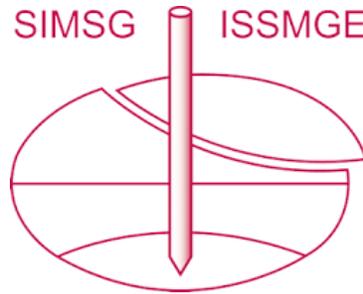


# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

# Déchets Urbains et Pneumatiques Usagés en Génie Civil

## Urban Refuse and Used Tires in Civil Engineering

G. CARTIER

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

N.T. LONG

P. POUGET

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Clermont-Ferrand

R. BARGILLAT

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Lyon

J.P. CU DENNEC

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Le Bourget

**RESUME** : Les déchets urbains ou industriels posent actuellement deux types de problèmes aux géotechniciens : d'une part, peut-on construire sur des décharges et d'autre part, est-il possible d'utiliser des matériaux usagés dans les structures terrestres ? On présente ici deux exemples illustrant les difficultés et les possibilités de construction sur des déchets urbains ou industriels et une étude des conditions de réemploi de vieux pneumatiques comme éléments de renforcement des sols.

### INTRODUCTION

Les projets routiers, que les règles de protection de l'environnement et la densification du tissu urbain repoussent de plus en plus à la périphérie des villes, nécessitent fréquemment d'étudier le comportement prévisionnel de zones de décharge qui, jusqu'à maintenant, avaient été jugées inconstructibles. Dans le cadre de la politique d'économie des matières premières, cet effort d'utilisation des résidus en génie civil s'est étendu aux ouvrages et c'est pourquoi les Laboratoires des Ponts et Chaussées étudient actuellement les possibilités de réutilisation des déchets dans les structures terrestres.

On présente ici les résultats obtenus, d'une part sur le comportement de résidus lors d'excavations et de chargements et, d'autre part, sur l'utilisation de pneumatiques usagés dans le renforcement d'ouvrages en terre.

### CONSTRUCTION SUR DECHETS URBAINS ET INDUSTRIELS

Les études du comportement prévisionnel de décharges de résidus divers sont de plus en plus fréquentes (Cartier, 1979). Par contre, on dispose de peu de références sur la méthodologie de la reconnaissance et des études ainsi que sur les ordres de grandeur à attendre pour les tassements ou les phénomènes différés liés à l'activité biochimique. La synthèse la plus complète a été donnée par Sowers (1968) mais les résultats présentés concernent des décharges américaines de composition particulière et nécessitent d'être vérifiés. De plus, les fourchettes de valeurs données pour les tassements primaires laissent prévoir qu'une décharge de 10 m d'épaisseur chargée par un remblai de 5 m peut tasser entre 0,50 et 2,50 m, si l'on fait varier les paramètres, et notamment l'indice des vides, dans une gamme raisonnable. Si l'on ajoute l'incertitude, vraisemblablement plus importante, sur le rôle de l'activité biochimique dans les tassements secondaires, les études aboutissent inmanquablement à la nécessité de suivre le comportement de planches expérimentales en vraie grandeur

### Les remblais d'essai de ROANNE

Les résultats qui suivent sont issus du suivi de deux remblais expérimentaux de 1,50 m et 3 m d'épaisseur montés après réalisation d'un terrassement de 7 m de profondeur dans la décharge d'ordures ménagères de Roanne, remblayée depuis 30 ans jusqu'à une épaisseur de 16 à 20 m. Le niveau de fondation et la hauteur des remblais ont été imposés par la cote finale de la plateforme autoroutière et le souci de ne pas trop modifier l'état des contraintes au sein du massif afin de minimiser les tassements (fig. II).

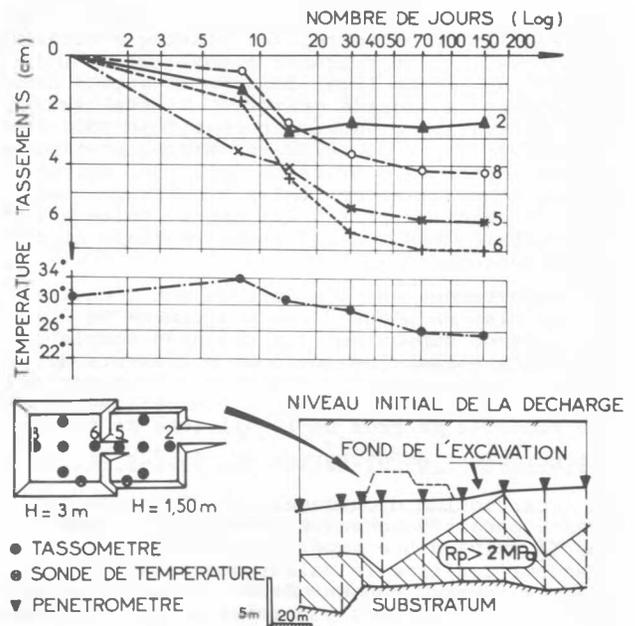


Fig. 1 : La décharge de ROANNE : Instrumentation et résultats.

La reconnaissance au pénétromètre dynamique, qui s'est révélée la technique la mieux adaptée au type de matériau, a permis de vérifier une certaine homogénéité d'ensemble (absence de "monstres ménagers" notamment) et de mettre en évidence une zone de moindre résistance ( $R_D < 2\ 000$  kPa), correspondant à une ancienne fosse de vidange, sur laquelle a été implantée la planche expérimentale. Lors de l'exécution des terrassements l'utilisation d'une pelle mécanique (qui coupe les fibres du matériau) s'est révélée beaucoup plus efficace que le scraper qui a un très mauvais coefficient de remplissage.

#### Résultats et interprétation des mesures

La pose de 10 tassomètres de surface et 2 tassomètres de profondeur a permis de suivre l'évolution des tassements sous les remblais (fig. 1). Après 150 jours d'observation, on constate que l'amplitude des tassements est inférieure à 7 cm et correspond aux prévisions réalisées sur la base des valeurs de Sowers pour le remblai de 3 m (avec un poids volumique de  $10\text{ kN/m}^3$  entre 0 et 4 m, puis de  $5\text{ kN/m}^3$  entre 4 et 16 m et un indice des vides  $e_0$  de 4). Le tassement primaire s'est produit en moins de 2 mois. Par contre, après 5 mois de suivi des remblais et 2 ans de nivellement de la surface initiale de la décharge, il apparaît que les tassements secondaires sont particulièrement faibles (moins d'un centimètre par an). Ceci peut être rapproché des températures qui ont été relevées au sein des ordures et qui indiquent une relance de l'activité biochimique dans les jours qui ont suivi l'excavation ( $\theta = 34^\circ$ ), puis une constante diminution atteignant  $11^\circ$  en 5 mois pour une température extérieure quasiment constante durant les mois d'hiver. L'activité biochimique qui a été mise en évidence lors des terrassements, notamment par la mise à jour de bouteilles plastique écrasées sans cassures, se poursuit actuellement, puisqu'on constate un léger dégagement gazeux dans des poches de liquide noirâtre. La réalisation de l'excavation a également révélé le rôle d'armatures joué par des éléments textiles et plastiques (nombreux dans cette décharge) qui ont permis de réaliser des talus subverticaux pendant le chantier puis à 2/1 par la suite avec une parfaite tenue de la terre végétale et de l'engazonnement.

Ce comportement satisfaisant permet d'envisager la mise en place d'une plateforme de 2 m d'épaisseur supportant une chaussée souple capable d'absorber les quelques mouvements différentiels prévisibles ; la purge totale des ordures n'étant pas nécessaire, on réalise ainsi une économie de près de 10 millions de francs.

#### Préchargement de décharges de résidus divers

La construction d'ouvrages sur décharges publiques apparaît donc envisageable sous réserve que le suivi d'une expérimentation en vraie grandeur confirme la valeur des tassements qui, d'après Sowers, peuvent être très importants pour des résidus peu compactés et une surcharge importante. Par contre, force est de constater que les résidus sont fréquemment plus hétérogènes et de natures très diverses. Ce type de matériau a été souvent rencontré sur le tracé de l'autoroute A. 86 en région parisienne.

Ainsi, lors de la réalisation d'une culée et

d'un remblai d'accès à un ouvrage d'art sur le site d'une ancienne ballastière, on a trouvé 8 m de résidus industriels, de matériaux de démolition, de terrains argileux et d'ordures ménagères. La reconnaissance est, dans ce cas, très délicate puisque la tarière, même de gros diamètre, ne permet pas bien de juger des pourcentages des différents constituants et que le sondage carotté peut être arrêté par les blocs à moins d'utiliser des moyens plus performants mais moins compétitifs. Le pénétromètre dynamique, éventuellement associé au pressiomètre, apparaît plus intéressant.

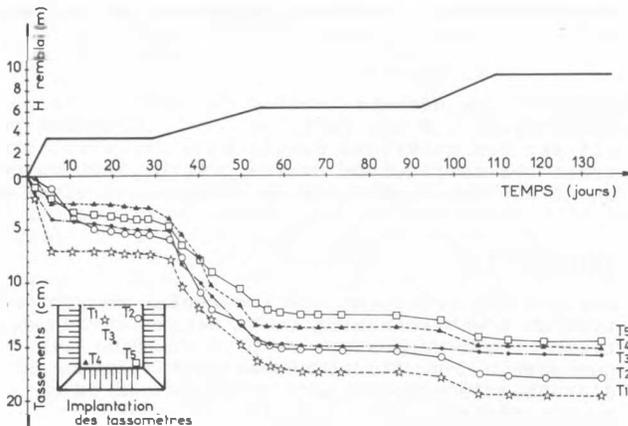


Fig. 2 : Suivi de l'efficacité du préchargement.

La culée a été réalisée en terre armée après préchargement de la zone par un remblai provisoire monté en trois phases jusqu'à une hauteur de 10 m. Le suivi des tassomètres (fig. 2) a montré que les tassements primaires s'effectuent presque simultanément au chargement et qu'une stabilisation presque totale est obtenue après 2 à 3 semaines. Le tassement final, compris entre 15 et 20 cm, peut être estimé par un calcul en élasticité en convertissant le module pressiométrique en module de déformation. On aboutit à une valeur réaliste (16 cm) mais qu'il convient de considérer avec prudence puisque l'on note des valeurs assez différentes au cours des trois phases.

Il existe, en effet, un rapport de 2,5 entre les tassements unitaires des deux premières phases (0,9 contre 2,3 cm pour 10 kPa de surcharge) qui peut s'expliquer par des effets de voûte qu'il faut détruire pour amorcer les tassements. Sous la troisième phase, les tassements unitaires sont par contre inférieurs, ce qui traduit l'amélioration des caractéristiques du terrain. Un contrôle pressiométrique a d'ailleurs montré que les valeurs initiales ( $p_1 = 340$  kPa et  $E = 2\ 200$  kPa) ont été quasiment doublées ( $p_1 = 740$  kPa et  $E = 4\ 500$  kPa) après préchargement.

Les tassements résiduels du massif en terre armée sont de l'ordre de 5 mm après 200 jours d'observations et donc tout à fait acceptables pour cette structure. Cela confirme qu'il est possible de construire sur ce type de déchets dès lors qu'une amélioration des caractéristiques est obtenue. Le préchargement apparaît efficace à cet égard et permet d'obtenir une stabilisation assez rapide des tassements.

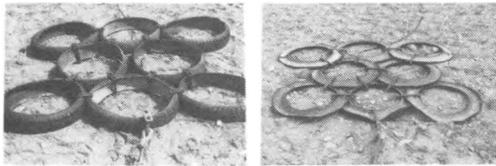


	Bande de roulement aplatie			Bande de roulement sur chant			Flanc		
Nombre d'éléments linéaires.									
Effort maximum (KN)	310	490	680	335	320	410	195	300	>335
Déplacement correspondant à l'avant de l'élément (cm)	12	29	44	17	32	62	7	40	>29
Effort pour ΔL= 10 cm (KN)	300	390	360	250	190	160	190	200	250

Tableau I : Résultats des essais sur armatures linéaires pour une hauteur de remblai de 1 m.

### Assemblages en nappe :

Dans tous les cas les essais ont été menés jusqu'à la rupture de l'attache sans que le maximum de la sollicitation de la structure ne soit atteint. Les résultats des essais correspondant à une hauteur de remblai de 1 m sont donnés dans le tableau II. On observera que pour ce type d'assemblages nous avons éliminé la bande de roulement aplatie qui se prête mal à une telle disposition.



	Bande de roulement sur chant					Flanc			
Nombre d'éléments									
Effort maximum (KN)	>443	>680	>444	>409	>382	>560	>430	540	>575
Déplacement correspondant à l'avant de l'élément (cm)	> 43	>26	>14	>20	>24	>13,5	>36	46	>38,5
Effort pour ΔL=10cm (KN)	260	450	215	262	212	495	180	250	225

Tableau n° 2 : Résultats des essais sur armatures en nappes pour une hauteur de remblai de 1 m.

D'une manière générale, les pentes à l'origine des courbes effort-déformation obtenues sont plus raides que celles observées pour des assemblages de type linéaire, principalement pour ce qui concerne les essais sur les bandes de roulement sur chant. On observera en particulier que la meilleure disposition est, pour ce type d'élément, la trame carrée. D'autre part, des essais effectués sur des éléments doublés (superposés pour les flancs ou emboîtés l'un dans l'autre pour les bandes de roulement) donnent des résultats comparables à ceux obtenus dans les essais avec un seul élément lorsqu'il y a glissement de l'éprouvette.

Par contre, lorsque l'ancrage est suffisant, les efforts de tractions mesurés sont beaucoup plus importants dans le cas d'un élément double, cette argumentation pouvant atteindre le double de la valeur initiale. Une telle disposition est particulièrement intéressante au niveau de l'attache.

Ces essais, entrepris dans le cadre d'une étude

de faisabilité détaillée, illustrent les très bonnes caractéristiques mécaniques des différents éléments de pneumatiques et permettent de bien connaître le matériau pour lequel on peut envisager diverses applications (murs et radiers, raidissement des pentes...) (Fig. 4). Le dimensionnement de ces structures se fait par analogie aux études présentées par ailleurs. (Schlosser, F. et N.T. Long, 1973).

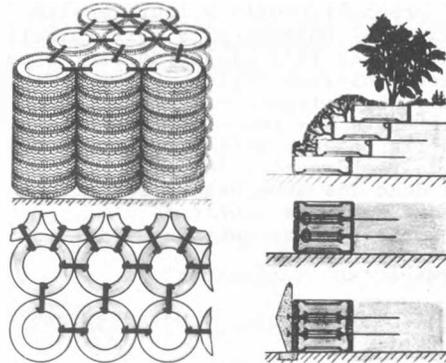


Fig. 4 : Exemples d'application

### CONCLUSIONS

L'utilisation de déchets urbains ou industriels en génie civil doit être envisagée quand le terrain de fondation est une zone de décharge de résidus ou quand on désire employer des matériaux usagés dans les structures.

Les problèmes posés par la construction sur déchets sont liés notamment aux moyens de reconnaissance et à la prévision des tassements. Le suivi de planches expérimentales permet de pallier ces difficultés et peut se révéler particulièrement intéressant quand les mesures concluent à des tassements résiduels admissibles. Sur les résidus très hétérogènes nécessitant un traitement, le préchargement s'avère être une méthode efficace.

Les possibilités de réemploi de matériaux usagés, déjà étudiées par ailleurs pour les structures de chaussées, sont également prometteuses dans le domaine des ouvrages en terre.

On retiendra notamment que les vieux pneumatiques constituent un matériau de renforcement des sols particulièrement économique et qui devrait trouver de nombreuses applications.

### REFERENCES

- Cartier, G. (1979). Les résidus urbains ou industriels comme sous-sol de fondation, Colloque national "Connaître le sous-sol", (I), 407-416, Lyon.
- Schlosser, F. et N.T. Long. (1973). Dimensionnement des ouvrages en terre armée : murs et culées, Association amicale des Ingénieurs anciens de l'ENPC, Paris.
- Sowers, G.F. (1968). Foundation problems in sanitary Landfills, ASCE, J of the SED, (94) n° SAT, 103-116.
- Vidal, H. (1966). La terre armée, Annales de l'ITBTP, 223-229, Juillet-Août.