

## LEFLAIVE E.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

### Le rôle mécanique des textiles dans le sol

### The mechanical role of fabrics in soils

#### SUMMARY

The development of the use of fabrics raises the question : why are fabrics efficient in soils ? First, fabrics are compatible with soils because of their level of deformability and the size of their fibres. Second, they essentially give to soils continuity in deformation.

After these general statements, the paper stresses that particular functions of fabrics in soils require particular methods of approach.

Two aspects are developed :

- the rational study of soil - fabric systems should be based upon soil mechanics and fabric mechanics ; an appropriate development of fabric mechanics is needed ;
- heterogeneity of natural soils and remoulding effects have to be taken into account in an analysis of the role of fabrics in access roads over soft soils.

"Je plie, mais ne romps pas"

La Fontaine-Fables- Le chêne et le roseau

Le développement auquel nous assistons actuellement de l'emploi des textiles en association avec les sols atteste de la fécondité de l'union de ces deux types de matériaux : n'est-il pas légitime de s'interroger sur les causes de cette fécondité ?

Le fait même de poser cette question implique d'analyser les caractéristiques propres aux textiles qui leur donnent un intérêt particulier dans le domaine de la géotechnique, afin de mieux comprendre les possibilités qu'apportent ces matériaux.

Que connaissons-nous en effet des textiles ? Même si l'usage de fibres naturelles, tissées ou non, a ses origines à une époque fort ancienne, les constructeurs d'aujourd'hui ont-ils facilement les moyens d'appréhender correctement le comportement des textiles en vue d'en tirer le meilleur parti ?

Cette communication tente de donner quelques éléments de réponse à ces questions, en abordant surtout les aspects mécaniques et en soulignant par quelques exemples la nécessité, de la part de l'ingénieur, d'une approche qui prennent bien en compte les caractères originaux des textiles.

Les bases d'une association féconde sont d'avoir à la fois des éléments communs, nécessaires pour s'admettre réciproquement et oeuvrer en harmonie, et des qualités différentes et complémentaires pour s'appuyer mutuellement. Dans le couple sol et textile qui nous intéresse ici, quels sont ces éléments et ces qualités ?

L'expérience actuelle semble indiquer que les bases communes essentielles sur lesquelles repose l'accord entre les deux types de matériaux sont le niveau de déformabilité et l'échelle granulométrique.

Les sols sont en effet, d'une façon générale, un matériau très déformable par rapport à l'ensemble de ceux dont disposent les constructeurs ; les textiles ont l'avantage exceptionnel d'être assez souples pour s'accommoder de grandes déformations et pour rendre ainsi possible la réalisation de structures où les déformations des deux composants soient compatibles.

On peut s'étonner du caractère "exceptionnel" de cette aptitude à la déformation. Mais on peut noter que dans le domaine des matériaux de construction la recherche de la performance en résistance à la rupture tend souvent à mettre en avant les matériaux à rigidité élevée et a pour effet, dans une certaine mesure, de restreindre inconsciemment le prestige des matériaux souples, dont les qualités sont pourtant reconnues et appréciées dans certains domaines. Lorsqu'on examine d'autre part la gamme des matériaux dont dispose l'ingénieur, on en trouve finalement assez peu qui puissent être qualifiés de peu rigides : le caoutchouc, le bitume, certaines matières plastiques, le textile. Des techniques élaborées comme les pneumatiques et les procédés d'étanchéité associent d'ailleurs ces différents matériaux. Il y a donc une certaine logique à ce que l'on fasse appel, dans le domaine de la géotechnique où l'on a souvent affaire à des sols mous, à celui qui est probablement un des plus souples : le textile.

L'autre atout majeur du textile est l'ordre de grandeur du diamètre des fils, fibres ou filaments qui le constituent. Cet ordre de grandeur est en effet celui de la dizaine de microns ; pour les sols cela correspond à la limite entre fraction granulaire et fraction fine ; c'est un domaine critique vis-à-vis des phénomènes physiques dont les sols sont le siège. Le fait que les textiles soient constitués d'éléments qui se situent à cette échelle de dimension est certainement un facteur essentiel pour permettre l'intimité de leur association avec les sols.

Si déformabilité et granulométrie permettent donc aux sols et aux textiles de s'accorder facilement, qu'apporte le textile de supplémentaire qui justifie son emploi ? Il semble que l'aspect fondamental du rôle du textile dans ses applications géotechniques soit d'introduire dans l'ensemble sol + textile un élément de continuité des déformations. Il faut donner ici son sens le plus large au terme déformation : déformation de la masse du sol dans son ensemble, rupture localisée du sol, déplacement de particules les unes par rapport aux autres. En pratique la présence du textile modifie les possibilités de déformation du sol, soit par une interaction globale avec la masse du sol, soit en s'opposant localement aux amorces de surface de rupture, soit en jouant le rôle de filtre ou de protection contre l'érosion ; pour ce qui concerne les rôles de couche séparatrice et de couche drainante, le fait que, malgré sa faible épaisseur, le textile reste continu même s'il est obligé de se déformer beaucoup est un élément de la plus grande importance.

Les trois cas cités ci-dessus de modification des possibilités de déformation qu'apporte le textile illustrent les différentes échelles auxquelles se place l'effet du textile : échelle de l'ensemble de l'ouvrage, échelle locale, échelle de la particule.

Les phénomènes qui se produisent à l'échelle de la particule concernent surtout le rôle filtrant ; la présente communication ayant trait principalement au rôle mécanique, nous nous limiterons dans ce qui suit aux deux premiers types d'action, en examinant à titre d'exemple deux aspects particuliers du comportement et du rôle des textiles. Les deux points précis abordés ci-dessous ont principalement pour but de souligner que les textiles étant des matériaux inhabituels, des approches elles aussi inhabituelles peuvent être parfois nécessaires.

Le premier cas particulier envisagé a trait à l'emploi des matériaux tissés pour le renforcement mécanique d'une masse de sol. On peut imaginer que l'on cherche à réaliser une structure sol + textile tissé ; on est alors conduit, au stade de l'étude d'un tel massif, à se poser la question des propriétés mécaniques de la nappe tissée que l'on envisage d'utiliser. Que sait-on en fait du comportement mécanique d'un tissé ?

On peut d'abord connaître, à partir des essais textiles habituels, la résistance et la déformation à la rupture dans la direction des deux nappes de fils qui constituent le matériau. On peut, à partir de ces données et dans la mesure où l'on admet la proportionnalité effort-allongement, calculer l'un de ces derniers à partir de l'autre dans les directions en question. Mais que se passe-t-il si le textile est soumis à des efforts s'exer-

çant dans une direction différente de celle des fils de chaîne et des fils de trame ? On peut prévoir que la nappe va subir des déformations de cisaillement avec distorsion de la forme des mailles par rapport à leur forme initiale. A quelles règles obéit cette déformation ?

Il semble qu'il y ait bien peu de littérature sur ce sujet, en tous cas orientée vers les applications pratiques. La possibilité pour les textiles de subir de grandes déformations de cisaillement est cependant une des raisons majeures de leur emploi dans de nombreuses applications parmi les plus traditionnelles telles que l'habillement et l'ameublement, les textiles ayant la propriété remarquable de pouvoir épouser des surfaces de formes très diverses. On peut signaler pour l'histoire que cette propriété a été dans le passé à l'origine de développements notables dans le domaine de la géométrie. La revue "La Recherche" (1), dans une courte note intitulée "De la coupe des vêtements au théorème de Hilbert", rappelle une communication de P.L. TCHÉBYCHEF à l'Association française pour l'avancement des sciences (séance du 28 Août 1878) dans laquelle le célèbre mathématicien russe traite de la question de la coupe d'une étoffe en vue de lui faire épouser sans pli un volume de forme quelconque.

On connaît d'autre part l'exemple classique du mouchoir froissé, qui n'a pas la forme d'une surface dite développable, et qui cependant peut être mis à plat et par conséquent développé.

Dans le domaine de la vie quotidienne on sait que les cravates sont coupées en biais car il n'est guère possible de faire un noeud d'apparence correcte - ce qui implique des distorsions importantes de l'étoffe - avec une bande de tissu coupée en droit fil.

Mais de quoi dispose l'ingénieur sur cette question ?

Des études se plaçant dans l'optique de l'ingénieur constructeur ont été faites en liaison avec la réalisation des structures gonflables (2) (3). La publication citée en référence (2) porte sur les tissus enduits (qui ont de ce fait une résistance au cisaillement notable) et se pose la question de l'effet d'une distorsion du textile avant induction, au cours de la fabrication du tissu enduit lui-même. En d'autres termes, que se passe-t-il si on réalise une structure gonflable avec un tissu enduit dont les mailles ont la forme d'un parallélogramme ou d'un losange au lieu d'être rectangulaires ou carrées ? On constate que dans le cas d'un dôme ayant la forme d'une portion de sphère il en résulte des distorsions et des rotations que les auteurs ont calculées et vérifiées expérimentalement. Ce type de problème est certes différent de celui de l'insertion de textiles dans un massif de sol, mais il est à noter que les auteurs, en vue de leur vérification expérimentale, ont mis au point une méthode de mesure de la résistance au cisaillement des textiles leur permettant de déterminer un module de cisaillement dans des conditions de traction biaxiale. Le montage utilisé permet d'exercer un couple de torsion sur une éprouvette textile de forme cylindrique montée dans une cellule où l'on peut exercer une traction dans le sens de l'axe du cylindre et une pression à l'intérieur de l'éprouvette. On retrouve le choix de l'éprouvette cylindrique utilisée par d'autres pour réaliser

commodément un état de contrainte multidirectionnel (Ponts et Chaussées de St Brieuc, Fugro-Cesco ).

La publication citée en référence (3) traite des matériaux tissés (non enduits) en abordant d'une façon un peu plus générale leur comportement en cisaillement. La toute première phrase de cet article situe immédiatement l'état d'avancement des connaissances sur ce sujet : "It is probable that shear is the least understood of the various modes of fabric deformation". L'auteur insiste sur le fait qu'il est apparemment difficile d'acquiescer un sens intuitif du comportement des textiles soumis à des efforts s'exerçant dans des directions quelconques. Cette remarque vaut d'être notée car le bon emploi d'un matériau, quel qu'il soit, implique d'avoir une notion intuitive assez juste de ses réactions.

Nous pouvons retenir de la référence (3) les points suivants :

- on peut définir un module de cisaillement comme étant le couple par unité de surface nécessaire pour créer une déformation angulaire unité

$$S = \frac{Fl}{l^2\theta} = \frac{F}{l\theta} \quad (\text{Fig. 1})$$

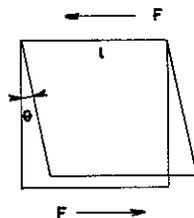


fig 1

- pour les tissés ordinaires la résistance au cisaillement a pour origine dans une première phase le frottement des fils à leur contact et éventuellement leur résistance à la flexion, jusqu'à ce que la distorsion du tissu amène les fils en contact direct côte-à-côte, phase au cours de laquelle la compressibilité transversale des fils intervient. L'angle  $\theta$  séparant ces deux phases peut être faible pour les tissus très serrés formés de fils rigides transversalement, mais atteint facilement 20 ou 30 degrés ou même bien davantage pour les tissés peu serrés

- dans la première phase et pour un textile non comprimé dans le sens de l'épaisseur, le module de cisaillement a une valeur absolument négligeable (par rapport à l'ordre de grandeur des modules de traction dans le sens des fils).

Nous pouvons conclure de ces résultats que si l'on s'intéresse en géotechnique à des problèmes où des déformations angulaires même relativement faibles (distorsions de quelques degrés par exemple) doivent être prises en considération, on devra se poser la question du mode de déformation d'un textile à module de cisaillement nul.

Il faut de plus remarquer que, même dans le domaine où la résistance au cisaillement est négligeable, la déformation d'un textile fait intervenir deux phénomènes qui se superposent : l'orientation des fils (en fonction de l'orientation et de la valeur des efforts appliqués) et l'allongement des fils.

D'autre part nous avons vu que la résistance au cisaillement dépendait du frottement entre fils et de leur interaction latérale ; on imagine aisément que ces effets pourront être très différents selon les modes de tissage ; on peut s'attendre aussi à ce qu'une compression du textile dans le sens

de son épaisseur, agissant à la fois sur le frottement et sur les possibilités de déplacement relatif des fils dans le sens de l'épaisseur lorsqu'ils entrent en contact, ait une influence sur le comportement en cisaillement.

Enfin, le traitement analytique du problème, qui doit évidemment exprimer l'anisotropie du matériau, n'est pas aisé. Les moyens du calcul numérique doivent cependant pouvoir bien s'adapter à ce type de matériau.

Les considérations qui précèdent restent malheureusement surtout qualitatives et nous pouvons conclure que des études expérimentales et théoriques seront indispensables pour prendre pleinement conscience du comportement particulier des matériaux textiles et de leurs ressources. Une conception rationnelle de l'association structurelle des sols et des textiles implique donc d'adjoindre à la mécanique des sols une mécanique des textiles.

Le deuxième cas particulier destiné à illustrer le besoin d'une approche adaptée à la mise en lumière du rôle des textiles a trait à leur emploi dans les voies d'accès en mauvais terrain.

Il semble qu'à l'heure actuelle l'interposition d'un textile (le plus souvent non-tissé) entre un sol mou et une couche de matériau rapporté en vue d'y rendre possible la circulation, soit une des applications les plus fréquentes.

Le rôle exact du textile dans ce type d'utilisation n'est pas facile à saisir. Cette difficulté provient certainement en partie de ce que ce rôle est multiple et que selon les cas tel ou tel aspect prend davantage d'importance ; mais la difficulté réside aussi, vis-à-vis de l'aspect mécanique de l'intervention du textile, dans la façon même d'aborder la question et de faire intervenir les éléments appropriés.

Un premier aspect du rôle du textile sur lequel nous n'insisterons pas est l'effet anticontaminant : la nappe textile empêche l'interpénétration du sol fin et du matériau rapporté et s'oppose ainsi à la dégradation du matériau supérieur par migration de fines. Cet effet est certainement très important dans de nombreux cas, probablement surtout lorsque les conditions de réalisation favorisent la présence, à la surface du sol avant pose du textile, d'une couche, ou de zones, de boue liquide.

Un autre aspect qui n'est peut-être pas à négliger est le rôle drainant que peut avoir une nappe textile, favorisant la consolidation de la couche superficielle du sol peu porteur.

Le troisième aspect qui nous intéresse le plus ici est le rôle mécanique du textile : comment le textile intervient-il pour modifier le comportement de l'ensemble vis-à-vis des charges appliquées ?

On peut d'abord se poser la question de savoir s'il y a bien intervention mécanique. Certaines approches théoriques de ce problème auraient tendance à montrer que les forces mises en jeu dans le textile, compte-tenu de sa faible épaisseur et de son module modeste, semblent trop faibles pour avoir un rôle vraiment sensible ; des essais, notamment sur sol

reconstitué, inclineraient à penser que l'amélioration mécanique apportée par le textile est extrêmement réduite. On pourrait alors être tenté de croire que l'effet mécanique du textile est illusoire.

Certaines constatations viennent cependant contrebalancer cette tendance.

Lorsqu'un textile est utilisé pour réaliser une voie d'accès sur tourbe, certains utilisateurs ont fait remarquer que le rôle du textile ne pouvait être ni anticontaminant ni drainant, car la partie supérieure du sol naturel tourbeux joue déjà par elle-même le rôle de filtre et de drain. Or les mêmes utilisateurs constatent empiriquement que l'usage du textile apporte une amélioration.

Dans les régions boisées où les zones de tourbe constituent des obstacles à la réalisation de voies d'exploitation forestière, la méthode traditionnelle consiste à utiliser des branchages (fascines) posés sur le sol et recouverts d'un matériau d'apport. On a pu constater sur des tourbes où la réalisation d'une voie stable aurait été impossible sans fascines lorsqu'on ne disposait que de ce moyen, que l'emploi d'un textile permettait d'obtenir satisfaction. On peut en conclure que le textile joue un rôle équivalent - bien qu'avec des mécanismes probablement différents - à celui des fascines. Or on estime bien, généralement, que les fascines ont une influence sur les efforts transmis au sol.

Une autre donnée est l'emploi, qui a pu être constaté, pour la réalisation de voies sur sol argileux, d'un tissu très ouvert dont les mailles laissent des ouvertures de plusieurs millimètres de côté ; un tel matériau ne peut guère être considéré comme anticontaminant ; son emploi était cependant jugé utile. Ce dernier point n'est qu'un exemple et ne constitue certes pas une preuve, mais il est peut-être une indication à ne pas négliger.

La question de l'effet mécanique d'un textile dans ce type d'application se pose donc. Une première approche, à l'opposé du rôle anticontaminant qui se situe à très petite échelle, est de concevoir le rôle du textile à l'échelle de l'ensemble du système. Le textile peut, par une mise en traction généralisée, modifier favorablement les contraintes dans le sol mou ; ceci peut être abordé expérimentalement et théoriquement en faisant l'hypothèse d'un sol homogène, de résistance au cisaillement donnée. Nous disions plus haut que certaines indications tendaient à montrer que cet effet doit être faible, mais une étude complète de ce problème demande de bien connaître les propriétés mécaniques des textiles, de faire des hypothèses sur le glissement du textile par rapport aux matériaux entre lesquels il est posé, et de tenir compte du fait qu'entre les deux roues d'un essieu le textile peut être bloqué et s'opposer à la remonter du sol situé dans l'intervalle. Cet effet n'est peut-être pas négligeable dans le cas de sols extrêmement mous.

Une autre approche consiste à s'intéresser au rôle que peut avoir le textile à une échelle intermédiaire entre les deux effets cités précédemment, en agissant dans les zones les plus faibles du sol pour s'opposer au développement et à l'aggravation des ruptures qui y prennent naissance.

L'intérêt de cette approche est suggéré par l'examen des connaissances disponibles dans le domaine de la circulation en mauvais terrain.

Des recherches de grande ampleur, notamment sur le plan expérimental, ont été faites sur ce sujet par l'U.S Army Corps of Engineers depuis de longues années. De très nombreux rapports ont rendu compte de ces recherches et nous ferons référence seulement à deux d'entre-eux (4) (5) pour en retenir les notions suivantes :

- Dans le cas de sols fins à forte teneur en eau, la résistance offerte par le sol à l'enfoncement du véhicule est représentée par sa cohésion, que l'on mesure dans les études de traficabilité par la force d'enfoncement en fonction de la profondeur d'un pénétromètre manuel à pointe conique. On définit ainsi un "indice de cône" caractéristique de la résistance du sol dans la tranche d'épaisseur qui est déterminante pour le véhicule.

- Dans le cas où l'on s'intéresse au passage successif d'une série de véhicules au même endroit, la détermination de l'indice de cône fait, de plus, intervenir l'influence du remaniement du sol. On prélève des échantillons que l'on soumet à des chocs et on mesure la chute de résistance au pénétromètre due à l'action de ces chocs. L'indice de cône que l'on utilise alors est le produit de la résistance mesurée sur le terrain par l'indice de remaniement, exprimé par la chute relative de résistance due au remaniement.

Si par exemple cet indice a la valeur de 0,6 et que la mesure sur le terrain donne le chiffre de 60, l'indice de cône utilisé est 36.

- L'exploration d'une zone de terrain déterminée, afin de lui attribuer une valeur d'indice de cône représentative, implique un nombre assez grand de mesures au pénétromètre manuel (qui sont très rapides) pour tenir compte de la dispersion des sols naturels. L'expérience a conduit à admettre qu'en général, si on a fait quinze mesures dans un cercle de 1 mètre de rayon, l'addition d'une mesure supplémentaire ne change pas significativement la moyenne.

- Des programmes d'essai sur des sites naturels très nombreux et variés, utilisant une grande diversité de véhicules, ont permis d'établir des relations empiriques entre les caractéristiques des véhicules et leur comportement en mauvais terrain ; des études théoriques et de laboratoire ont cherché à relier ces résultats aux notions classiques de mécanique des sols, avec les difficultés qu'impliquent le fait de se trouver à un stade intermédiaire entre petites déformations et rupture généralisée et le fait que l'on a affaire aux couches superficielles des sols naturels.

Ce que nous indiquent ces études pour le problème examiné ici est l'importance du remaniement et de la dispersion. Les résultats d'essais sur sites naturels montrent en effet que pour l'indice de remaniement une valeur de 0,5 est tout-à-fait ordinaire et que cette valeur peut descendre jusqu'à 0,1 ; des valeurs de 0,2 ou 0,3 ne sont pas exceptionnelles. On se rend compte avec des chiffres de cet ordre de l'importance qu'il y a à perturber le moins possible le sol naturel pour ne pas faire chuter sa résistance.

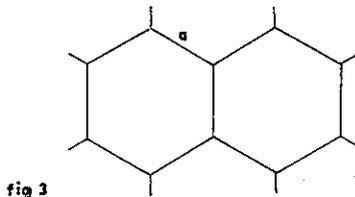
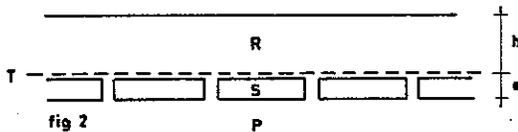
En ce qui concerne la dispersion, on constate que l'on peut trouver aisément des écarts de 1 à 2 ou de 1 à 3 à l'intérieur d'une zone de quelques

mètres carrés d'étendue ; on peut aussi trouver bien davantage, selon le type de terrain dont il s'agit.

On peut en conclure que la rupture du sol sous une charge qui se déplace à sa surface commence à se manifester d'abord en certains endroits, qui sont les endroits les plus faibles. Dans ces zones (dont on ne peut se faire une image précise que si l'on a une notion de la structure des couches superficielles du terrain dont il s'agit), des déformations plus grandes que dans les zones voisines vont apparaître. Si le sol présent dans ces zones localisées manifeste une réduction de sa résistance due au remaniement, les déformations déjà apparues vont s'accroître et la rupture, c'est-à-dire en l'occurrence l'immobilisation du véhicule, se produira très rapidement.

Quel peut être le rôle d'un textile dans un tel mécanisme ? Il peut être de s'opposer au développement des ruptures localisées qui apparaissent dans les zones les plus faibles en ajoutant localement sa résistance à la traction à la résistance du sol ; de plus, cette résistance additionnelle évite, en réduisant la déformation locale, un remaniement important du sol de ces zones et par conséquent l'effet aggravant qui en résulterait. Cette façon de voir montre que dans un tel problème la résistance à la traction du textile doit être mise en parallèle, si l'on veut par exemple comparer l'efficacité de différents textiles sur différents sols, non pas avec la résistance moyenne non remaniée du matériau, mais avec la résistance remaniée des zones les plus faibles. Les ordres de grandeur donnés plus haut montrent qu'il peut y avoir un très grand écart entre ces deux termes. Nous pouvons conclure également qu'une approche théorique, même très simplifiée, aura avantage à prendre en compte ces phénomènes localisés pour se rapprocher de la réalité.

Pour essayer de se rapprocher, de très loin certes, du cas évoqué plus haut de la voie d'accès sur tourbe, nous pouvons, à titre de simple exemple, examiner le modèle suivant (fig. 2 et 3) :



La tourbe est schématisée par un matériau homogène P surmonté d'une couche superficielle S que l'on suppose constituée de blocs élémentaires de forme hexagonale. Cet ensemble est surmonté d'un matériau de recouvrement R avec interposition d'un textile T.

Le matériau P a une cohésion C. Les blocs, d'épaisseur e et de côté a, sont supposés d'une résistance suffisante pour être considérés comme rigides. Le textile a une résistance à la traction par unité de largeur t. Le matériau R a une épaisseur h. Nous ne prendrons pas en compte son rôle de distribution des charges pour ne nous intéresser qu'à la force nécessaire à l'enfoncement d'un bloc élémentaire de la couche superficielle S au niveau de la nappe textile et immédiatement au-dessus de cette dernière.

Lorsqu'un bloc s'enfonce sous l'effet d'une charge verticale, la résistance maximale V qu'il oppose est formée de plusieurs termes :

1. La force d'enfoncement dans le matériau P situé sous le niveau inférieur du bloc ; cette force se décompose en deux parties :

- le terme de cohésion  $v_1$ , qui s'écrit d'après les formules de Terzaghi :

$$v_1 = 1,3 c N_c S \\ = 1,3,5,7, \frac{3a^2 \sqrt{3}}{2} c \approx 20a^2c$$

- le terme de profondeur  $v_2$ , qui est égal à  $\gamma(h + e)$   $N_q = 1,8(h + e)$ , en admettant que l'angle de frottement est nul et que la densité moyenne est  $1,8g/cm^3$ .

2. La résultante des forces de cohésion sur les faces verticales du bloc, qui s'écrit  $v_3 = 6aec$  ;

3. La tension du textile à la périphérie du bloc, qui est  $v_4 = 6at$ .

Nous avons donc  $V = 20a^2c + 1,8(h + e) + 6aec + 6at$ .

En prenant pour une application numérique les valeurs suivantes :

$$h = 40 \text{ cm} ; e = 20 \text{ cm} \\ c = 100g/cm^2 = 0,1 \text{ Kg/cm}^2 \\ t = 20 \text{ Kg/cm} \\ a = 50 \text{ cm}$$

on trouve, exprimés en Kg :

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 5000 \\ v_2 = 108 \\ v_3 = 600 \\ v_4 = 6000 \end{array} \right\} v_1 + v_2 + v_3 = 5708$$

On constate ainsi que la contribution du textile est égale à la moitié de l'effort total. En mobilisant seulement la moitié de la résistance à la traction du textile, on arrive encore à  $v_4 = 3000$ , soit une réaction du textile égale à la moitié de celle du sol. Si, en l'absence du textile, le remaniement du sol avait réduit de moitié sa cohésion, on serait arrivé à  $v_1 + v_2 + v_3 = 2908$ , soit le tiers de la résistance totale dans la première hypothèse de mobilisation complète de la résistance du textile. Pour des valeurs de a plus faibles, la contribution relative du textile est encore plus élevée.

Il est à souligner au sujet de ce calcul très élémentaire (qu'il faudrait pousser plus loin pour tenir compte de la réaction des blocs voisins, etc...) qu'il a pour seul but d'illustrer le fait que l'hétérogénéité du sol, par son influence sur les déformations, influe de façon considérable sur le rôle que peut jouer un textile dans ce type d'application;

cette influence est double :

- faire jouer localement la résistance du textile, ce qui peut mobiliser sa résistance avec des déformations d'ensemble faibles car l'allongement n'est que localisé

- empêcher l'effet néfaste du remaniement des zones du sol dont la résistance est déjà faible

- - - - -

Les considérations qui précèdent nous permettent de conclure que des progrès dans l'analyse du rôle mécanique des textiles impliquent d'une part un développement de nos connaissances des propriétés mécaniques des textiles, sur lesquelles nous disposons actuellement de peu d'éléments, et d'autre part de bien identifier les mécanismes de l'action des textiles, ce qui peut nous conduire à devoir envisager des approches nouvelles, comme par exemple, dans le cas de la piste sur sol mou, d'avoir à chiffrer l'hétérogénéité et les effets du remaniement.

- - - - -

#### Références

- (1) La Recherche, n° 73, Volume 7, page 1031, Décembre 1976.
- (2) J. SKELTON et W.D. FREESTON, The shear behavior of fabrics under biaxial loads. Textile Research Journal, Novembre 1971.
- (3) J. SKELTON, Fundamentals of fabric shear. Textile Research Journal, Décembre 1976.
- (4) Waterways Experiment Station. A Summary of Trafficability Studies through 1955. Technical Memorandum 3 - 240, 14<sup>th</sup> Supplement Corps of Engineers, U.S Army, Décembre 1956.
- (5) C.J. NUTTALL, C.W. WILSON, R.A. WERNER, One-Pass Performance of vehicles on Fine - Grained Soils. Contract Report n° 3 - 152 U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, July 1966.