

LEFLAIVE, E.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

The Reinforcement of Granular Materials with Continuous Fibers**Le renforcement des matériaux granulaires avec des fils continus**RESUME

Les géotextiles sont conçus d'ordinaire comme des nappes que l'on déroule sur le sol, mais les avantages fondamentaux de l'association des fibres de polymère et des sols (résistance, ductilité, continuité, capacité de drainage et de filtration) ne sont pas limités à l'emploi des nappes et peuvent être mis à profit en faisant appel aux différents produits textiles faits à partir de fibres de polymère. Le plus courant de ces produits est le fil. La communication décrit le travail de recherche et de développement effectué sur l'association tridimensionnelle de sols granulaires et de fils continus, avec des informations sur les techniques de mélange, les essais en vraie grandeur de production et de comportement du matériau ainsi produit, les essais de laboratoire sur ses propriétés mécaniques et les mécanismes fondamentaux intervenant dans son comportement.

INTRODUCTION

Depuis plus de dix ans, le développement des géotextiles illustre les avantages de l'introduction des fibres synthétiques dans les sols dans tous les domaines de la géotechnique. Ces avantages sont à la fois mécaniques et hydrauliques. Sur le plan mécanique le géotextile est un élément de continuité qui modifie le transfert des contraintes et la répartition des déformations, d'où une profonde modification du comportement du sol aussi bien sous l'effet des charges statiques que répétées. Sur le plan hydraulique le fait d'éviter les discontinuités dans les déformations est également un avantage important ; de plus les milieux fibreux ont la particularité de pouvoir présenter des porosités très élevées associées à des diamètres de filtration faibles, avec par conséquent des propriétés très intéressantes pour le drainage et la filtration.

Le développement des géotextiles s'est fait jusqu'à présent surtout sous la forme de nappes, c'est-à-dire de grande surfaces de faible épaisseur, auxquelles on peut ajouter quelques applications particulières comme les drains verticaux ou certaines tentatives d'armatures textiles, que l'on peut considérer, par rapport à la masse du sol, comme des éléments à une dimension. A trois dimensions on a réalisé des massifs multicouches constitués de nappes de géotextiles intercalées entre des couches de sol. On n'a cependant pas encore utilisé de composite sol-fibres à trois dimensions dans lequel l'association du milieu granulaire et des éléments fibreux est suffisamment intime pour constituer un matériau que l'on puisse considérer comme homogène, bien que le sujet ait déjà été abordé au niveau de la recherche de laboratoire il y a plusieurs années (1). On peut pourtant penser que les ressources potentielles évoquées brièvement ci-dessus du ma-

ABSTRACT

Geotextiles are usually viewed as rolls of fabric laid on the ground, but the fundamental advantages of associating polymer fibers and soils (resistance, ductility, continuity, drainage and filtration capacity) are not limited to the use of fabrics and may be put to use by resorting to the different textile products made from polymer fibers. The most common of these products is the thread. The paper describes research and development work made on the three-dimensional association of granular soils and continuous threads, with information on the techniques used for the mixing, experiments on full scale production and behaviour of the resulting material, laboratory tests on its mechanical properties and fundamental mechanisms involved in its behaviour.

riage sol-fibres puissent donner à un tel matériau des propriétés intéressantes. Cette communication présente les résultats de recherches destinées à étudier la faisabilité d'un tel matériau.

PRINCIPE DU PROCÉDE

Le principe du mélange d'un matériau granulaire et de fils continus consiste à projeter un ou plusieurs fils, par voie pneumatique ou hydraulique, sur le matériau granulaire en mouvement, par exemple à l'extrémité d'une bande transporteuse, à la sortie d'un tuyau de remblai hydraulique, ou plus généralement à la sortie de tout système de transport ou d'épandage. On obtient alors un mélange tridimensionnel désordonné de fils et de particules solides ayant des propriétés mécaniques et hydrauliques intéressantes, qui sont décrites plus loin.

Dans ce qu'il a de plus essentiel le principe du procédé est donc d'associer à un matériau discontinu à frottement interne des éléments continus souples, dans une disposition géométrique désordonnée et tridimensionnelle. Il se distingue donc nettement :

- des composites où les éléments continus sont noyés dans une masse à laquelle ils sont liés par adhérence ;
- des associations sol-armatures où ces dernières sont disposées de façon régulière et rectiligne, dans un sens déterminé et avec des espacements grands par rapport aux dimensions des particules du sol ;
- des mélanges utilisant des fibres coupées.

Les différences avec les procédés ci-dessus, qui apparaissent au niveau des composants et de leur mode d'association, se traduisent aussi au niveau du comportement, ainsi qu'on le verra plus loin.

ETUDES DE FAISABILITE

1 - Premières fabrications

L'idée de réaliser un mélange à trois dimensions de fibres et de matériaux granulaires est une conséquence du développement des géotextiles au début des années 70 et en constitue en quelque sorte une généralisation. Vers 1973-74 quelques tentatives tout à fait rudimentaires de mélange de fibres courtes et de sable ont été faites par l'auteur, qui ont été reprises à partir de 1975 dans le cadre d'une recherche conduite par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Paris avec la collaboration du Centre de Recherches de Genève de l'Institut Battelle. Cette recherche avait pour objet d'explorer quelques idées nouvelles dans le domaine des géotextiles et s'est assez vite orientée vers la question du mélange milieu granulaire-fibres synthétiques. C'est dans le cadre de cette recherche que l'on a abouti à l'idée, réalisée d'abord en laboratoire à Genève en 1978 puis au Centre d'Expérimentations Routières de Rouen en 1979, de projeter des fils continus sur le matériau en mouvement.

Les premiers essais de laboratoire ont été faits par projection pneumatique de fil sur du sable entraîné dans un courant d'eau ; les premiers essais à plus grande échelle, portant sur quelques mètres cubes, ont été réalisés par projection du fil à l'eau sur du sable déversé par une bande transporteuse (Figures 1 et 2).



Figure 1 - Premiers essais en vraie grandeur en 1979. Les fils sont projetés par des jets d'eau.

First full size tests in 1979. The threads are ejected by water jets.



Figure 2 - Volume de sable traité à faible dosage (environ 0,5 pour mille). Fils tirés de la masse.

Sand mass with a low percentage of thread (approximately 0,5 ‰). Threads pulled from the mix.

2 - Premiers essais

A ce stade, des essais assez simples et surtout qualitatifs ont été faits pour avoir une idée du comportement du mélange sol-fil et en estimer l'intérêt éventuel.

En laboratoire on a fait des essais de compression simple et des essais de poinçonnement qui se sont révélés très encourageants (voir résultats plus loin).

Les essais de comportement ont été les suivants :

a) Traficabilité : sur une zone de sable non traité et non compacté un camion ne peut circuler car l'essieu moteur s'enfonce ; sur une zone de sable traité à un dosage pondéral inférieur à 1 pour mille la circulation se fait aisément sans création d'ornièrre importante.

b) Portance : une charge de plusieurs tonnes appliquée sur un tas conique de sable traité également à un dosage inférieur à 1 pour mille supporte cette charge avec des déformations très faibles (Figure 3).



Figure 3 - Charge exercée sur un tas traité à faible dosage. La pente reste stable.

Load on a mass treated with a low percentage. The slope remains stable.

c) Sollicitations dynamiques : essais à la "Dynaplaque". La dynaplaque (Figure 4) est un appareil d'essai comportant une plaque rigide de 60 cm de diamètre sur laquelle on exerce, par la chute d'une masse tombant sur la plaque par l'intermédiaire de ressorts, une impulsion correspondant au passage d'un jumelage de pneumatiques de camion circulant à 60 km/h, soit une force maximale de 6,5 T avec une durée d'impulsion de 3/100 de seconde environ. Le paramètre mesuré est le rebond de la masse qui est fonction, pour un milieu élastique, de son module. Sur un sable non traité le coefficient de restitution mesuré (rapport de la hauteur de rebond à la hauteur de chute) est d'environ 50 %. Sur le même sable traité au même dosage de fil que précédemment le coefficient de restitution est de l'ordre de 25 %.

Ce résultat apparaît a priori comme un peu contradictoire avec ce qui avait été constaté au cours de l'essai de traficabilité car la traficabilité d'un sol est d'autant meilleure que son module et son coefficient de restitution (qui varient dans le même sens pour un sol normal) sont élevés. Cette constatation montre que le comportement du mélange sable-fil est qualitativement différent de celui d'un sable naturel car :

- il supporte des efforts statiques plus élevés sans avoir un module augmenté en proportion ;
- il absorbe davantage d'énergie sous l'effet d'une sollicitation dynamique sans manifester de déformation apparente plus grande.



Figure 4 - Test à la dynaplaque d'une masse traitée.
Test with the "Dynaplaque" of a treated sand mass.

d) Résistance à l'érosion : une masse de 1 m³ environ a été soumise pendant une vingtaine de minutes à un jet d'eau puissant dirigé successivement dans différentes directions. L'effet de cette action érosive apparaît sur la figure 5 : le sable superficiel du mélange a été entraîné par l'eau mais au fur et à mesure de son départ la densité superficielle de fils a augmenté et a constitué finalement une couche de surface assurant une protection efficace contre l'érosion. Il est clair qu'un tel résultat ne peut être obtenu que si les éléments textiles incorporés dans la masse sont des filaments continus ; ils restent en effet ancrés dans le sable même s'ils sont dégagés de la masse granulaire sur une assez grande longueur, alors que des fibres courtes seraient libérées puis entraînées par l'eau.



Figure 5 - Masse de sable traité ayant subi une attaque de 20 minutes au jet d'eau.

Treated sand mass after a 20 minutes water jet attack.

Bien qu'essentiellement qualitatives ces observations montraient un intérêt suffisant du procédé pour appeler d'une part la confirmation de la faisabilité technique et économique et d'autre part préciser de façon chiffrée le comportement du mélange sable-fil.

3 - Deuxième étape des études de fabrication

Il s'agissait de répondre aux questions suivantes :

- peut-on produire un débit horaire suffisant pour des réalisations de chantier ?
- peut-on produire selon une géométrie contrôlée, puis-que le matériau peut être difficilement repris ?
- la fiabilité du système de projection de fil est-elle satisfaisante et quel est son niveau de consommation d'énergie ?
- le coût du procédé permet-il d'envisager de nombreuses applications ?

La réponse aux trois premières questions a été apportée par la fabrication de mélange sable-fil avec un débit de 30 tonnes/heure, en adaptant les équipements nécessaires sur la machine d'épandage de matériau utilisée au Centre d'Expérimentations Routières de Rouen (Ponts et Chaussées) pour le remplissage des fosses d'essai destinées aux différentes études de ce centre.

Une vue de ce matériel est présentée sur la figure 6. Le sable est amené par une bande transporteuse et est déversé dans une trémie ayant un mouvement alternatif de balayage transversal entre les deux bords de la fosse d'essai, pendant que la machine avance lentement le long de la fosse. Des fils sont projetés à la base de la trémie sur le sable en chute libre, au moyen d'une dizaine de buses d'éjection projetant chacune plusieurs fils.

On a pu réaliser ainsi sans grande difficulté un débit de 30 tonnes/heure, des débits plus élevés pouvant être réalisés selon le même principe.

Le principal problème à résoudre pour obtenir un débit relativement important est de pouvoir projeter une quantité de fil suffisante. Si l'on se base en effet sur le dosage pondéral de 1 pour mille, il faut projeter 30 kg de fil à l'heure pour 30 T/h de matériau. Si l'on emploie par exemple un fil de 160 dtex, ce qui correspond à 16 g par kilomètre de fil, il faut projeter 1 875 kilomètres de fil à l'heure, soit environ 500 mètres par seconde. Si la vitesse de défilement du fil est de 10 mètres par seconde, il faut projeter simultanément 50 fils et donc disposer sur la machine de 50 bobines de fil. En fait 70 bobines avaient été montées sur la machine, représentant 350 kg de fil.

Ces essais ont apporté la preuve :

- qu'il n'y a pas d'obstacle majeur pour réaliser des quantités de plusieurs dizaines de tonnes/heure ;
- que la fiabilité du système d'alimentation en fil était tout à fait satisfaisante ;
- qu'il était possible de réaliser un massif d'une géométrie déterminée ;
- que la consommation d'énergie n'était pas un problème puisque la consommation du compresseur utilisé correspondait à 0,15 kwh environ par tonne traitée, dans les conditions des essais où le matériel n'est pas encore optimisé.

Le dernier point ci-dessus relatif à la consommation d'énergie a pour conséquence que l'élément essentiel du coût d'un tel traitement est le coût du fil ; le reste correspond à la manutention du matériau granulaire, que l'on retrouve dans les opérations de terrassement comportant un traitement, quel que soit celui-ci.

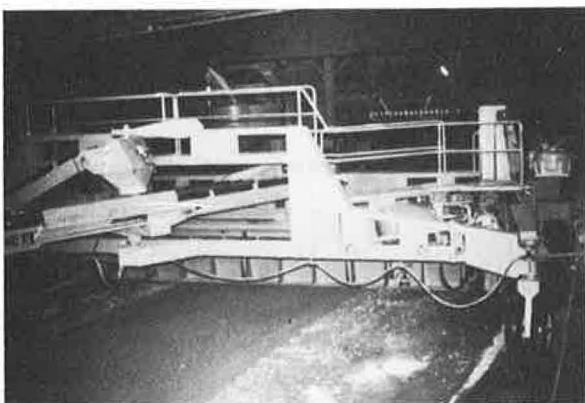


Figure 6 - Vue de la machine d'épandage des matériaux du Centre d'Expérimentations Routières de Rouen (Ponts et Chaussées).

View of the material laying equipment of the Road Experimental Center of Rouen (Ponts et Chaussées).

Le coût des fils synthétiques produits couramment par l'industrie textile dépend de nombreux éléments : polymère utilisé, performances du fil, mode de présentation, etc. Dans les conditions actuelles on peut prendre un ordre de grandeur de 15 FF par kilogramme. Ceci conduit à un coût du fil de 15 FF par tonne traitée, soit environ 25 FF par m³, pour un dosage de 1 pour mille. Un tel ordre de grandeur permet au procédé d'être compétitif s'il permet, sur le plan technique, d'apporter des solutions nouvelles à des problèmes actuellement mal résolus.

Parmi les applications envisageables, on peut notamment citer, à titre d'exemples :

- réalisation de fondations sur terrain compressible ou hétérogène ;
- remblais en sable, notamment pour ouvrages immergés ;

- massifs antisismiques, amélioration d'ouvrage en terre en vue d'augmenter leur résistance aux séismes.

Bien d'autres possibilités existent, dont l'intérêt dépendra des performances du matériau. Celles-ci ont été l'objet de mesures de laboratoire, décrites dans ce qui suit.

4 - Deuxième série d'essais

Les essais de laboratoire réalisés sur le mélange sable-fil ont été les suivants :

- essais de poinçonnement ;
- essais de compression simple ;
- essais triaxiaux ;
- essais triaxiaux avec chargements répétés.

a) Essais de poinçonnement

Ces essais ont été effectués suivant la procédure de l'essai CBR, sur des matériaux secs. Pour le sable seul l'essai a donné la valeur de 37 (avec surcharge). Avec 1 pour mille de fil la valeur obtenue est de 65, et atteint 100 pour un dosage de 3,5 pour mille.

b) Essais de compression simple

Des éprouvettes de 100 mm de diamètre et 200 mm de haut ont été fabriquées directement dans des moules avec un dispositif de fabrication spécial, étant donné que le carottage normal d'une éprouvette dans un massif n'est pas possible en raison de la présence des fils. Les résistances en compression simple mesurées ont été trouvées approximativement proportionnelles au dosage en fil, avec une valeur de 300 à 400 KPa pour 1 pour mille en poids.

c) Essais triaxiaux

Les essais ont été réalisés sur trois sables différents, sur des éprouvettes à l'état lâche et des éprouvettes à l'état compacté, avec des dosages compris entre 1,4 et 2 pour mille et des éprouvettes de sable seul, sans fil. Les essais ont été consolidés drainés, avec des valeurs de σ_3 comprises entre 50 et 500 KPa.

A l'état compacté on obtient un maximum puis une décroissance du déviateur, dans les éprouvettes avec fils comme dans les éprouvettes sans fil. Une différence du processus de rupture est cependant que la déformation axiale au maximum du déviateur de contrainte pour les éprouvettes avec fils est beaucoup plus élevée que pour les éprouvettes sans fils, atteignant 6 à 8 % contre 2 à 4 %.

Du point de vue de la résistance mécanique la présence du fil se traduit par l'apparition d'une cohésion de 150 à 250 KPa pour les dosages de 1,4 à 2 pour mille, pour les éprouvettes compactes. Pour les éprouvettes lâches la cohésion mesurée est plus faible, inférieure à 100 KPa.

d) Essais triaxiaux à chargements répétés

Ces essais ont été faits pour s'assurer que même avec un sable concassé la répétition des charges n'amenait pas une fatigue prématurée due au cisaillement des fils.

Les conditions d'essai étaient les suivantes :

- teneur en eau = 12 % ;
- poids volumique sec = 18 KN/m³ ;
- étirement latérale 50 KPa ;
- rapport $\frac{(\sigma_1 - \sigma_3) \text{ dynamique}}{(\sigma_1 - \sigma_3) \text{ de rupture en statique}} = 0,4 - 0,46 - 0,5 - 0,64$;
- nombre de cycles = 10⁵ ;
- fréquence 0,5 Hz jusqu'à 200 cycles

1 Hz	"	2 000 cycles
5 Hz	"	10 ⁵ "
- dosage en fil voisin de 2 pour mille.

On a constaté une déformation axiale cumulée augmen-

tant linéairement en fonction du logarithme du nombre de cycles avec une déformation axiale finale comprise entre 2,5 et 6 % (sauf dans le cas où le déviateur atteignait 0,64 fois le déviateur de rupture en statique, où il y a eu rupture en cours d'essai).

Ce comportement en fatigue est donc normal, sans abrasion particulière des fils. Deux éprouvettes avec fils ont été rompues statiquement après avoir suivi 10⁵ cycles ; leur résistance a été trouvée de 55 % plus élevée que les éprouvettes équivalentes non soumises aux chargements répétés, par suite de leur consolidation.

Une autre constatation faite au cours de ces essais concerne le module de déformation du matériau. Les différents modules mesurés sont dans l'ensemble un peu plus élevés lorsqu'il y a présence de fil, mais pas dans une forte proportion. Les modules tangents à l'origine de chaque cycle ne sont pas, en moyenne, plus élevés avec fil.

En conclusion de ces essais, on constate que l'adjonction de fils continus souples à un matériau granulaire a pour effet de lui conférer une cohésion importante en augmentant sa capacité de déformation à la rupture, mais sans accroître de façon notable le module du matériau dans le domaine des petites déformations. Il est à souligner que cette dernière conclusion n'est peut-être pas à généraliser car il se peut qu'elle soit liée aux conditions particulières de fabrication des éprouvettes d'essai, qui impliquent une forte tortuosité du fil. Il est possible qu'une mise en oeuvre en vraie grandeur conduisant à une géométrie différente des fils ait pour résultat un comportement différent dans le domaine des petites déformations. Il est vraisemblable également que l'emploi de fils à très haut module modifierait ce comportement mais l'aspect économique pourrait alors se trouver posé en d'autres termes au niveau des applications.

CONSIDERATIONS GENERALES SUR LE COMPORTEMENT D'UN MELANGE MATERIAU GRANULAIRE-FILS CONTINUS

1 - Avantages essentiels du mode de liaison par fils

Par rapport aux liants travaillant par adhérence, l'efficacité d'une liaison par fils ne dépend pas de la granulométrie du matériau granulaire, alors qu'une granulométrie contenant aussi peu de vides que possible est nécessaire pour bien utiliser un liant travaillant par adhérence.

Ce mode de liaison permet par conséquent de traiter des matériaux naturels de granulométrie creuse, qui ne seraient pas susceptibles d'un traitement classique sans correction granulométrique.

Par ailleurs la liaison par fils d'un matériau très creux permet d'obtenir un matériau résistant et cependant à forte perméabilité. On peut en effet considérer que la perméabilité n'est pas affectée par la présence des fils puisque ceux-ci n'occupent qu'une fraction négligeable du volume des vides (de l'ordre de 1 % pour un dosage de 2 pour mille).

Du point de vue hydraulique la présence d'un réseau de fils au sein du matériau constitue, à condition que le fil utilisé soit assez fin et le mélange assez régulier, un filtre tridimensionnel incorporé dans la masse, qui améliore la résistance à l'érosion interne du matériau granulaire initial. Il faut en effet bien noter que, même pour des dosages pondéraux aussi faibles que 1 pour mille, la longueur de fil par unité de volume traité est très importante si l'on utilise des fils de titres courants dans l'industrie textile (Figure 7). C'est ainsi par exemple que pour un matériau de densité sèche 1,7 traité à 1 pour mille par du fil de 100 décitex, la longueur de fil est de 17 cm par cm³ ; pour des dosages et des titres différents cette longueur est proportionnelle au dosage et inversement proportionnelle au titre.

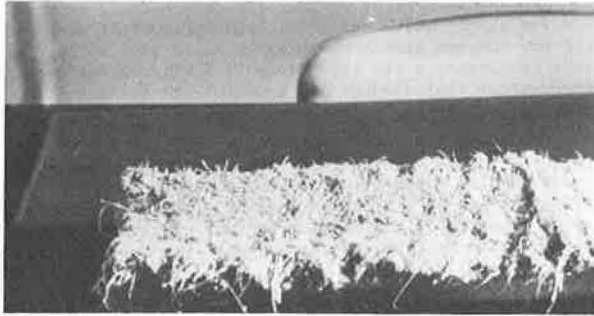


Figure 7 - Eprovette de sable contenant 2 pour mille de fil, ayant été congelée puis rompue par écrasement diamétral.

Sample of sand containing 0.2 per cent of thread, after freezing and splitting by diametral compression.

Du point de vue mécanique, en plus de la possibilité de traiter un matériau de granulométrie creuse, le procédé présente l'avantage unique de pouvoir réaliser un matériau résistant non rigide, par conséquent non fragile et pouvant s'adapter à des déformations, problème souvent posé par les ouvrages de génie civil.

Il présente enfin la caractéristique de ne pas exiger de temps de prise.

2 - Mécanismes de la liaison par fils continus

Les mécanismes par lesquels des fils continus souples incorporés à un milieu granulaire modifient son comportement mécanique sont différents de ceux qui interviennent dans un composite à matrice continue et de ceux qui sont responsables de la tenue d'un système du type de la Terre Armée.

Une première observation est que pour un matériau où les fibres ne sont liées que par frottement et non pas par adhérence, les longueurs d'ancrage que l'on peut calculer pour des états de contrainte courants, en supposant qu'il y a un bon contact entre les fibres et le sol, sont de l'ordre de grandeur de la dizaine de centimètres ou du mètre. Il en résulte donc que des fibres coupées de quelques centimètres, comme celles que produit couramment l'industrie textile, ne peuvent pas être très efficaces, alors qu'elles peuvent l'être dans un composite où les fibres sont noyées dans une matrice continue à laquelle elles sont liées par adhérence.

Une deuxième observation est que l'hypothèse d'un "bon contact" entre les fibres et le sol granulaire faite pour calculer la longueur d'ancrage n'est pas vraisemblable si l'on tient compte de la flexibilité et des dimensions transversales d'un fil textile et du fait que le fil ou les fibres n'occupent qu'un volume de l'ordre de 1 % du volume des vides du milieu granulaire. On ne peut donc pas, dans ce cas, faire l'hypothèse, comme dans la Terre Armée, que la contrainte normale moyenne régnant au sein du milieu s'applique à la surface de l'armature et calculer la contrainte tangentielle possible à partir du coefficient de frottement. On peut au contraire considérer, à la limite, que les fibres textiles serpentent à l'intérieur du réseau des vides du milieu granulaire sans être serrées au sein de ce milieu.

En fait cette hypothèse est probablement elle-même excessive, mais on doit supposer que le fil n'est serré au sein du milieu que de points en points et que par conséquent la contrainte moyenne qui règne au sein du milieu n'est transmise que partiellement au fil et que l'effort tangentiel disponible correspondant n'est lui-même que partiel.

On pourrait alors à ce stade de l'analyse douter de l'efficacité du procédé, même avec des fils continus dont la longueur d'ancrage disponible n'est pas limitée. En fait le procédé est efficace car deux autres mécanismes interviennent dans son fonctionnement.

Le premier mécanisme est lié à la tortuosité du fil. Chaque fil présente de nombreuses sinuosités ; lorsqu'un fil est mis en tension des forces de frottement se développent dans les zones incurvées et introduisent une résistance qui croît en fonction de la tension appliquée sur le fil, à condition que quelques efforts localisés, au moins minimes, s'opposent à son glissement. Ce mécanisme lié à la courbure est celui que l'on retrouve utilisé par exemple dans la marine pour retenir un navire par une corde avec la force d'un seul homme, en enroulant la corde autour d'une borne d'amarrage.

Le second mécanisme est lié à l'entrecroisement des fils. Si la tension exercée sur une boucle tend à déplacer le fil transversalement par rapport à lui-même, il rencontre immédiatement d'autres fils qui s'opposent à ce déplacement et auxquels se transmettent des efforts, mettant ainsi en jeu de nouvelles zones du matériau.

Les deux mécanismes décrits brièvement ci-dessus ne sont présents ni dans les composites à matrice continue ni dans la Terre Armée. Le matériau décrit dans cette communication est donc bien entièrement distinct de ces deux conceptions.

DEVELOPPEMENT

La recherche sur les possibilités de ce matériau se poursuit dans les Laboratoires des Ponts et Chaussées avec la collaboration d'un producteur de fils synthétiques, d'un bureau d'ingénieurs-conseils et d'une entreprise de travaux publics. Le procédé a été l'objet de demandes de brevets en 1979 et 1980 et a reçu l'appellation de TEXSOL.

Références bibliographiques

(1) Hoare D.J.

Laboratory study of granular soils reinforced with randomly oriented discrete fibers.

C.R. Coll. Int. sur le renforcement des sols, Paris, 1979, pp. 47-52.

Stabilisation des sols
Remède à l'assèchement