Third International Conference on Geotextiles, 1986, Vienna, Austria

DELMAS, Ph., Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris, France
MATICHARD, Y., Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nancy, France
GOURC, J.-P. et RIONDY, G., IRIGM Université de Grenoble, France

LES CHAUSSEES NON REVETUES RENFORCEES PAR GEOTEXTILES — 7 ANS D'ETUDES
UNSURFACED ROADS REINFORCED BY GEOTEXTILES—A SEVEN YEARS EXPERIMENT
GEOTEXTILVERSTÄRKTE ERDSTRASSEN — EINE SIEBEN JAHRE LANGE STUDIE

Cette communication dresse le bilan final des recherches approfondies, sur le renforcement des chaussées non revêtues sur sol peu portant, menées depuis plus de 7 ans dans les Laboratoires des Ponts et Chaussées de France (étude en vraie grandeur) et à l'Université de Grenoble (étude sur modèle réduit).

Une chaussée expérimentale sur sol mou a permis de tester plusieurs types de géotextiles ainsi que plusieurs structures de renforcement.

Un programme de 30 essais de poinçonnement cyclique, en grande cuve, faisant suite à ceux présentés à Las Vegas, a mis en évidence l'influence du géotextile, du sol de fondation et du sol d'apport.

Il est proposé un critère de fatigue pour chaussées renforcées, permettant d'évaluer l'effet du renforcement, à partir d'un simple essai de poinçonnement quasi-statique (en remplacement d'un essai de traficabilité).

I - EXPERIMENTATION DE NANCY

L'expérimentation grandeur nature réalisée au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de NANCY (France) avait pour but de comparer l'efficacité de différentes structures de renforcement en examinant le rôle des paramètres, longueur d'ancrage, raideur du géotextile, qualité du contact sol-géotextile.

I.1. Présentation du site et des structures testées

Parallèlement à une planche de référence sans géotextile, quatre types de structure ont été expérimentés. Le renforcement a été réalisé, soit par un géotextile placé à l'interface sol de fondation - matériau d'apport avec un ancrage latéral court (largeur du géotextile 4.5 m) ou un ancrage latéral long (largeur du géotextile 7.0 m), soit par deux géotextiles, le premier placé à la base et le second au milieu de la couche d'apport, soit par un conteneur d'épaisseur égale à la moitié de la couche d'apport.

Le sol support est constitué d'un matériau argileux de cohésion mesurée au scissomètre de chantier comprise entre C_u = 30 kPa et C_u = 50 kPa. Afin de faciliter la comparaison des différentes planches, la hauteur théorique de la couche d'apport a été prise constante et égale à Hr = 0.40m. Le matériau dont elle est constituée est un calcaire concassé 0/60 de caractéristiques de résistance au cisaillement C'= 0 kPa ϕ'= 47°.

This paper presents a final synthesis of the intensive researches on the reinforcement of unsurfaced roads on soft subgrade, which were carried out since seven years in the french laboratories of Ponts et Chaussées (full-scale experiments) and at the University of Grenoble (experiments on a scale model).

Several geotextiles (wowen and non-wowen) and several reinforcement structures were tested with an experimental road on soft subgrade.

A program of 30 cyclic loading tests, following those presented at Las Vegas, has shown the part of geotextile, of foundation and subbase.

A fatigue relationship for reinforced roads is proposed, which allows to évaluate the reinforcement effect with only one bearing plate test in case of a traficability test.

Les caractéristiques des géotextiles ont été déterminées par un prédimensionnement initial effectué à partir des Recommandations du Comité Français des Géotextiles et des Géomembranes (11) en faisant varier la raideur du géotextile et son aptitude au frottement afin d'analyser le rôle effectif des paramètres du dimensionnement.

Deux types de géotextiles ont été retenus, un non tissé aiguilleté de polyester et un tissé de bandelettes de polypropylène, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Marque et type	Bidim U 24 non tissé	Bidim U 34 aiguilleté	Scotlay (100 g) tissé de	Scotlay (200 g) bandelettes
Dénomination	B.D.210	B.D.280	T.110	T.205
Masse surfacique (g/m2)	210	270	110	205
Résistance à la rupture (KN/m)	12	16	11.5	27.5
Allongement à la rupture (%)	50	50	14	16
Porométrie (µm)	125	125	200	200
Raideur J (KN/m)	35	40	100	200

Tableau 1 : Caractéristiques des géotextiles utilisés.

Le trafic a été réalisé grâce à un camion possédant un essieu de 130 kN, et circulant à une vitesse de 20 km/h. La circulation a été assurée systématiquement dans l'ornière initiale en alternant le sens à chaque passage.

I.2. Constatations

Malgré la relative homogénéité des caractéristiques des pistes, l'interprétation des mesures a nécessité de prendre en compte au droit de chaque profil les valeurs réelles de modules et de portances.

L'analyse de l'évolution de l'ornière en fonction du nombre de passages (figure 1) confirme les résultats obtenus sur modèles réduits (4) :

- Meilleur comportement de la chaussée pour une raideur J supérieure (BD 280, J=40 kN/m et T 205 J=200 kN/m de même largeur totale L= 4.5 m).
- Meilleur comportement de la chaussée pour un géotextile mieux ancré (T205, J=200 kN/m L= 4.5 m et L= 7.00 m).
- Bon comportement pour les structures binappes associant des géotextiles de raideurs relativement faibles (2 x BD 210, J=35 kN/m, L= 5.30 m meilleur que T 205, J=200 kN/m, L= 7.00 m).

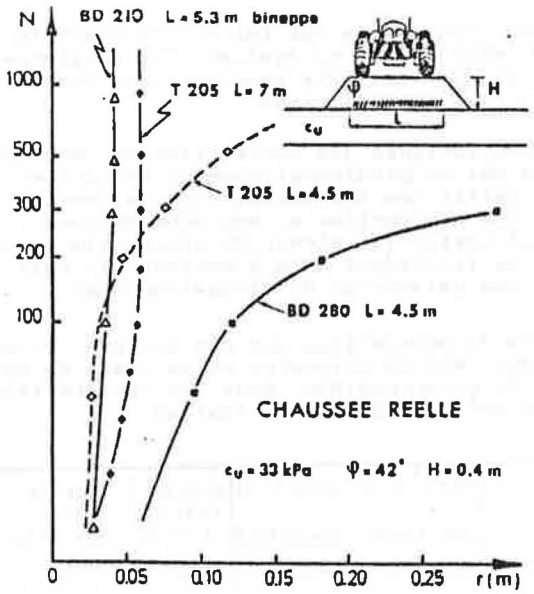


Figure 1

Expérimentation de chaussée sur site réel : évolution du nombre de passages en fonction de l'ornièrage pour différentes structures renforcées

Cette expérimentation a permis d'autre part de suivre le vieillissement des nappes lié au trafic. En particulier, on a pu déterminer une profondeur critique (H= 0.20 m) de la nappe au dessus de laquelle le risque d'abrasion est très élevé. Pour une profondeur trop faible on constate un meilleur comportement des non tissés.

D'une manière générale les essais de traction réalisés à postériori n'ont montré une baisse importante après le trafic cumulé de 117 000 kN que pour les géotextiles placés sous une épaisseur de sol de 0.2 m.

I.3. Approche quasi-statique du comportement

- Comportement élastique

L'analyse du comportement des pistes a été abordée par le biais du module élastique à la plaque (Ev2) obtenu par corrélation à partir du coefficient de restitution obtenu lors de l'essai à la dynaplaque (2). Vingt six essais ont été réalisés sur l'ensemble des profils de mesure. Ils fournissent le module global de la structure comprenant le sol de fondation, le géotextile et la couche d'apport.

En raison des hétérogénéités du sol support, on a déterminé pour chaque profil le "module d'Young" équivalent sans géotextile, mesuré au niveau du sol support, à partir d'un calcul élastique (1). La figure 2 représente le module Ev2 du profil avec géotextile en fonction du module d'Young équivalent sans géotextile.

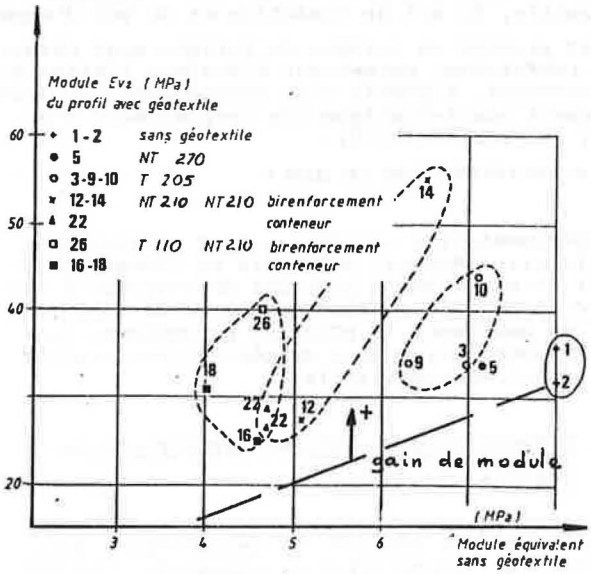


Figure 2

En se bornant à une exploitation qualitative, on notera que le type de structure est un paramètre primordial dans la tenue des pistes en petites déformations |meilleur comportement bi-renforcement (profils 12 à 26) que mono-renforcement (profils 3 à 10)|, alors que l'incidence de la raideur du géotextile paraît moins importante bien que significative |profil 5 (raideur 40 kN/m) à comparer aux profils 3-9-10 (raideur 200 kN/m) ou profils 12.14.22 (raideur 2 x 30 kN/m) à comparer aux profils 16-18-26 (raideur 30 kN/m + 100 kN/m)|.

- Comportement en grandes déformations

Par souci de simplification l'analyse a été limitée au profil n°5 constitué d'un mono-renforcement BD 280 de largeur 4.5 m. La déformée du géotextile après un trafic de 310 passages est présentée sur la figure 3. Elle permet de confirmer le double rôle du géotextile (effet répartiteur et effet membrane) (3).

L'approche de l'effet répartiteur a été tentée par une évaluation théorique. En assimilant la piste à une poutre posée sur un sol de module de réaction linéaire on obtient :

$$\frac{B^*-B^*_o}{2\,H} = \frac{1}{2\,H}\,\Pi\sqrt[4]{\frac{4\,J\,H^2}{k}} - \frac{B}{2\,H}$$

avec

$\frac{B^*-B^*_o}{2\,H}$ effet répartiteur : élargissement de l'empreinte dû au géotextile.

J raideur du géotextile (kN/m)
H hauteur de la couche d'apport (m)
k module de réaction du sol support (kPa/m)
B largeur de la roue.

Dans le cas du profil n°5 le calcul fournit une valeur de l'effet répartiteur de 0.45 pour une valeur mesurée de 0.42 en prenant une répartition sans géotextile inclinée à $\pi/4 - \emptyset/2$ dans la couche d'apport. Il conviendrait cependant de valider cette approche sur un nombre plus important de mesures.

Par ailleurs le gain de portance dû au géotextile a été évalué sur ce profil conformément aux calculs présentés par DELMAS et al (4).

Le gain de portance quasistatique lié à l'effet répartiteur a été évalué à 15 % par rapport à la portance du bicouche sans géotextile alors que celui lié à l'effet membrane n'est que de 6 %.

Par ailleurs les calculs en ancrage réalisés, en prenant une loi de frottement élastoplastique entre le sol et le géotextile couplée à un comportement élastique linéaire du géotextile, montrent que sur ce profil l'ancrage est mobilisé à 100 %. Ceci se trouve par ailleurs confirmé par les mesures expérimentales puisque le glissement mesuré en extrémité de nappe est de 3 cm alors que le déplacement relatif sol-géotextile nécessaire pour atteindre le frottement limite est de 1.7 cm avec $tg\,\phi g/tg\,\phi \simeq 0.7$.

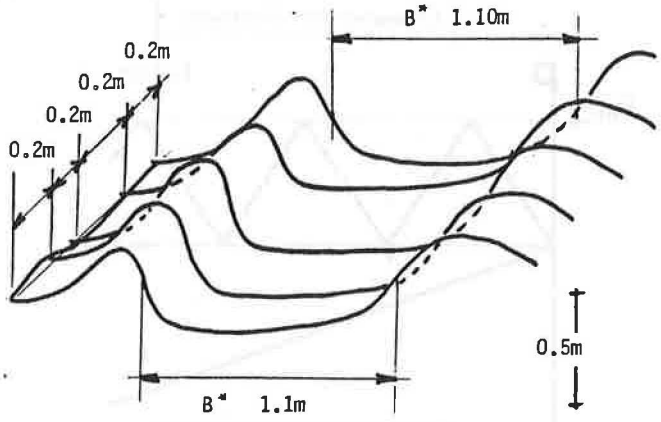


Figure 3 : Déformée du géotextile après trafic (N=310) sur le profil 5 (BD 280).

II - ETUDE DU COMPORTEMENT A LA FATIGUE A L'I.R.I.G.M.

II.1. Essais de similitude

II.1.1. Conditions générales d'expérimentation

Les essais réalisés à l'Université de GRENOBLE (France) sont des essais de chargement d'une structure bi-couche (sol pulvérulent d'angle de frottement Ø sur un sol cohérent pur de cohésion Cu) - (figure 4) simulant une chaussée provisoire sur sol mou. Un chargement cyclique (pression maximale P_m et fréquence 1 Hz)- (figure 5) simule le trafic des véhicules. Parallèlement à ces essais de fatigue, on effectue, pour les mêmes structures de chaussée, des essais à vitesse d'enfoncement constante, appelés "essais de chargement statique" (soit P_s la pression moyenne correspondant à un enfoncement r).

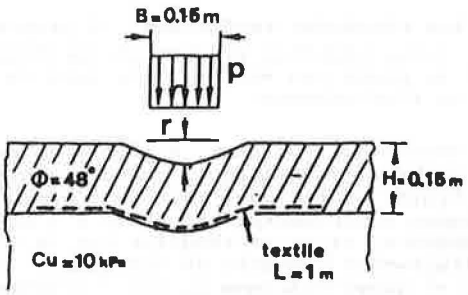


Figure 4 : Modèle réduit utilisé pour les essais de fatigue de chaussée.

La vérification des conditions de similitude ainsi que le détail des conditions expérimentales sont dans les références (4, 5, 6).

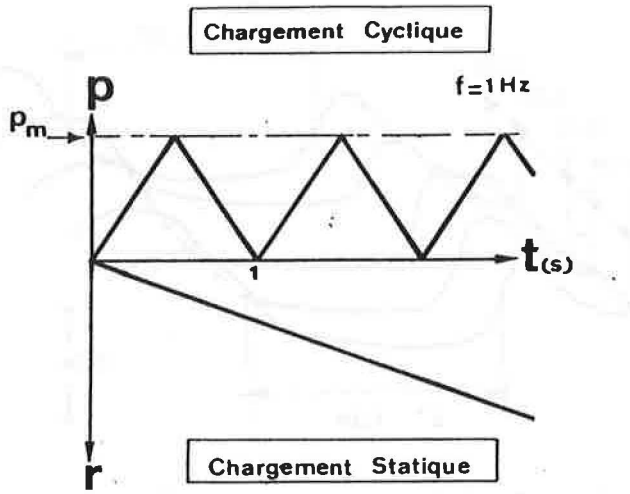


Figure 5 : Conditions de chargement du modèle réduit.

Dans le court compte rendu présenté ici, nous n'avons considéré qu'un seul type de géotextile de renforcement, entre les deux couches de sol, un non-tissé polyester de masse surfacique μ = 150 g/m² et de raideur en traction J=20kN/m (BD 150).

II.1.2. Existence d'une pression limite de fatigue $p_m(r)$

HALIBURTON (9) a proposé de considérer pour les chaussées provisoires non renforcées :

$$r<r_1 \rightarrow p_m < p_{m1} = \pi.C_u$$

soit en pourcentage de la pression limite statique théorique ($p_s = (\pi + 2).C_u$) :

$$\frac{p_{m1}}{p_s} = \frac{\pi}{\pi+2} = 0,61$$

Pour les chaussées renforcées, il propose $p_{m1} = 6.C_u$, résultat évidemment imprécis, puisqu'il ne prend pas en compte le type de géotextile en renforcement.

Nous avons, quant à nous, à partir de la même idée de base, développé le concept d'une pression limite de fatigue, mais en s'appuyant sur le programme expérimental entrepris à l'Université de GRENOBLE, et en particulier sur la comparaison des diagrammes d'essais de chargement cyclique $p(N,r)$ et quasi-statique p_s (r) - (figure 6).

On constate sur les diagrammes p (N,r) que l'enfoncement de la plaque continue à croitre en décharge, tant que :

$$p\ (N,r) > \alpha.\ p_s\ (r)$$

Le caractère remarquable de ce comportement est que α est indépendant de r.

Nous avons montré par ailleurs que α était peu dépendant du type de renforcement textile (8).

α = 0,60 pour un bi-couche non renforcé et
α = 0,45 pour un bi-couche renforcé par un géotextile de forte raideur (J = 150 kN/m).

Nous rapprocherons la valeur α = 0,60 trouvée de la valeur obtenue par HALIBURTON α = 0.61.

Le principe de l'existence d'une pression limite de fatigue $p_{m1}(r_1)$, telle qu'un nombre N de cycles infini n'entraine pas un orniérage supérieur à r_1, étant acquis, nous allons maintenant tenter de définir un critère de fatigue, intégrant la notion de pression limite de fatigue.

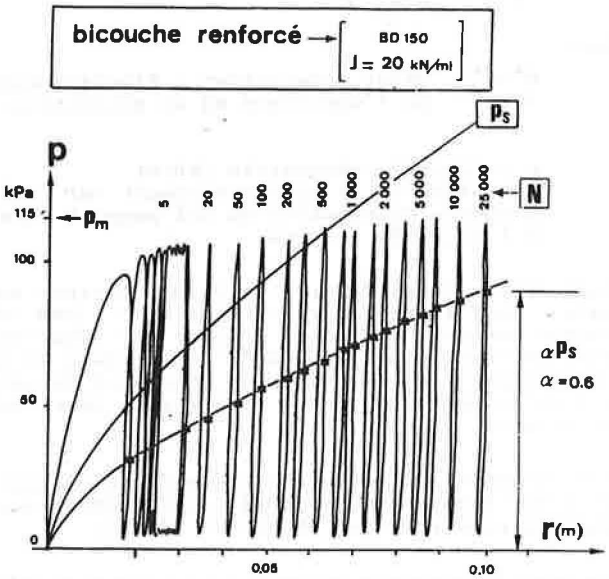


Figure 6 : Superposition des diagrammes de poinçonnement statique et cyclique.

II.1.3. Critère de fatigue (indépendant de l'orniérage r)

Nous avions précédemment proposé (7) un critère de fatigue, pour les chaussées renforcées, généralisant le critère de HAMMIT (10) Nous proposons maintenant un nouveau critère de forme hyperbolique, et ayant le grand avantage d'être indépendant de la valeur de l'orniérage r.

$$\frac{p_m}{p_s(r)} = \frac{\alpha.\log N\ (r) + \beta}{\log N\ (r) + \gamma}$$

A partir de diagrammes tels que ceux de la figure 7, on obtient pour chaque orniérage r, une valeur $p_s(r)$ et des couples de valeurs [p_m, N (r)].

L'ensemble des points obtenus pour tout p_m et tout r est regroupé pour une structure de chaussée donnée, sur un diagramme tel que celui de la figure 8.

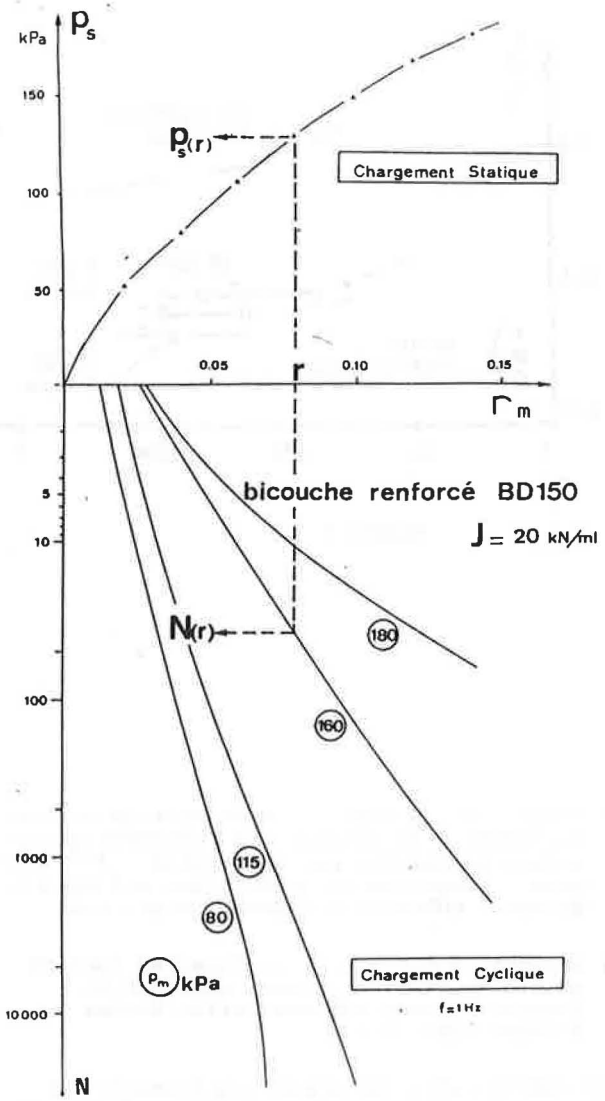


Figure 7 : Diagrammes cycliques et statiques permettant l'établissement du critère de fatigue (figure 8).

A partir de 40 couples de valeurs expérimentales [p_m/p_s (r) et N (r)], par la méthode des moindres carrés, on obtient pour la courbe moyenne de la figure 8 :

$$\alpha = 0{,}60 \qquad \beta = 1{,}45 \qquad \gamma = 0.5$$

Il est notable que la valeur $\alpha = 0{,}60$ déterminée en II.1.2 est encore valable pour le critère de fatigue. Par contre β et γ varient avec la raideur du géotextile J (12).

Si ces résultats sont confirmés par des essais sur chaussées en vrai grandeur, ils présenteront un grand intérêt pratique ; en effet le critère proposé peut être utilisé comme une formule d'équivalence de trafic.

La détermination du critère peut être obtenue à partir de :

- un essai de traficabilité, mais à pression de chargement (p_m) supérieure à la pression de service, ce qui permet d'écourter d'autant ce type d'essai généralement coûteux.

- un essai de chargement quasi-statique p_s (r) généralement plus aisé qu'un essai de traficabilité.

II.2. Conclusions sur les expériences de similitude

De nombreux auteurs ont déjà clairement montré l'influence favorable d'un géotextile sur le comportement à la fatigue des chaussées non revêtues fondées sur sol mou, à partir de modèles réduits.

Ce que nous proposons en complément, c'est une nouvelle formulation du critère de fatigue, valable aussi bien pour les chaussées renforcées que non renforcées, et permettant de corréler des essais de poinçonnement quasi-statique et des essais de traficabilité.

Si l'on applique ce résultat à l'expérimentation de NANCY on peut représenter les points expérimentaux dans le diagramme (pm/ps, N) (figure 9). Malgré le nombre limité de points significatifs, il semble que l'allure et l'ordre respectif des courbes obtenues soient en accord avec l'approche théorique précédente.

Ceci permet de proposer dans le cas de la piste expérimentale de NANCY les valeurs limites du rapport pm/ps du tableau 2.

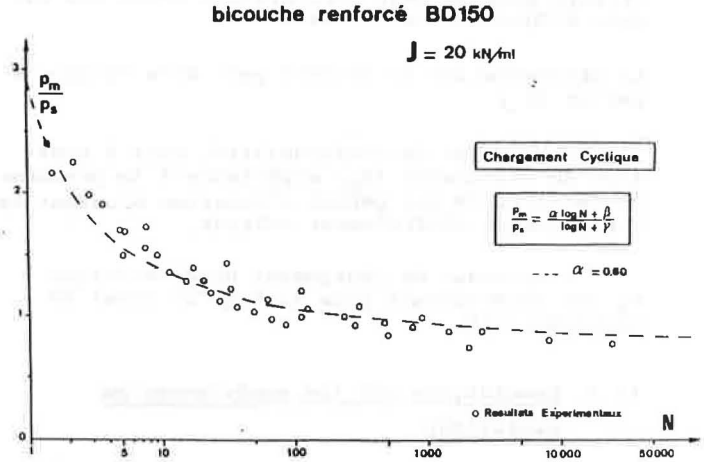
Structure	pm/ps limite
non renforcé	0.60 (théor.)
B.D. 280	0.45 (exp.)
T 205 (L=4.5 m)	0.40 (exp.)
T 205 (L=7.0 m)	0.32 (exp.)

Tableau 2

Remerciements

Les auteurs remercient particulièrement l'Agence de NANCY de SCETAUROUTE ainsi que RHONE POULENC FIBRES pour l'aide qu'ils ont apportés à l'expérience de NANCY.

Figure 8 : Détermination d'un critère de fatigue pour les chaussées provisoires renforcées, indépendant de l'orniérage.



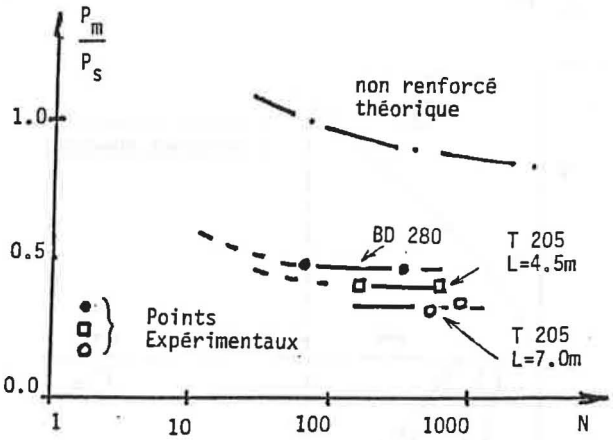


Figure 9

Références

(1) Abaques Bicouches ALIZEE 3, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

(2) BENOIT J., SCHAEFFNER M., 1982, "La Dynaplaque", Bulletin de liaison Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 122, Novembre-Décembre p. 61 - 72.

(3) DELMAS Ph., GOURC J.P., PERRIER H., 1985, "Dimensionnement d'ouvrages renforcés par géotextiles". Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mech. a Found. Eng. San Francisco, pp 1769-1772.

(4) GOURC J.P., MATICHARD Y., PERRIER H., DELMAS Ph., "Capacité portante d'un bicouche sable sur sol mou renforcé par géotextile", 2ème Conférence Internationale des Géotextiles, Las Vegas 1982.

(5) GOURC J.P., Quelques aspects du comportement des géotextiles en Mécanique des Sols. Doctorat d'Etat - IRIGM - Université de GRENOBLE 1982 - France.

(6) GOURC J.P., PERRIER H., RIONDY G., RIGO J.M., PERFETTI J., Chargement cyclique d'un bi-couche renforcé par géotextile - 2nd International Congress on Geotextiles - Las Vegas - U.S.A. 1982.

(7) GOURC J.P., PERRIER H., RIONDY G., Unsurfaced road on soft subgrade mechanism of geotextile reinforcement - 8th European Congress of Soil Mechanic and Foundations - Helsinki - 1983.

(8) GOURC J.P., RIONDY G., Modélisation du comportement à la fatigue des chaussées provisoires renforcées par géotextile - 2nd Canadian Symposium on Geotextiles and Geomembranes - Edmonton - Canada - Sept. 1985.

(9) HALIBURTON A., Use of engineering fabrics in transportation related application - Federal Highway Administration Review - October 1981. U.S.A.

(10) HAMMIT G.M., Thickness requirements for unsurfaced road and airfields - Technical Report - U.S.A. 1970.

(11) "Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les voies de circulation provisoire, les voies à faible trafic et les couches de forme", 1981. Comité Français des Géotextiles et des Géomembranes 40 pp.

(12) RIONDY G., Géotextiles et comportement à la fatigue des chaussées non revêtues - Thèse D.I. - IRIGM - Université de GRENOBLE - 1985 - France.