

LE MATERIAU PNEUSOL

Laboratoire
Central
des Ponts
et Chaussées
Paris

PRESENTATION

Philippe Berne, Président de la Commission Aménagement Environnement et Déplacements du Conseil Régional de La Réunion.

Jacques Roudier, Directeur général du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - Paris.

La Région Réunion a été le Maître d'Ouvrage de la réalisation du Plan Régional d'Élimination des Déchets Industriels Spéciaux et Autres que Ménagers et Assimilés (PRE-DIS/PREDAMA). Ce plan propose, sur la base d'un diagnostic de la situation des déchets autres que ménagers en 1995 et de leur évolution jusqu'en 2005, une organisation de leur gestion à l'échelle de l'île.

Dans ce cadre, les pneumatiques usagés doivent faire l'objet de diverses valorisations. C'est la raison pour laquelle la Région Réunion a souhaité promouvoir le matériau « PNEUSOL », inventé par le Dr. NGUYEN THANH LONG du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Son développement actuel - plus de six cents ouvrages ont été

construits à ce jour en France - nous permet d'envisager avec confiance son utilisation dans l'île (deux ouvrages « pilotes » ont déjà été construits à l'Étang Salé et à Cilaos), et ce pour plusieurs raisons :

- il est économique et compétitif par rapport aux matériaux traditionnels ;
- il est facile à mettre en œuvre et ne demande pas une compétence particulière ;
- c'est un matériau permettant la valorisation de pneumatiques usagés non rechapables.

Le gisement de pneus usagés était estimé à 3630 tonnes en 1995, soit de l'ordre de 300.000 pneus toutes origines confondues (véhicules particuliers, camionnettes, autocars, poids lourds, engins...).

Les terrains plats se font rares à la Réunion, aussi les construc-

tions sont réalisées de plus en plus fréquemment sur des terrains en pente. Déjà en 1990, plus de 70% des opérations de Logements Evolutifs Sociaux étaient réalisées sur des terrains dont la pente oscillait entre 5 et 15%. Pour 1998, il s'agit d'environ 4000 logements sociaux.

La collaboration entre la Région et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées date déjà de 1989 et s'est concrétisée par la venue dans l'île de nombreux techniciens de cet organisme pour des essais de pieux, l'étude de la trajectographie des blocs sur la Route du Littoral, son tracé...

Cette plaquette présente de manière succincte l'ensemble des possibilités du PneuSol dans les différents domaines intéressant l'île de la Réunion.



Mur de soutènement en PneuSol

INTRODUCTION

L'île de la Réunion est soumise à des dépressions tropicales caractérisées par l'abondance des précipitations, associées quelquefois à des vents cycloniques. Les précipitations qui en résultent peuvent être particulièrement brutales, et l'île détient quelques records mondiaux impressionnants. La constitution géologique, la topographie et les fortes précipitations favorisent tous les processus érosifs : effondrements, glissements, ravinement profond, érosion superficielle. L'existence d'andosols ne facilite pas la construction de pistes forestières qui sont de véritables bourbiers à la saison des pluies. Moyennant éventuellement quelques expérimentations, le *Pneusol* pourrait jouer un rôle certain dans ces réparations.

Inventé par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, le Pneu-

sol est formé de l'association de pneus (poids lourds ou tourisme entiers, partiellement découpés avec enlèvement d'un flanc ou totalement découpés avec enlèvement des deux flancs) et de sols naturels, artificiels ou de déchets (mâchefers...). Son domaine d'applications est large et varié :

- ouvrages de soutènement, raidissement des pentes,
- remblais légers pour réparer les glissements de terrains,
- ouvrages absorbant d'énergies (protection contre les chutes de blocs),
- protection des pentes et des berges,
- répartiteur de contraintes au-dessus des conduits enterrés,
- récifs artificiels pour les poissons.

Les premières recherches sur le *Pneusol* ont commencé en 1974 avec l'aide de la Délégation

Générale à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST). En 1984, un premier ouvrage, le mur de Fertrupt, a été construit dans les conditions classiques d'appel d'offres par la DDE du Haut-Rhin. Il s'agit d'un mur de soutènement de 50 m de longueur, 5 m de hauteur ayant un parement en béton et des renforcements en bandes de roulement sur chant disposées en nappes (20% moins cher que la solution de base). Depuis, ce matériau s'est largement développé en France, aux Etats Unis, au Québec... et même au Rwanda !

Cette plaquette présente quelques-unes de ces applications les plus marquantes : murs de soutènement, remblais légers, répartiteur de contraintes au-dessus des voûtes en béton enterrées sous de fortes hauteurs de remblai, protection des pentes...



Ouvrage en *Pneusol* utilisant des pneus poids-lourd

1 - OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT

Un ouvrage de soutènement en *Pneusol* est composé (Cartier&Long 1981, Long, 1984) :

- d'un parement en plaques de béton ou en *Pneusol* (pneus entiers ou pneus dont un flanc a été enlevé) ;
- de renforcements en *Pneusol* (pneus ou éléments de pneus), en géotextiles tissés (*Pneutex*) ou en treillis soudés (*Armapneusol*) ; seul ce dernier procédé est breveté par le LCPC et la Forézienne d'Entreprises ;
- de remblais en matériaux naturels ou artificiels, ou d'autres déchets compatibles avec les recommandations sur l'environnement.

1.1. Le parement

Dans un ouvrage de soutènement en *Pneusol*, comme dans tout massif en sol renforcé, il est nécessaire de prévoir un parement pour empêcher les grains de sol de s'écouler entre les renforcements. Ce parement doit présenter les caractéristiques suivantes :

- il doit être **résistant**, car il supporte les efforts de poussée du sol au voisinage immédiat de la surface de l'ouvrage. Ces efforts sont d'autant plus grands que l'espacement des renforcements est important ;
- il doit être **flexible** pour conserver à l'ouvrage sa qualité de souplesse, de flexibilité et d'adaptabilité ;
- il doit être **esthétique** car l'aspect du parement d'un ouvrage



Fig. 1 - Ouvrage en *Pneusol*

ge constitue un élément architectural important ;

- il doit être **constitué par éléments** pour permettre une construction simple. C'est de loin la souplesse et la flexibilité qui sont les caractéristiques essentielles du *Pneusol*.

Le parement peut être constitué d'éléments préfabriqués de formes, de dimensions, de sections variées selon la volonté du concepteur, du maître d'œuvre ou du maître d'ouvrage et de la destination de la structure. Mais ce parement peut aussi être en *Pneusol*, c'est-à-dire constitué de pneus de tourisme ou de poids lourds sur lesquels on découpe et enlève le flanc supérieur de chaque pneu, l'élément restant se présentant comme un bac ayant un fond troué et un bord vertical fortement armé, empilés en quinconce, remplis de matériau compacté et facilement végétalisables. Un tel parement en *Pneusol* est largement utilisé comme élément absorbant contre les chutes de blocs.

1.2. Les renforcements

On peut utiliser plusieurs types de renforcements : (Fig.1)

- en *Pneusol*,
- en géotextiles tissés,
- en nappes peu extensibles comme par exemple les treillis soudés connus sous le nom d'Armapneusol. Précisons que l'on entre ici dans le domaine d'application de deux normes : NF P 94-220 (ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples) et NF A 056252 (corrosion par les sols, aciers galvanisés ou non mis au contact de matériaux naturels de remblai). Ces deux derniers types de renforcements sont actuellement très utilisés et des logiciels largement diffusés permettent leur dimensionnement.

1.3. Le remblai

Le matériau de remblai doit être choisi en fonction de la destination de l'ouvrage et répondre aux recommandations, aux critères géotechniques, de durée de service et de compatibilité avec l'environnement.

2 - PNEUSOL « LÉGER »

L'utilisation des pneus de poids lourds permet de diviser approximativement le poids volumique du matériau de base par deux. A titre d'exemple, l'association d'un remblai courant de 25 kN/m^3 donne un *Pneusol* « léger » de 10 kN/m^3 et dont l'utilisation ne nécessite pas de dispositif de renforcement particulier (dalle de couverture en béton). Le *Pneusol* « léger » a un domaine d'applications important.

2.1. Remblai léger

La construction du *Pneusol* léger avec l'utilisation de pneus de poids lourds disposés en nappes et décalés d'une couche sur l'autre d'un demi-diamètre permet de diminuer le tassement

total mais également le tassement différentiel. Cette technique d'allègement est économique au voisinage de points durs (ouvrages d'art fondés sur pieux, transition d'un substratum rocheux à un sol compressible).

Dans le cas d'un ouvrage neuf, son utilisation peut être envisagée à proximité d'un ouvrage fondé sur pieux, pour limiter les effets horizontaux sur les fondations, la solution la plus sûre restant la construction d'un remblai de préchargement, puis l'exécution des pieux et enfin la réalisation d'un remblai *Pneusol* léger proprement dit. Notons que la solution d'un terrassement supplémentaire peut être envisagée pour atteindre le niveau de

charges souhaité, les travaux de terrassement restant toujours très économiques.

L'utilisation du *Pneusol* « léger » peut faciliter la réparation des routes emportées par des glissements de terrains, ou la construction de remblais neufs sur des versants instables soumis à des glissements, et doit être associée en général à un drainage du site et compatible avec la quantité d'eau prévisionnelle à évacuer. Une attention toute particulière doit être faite concernant les eaux de ruissellement de surface (Fig.2)



Fig. 2 - Remblai léger

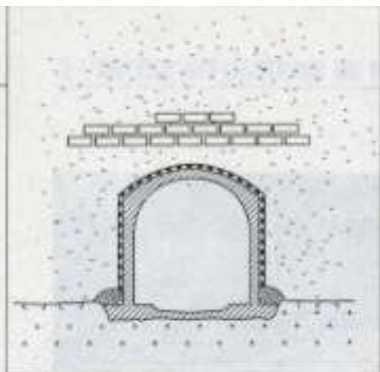


Fig. 3 - PneuSol répartiteur de contraintes ou anti-Marston

2.2. Répartiteur de contraintes

Tous les constructeurs savent bien que lorsqu'on enterre une canalisation rigide en béton sous de fortes hauteurs de remblais, on constate une très forte concentration des charges à la clé pouvant dépasser parfois deux fois la hauteur des terres. C'est le phénomène de Marston, qui est dû à un tassement différentiel entre l'ouvrage enterré et le remblai technique environnant. Le remblai *Pneusol* léger, associé à un conduit rigide permet à celui-ci de se comporter comme un

conduit «souple» par la création d'un effet de voûte. Il se développe sur deux plans parallèles encadrant le conduit des contraintes de cisaillement qui sont orientées vers la surface libre. Il y a donc report des charges sur le remblai technique environnant. C'est le *Pneusol* anti-Marston ou répartiteur de contraintes (Fig.3).

Ce matériau peut également être utilisé pour renforcer des conduits existants qui ne sont pas prévus pour supporter des surcharges importantes. C'est notamment le cas des déviations en remblai au-dessus des cana-

lisations d'eaux usées existantes.

C'est le principe de la «pose en dépression» qui est d'adapter un phasage des travaux de terrassement et de module de déformation du remblai tel que le plan d'égal tassement se situe aussi près que possible de la génératrice supérieure de l'ouvrage. Ainsi, le poids des terres ne sera pas majoré.

Les avantages du *Pneusol* résident dans la facilité de sa mise en œuvre et la faible variation de son module de déformation au cours des travaux.



Fig. 4 - Réducteur de poussée derrière un mur de soutènement.

2.3. Absorbeur d'énergie

Disposé au-dessus des ouvrages pare-blocs, le Pneusol « léger » constitue quelquefois une solution intéressante pour protéger un ouvrage en béton des chutes de blocs. Des essais en vraie grandeur ont été réalisés en 1993 par la DDE du Var, Campenon

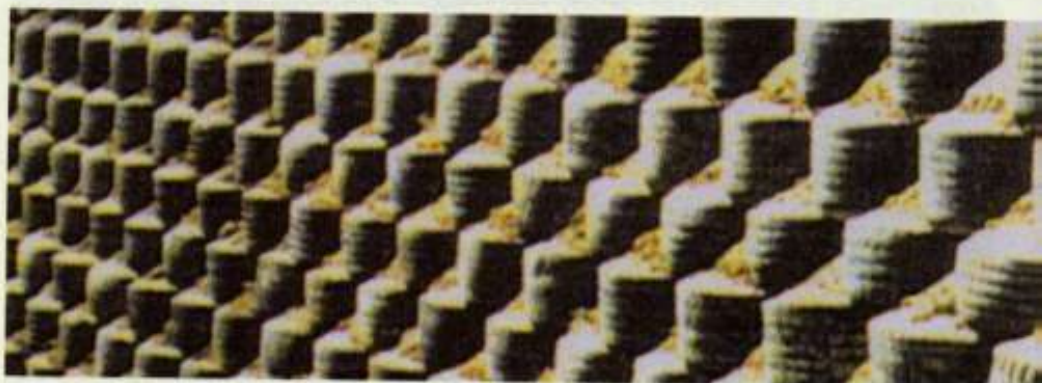
Bernard, l'École supérieure d'ingénieurs de Marseille et le LCPC, en lâchant un bloc artificiel en béton (de sept tonnes de 40 mètres de hauteur.

2.4. Réducteur de poussée *(Larsol&Lang 1987)*

La mise en place d'un massif de Pneusol derrière un ouvrage de

soutènement, peut constituer dans certains cas une solution économique et élégante pour construire, réparer un ouvrage de soutènement fissuré, ou instable.

(Fig. 4)



3 - AUTRES APPLICATIONS DU PNEUSOL

La liste des applications potentielles est variée car il faut considérer le Pneusol comme un assemblage d'éléments, un jeu de mécano qu'on ajuste en fonction des problèmes rencontrés :

- rampe de sortie des berges pour véhicules amphibies blindés ;
- réducteur de tassement différentiel en association avec un géotextile non-tissé. Dans ce cas, le géotextile est plus régulièrement chargé (Fig.5) ;
- construction de récifs artificiels pour créer des zones de calme pour les poissons ;
- réalisation de pistes forestières sur andosols ;
- protection contre l'érosion par des bandes de roulement sur chant (structures alvéolaires).

Pour chacune de ces utilisations, une étude spécifique (ou éventuellement un test) pourrait être faite.



Fig. 5 - Pneusol protection des pentes et des berges



4 - COÛTS

Le coût des ouvrages est fonction de beaucoup de paramètres :

- quantité de pneus pouvant être récupérés sur place.
- distance de transport.
- découpe éventuelle.
- coût de la solution de base

■ de l'entreprise. Etc.

Les dernières opérations ont montré que le mètre cube de Pneusol léger est de l'ordre de 120 F à 160 F, le mètre carré en PNEUSOL avec un renforcement en géotextile ou en treillis soudé, de l'ordre de 750 F à 1000 F.

5 - CONCLUSIONS

Les pneumatiques usagés sont généralement considérés dans les pays développés comme un déchet encombrant et abondant. On peut les valoriser en matériau de génie civil aux propriétés originales et fort utiles, offrant un large éventail d'applications, sans doute encore insuffisamment exploré.

Mais sans attendre de nouvelles idées d'applications et l'aboutissement de recherches en cours, notamment dans le domaine d'atténuation d'ondes sismiques, le *Pneusol* et ses dérivés sont des solutions présentant des avantages techniques et économiques considérables, tout en présentant un impact des plus favorables sur l'amélioration de notre environnement. Son utilisation est actuellement répandue en France et aussi à l'étranger.

Pour l'île de la Réunion, on pour-

rait envisager pour certains aménagements légers à « vocation sociale » tels que murets, petites retenues individuelles de l'ordre d'un mètre de hauteur, aménagements paysagers... l'utilisation d'un personnel peu qualifié, tout en laissant aux entreprises spécialisées et aux bureaux d'étude les ouvrages classiques de génie civil.

L'une des premières précautions est de bien étudier le **drainage**, et notamment l'**écoulement des eaux de ruissellement de surface**, l'imperméabilisation superficielle de certains ouvrages pouvant être envisagée.

Par le nombre d'ouvrages construits en appels d'offre, le traitement de ce déchet ne se traduit plus par un surcoût, mais par des économies quelquefois substantielles et des possibilités techniques nouvelles.

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISÉS À L'ILE DE LA RÉUNION



Mur de soutènement à l'Étang Salé (Lotissement «Les Vivanguis») - Réalisation Expérimentale



Renforcement de chaussée à la Roche Merveilleuse (Cilaos) - Ouvrage réalisé par l'ONF (1967)

Références

Cartier G., Long N.T., Pouget P., Bargillat R., Cudennec J.P. (1981), « Déchets Urbains et pneumatiques usagés en Génie Civil » 10^e Congrès Int. de Méc. des Sols et des Fond., Stockholm.

Long N.T. (1984) Le Pneusol Coll. International « Routes et Développement » Paris: Institut des Sc. et des Tech. de l'Équipement et de l'Environnement pour le Développement. Mai, Paris.

Laréal P., Long N.T., (1987) Le Pneusol réducteur de poussée 4^e Colloque francopolonais, Grenoble.

M. Abdurahman, R. Bouzidi, P. Jouve, P. Laréal, N.T. Long (1995) « Modélisation du Pneusol – Application aux murs de soutènement » Coll. International de Mécanique de l'Ingénieur. Hanoi.

F. Belabdelouahab, M. Amara, P. Laréal, N.T. Long (1996) « Etude expérimentale du Pneusol réducteur de poussée » Première rencontre géotechnique des pays Francophones Africains, Marrakech.

D. Bricout, P. Brochard, N.T. Long (1997) « Le PNEUSOL léger et le glissement de Domniers » Conf. International sur la Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement, Athènes.

C. Boutin, A. Boulebnane, P. Laréal, N.T. Long (1997) « Interaction sol-fondation, influence d'un bicouche sol-Pneusol » 14^e Congrès International de Mécanique des Sols et des travaux de Fondations, Hambourg.

CONTACTS

Monsieur LEUNG ERIC

S.E.M. Réunion Recyclage Environnement
2 Allée Guilloux – Rivière des Galets - 97420 LE PORT
Tel : 02 62 55 01 25 Fax : 02 62 55 00 67

Dr. NGUYEN THANH LONG

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58 Boulevard Lefebvre 75732 Paris cedex 15
Tel : 33 01 40435258 - Fax : 33 01 40436516/5498
e-mail : long@lcpc.fr

Des contacts supplémentaires ont été ajoutés (en dehors des deux opérateurs de la plaquette LCPC et SEMR-RE) pour «faciliter et renforcer» les conseils lors de la mise en œuvre des différents ouvrages en Pneusol.

1- Tout type ouvrage

Monsieur Paul URSAT Tél. 03.88.77.46.00 / Fax : 03.88.77.46.20
Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg
Rue Jean Mentelin
Strasbourg - Koenigshofen - B.P. 9
67 035 Strasbourg cedex

2- Remblai léger

Monsieur RASTRELLI Tél. 04.93.75.51.13 / Fax : 04.92.92.91.98
Entreprise EITP
B.P. 76
06 370 MOUANS SARTOUX

Monsieur SEVIGNE Tél. : 04.65.60.62.42 / Fax : 05.65.61.38.25
Entreprise SEVIGNE
20 rue Industriels Raujollès
12 100 CREISSELS

Monsieur DUGUE Tél. : 02.98.88.52.49 / Fax : 02.98.88.26.15
Conseil Général du Finistère
Agence Technique Départementale
Antenne de MORLAIX - Les Ecluses
29 600 MORLAIX

3- Murs de soutènement

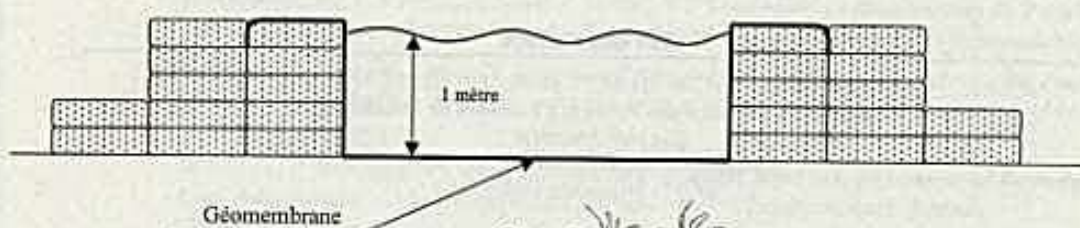
Monsieur BIANCO Tél. : 04.79.31.82.31 / Fax : 04.79.89.00.13
Entreprise BIANCO
17 route d'Alberville - B.P. 13
73 400 UGINE

Monsieur MALET Tél. : 05.61.66.36.93 / Fax : 05.61.66.61.69
Entreprise MALET
B.P. 80
09 200 SAINT-GIRONS

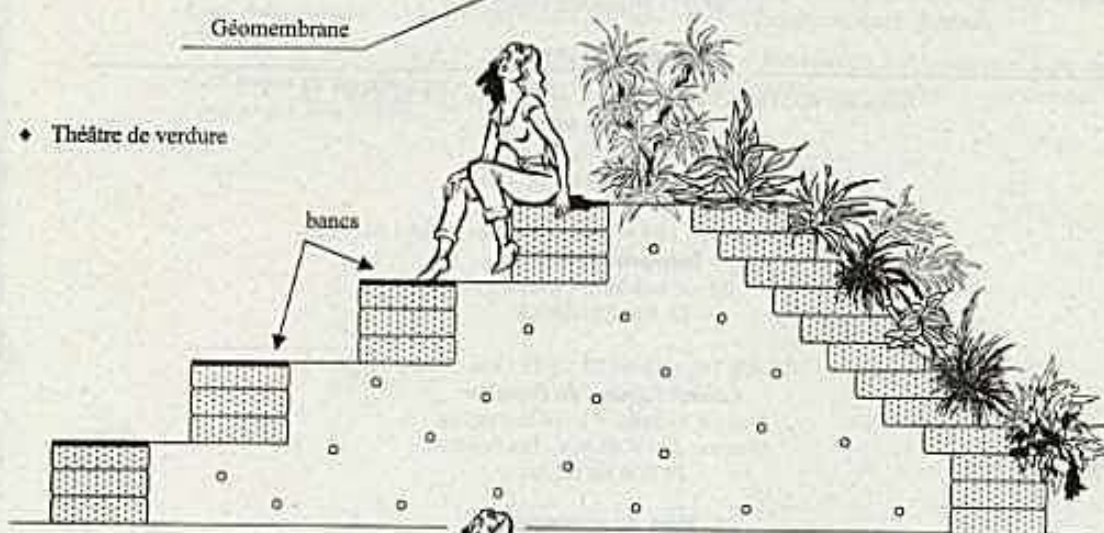
ARMAPNEUSOL (Brevet LCPC - Forézienne d'Entreprises)
Monsieur Pierre VEZOLE
7et 9 rue Grangeneuve BP 48
42 001 SAINT-ETIENNE CEDEX 1

EXEMPLES D'OUVRAGES FACILEMENT RÉALISABLES À L'ÎLE DE LA RÉUNION

- ◆ Petite retenue individuelle « escamotable »



- ◆ Théâtre de verdure



- ◆ Tribune de stade

