

KHAY, M., MOREL, G. et PERRIER H.

Centre d'Expérimentations Routières

Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement Normandie-Centre, France

EMPLOI DES GEOTEXTILES DANS LES CHAUSSEES DE ROUTES ECONOMIQUES: EXPERIMENTATIONS

USE OF GEOTEXTILES IN CONSTRUCTION OF LOW COST HIGHWAYS: AN EXPERIMENT

**EINSATZ VON GEOTEXTILIEN FÜR STRASSEN MIT NIEDRIGER VERKEHRSFREQUENZ:
VERSUCHSERGEBNISSE**

L'emploi des géotextiles comme éléments de renforcement des matériaux de faibles caractéristiques mécaniques permet d'utiliser pour la construction routière des matériaux locaux économiquement disponibles.

La communication fait état des résultats des expérimentations réalisées en vraie grandeur pour l'étude du comportement des structures de chaussée comportant une couche de base en sol renforcé par des éléments textiles (fibres et géotextiles manufacturés) et une couche de roulement renforcé par un géotextile.

Les caractéristiques de déformabilités et le suivi en déformation des couches sous circulation d'essieu de camion sont indiquées et comparées pour les divers procédés de renforcement testés

L'emploi des géotextiles dans la construction routière constitue une perspective intéressante face à la pénurie des bons matériaux de construction et aux problèmes que posent leur exploitation et leur transport. Dans le domaine des routes économiques où les facteurs déterminants sont les coûts des matériaux et de leur mise en oeuvre, l'introduction de l'emploi des géotextiles permet de valoriser les ressources locales et d'agir sur ces facteurs.

La communication présente les résultats d'un programme de recherche et d'expérimentations en vraie grandeur mené au Centre d'Expérimentation Routière (Réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées - FRANCE) sur les techniques de renforcement des matériaux de chaussée par incorporation des éléments textiles (fibres ou géotextiles).

A - EXPERIMENTATIONS REALISEES

A-1- Plan de l'étude

L'étude réalisée met en oeuvre des structures de chaussée utilisant en couche de base des sols renforcés par des éléments textiles selon 3 techniques différentes et en couche de roulement un revêtement bitumineux renforcé par une nappe de géotextile. L'objet des essais est de comparer les caractéristiques de déformabilité des différentes structures de chaussée et leur comportement en déformation sous un trafic simulé par la circulation d'un camion. Les différentes structures testées sont présentées à la figure 1.

Elles comportent une couche de forme identique pour toutes les modalités en sable 0/0,3 mm de 60 cm d'épaisseur, une couche de base renforcée d'épaisseur ≤ 20 cm et un revêtement en enduit superficiel renforcé. Le ren-

Some specific problems in availability of raw materials with appropriate geotechnical characteristics or difficulty of aggregates preparation and his transport can be resolved by using of local resources. The use of textile inclusions in the soil shows a considerable improvements of its mechanical properties.

The paper reports on results of experimental studies on improvement of soil by incorporation of fabrics (fibers and manufactured geotextiles) and its use in pavement base-course.

Differents methods of reinforcing soil are tested.

Some results on the structures' behaviour under plate bearing load and trafic load are given and discussed.

forcement de la couche de base utilise les procédés Armater, Enkamat et Texsol. Ces 3 procédés sont brevetés. Les 2 premiers procédés sont habituellement utilisés en protection de talus contre les érosions.

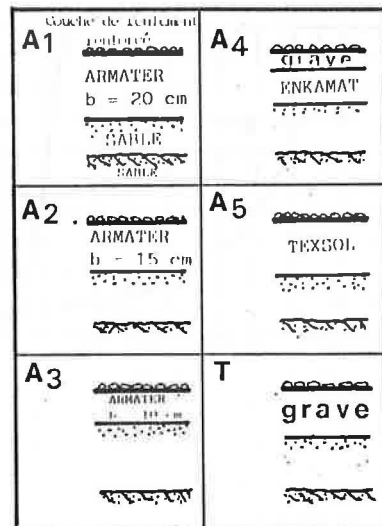


figure 1 : Structures testées

La figure 2 montre les dispositions et dimensions des planches d'essais réalisées.

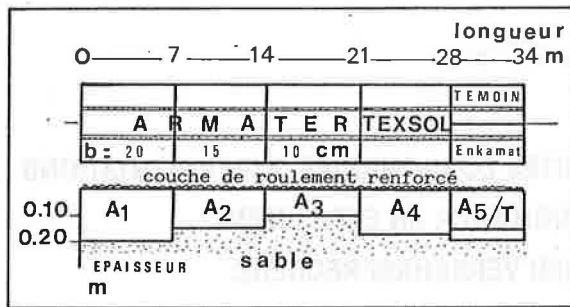


figure 2 : Dispositions et dimensions des planches d'essais

A-2- Présentation des matériaux et des structures d'essais

a - Sols

Dans notre étude, nous avons utilisé des matériaux granulaires (sable et grave non traitée).

*Sable

C'est un sable naturel 0/0,3 mm propre (Fontainebleau France). Il s'agit d'un sable réputé non traficable et non utilisable sans traitement.

Caractéristiques géotechniques

coefficient $C_u = 1,7$ $\gamma_{dOPN} = 1,60$ à $W = 8 \%$

coefficient $C_c = 1,1$ Indice de portance CBR sans surcharge 2
 $C' = 0$ $\phi' = 36^\circ$

* Grave non traitée

granularité 0/31,5 mm (Vignats - France)
 γ_{dOPM} corrigée = 2,33 à $W = 4,9 \%$

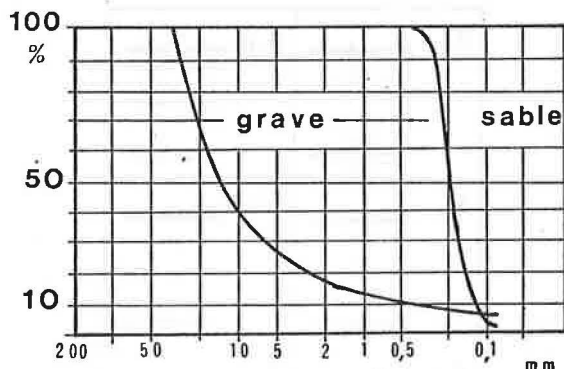


figure 3 : Courbes granulométriques des sols utilisés

b - Matériaux de la couche de base

* Structures ARMATER : Planches A₁ à A₄

La couche de base renforcée est une structure alvéolaire en géotextile remplie de sable 0/0,3 mm. Le géotextile dénommé ARMATER est une nappe alvéolaire régulière et continue obtenue en soudant par point des bandes de géotextiles entre elles. Les alvéoles sans fond sont de forme hexagonale de côté a et de hauteur b. (figure 4).

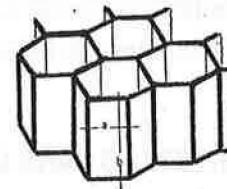


figure 4 : Schéma des alvéoles d'Armater

Le géotextile de base est un non tissé polyester aiguilleté et résiné, matériau alliant la résistance mécanique (sens longueur : 16,2 kN/m) à un pouvoir drainant. Trois géométries d'alvéole d'Armater sont testées. Le rapport a est maintenu constant et égal à 1. b est égal à $\frac{20 \text{ cm}}{2}$ (A₁), 15 cm (A₂) et 10 cm (A₃) (photo 1).

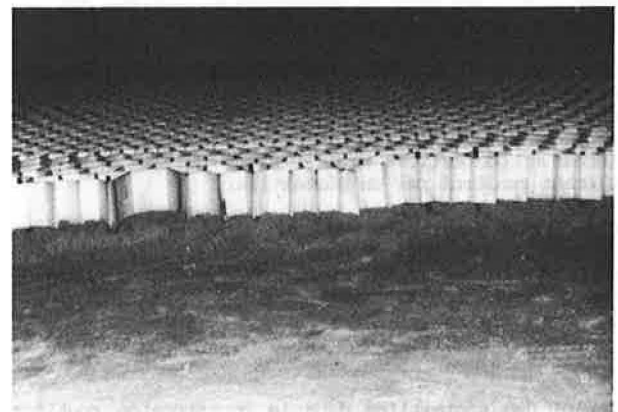


Photo 1 : Vue de la nappe d'Armater déployée

* Structure ENKAMAT : Planche A₄

Le géotextile de renforcement est une nappe préfabriquée de 2 cm d'épaisseur formée d'un enchevêtrement lâche de fils polyamide extrudé. La couche de base renforcée est constituée d'une juxtaposition de nappes d'Enkamat remplies de sable d'une épaisseur totale de 10 cm surmontée d'une couche de 6 cm d'épaisseur de grave non traitée 0/31,5 mm (photo 2).



photo 2 : Vue de la nappe d'Enkamat

* Structure TEXSOL : Planche A₅

Le Texsol (photo 3) est un composite sol-fibres tridimensionnel obtenu par incorporation de fils textiles continus dans le sable. Le mélange est réalisé en place. L'adjonction des fils textiles continus dans un sable non cohérent confère au mélange une cohésion importante. Les caractéristiques mécaniques du mélange dépendent principalement du sable, du fil utilisé et du dosage en fil.



photo 3 : Matériau sol-fibres TEXSOL

Caractéristiques géotechniques

	$C' = 480 \text{ kPa}$	$\phi' = 37^\circ$
Sable 0/0,3 mm + fil polyester 50 dtex	} Indice de portance CBR sans surcharge 60	
Dosage pondéral en fil 0,3 %		

* Structure témoin T

La couche de base est en grave non traitée 0/31,5 mm de 20 cm d'épaisseur.

c - Couche de roulement renforcé

C'est une couche d'enduit superficiel posé sur une nappe de géotextile de renforcement.

* Géotextile

C'est un non tissé sous-aiguilleté de fils polyester continus à structure lâche de 100 g/m² dénommé NADERE.

* Enduit superficiel bicouche

- Gravillons 4/6 mm et 6/10 mm
- Liant : émulsions de bitume à 65 % de bitume en 3 couches dosées à 1 kg/m² par couche (photo 4).

A-3- Essais réalisés

Avant de soumettre les structures aux sollicitations du trafic, il est procédé aux essais d'identification des matériaux et des structures : mesure des épaisseurs, de densité et de module de déformation. Les essais de circulation d'essieu chargé se compose de 400 passages d'essieux tandem de 80 kN et 200 passages d'essieu simple de 130 kN. Les contrôles des déformations permanentes sont effectués en fonction du nombre de

passages du camion et dans le cas des structures Armater, des mesures de contrainte verticale induite à l'interface couche renforcée/couche de forme sont réalisées.

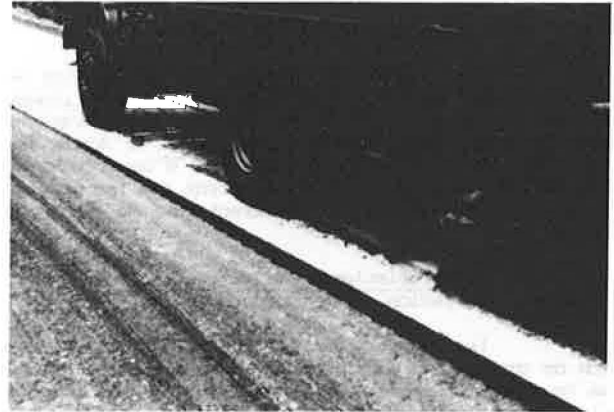


photo 4 : Enduit superficiel renforcé : répandage du liant sur le géotextile

B - RESULTATS ET DISCUSSION

B-1- Fabrication et mise en oeuvre des structures renforcées

Le renforcement des matériaux granulaires par confinement au moyen des géotextiles conduit à une amélioration considérable de leur portance et de leur traficabilité. Elle facilite le choix de la méthode et des matériels de mise en oeuvre. Dans le cas de la structure Armater, les dimensions des alvéoles déterminent la nature du sol de remplissage, sa teneur en eau et sa compactabilité. La structure de l'Enkammat limite le choix du sol de remplissage aux sables $D \leq 5 \text{ mm}$ à très faible teneur en eau.

Le Texsol constitue un cas particulier, sa fabrication et sa mise en oeuvre relèvent d'un matériel spécifique. Le tableau 1 donne les résultats de contrôle des structures d'essais à la mise en oeuvre.

Tableau 1 : Structures d'essais : Caractéristiques à la mise en oeuvre

STRUCTURE	EPAISSEUR COUCHE RENFORCER (cm)	POIDS GEOTEXTILE POIDS SABLE SEC (%)	DENSITE SECHR
A ₁ ARMATER b = 20 cm	20	0,3 %	1,56
A ₂ ARMATER b = 15 cm	15	0,4 %	1,60
A ₃ ARMATER b = 10 cm	10	0,6 %	1,57
A ₄ TEXSOL	18	0,3 %	1,68
A ₅ ENKAMMAT	16	2 %	1,77
T TEMOIN	15	---	2,00

Au plan de la fabrication et de la mise en oeuvre la structure ARMATER est la plus simple à réaliser. Le compactage n'a pas posé de problèmes particuliers malgré que les densités atteintes soient relativement faibles.

B-2- Caractéristiques de déformabilité des structures avant essais de circulation

a - Module de déformation

Les mesures de modules de déformation au deuxième chargement EV2 (essai de chargement à la plaque ϕ 600 mm) n'indiquent pas de différences significatives entre les structures testées. Le tableau 2 donne les valeurs de EV2 mesurées ainsi que celle d'une couche de sable non traité. Ces résultats montrent que les modules EV2 des couches renforcées diffèrent peu de celui du sable de base.

b - Caractéristiques deflectométriques : Déflexion et rayon de courbure

Les mesures au deflectographe donnent le rayon de courbure de la déformée et la déflexion totale sous un essieu normalisé de 130 kN. Cette méthode est habituellement utilisée pour caractériser le comportement d'une couche de chaussée. Les résultats (tableau 2) montrent des améliorations des caractéristiques mécaniques des couches renforcées (diminution de la déflexion et augmentation du rayon de courbure) nettement dans le cas de la structure Texsol (planche A₄), de la structure Témoin (planche T) et légèrement dans le cas de la planche A₁ (Armater b = 20 cm). Le comportement des autres structures semble avoir pour cause un moins bon remplissage des géotextiles.

Tableau 2 : Caractéristiques de déformabilité des structures testées avant essai de circulation

STRUCTURE	MODULE EV2 (MPa)	DEFLECTOMETRIE	
		DEFLEXION (1/100 mm)	RAYON DE COURBURE (m)
A ₁ ARMATER b = 20 cm	54	119	7
A ₂ ARMATER b = 15 cm	52	171	5
A ₃ ARMATER b = 10 cm	41	182	6
A ₄ TEXSOL	64	128	10
A ₅ ENKAMAT	66	185	4
T TEMOIN	87	149	10
SABLE	65	114	5

B-3- Caractéristiques de déformabilité de la structure aux essais de circulation

a - Déformations permanentes

Les graphiques de la figure 5 montrent les profondeurs d'ornières mesurées à différents états contrôlés au cours de la circulation de camion. Les déformations sont restées limitées (≤ 5 cm) pour toutes les structures, la déformation la plus faible est

observée dans le cas de la structure témoin. Il est à noter que les déformations des structures Texsol, Enkammat + GNT et la structure Témoin varient peu au cours des 200 derniers passages de camions alors qu'elles continuent à croître dans le cas des structures Armater, de l'ordre de 30 à 50 % de la déformation totale. Les déformations les plus importantes sont observées dans le cas de l'Armater b = 20 cm, la plus instable en surface compte-tenu des dimensions des alvéoles (figure 5).

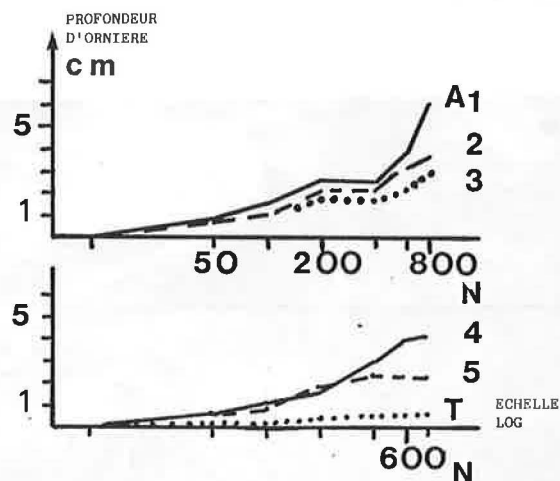


figure 5 : Déformations sous circulation de camion

b - Déformabilité des différentes structures

Le tableau 3 donne les valeurs des modules EV2, du rayon de courbure et de la déflexion mesurées en fin d'essai de circulation. Ces résultats montrent d'une part une très nette diminution de la déflexion de la couche de toutes les structures testées et une augmentation du rayon de courbure de la couche dans le cas des structures Armater (en particulier b = 15 cm) et Texsol. Ces résultats semblent indiquer un fonctionnement avec "effet dalle" de ces structures. Les contraintes verticales mesurées à l'interface de la couche renforcée/couche support montre en effet une réduction de l'ordre de 50 % de la contrainte verticale de surface.

Tableau 3 : Caractéristiques de déformabilité des structures après essai de circulation

STRUCTURE	MODULE EV2 (MPa)	DEFLECTOMETRIE	
		DEFLEXION (1/100 mm)	RAYON DE COURBURE (m)
A ₁ ARMATER b = 20 cm	56	118	27
A ₂ ARMATER b = 15 cm	47	77	18
A ₃ ARMATER b = 10 cm	43	105	22
A ₄ TEXSOL	66	101	31
A ₅ ENKAMAT	64	135	4
T TEMOIN	87	103	4

c - Comportement du revêtement renforcé

L'emploi de l'enduit superficiel en revêtement d'une couche de base en grave non traitée pose des problèmes de son accrochage au support non cohérent et le revêtement présente une faible résistance aux sollicitations du trafic. L'association d'une nappe de géotextile en renforcement de la couche d'enduit apporte une solution à ces problèmes en améliorant considérablement la résistance de la couche de roulement dans son plan et permet de proposer une solution économique, particulièrement dans le cas d'un support en sable.

Les essais de circulation réalisés montrent un bon comportement de la couche de roulement renforcé (absence de fissure et de décollement) pour une profondeur d'ornièrre 5 cm. L'amélioration du comportement de la couche de roulement dans le cas du sable peut être apportée par une couche de très faible épaisseur de grave placée entre le revêtement et la couche de base renforcée textile.

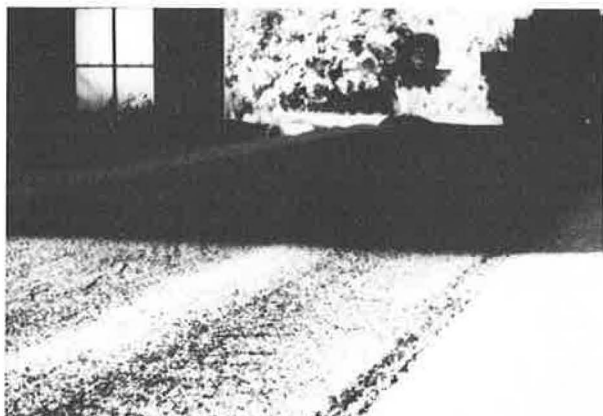


photo 5

C - CONCLUSIONS

Les essais sur les structures de chaussée en sable renforcées tout textile ont montré l'intérêt de ces techniques. Les améliorations des caractéristiques mécaniques des structures renforcées portent principalement sur leur portance et leur traficabilité et également leur comportement en déformation sous circulation (photo 6). Le module EV2 reste toutefois peu modifié par rapport au cas de sable non renforcé. Il a été également mis en évidence dans le cas des structures Armater l'influence de la géométrie des alvéoles de l'Armater et de la nature du géotextile de base. Ces procédés se présentent comme une alternative intéressante et apportent des solutions techniques aux problèmes des chaussées économiques. Le programme de recherche se poursuit actuellement sur les procédés Armater et Texsol, procédés les plus prometteurs et s'attache à rendre opérationnel le dimensionnement de ces structures en vue de leur généralisation. Une collaboration avec le Centre d'Etude du Machinisme Agricole, Génie Rural, des Eaux et Forêts (CEMAGREF) permettra de tester ces structures sous trafic réel.



photo 6

D - REMERCIEMENTS

Le travail présenté a été réalisé dans le cadre du programme de recherche financé par la Direction des Routes (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) et la Direction des Affaires Economiques et Internationales du Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports (France). Nous remercions les producteurs de géotextiles pour leur contribution sur les prototypes de géotextiles utilisés.

REFERENCES

- (1) KHAY M.
Routes en sable - C.R. du Centre d'Expérimentations Routières - février 1984
- (2) KHAY M.
TEXSOL - Emploi en couche - C.R. du Centre d'Expérimentations Routières - 1986
- (3) LEFLAIVE E. - KHAY M. - BLIVET J.C.
Un nouveau matériau : le TEXSOL - Bulletin de liaison des Ponts et Chaussées - N° 125 - mai-juin 1985
Réf : 2803
- (4) DE GARIDEL R. - MOREL G. - NEGRE J.P.
L'utilisation des géotextiles en enduits superficiels - Communication colloque "Routes et Développement" ISTRED - ENPC - mai 1983 - PARIS - FRANCE
- (5) LEFLAIVE E. - KHAY M. - BLIVET J.C.
Properties of yarn reinforced soil : Laboratory tests and theory
Communication 3^e CONF. Int. Géot. et Géom. Vienne (Autriche) - avril 1986
- (6) DE GARIDEL R. - MOREL G.
Utilisation de techniques nouvelles de renforcements des fibres textiles en voirie à faible trafic.
Communication 3^e Conf. Int. Géot. et Géom. Vienne (Autriche) - avril 1986