



LE PNEUSOL ET LA MER

N.T. LONG

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - 58 boulevard Lefèbvre -
75015 PARIS

ABSTRACT

Or apart from four artificial islands built for fishes in the Mediterranean sea, some used tires of energy absorption for ships and waves, the utilization of used tires is not common compared with more than two hundred Pneusol structures in civil engineering.

This paper deals with the different possibilities of this material for the reinforcement of quays, the construction of container platforms, the stabilization of sand based upon experience and engineering know-how.

1. INTRODUCTION

A l'exception de quatre récifs artificiels pour des zones de repos pour les poissons en Méditerranée, de quelques pneus utilisés comme amortisseurs pour les bateaux comme pour la houle, l'utilisation des pneumatiques usagés est peu répandue dans le domaine du Génie Côtier. Or pendant ce temps, plus de deux cents ouvrages en Pneusol (association de pneus et de sols divers) (Long-Pouget 1978, Cartier-Long 1985, Long 1984) ont été construits dans différents domaines du Génie Civil :

- Ouvrages de soutènements,
- Raidissement des pentes,
- Remblai léger,
- Réducteur de poussée,
- Protection des pentes et des berges,
- Création d'effet de voûte au dessus des conduits rigides,
- Absorbeurs d'énergies,
- Ouvrages divers.

Le bon comportement de ces ouvrages nous incite à regarder vers d'autres applications, en tenant compte de l'expérience acquise dans le domaine du Génie Civil.

En effet, beaucoup de ces réalisations peuvent être adaptées au Génie Côtier car le pneu usagé à un très bon comportement dans l'eau de mer.

2. GENERALITES SUR LES PNEUMATIQUES

Au cours de trois journées d'information (juin 1985), organisées par l'Agence National pour la Récupération et l'Elimination des Déchets (ANRED), on peut se rendre compte de l'importance du gisement de pneus usagés en France qui constitue la plus grande part des déchets de caoutchouc synthétique ou naturel (450 000 tonnes, avec un taux d'accroissement de 7%). 15% de ces déchets sont récupérés sous des formes diverses :

- Rechapage,
- Sols sportifs,
- L'ensilage
- Brûlage dans les cimenteries...

Il reste donc une quantité appréciable qui est jetée dans des décharges contrôlées ou sauvages.

De plus, s'il apparait que les paramètres influençant le vieillissement du pneumatique usagé sont assez nombreux, on peut néanmoins en dénombrer quatre importants :

- la lumière et la chaleur (les rayons ultra-violets) ont pour effet de provoquer une décomposition superficielle qui se manifeste par un dessèchement du caoutchouc avec apparition de craquelures plus ou moins profondes. Or le pneu lorsqu'il est visible ne joue pas un rôle mécanique important et de plus il est très fortement armé. La température du sol est trop basse par rapport à celle subie par le pneu lors de son utilisation.

- L'ozone : sa présence est faible voire négligeable dans le sol.

- L'acidité du sol : les sols naturels sont relativement peu acides.

Malek et Stevenson (1986) ont mis en évidence son bon comportement dans l'eau de mer en analysant des pneus neufs immergés pendant 42 ans dans la Manche.

En conclusion, ces bonnes caractéristiques permettent d'envisager leurs utilisations dans les ouvrages côtiers et maritimes.

3. RENFORCEMENT DES MURS DE QUAIS

De nombreux murs de quais ont subi au cours du temps des problèmes de stabilités dûs par exemple à des poussées importantes ou tout simplement au vieillissement de l'ouvrage lui-même. Leur réparation et leur renforcement (injection, palplanches, micro pieux ...) ne posent pas de problème particulier (Levillain 1992). Il existe cependant une solution Pneusol à ces différents problèmes qu'on peut utiliser soit isolément, soit en combinaison avec l'une des solutions classiques et qui consiste à réduire voire annuler la poussée horizontale exercée sur le quai.

Il suffit pour cela de construire derrière celui-ci, un mur de soutènement ou un Pneusol réducteur de poussée après avoir décaissé le terre-plein. Il peut prendre plusieurs formes :

* Soit des nappes de bandes de roulement sur chant liées les unes aux autres et espacées de 0.50m comme pour le cas du mur de Mende en Lozère (Figure 1) (Long-pouget 1980, Cartier-Long 1981)

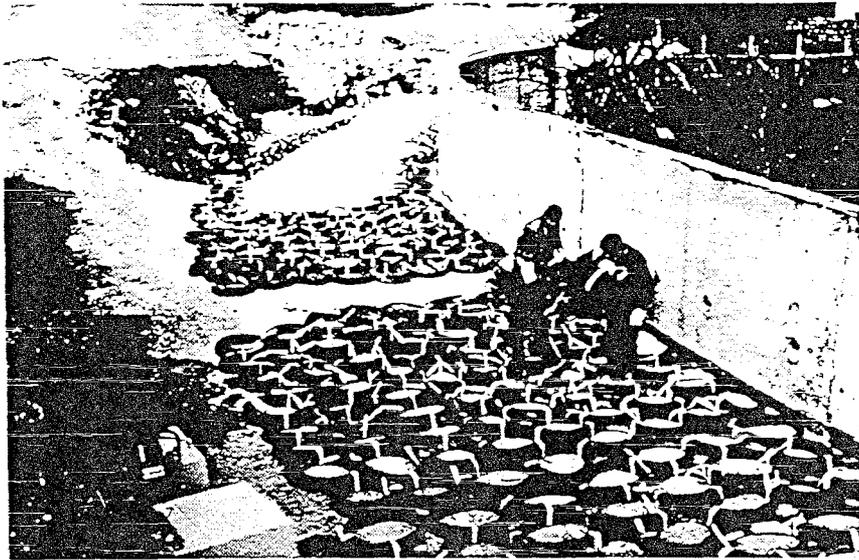


Fig.1 : Renforcement du mur de Mende

* Soit un ouvrage de soutènement en Pneusol placé juste derrière le quai. Il est composé d'un parement en Pneusol constitué de pneus VL ou PL avec un flanc enlevé et de renforcements souples en géotextiles, rigides par exemple en treillis soudés (procédé breveté) ou en Pneusol avec des nappes de bandes de roulement sur chant comme pour le cas précédent (Figure 2).

Ce type de structure pourrait être utilisé, par exemple, pour stabiliser les dunes, car ce parement a la possibilité de récupérer l'eau de pluie favorisant ainsi une rapide végétalisation. (Long 1984).

* Soit un Pneusol réducteur de poussée constitué de pneus poids lourds entiers. Les essais sur modèle réduit tridimensionnel de l'INSA de Lyon ont remarquablement mis en évidence cette amélioration. Les "pneus" utilisés sont en mousse de polyuréthane. Ce sont des couronnes de 12mm. d'épaisseur, et respectivement 30 et 60mm. de diamètre intérieur et extérieur (échelle de l'ordre 1/20° par rapport à un pneu poids lourd).

Le sol utilisé est un sable concassé de granulométrie uniforme ($D_{min} = 0.3\text{mm}$; $D_{max} = 1\text{ mm.}$)

La figure n°3 montre le déplacement d'un mur cantilever avec Pneusol et sans Pneusol. L'espacement des nappes étant constant et égale à 18 mm. on fait varier le nombre de pneus par nappe. On constate une très nette amélioration de la stabilité passant de 41 cm. pour $n = 0$ (c'est à dire sable seul) à 60 cm. pour $n = 4$. Notons de plus que à partir de $n = 2$ la rupture est progressive.

Une heure avant l'ouverture du chantier de l'élargissement de la Nationale menant au Col du Bussang, un mur cyclopéen du 18ème siècle a été classé comme monument historique (!) par le conservateur en chef d'Alsace. La solution Penuesol utilisée permet de conserver cet ouvrage (fig.4) (Laréal-Long 1991).



Fig.2 : vue du parement en Pneusol

D'une manière générale le dimensionnement de ces ouvrages ne pose pas de problème particulier. Pour les ouvrages en sols renforcés (un parement et des renforcements) les méthodes existent dans les normes sur les sols renforcés, les

spécifications du CFGG pour les géotextiles, les recommandations LCPC-SETRA pour les armatures en acier. En ce qui concerne le Pneusol les méthodes de dimensionnement se trouvent dans les différentes publications et rapports des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Le terre-plein qui doit pouvoir supporter une surcharge de l'ordre de 6 t/m^2 , sera traité dans le paragraphe suivant.

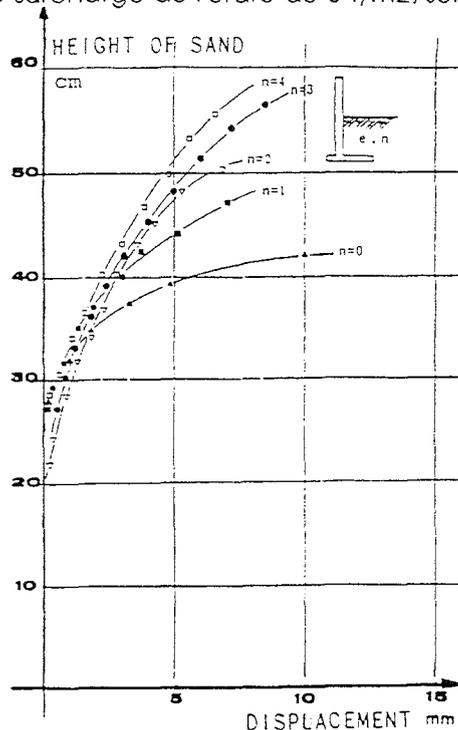


Fig.3 : Hauteur de sable en fonction du déplacement

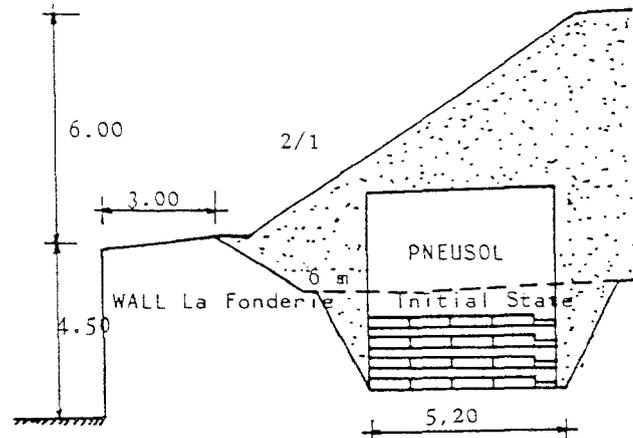


Fig.4 : Le mur de la Fonderie

5. CAPACITE PORTANTE DU PNEUSOL

La capacité portante du matériau dépend pour une grande part du type de Pneusol.

Réalisé avec des bandes de roulement sur chant, celle-ci est identique au sol de remplissage.

Avec des pneus poids lourds disposés en nappe, le remblai rentrant dans le trou de la jante donne au Pneusol un module intermédiaire entre le remblai seul et le pneu seul, avec un coefficient de Poisson faible voir égal à zéro (une extension latérale bloquée). Pour un sable de module dynamique de l'ordre de 40 MPa (essai à la dynaplaque) celui du Pneusol sera d'environ 10 MPa (soit le module du Limon).

D'une manière générale, lorsqu'on fait un essai de plaque sur un bi-couche un limon surmonté d'une grave, on constate qu'à partir d'une certaine hauteur de grave, l'influence du limon sur le module de l'ensemble a complètement disparu. Cette hauteur est de l'ordre de 50 à 60 cm. C'est pourquoi sur le remblai

autoroutier de Cannes-Mandelieu, nous avons mis 50 cm de grave avant de poser les structures de la chaussée (Bailly-Long 1990). Par contre, sur le remblai de Dommiers construit sur un glissement, seulement 35 cm car la route est départementale et à faible circulation (Bricout et al 1992). Ces deux structures ont été instrumentées et ont montré pour le premier un tassement total de 3 cm et pour le second un glissement du pied du talus de 2 cm, sans aucune influence sur la chaussée.

Un tel Pneusol était aussi utilisé sur une décharge à Alkirch pour construire trois tennis en 1986 - constitué de trois couches de pneus poids lourds sous 50 cm. de grave propre bien graduée. Six ans après, aucune fissure n'est apparue sur les courts.

En 1987 des essais en vraie grandeur ont été réalisés pour déterminer la capacité portante du sol et du Pneusol par le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Melun (Canepa) dans une fosse d'environ 230 m² de surface, 3,20m de profondeur, avec une semelle circulaire de 1,60 m de diamètre. Le sol utilisé est le sable de Fontainebleau et la fosse est remplie d'eau (!). Nous avons ainsi retenu :

- comme pression de rupture q_r , la pression correspondant à un enfoncement égal à 15% de la largeur de la semelle sur la courbe de référence;

- comme fluage caractéristique A_c , la pente des droites de stabilisation corrigées observée sous une "pression de chargement" égale à $q_r/2$ (figure 5)

Cas 1	$q_r = 517$ kPa	$A_c = 6.7$ mm
Cas 1	$q_r = 511$ kPa	$A_c = 5.4$ mm
Cas 2	$q_r = 247$ kPa	$A_c = 3.8$ mm
Cas 3	$q_r = 262$ kPa	$A_c = 1.7$ mm

Tous ces résultats positifs, associés à l'utilisation de pneus poids lourds très armés (20 à 30% d'acier de hautes performances), et de bons matériaux de remblais, nous permettent d'envisager le Pneusol comme matériau "anti-tassement différentiel" en association éventuel avec un géotextile pour la construction de plate-formes de stockage de containers. La figure n°6 montre cette utilisation mais seulement sur une couche pour l'élargissement de la Nationale n°7 à Cannes-Mandelieu.

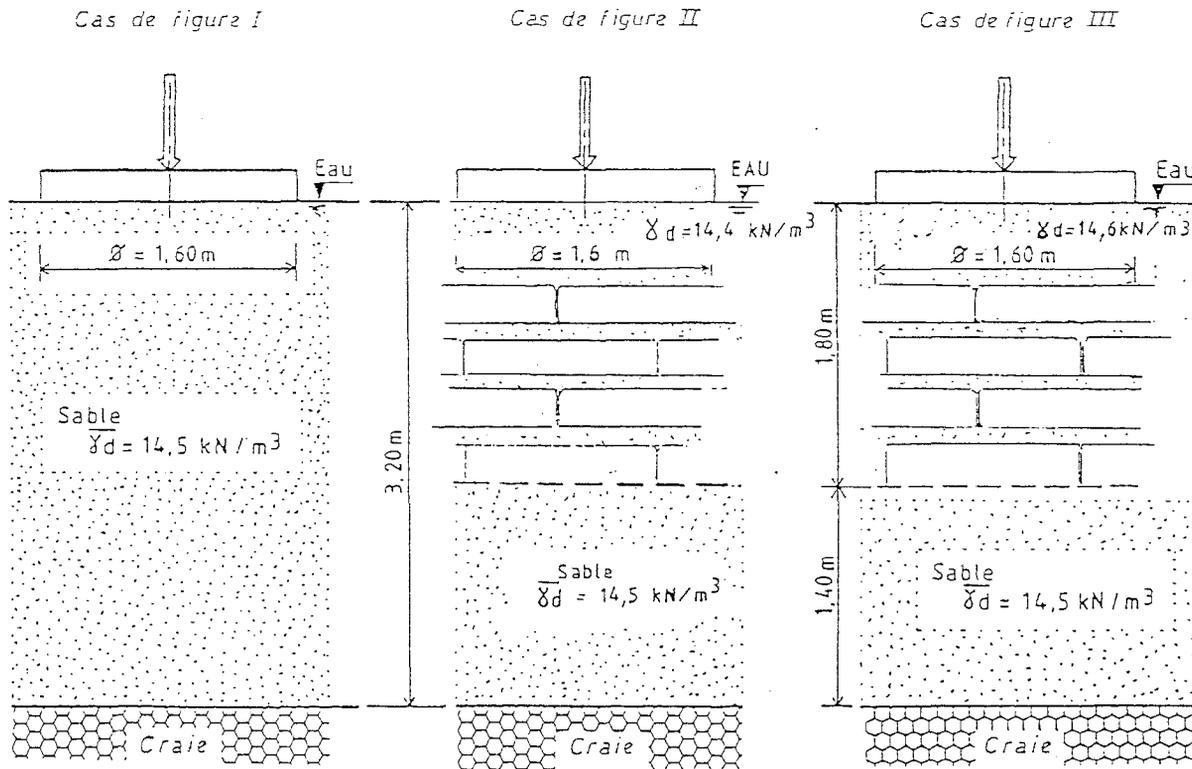


Fig.5 : Schéma des différents cas de figures expérimentés

6. APPLICATIONS DIVERSES

* Protection des pentes des dunes

Tenant compte de l'expérience de l'Etang du Puits, une digue construite entre 1852 et 1859 et dont la protection mécanique est faite par un Pneusol comportant, en partie supérieure, une nappe de pneus solidarisés entre eux après découpe du flanc supérieur et recouverte de sable, on peut envisager une fixation superficielle des dunes ou des plages par ce type de procédé. La figure n°7 montre cette protection superficielle à Beaulieu sur Mer contre l'érosion.

* Tapis anti-vibration

Pour protéger le they de la Gracieuse des attaques de la Houle, on a construit des épis à l'aide de barges remplies de sable et coulées dans la mer qui présentent l'inconvénient majeur de disparaître au bout de quelques années dans le sable.



Fig.6 : Vue du chantier de Cannes-Mandelieu

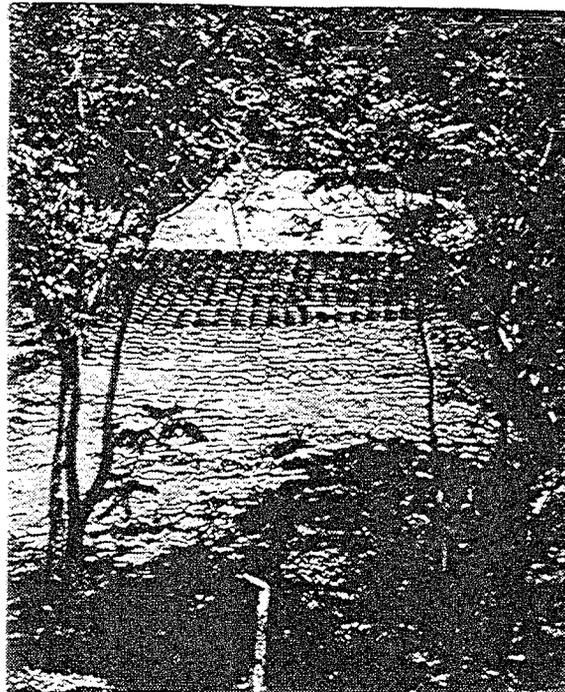


Fig. 7 : Protection superficielle à Beaulieu sur Mer

Pour amortir le balancement et pour mieux répartir les efforts dans le sable, cette barge est coulée sur un lit de Pneusol formé de pneus poids lourds.

6. CONCLUSION

Les réalisations Pneusol présentées au cours de cette communication et leur bon comportement montrent bien les possibilités réelles de ce matériau dans les domaines maritimes puisqu'actuellement plus de deux cents ouvrages en Génie Civil ont été réalisés en France. Nous n'avons pas abordé toutes ses applications et notamment le Pneusol répartiteur de contraintes... Ce matériau commence à se développer aux Etats-Unis, en Autriche, en Suisse, en Roumanie, en Algérie, en Espagne, en Italie... La liste de ses possibilités potentielles n'est pas exhaustive.

7. REFERENCES

- (1) N.T. LONG, P. POUGET, 1980 "Le renforcement des sols par des pneumatiques usagés", Rapport à la DGRST.
- (2) G. CARTIER, N.T. LONG, 1991 "Déchets urbains et pneumatiques usagés en Génie Civil", Xème Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations, Stockholm.
- (3) N. T. LONG, 1984 "Le Pneusol.", Colloque International sur Routes et Développement, ENPC, Paris.
- (4) K.AB, A. STEVENSON, 1986 "The effect of 42 years immersion in sea water on natural rubber.", Journal of Materials Sciences n°21.
- (5) N. T. LONG (1990) "The Pneusol " Rapport des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Série Géotechnique GT 44.
- (6) P. LAREAL, N.T. LONG, 1991 "Pressure reducing Pneusol : Researchs and Applications", 9ème Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok.
- (7) D. BRICOUT, J.L. DUPRESSOIR, N.T. LONG , 1992 "Réparation d'un glissement par le Pneusol léger", 6ème Symposium International sur les glissements de terrain, Christchurch, Nouvelle Zélande.
- (8) J. P. LEVILLAIN, 1992 "Rempiètement des murs de quai : quelques techniques". Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Nantes.