

# **Session III**

**Massifs multicouches à renforcement textile**

**Multilayered soil-fabric systems**

**Mehrlagige Boden-Vlies-Systeme**

*La session est ouverte à 16 h 30  
sous la présidence de M. LEGRAND.*

A la suite d'un incident technique, la présentation de la première et de la troisième session du Colloque par leurs Présidents respectifs n'est pas disponible. Nous prions les Présidents de session et les lecteurs de bien vouloir nous en excuser.

★ ★ ★ ★

Due to a technical problem, the introductory talks by the Chairmen to the first and third session of the Conference are not available. We beg the Chairmen's and the readers' pardon.

★ ★ ★ ★

#### COMMUNICATIONS

##### Remblai armé avec un textile synthétique

Communication présentée par M. PUIG

##### Réalisation d'un barrage en terre avec parement aval vertical au moyen de poches en textile

Communication présentée par M. KERN

##### Some aspects of the design of earth dams reinforced with fabric

Communication présentée par M. CHRISTIE

##### Deformation behaviour of reinforced sand at model tests measured by the X-Ray technique

Communication présentée par M. SCHWAB

##### Walls reinforced by fabric - Results of model tests

Communication présentée par M. HOLTZ

##### Field experiment of fabric reinforced earth wall

Communication présentée par M. AL HUSSAINI

##### Construction and observations of fabric retained soil walls

Communication présentée par M. BELL

##### Polyester fabric as reinforcement in soil

Communication présentée par M. BROMS

# Discussion

## Question de M. CANONIER à M. KERN

Pouvez-vous dire l'économie réalisée avec une telle construction par rapport aux barrages traditionnels ?

## M. KERN

Il est difficile de chiffrer l'économie réalisée avec ce procédé de construction car les travaux ont été réalisés en régie parce qu'aucun appel d'offre n'a été fait pour un barrage traditionnel. Néanmoins on peut dire que le coût de cette technique est du même ordre que celui obtenu pour une digue en terre armée réalisée par la Direction Départementale de l'Agriculture du Var dans un vallon du même type. Cette dernière technique avait ainsi conduit à une économie de 30%.

## Question de M. GIEULLES à M. KERN

Avez-vous pu vérifier à moyen ou à long terme l'évolution de la résistance du textile du parement ? Notamment sous l'action des ultra-violets. Si vous l'avez expérimenté quels sont les résultats (même avec l'emploi d'une résine de protection) ?

## M. KERN

Aucune expérimentation n'a été faite sur l'évolution du textile du parement à moyen ou long terme. Nous avons dû nous contenter des affirmations du fabricant tout en sachant que les fibres polyester utilisées sont parmi celles qui ont la meilleure résistance. Le même tissu est utilisé pour des ouvrages de protection de route sans résine et dans des conditions plus défavo-

rables, sans que des dégradations notables y aient été observées.

## Questions de M. FRANCO à M. KERN

- 1) L'absence de parafouille aval est-elle justifiée sur la fondation ?
- 2) L'imprégnation de résine du parement aval est-elle la seule protection contre les déprédations humaines, animales, etc ?

## M. KERN

- 1) Le parafouille aval est réduit à la hauteur d'un seul "boudin" car les érosions sont limitées par la présence d'un bassin de dissipation à l'aval. Il faut aussi remarquer que les crues observées dans cette région sont de faible durée, et que dans ce cas le Comité Français des grands barrages a admis une réduction notable de la hauteur des parafouilles avales.  
Un petit évacuateur constitué par un simple tuyau évacue les petits débits.
- 2) Cette imprégnation est la seule protection prévue, mais les déprédations animales ne sont pas à craindre dans cette région.

## Question de M. PARTRIDGE à M. KERN

What is the design life of the earth fills and dams ?

M. KERN

La durée de vie de cet ouvrage n'a pas pu être estimée, et je crois qu'il en est ainsi pour beaucoup d'ouvrages d'art. Il faut cependant remarquer que cette digue conserve un caractère expérimental et qu'il n'y a pas de risque sur les personnes en cas de rupture.

Question de M. BAGUELIN à M. HOLTZ

Une des conclusions est que des structures textiles bidimensionnelles réduisent les déformations, sans doute par comparaison aux armatures traditionnelles de la Terre Armée qui sont monodimensionnelles.

Est-il valable de tirer une conclusion sur les déformations à partir d'essais sur modèles réduits qui ne respectent certainement pas les conditions de similitude en déformation ?

Les observations sur ouvrages présentées dans cette session ne me semblent pas confirmer cette conclusion. Mais d'une manière générale cela doit dépendre des caractéristiques des textiles employés et des constatations significatives.

Question de M. JARRETT à MM. HOLTZ, BELL, SCHWAB

To what extent have "scale factors" been considered in Model Tests, especially with regard to levels of stresses and deformations in the fabrics ?

M. HOLTZ

The questions by Jarrett and Baguelin focus on a very important point in any model testing : what are the appropriate scale factors and can the results be extrapolated to larger fabric-reinforced structures ? Dimensional analysis was done for the tests reported in the Paper. The tests were primarily empirical, to simply see whether or not the woven polyester might be a suitable reinforcement for a retaining wall. The sand and fabric were of course full-scale. We believe that the size of the wall (effective height was 1.2 m) was sufficient to allow safe extrapolation of the results to walls of perhaps 4 or 5 m in height. It of course would be possible to conduct a dimensional analysis and determine the exact scaling factors for these tests. However, as pointed out in the paper, we do not be-

lieve that the stress and deformation measurements (especially in the fabric reinforcement) were sufficiently accurate for a valid check on model law predictions. Baguelin's comment on the textile characteristics is especially pertinent. One of the major reasons we chose a woven polyester fabric for these studies was because of its high modulus, high strength, and probably most important, its low creep under sustained load. Certainly, more observations on full scale structures reinforced with fabrics are needed and should be encouraged.

M. BROMS

*Il est bien sûr, extrêmement difficile d'extrapoler les résultats sur une toute petite échelle en structure, en vraie grandeur.*

*Mais si vous travaillez en demie échelle, ou à l'échelle d'un quart, vous êtes tout de même sur un terrain assez solide qui vous permet d'extrapoler à des structures en vraie grandeur.*

*Dans ce cas-là, le mur était de 1,2 mètre, et je pense que les résultats sont valables pour des murs allant jusqu'à 5 mètres de hauteur. J'hésiterais à aller au-delà de 5 mètres.*

M. SCHWAB

Scale factors have not been considered in our tests. However, a surcharge pressure of 50 kPa corresponds approximately to a height of 2.5 m of soil and the in situ vertical stress has thus been simulated. The boundary conditions at the model tests are, however, complex and further tests are required to study the stress and strain conditions in the fabric.

The main purpose of our tests was to study qualitatively the soil fabric interaction and the applicability of the X-ray technique to evaluate the results of the model tests.

M. BELL

Scale factors were not considered in our model tests. The study was very limited. The purposes were simply to observe the general behaviour of fabric walls and to indicate the adequacy of a simple design method for low walls on secondary roads where the design would be based on limited factual data. Our conclusions are limited to those conditions.

M. BAGUELIN

*Des commentaires concernant la parenté des ouvrages indiqués avec la terre armée :*

Commentaire de M. SCHLOSSER

Les ouvrages multicouches à renforcement textile utilisent le principe de la terre armée tel qu'il a été inventé et breveté par Henri VIDAL dès 1963 et les communications présentées à ce colloque apportent des contributions intéressantes au mécanisme assez complexe de ce matériau composite.

A première vue, il peut paraître surprenant que depuis 10 ans, durant lesquels la terre armée a fait l'objet de nombreuses recherches, les textiles n'aient pratiquement pas été utilisés. En fait, c'est vers eux et les matières plastiques que l'inventeur H. VIDAL s'était d'abord tourné pour réaliser les armatures ; mais le choix s'est progressivement et définitivement fait en faveur des métaux pour une raison essentielle : la durabilité des ouvrages.

Les armatures utilisées dans la terre armée doivent en effet satisfaire entre autres à deux conditions :

1) Une faible déformabilité (environ 0,5% par tonne et par ml) en vue d'avoir des parements d'ouvrages bien verticaux tant à l'exécution qu'après la construction. Le fluage doit, en particulier, être très limité.

2) Une bonne durabilité à la fois de la nature du matériau constitutif (peu de dégradabilité ou de corrosion) et des propriétés mécaniques.

Cela avait conduit à sélectionner deux types de matériaux dans un premier temps :

- les métaux utilisés sous forme de bandes
- un mélange de fibres de verre et de résine de polyester, de faible déformabilité et également utilisé sous forme de bande.

Il faut noter que, s'il y avait à l'époque une certaine expérience sur la corrosion de métaux enterrés dans des remblais, il n'y en avait par contre aucune sur la dégradabilité du polyester et des matières plastiques en général.

En 1969, un premier mur expérimental de 3m de hauteur fut réalisé avec des peaux et des armatures en fibres de verre enrobées de résine de polyester. Malheureusement, peaux et armatures furent attaquées par les bactéries et le mur fut détruit en 10 mois. Ce matériau synthétique qui devait faire

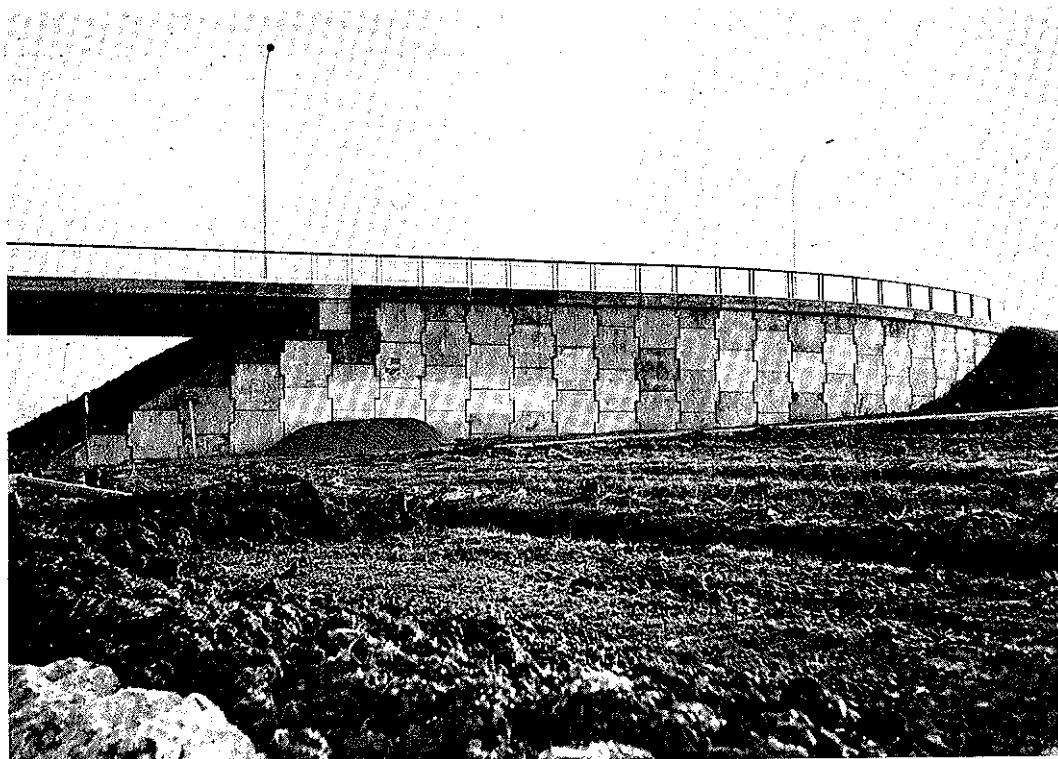


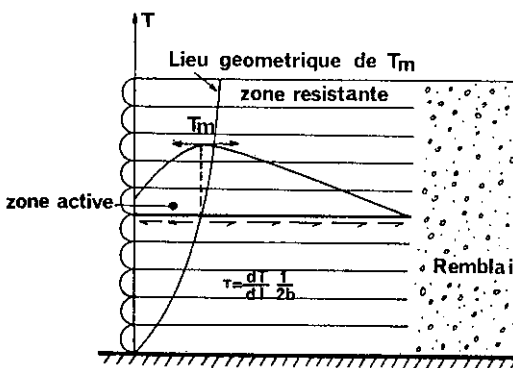
Fig. 1 . Mur de Poitiers réalisé avec des armatures de sangles de tergal.

l'objet d'une production industrielle fut alors abandonné au profit de l'acier galvanisé.

Cependant, en 1971, un second mur utilisant cette fois des sangles de tergal fut réalisé à Poitiers. Construit en tant qu'ouvrage provisoire, ce mur avait un parement en écailles de béton et ses dimensions étaient de 5 m de hauteur environ sur 40 m de longueur. Ce mur est toujours en place et son comportement s'est révélé parfaitement correct. Au niveau des études, il faut cependant signaler que le problème du fluage du tergal a donné lieu à de nombreux essais en vue d'obtenir un bon dimensionnement. Quant à la durabilité, le manque d'expérience sur ce type de matériau n'a pu conduire jusqu'à maintenant à la construction d'ouvrages définitifs, c'est-à-dire pour lesquels la durée de vie estimée est au moins de 100 années.

Les recherches effectuées depuis 10 ans sur le dimensionnement interne des murs en terre armée ont donné les conclusions suivantes qui méritent d'être rappelées, étant donné les essais et expériences présentés au cours de ce colloque sur les ouvrages multicouches :

1) La terre armée est un matériau composite et le dimensionnement des ouvrages doit tenir compte de cet aspect, ce qui exclue notamment toute assimilation d'un mur en terre armée à un écran ou parement retenu par des ancrages. La distribution des tractions dans les armatures est à cet effet significative. (fig. 2)



Répartition des tractions le long des armatures

Fig. 2

2) L'extrapolation aux ouvrages réels des résultats obtenus pour des modèles réduits est très difficile comme la figure 3 le montre.

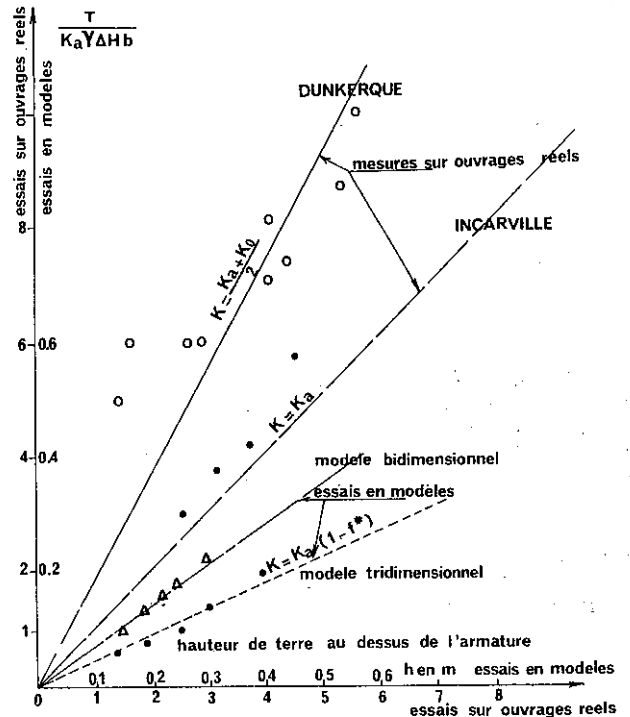


Fig. 3 - Comparaison entre les forces de traction calculées et mesurées

3) Le frottement terre-armature bénéficie dans le cas d'un remblai frottant et compacté, et d'armatures linéaires, de l'effet favorable de la dilatance.

Commentaire de M. LONG (LCPC)

Un bon nombre de communications présentées à cette séance traitent d'ouvrages de soutènement réalisés ou renforcés sur le principe de la terre armée et la plupart des armatures textiles utilisées sont planes. Il est important de noter que cela a une incidence sur le dimensionnement. En effet,

le coefficient de frottement apparent entre le sol et l'armature c'est-à-dire rapporté à la hauteur de remblai au-dessus de l'armature est voisin du coefficient de frottement sol-sol alors que dans le cas des armatures linéaires la valeur de ce coefficient est très importante notamment pour les remblais compactés. De nombreux essais effectués par le LCPC et l'INSA de Lyon ont montré qu'en vraie grandeur le coefficient est toujours supérieur à 1 et atteignait 2,5 à 3,5 pour des graves compactés montrant ainsi l'importance du phénomène de dilatance dans le sol.

Par ailleurs la plupart des méthodes de dimensionnement des armatures présentées dans les communications se réfèrent à l'étude en modèle faite par LEE en 1972 et qui utilise la théorie de RANKINE pour les sols pulvérulents soit une surface de rupture inclinée à  $(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2})$  sur l'horizontale.

Expérimentalement (constations sur Dunkerque, Incarville, Thionville) et théoriquement (éléments finis) un tel point de vue est erroné car la terre armée, c'est-à-dire l'association de terre et d'armatures est un matériau dont le comportement à la rupture est caractérisé par un angle  $\phi$  de frottement interne du sol et une cohérence anisotrope fonction de la densité des armatures (Résistance  $R_t$  sur espacement vertical des armatures  $H$ ).

En fait comme les études du LCPC l'ont montré le mécanisme de fonctionnement de la terre armée est complexe et si l'on interprète par la théorie de RANKINE, des essais sur modèles réduits, on obtient un coefficient de poussée des terres inférieur à la valeur théorique  $\text{tg}(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2})$  comme cela est d'ailleurs obtenu dans la communication présentée par M. AL HUSSAINI.

Notons que l'ensemble des recherches du LCPC fait l'objet de publications dans le Bulletin et dans les rapports de recherches du LCPC et dans le récent ouvrage édité par l'Association des Anciens Elèves de l'ENPC.

Commentaire de M. GIROUD

Je pense qu'il faut ajouter une remarque à la comparaison armatures métalliques/armatures textiles :

Certaines armatures textiles peuvent également jouer le rôle de drain car elles sont suffisamment épaisses pour transporter de l'eau dans leur plan.

Ces armatures drainantes permettent donc d'utiliser des sols saturés peu perméables, ce qui est impossible avec les armatures métalliques.

Question de M. GIROUD à M. BELL

1) Protection of fabric wall against ultra-violet rays : are you sure that the bituminous coating will have no chemical action on the fabric ?

2) Don't you think that an anisotropic fabric would be more suitable for a fabric wall ? For example it is very easy to reinforce an isotropic non woven fabric by wires in one direction : so it will become anisotropic. A reinforced wall has been built in France with such a fabric.

M. BELL

1) I am not a chemist but I have been told by persons in the fabrics industry that there should not be any chemical effect of the asphalt on the fabric. Our tests do not indicate any immediate effect. We do not have long term tests.

2) From a mechanical point of view, yes an anisotropic fabric would be beneficial. However, for low walls on secondary roads there is some advantage in the simplicity of using a standard material that is also used for filters, subgrade support, etc.

Question de M. LICHTENFELD à M. BELL

In one of your structures you used in addition to the polypropylene needle felt a polyester fabric to lower the risk of creep.

1) Was this a woven polyester fabric ?

2) Did you notice any significant difference in creeping between the polyester and the polypropylene ?

M. BELL

These questions are answered in the paper. The polyester was a non woven needlepunched fabric. The measurements did not indicate any creep for either fabric.

#### Commentaire de M. LELARDEUX

On vient de voir divers ouvrages dérivés de la terre armée.

On peut se demander - mais moi, je ne me le demande pas - si Monsieur COYNE, lorsqu'il a expérimenté et fait ses premiers murs à tirants, n'avait pas pensé à de tels ouvrages. En tous les cas, pour de petits barrages qui comportent quand même le risque d'une vague, je pose la question :

Ne pourrait-on pas revenir à la conception de murs en maçonnerie tenus par des tirants en béton armé pour lesquels la technologie de la mise en oeuvre est quasiment la même ?

#### Réponse de M. FRANCO à M. LELARDEUX

En réponse à M. LELARDEUX sur les barrages en murs à tirants (ou à échelle comme disait A. COYNE) : Un barrage, celui de Couqueyrac, dans le département du Gard, est de ce type et va être construit prochainement.

#### M. LE PRESIDENT

*Nous allons arrêter là les questions.*

*Je donne la parole à Monsieur BROMS qui va vous faire part de quelques réflexions que lui ont suggéré l'ensemble des communications.*

#### M. BROMS

I have been asked by the Chairman to summarise my impression of Session 3.

1. The presented papers and the discussions indicate that neither woven or nonwoven fabric contributes substantially to the bearing capacity of road embankments. The tensile strains that develop are too small for the fabric to be effective even when the deflections are relative large. The fabric can, however, overbridge local weak spots in the subgrade and facilitate the placement of the fill. Both woven and nonwoven fabric seems to increase the compaction in the base course. As a consequence the settlements are reduced.

2. Woven fabric increases the stability of embankments constructed on soft clay or peat, especially when the thickness of the underlying weak layer is relatively small. The maximum tensile strain that develops in the fabric at failure of the embankment ap-

pears to be small, 1 to 3%, when the thickness of the underlying weak soil strata are relatively thick. This deformation is too small for a nonwoven fabric to be effective. The strain at failure appears to increase with decreasing thickness of the weak layers and may be as large as 5 to 15% when the layers are thin. The deformations of the soil will be in the same direction as the fabric. It is important that the fabric is anchored properly and that the anchor system is relatively stiff.

3. Both woven and nonwoven fabric can be used as reinforcement in retaining structures. The fabric reduces the lateral earth pressure on the wall elements when the fabric covers the full width of the structure. When the fabric is placed in narrow strips the wall elements had to resist the full active earth pressure. The fabric also functions as anchorage in the soil. The maximum tensile strain in the fabric at failure appears to be relatively large, 10 to 20%, since the fabric is oriented in the same direction as the lateral displacement of soil behind the retaining structure. Several examples were described where the fabric was folded in the shape of bags. Questions were raised about the durability of the fabric where it was exposed to direct sunlight at the surface of the wall. Also vandalism seems to be a problem where the fabric is exposed as well as the relatively large settlements and lateral deformations which are required so that the bags can function as anchors.

4. Fabric can also be used to prevent large cracks from forming and thereby failure by piping in e.g. earth dams close to the abutments and in the core due to differential settlements between the shell or cut-off trench and the core. The fabric distributes the deformations over a large number of cracks so that the crack width will be small.

5. Fabric can also change the behaviour of soil and the failure mechanism. The soil becomes much more ductile when fabric is used and sudden catastrophic failures can be avoided. This is of importance for structures subjected to earthquakes or blast loading. The ability of soil reinforced with fabric to absorb energy can thereby increase several times.

6. The behaviour of fabric reinforced soil can be analyzed by the finite element method (FEM) as shown by several authors. The application of this technique is, however, limited by the difficulties to take into account the large strains in the fabric and in the soil around the fabric close to failure. Also the evaluation of the parameters which are used in the finite element analysis can cause difficulties. The accuracy of



the analysis will not be better than the parameters used in the analysis.

7. There is a need of carefully instrumented full scale tests so that the present methods of analysis, e.g. FEM, can be checked. It is important to measure accurately the distribution of the lateral earth pressure behind e.g. retaining structures as well as settlements and lateral displacement. However, such tests are both time consuming and costly.

8. A large number of different testing methods are used to determine the stress-strain properties of fabric both in uniaxial and biaxial tension. A standardisation of the different test methods is desirable so that different materials can be compared.

#### M. LE PRESIDENT

Nous arrivons à la fin de notre session.

Nous avons abordé au cours de cette séance, les utilisations de différents aspects mécaniques des textiles en utilisant leurs propriétés mécaniques, et non pas uniquement les propriétés telles que l'isolation ou le filtre.

Il semble que dans le domaine de l'utilisation des textiles, dans le volume, dans la masse des ouvrages, on soit un peu plus avancé en ce qui concerne les méthodes de dimensionnement et de calculs, sans que les spécialistes soient encore bien d'accord sur les meilleures méthodes.

On peut observer que ces méthodes dérivent des méthodes classiques qui sont des méthodes de calculs à la rupture.

Il est probable que dans le choix entre les divers matériaux que l'on peut utiliser pour armer des ouvrages, puisque l'on a d'une part, des techniques qui utilisent des armatures métalliques, d'autre part, des techniques présentées qui utilisent, soit des nappes, soit des armatures textiles, les problèmes de déformation doivent être pris sérieusement en considération, ainsi que le développement de méthodes de calculs en déformations, plutôt que des méthodes de calculs en rupture pour apporter des critères qui permettraient de choisir en fonction des caractéristiques des ouvrages, le meilleur type d'armature qu'il faudrait envisager.

A côté des problèmes de déformation qui sont, je crois, très importants - on les a évoqués sans que l'on puisse se prononcer de manière très nette - il y a les problèmes de durabilité, donc de résistance dans le temps et à la corrosion.

Il faut évoquer également, peut-être dans certains cas, les problèmes d'esthétique.

Il y a dans certains sites, des problèmes de quali-

té de parement, du point de vue de l'esthétique.

Ceci étant, je voudrais, en votre nom, remercier tous les orateurs qui sont intervenus, et qui ont très soigneusement respecté les contraintes de temps que nous leur avons fixées, puisque nous tenons à peu près notre délai.

Je les remercie également en votre nom, d'avoir répondu aux questions posées, et avant de lever la séance, je vous indique que l'on doit vous faire un certain nombre d'annonces pour la poursuite du colloque.

(la séance est levée à 18 h 40)

# Discussion écrite

## Written discussion

### Question de M. VAILLOT à M. BELL

Les tissus sont protégés contre les U.V. et les vandales ; cependant, après les travaux, la repousse de la végétation ne risque-t-elle pas de détruire également les tissus et ruiner ainsi l'ouvrage ?

### M. BELL

I do not believe small vegetation would be detrimental. In fact, for many of the sites along forest roads it might be desirable to have a more natural look. Large trees would have to be prevented however.

### Question de M. GROOTHUIZEN à MM. BELL et BROMS

- 1) Are there measurements on reinforced retaining walls totally saturated with water ?
- 2) When water transport through the wall is permitted, what will happen when the filter clogs up ?

### M. BELL

- 1) I do not know of any measurements on fabric reinforced walls totally saturated with water.
- 2) The question assumes that the fabric will clog. In the vast majority of cases this is very unlikely. If it did occur the wall would have to be designed to resist the added pressure due to the water to prevent failure.

### Question de M. FAYOUX à M. BELL

Pour les essais sur petits modèles, quelles conditions de similitude ont été choisies pour le textile ?

Quel est pratiquement le textile qui a été choisi pour ces essais ?

Quels sont les effets d'échelle observés et leurs causes ?

### M. BELL

Similitude and scale effects were not considered in the tests. This was a very limited model study. The fabric used is described in the paper.

### QUESTIONS SANS REPONSES

### Question de M. LAMON

Peut-on envisager des armatures du type béton armé ou du type Terre Armée à la place du textile pour des remblais de faible surface et de forte hauteur ?

Les armatures seraient, à mon avis, à disposer à environ 15/20 cm du terrain naturel, on réaliserait ainsi une "poutre armée" sur sol élastique.

Si on n'utilise pas cette technique c'est peut-être pour des raisons de coût ?

Quelle est la durée de vie des armatures textiles ?

Question de MM. BLIVET et PUIG

Presque toutes les communications portent sur des ouvrages en terre renforcés, réalisés avec des matériaux essentiellement frottants et reposant sur des sols peu ou non déformables. Est-ce que les auteurs de communications portant sur les méthodes de calcul ont réalisé des calculs sur modèle où le sol de fondation est très déformable et où le matériau de remblai est peu frottant (limon ou argile très humide) ?

Question de M. RUBITSCHUNG à M. AL HUSSAINI

Quel fut l'allongement à la rupture des bandes de renforcement ?