4 ; les nappes sont attachées au mur au niveau des quatre premiers pneus, le choix de 4 pneus par file n'est pas aléatoire, il correspond à la largeur de l'écran.

Nous remarquons que lorsque "Np" augmente, la pente de la courbe du déplacement $DT = f(H)$ diminue. c'est à dire une diminution dans la variation des déplacements (Figure 6). De même plus "Np" augmente, plus on peut monter le massif sans déplacement du mur.

Par ailleurs en comparant la courbe de référence ($N_p = 0$) aux autres courbes (pour $N_p = 1, 2, 3, 4, 5$),

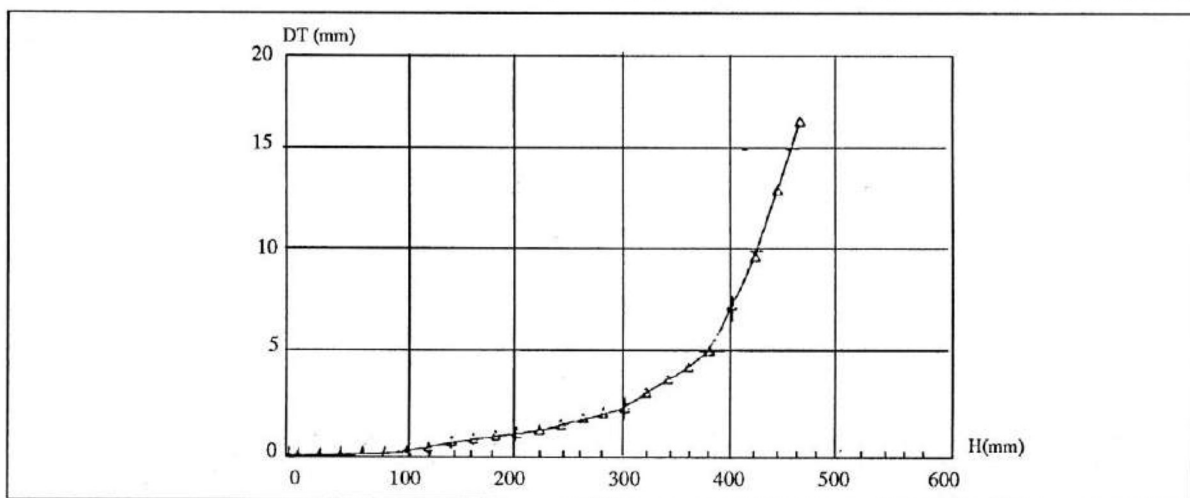


Figure 5 : Courbe de référence du sable seul. $DT = f(H)$.

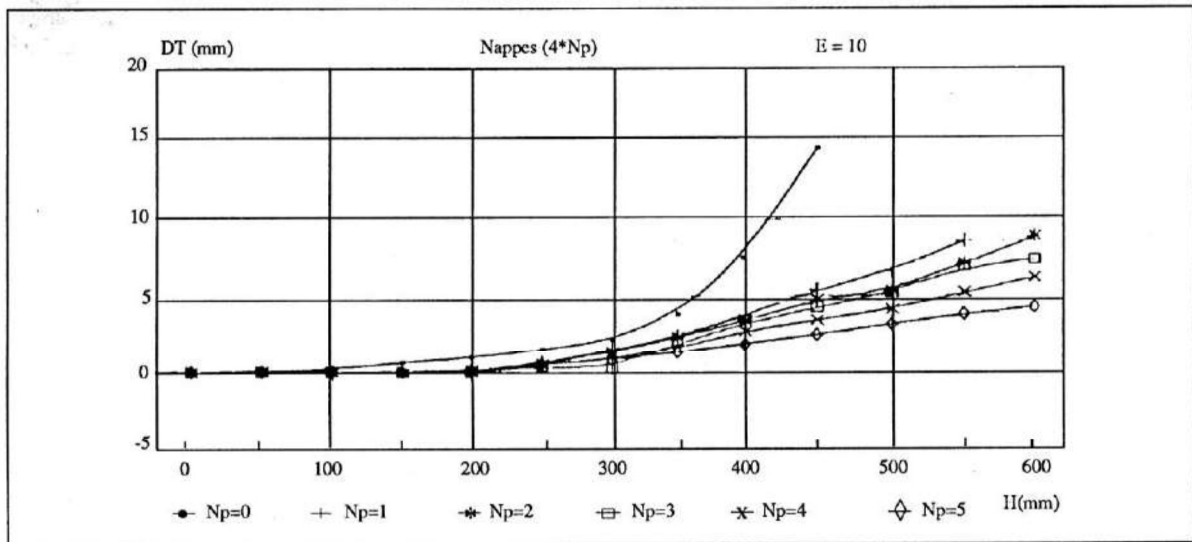


Figure 6 : Essais avec "Pneusol". $DT = f(H)$

on constate que les déplacements de l'écran commencent à se manifester à partir d'une hauteur moyenne de l'ordre de 200 mm (sable seul 120 mm), la présence des inclusions améliore toujours la stabilité du mur. Afin de mieux illustrer l'influence du nombre de pneus, on peut tracer la courbe de variation de la hauteur en fonction de "Np" (Figure 7) pour des déplacements fixes [$H = f(Np)$], on observe une évolution linéaire de la hauteur du remblai avec l'augmentation de "Np", cette évolution est d'autant plus importante que la valeur du déplacement fixe est plus grande.

réduction de la poussée directe sur le mur en est la conséquence directe.

4.4 Influence de l'espacement "E"

La figure 8 illustre l'influence de l'espacement "E", pour un nombre de pneus fixé. On note la confirmation des observations précédentes.

Par ailleurs, on constate aussi que plus cet espacement "E" entre les nappes de pneus est faible, pour

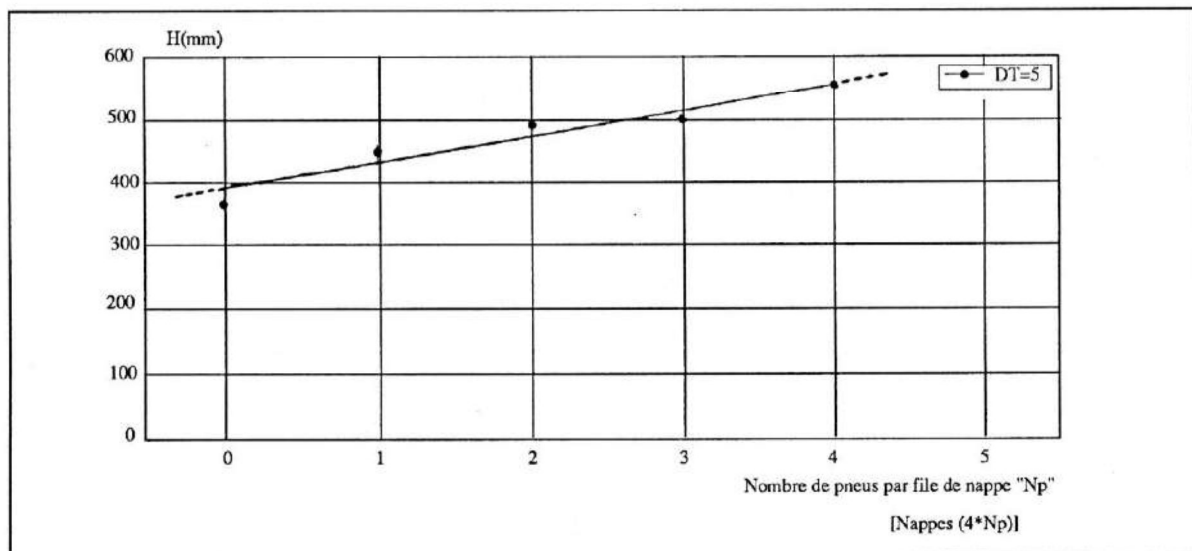


Figure 7 : Courbe comparative $H = f(Np)$.

Toutes les constatations faites en faisant varier le nombre de pneus par nappe, sont dues au fait que la poussée du massif de sable est reprise derrière l'écran par un massif de "Pneusol" qui est à la fois plus déformable, plus léger et doté de "cohésion". La

des déplacements donnés "DT" (Figure 9), la hauteur de remblai correspondante à ce déplacement est grande. En effet quand l'espacement diminue le pneusol tend à se comporter comme un ouvrage poids juxtaposé au mur cantilever.

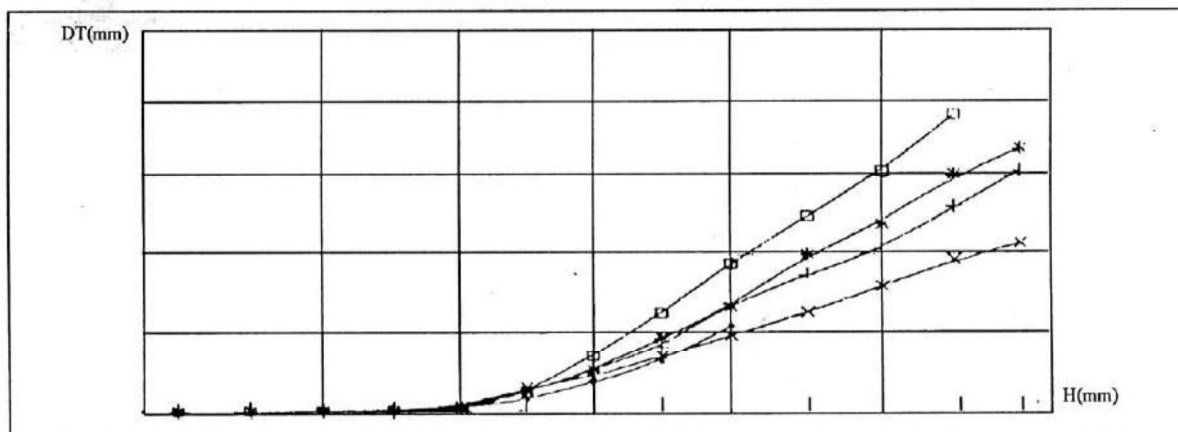


Figure 8 : variation des déplacements du mur en fonction de la hauteur [$DT = f(H)$].
[Nappes avec $N_p = 4 \times 4$; $E = (0, 50, 100, 150, 200)$ mm].

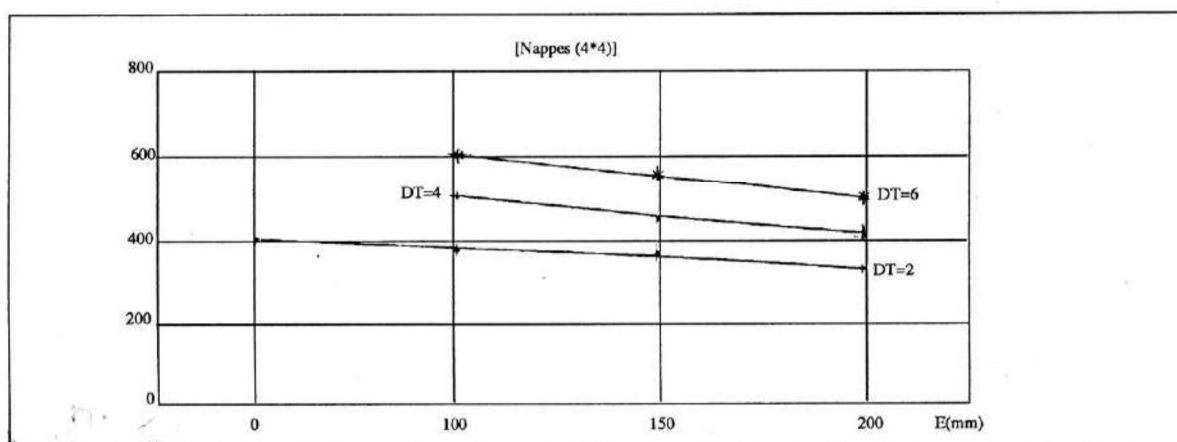


Figure 9 : Variation de la hauteur en fonction de l'espacement "E". pour des déplacements fixes donnés.

4.5 Influence de la disposition des pneus

Une série d'essais a été effectuée avec une disposition de pneus en files et une autre en nappe. Dans les deux cas, les pneus sont attachés au mur, le nombre des pneus étant fixé à 16 pneus par nappe (ou files) et

l'espacement à $E = 100$ mm. Les courbes de déplacement en fonction de la hauteur de remblai (Figure 10), montrent un même comportement, jusqu'à une hauteur du massif de 250 mm. Au delà la disposition en nappe (DN) peut atteindre des hauteurs plus importantes, pour un déplacement donné, que la disposition en file (DF).

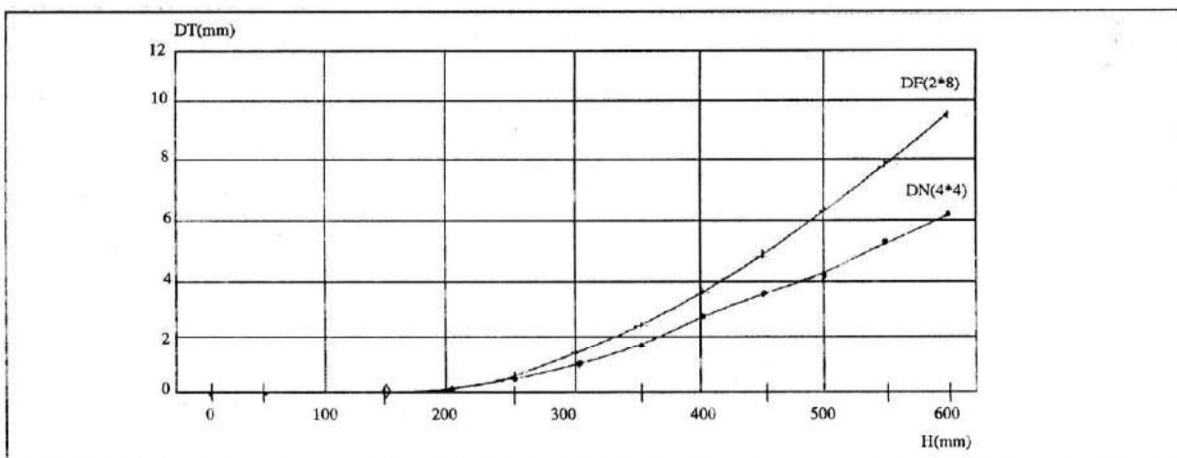


Figure 10 : Variation du déplacement de l'écran en fonction de la hauteur du remblai pour des dispositions différentes. $DT = f(H)$ - $E = 100$ mm.

En fin d'essai, pour une hauteur de 600 mm le déplacement est de l'ordre de 6 mm pour une répartition de pneus en nappes et de 10 mm pour une répartition des pneus en files ; le taux de réduction de déplacement déduit étant de l'ordre de 60%, ce qui est très appréciable. Pour un même nombre de pneus liés, la disposition en nappes s'avère plus opérante.

5 CONCLUSION

A partir des résultats d'expérimentation sur modèle réduit (ENTP), on a constaté que :

- L'introduction des pneus dans le sol stabilise le massif derrière le mur.
- La mise en place du pneusol modifie la nature du massif mis en remblai derrière l'ouvrage et par suite son fonctionnement, car le massif du Pneusol a acquis une certaine cohésion qui réduit la poussée sur le mur à renforcer.
- L'effet "réducteur de poussée" du Pneusol augmente avec le nombre de pneus par nappe.
- La diminution de l'espacement entre les nappes augmente l'effet stabilisateur du pneusol, en effet quand l'espacement diminue le pneusol tend à se comporter comme un ouvrage poids juxtaposé au mur cantilever.
- En jouant sur le nombre de pneus par nappe, on constate que l'utilisation du Pneusol sera d'autant plus intéressante que les déplacements autorisés du mur seront élevés.
- La disposition des pneus en nappes est nettement meilleure que la disposition en files, car étant liés l'une à l'autre les couronnes se dotent d'une rigidité meilleure et d'une adhérence appréciable avec l'apparition d'un effet de groupe positif.
- La présence du Pneusol diminue la soudaineté de la rupture lorsqu'on tend vers la hauteur critique.

Toutes ces constatations sont confirmées par des résultats relatifs à des essais sur modèle réduit similaire obtenus à l'INSA de Lyon.

Dans un mur en "Cantilever", si on diminue le

poids volumique du matériau de remblai on diminue le moment résistant exercé sur le mur. Or malgré cela la stabilité du mur a augmenté ce qui signifie que le pouvoir réducteur de poussée du "Pneusol" est important.

Les bons résultats des recherches, une mise en œuvre facile, un comportement excellent dans le temps, font du pneusol un bon matériau de génie civil.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. Lareal & N.T Long : "*Le Pneusol réducteur de poussée*". 4^e Colloque Franco-Polonais de Mécanique des Sols Appliquée, Grenoble Vol. 1, pp 519-530, Septembre 1987.
- [2] N. T Long : "*Le Pneusol léger*". Rapport des laboratoires, N°37, Novembre 1989.
- [3] F. Belabdelouahab : "*Etude expérimental du Pneusol réducteur de poussée*". Rapport interne Département recherche ENTP Alger, p.120, Juin 1991.
- [4] F. Belabdelouahab : "*Etude expérimental du Pneusol réducteur de poussée*". Colloque Franco-Maghrébin de Mécanique des Sols et des Fondations, Tunisie 1992.
- [5] N.T Long : "*Le Pneusol*" : Recherches, Réalisations, Perspectives". Thèse Doctorat INSA Lyon, Décembre 1993.
- [6] F. Belabdelouahab : "*Etude sur les différents modes de renforcement de sol & Approche expérimentale et théorique du mécanisme de la poussée sur les murs en Pneusols*". Rapport interne Département Recherche ENTP Alger, p.160, Juillet 1995.
- [7] F. Belabdelouahab, M. Amara, P. Lareal & N.T Long : "*Etude expérimentale du Pneusol réducteur de poussée*". Congrès International sur le thème 'Pathologie des Fondations' Première rencontre en Géotechnique des pays Francophones Africains, Marakech-Maroc, Septembre 1996.
- [8] F. Belabdelouahab : "*Le Pneusol*". 2^{ème} Congrès Algérien de la Route, l'ARAL, Annaba, Algérie. pp.221-241, Décembre 1996.