

PERRIER, H., BLIVET, J.-C., KHAY, M.

Centre d'Expérimentations Routières—Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Rouen,
Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement Normandie-Centre, France

STABILISATION DE TALUS PAR RENFORCEMENT TOUT TEXTILE: OUVRAGES EXPERIMENTAL ET REEL
EXPERIMENTAL AND ACTUAL USE OF GEOTEXTILE REINFORCEMENT OF A SLOPE
EXPERIMENTELLER UND TATSÄCHLICHER EINSATZ VON GEOTEXTILIEN BEI DER
SICHERUNG EINER BÖSCHUNG

En 1971 avec l'ouvrage de l'autoroute A 15 près de Rouen, naissait en France l'idée de renforcement textile des ouvrages en terre. Depuis d'autres ouvrages ont été réalisés avec diverses méthodes de dimensionnement et de techniques constructives.

En 1984 le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a entrepris la réalisation d'un ouvrage expérimental afin de maîtriser ces problèmes et d'appréhender à travers les résultats d'une instrumentation importante (jauge, capteur de déformation...) le fonctionnement de ce type d'ouvrage.

Particularité innovante de cette étude, l'utilisation du renforcement tout textile, faisant appel à la conteneurisation cube comme parement et coffrage, a permis de répondre aux préoccupations légitimes des maîtres d'œuvre relatives aux problèmes de mise en œuvre et d'esthétique.

INTRODUCTION

Les Ingénieurs géotechniciens ont noté depuis longtemps le grand intérêt que représentent les géotextiles pour le renforcement mécanique des sols. Toutefois, la construction des murs ou des talus renforcés par géotextiles pose deux questions :

- quelles sont les technologies adaptées à la mise en œuvre ?
- peut-on utiliser des sols fins de caractéristiques géotechniques médiocres et quels sont alors les géotextiles les mieux adaptés ?

Pour apporter des éléments de réponse à ces deux questions, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, riche de quelques expériences françaises, a réalisé, à Rouen, un ouvrage expérimental afin d'étudier le fonctionnement et la mise en œuvre de tels procédés. Il a mis au point la technique de la conteneurisation cube qui permet de résoudre le problème du parement et du coffrage facilitant ainsi l'emploi du procédé sur site réel à Trouville-sur-Mer.

A - OUVRAGE EXPERIMENTAL DE ROUEN

Depuis 1971 date de la réalisation du premier ouvrage renforcé par géotextile (1), quelques ouvrages ont été réalisés par des collectivités locales ou des particuliers. Chaque chantier, qui faisait appel à des techniques de mise en œuvre et des méthodes de dimensionnement différentes s'accompagnait de son lot d'impondérables sur l'aspect et les technologies employées.

A travers une instrumentation importante, la réalisation de l'ouvrage de Rouen devait permettre d'appréhender le fonctionnement de ce type d'ouvrage et de maîtriser quelques problèmes de mise en œuvre.

The early application in France of the geotextile reinforcement method in soil reinforcement is up to 1971 on A 15 motorway when horizontal layers of fabric were incorporated in soil as reinforcing element.

Since, others structures were constructed with various methods of design and construction techniques.

In 1984 an experimental embankment is constructed by the Laboratoire Central des Ponts et Chaussées aimed to appreciate the theoretical and practical design aspects. This paper reports on results from this experiments with informations on construction technique (mobile shutter, cubic pillow...) and observations on the deformation behaviour of the structure. It is completed by an application on site. The new technique developed in this case is the only-use of geotextile as reinforcing elements and facing unit wall (cubic pillows). Experience shows that this construction technique is a good response to produce economic structure of esthetic appeal.

A-1- Présentation de l'ouvrage

Composé de quatre sections d'une dizaine de mètres de longueur (photo 1), l'ouvrage de Rouen se caractérise par la nature du matériau constituant le corps du remblai. Chaque section se compose d'un parement à 1/1 et d'un parement vertical (figure 1).



photo 1 : Ouvrage de Rouen : parement incliné à 45°

Les matériaux

Le sol utilisé est un limon dont les caractéristiques sont les suivantes :

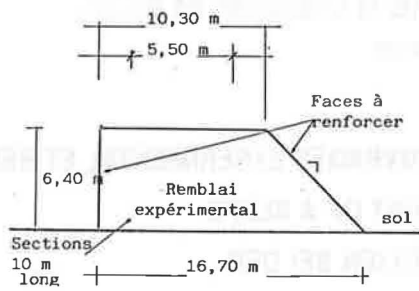


figure 1 : Coupe du remblai de Rouen

caractéristiques mécaniques

C'	=	0
ϕ'	=	30°

essai triaxial consolidé drainé compacté à 94 % $\gamma_{d,OPN}$

caractéristiques d'identification

W_L	30
W_p	20
I_p	10
Optimum Proctor Normal	$\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$ $W = 14 \%$

les quatre produits textiles retenus pour la réalisation de l'ouvrage sont de nature (polymère) et de surface de contact différentes :

- un tissé de bandelette fibrillée de polypropylène UCO 44 614
- un tissé polyester tissage classique serré TER 2013 R
- un tissé polyester tissage "grosses mailles" STABILENKA AJOUR 135
- un composite non tissé associé à une grille polyester BIDIM R 2224

	$\alpha_f \text{ kN/m}$	$\xi_f \%$	module $J \text{ (kN/m)}$	masse surf g/m^2
UCO 44 614	90	9 %	1000	500
TER 2013 R	120	17 %	700	300
STA AJOUR 135	130	11 %	1100	290
BD R 2224	70	15 %	450	500

Des essais ont été effectués pour mesurer le frottement, à court terme, du géotextile sur le limon. La figure 2 donne les résultats obtenus. On remarque que l'un des produits a une moins bonne adhérence sur le limon saturé.

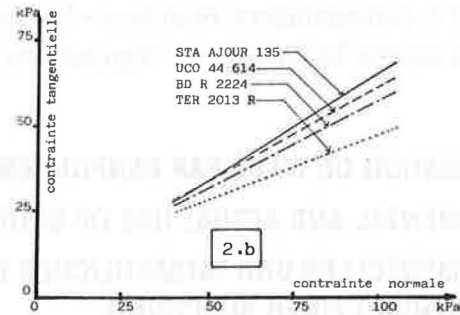
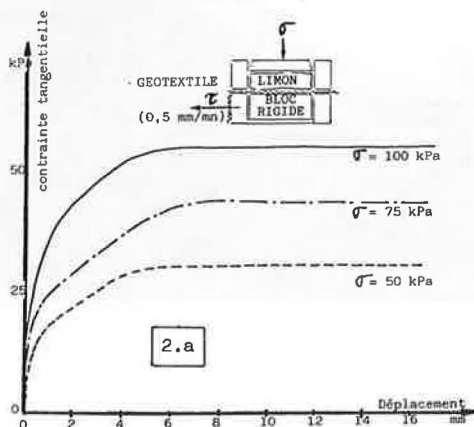


figure 2 : Résultats des essais de frottement où la nappe saturée en permanence s'appuie sur une surface plane lisse.

- a - Courbes typiques effort-déplacement BD R 2224.
- b - Résultats comparatifs.

Dimensionnement de l'ouvrage

Pour réaliser le dimensionnement de l'ouvrage nous avons choisi l'option de nous imposer l'épaisseur des couches en fonction des critères de compactage du matériau de remblaiement (2 x l'épaisseur maximale compactable sans moyen disproportionné). L'hypothèse d'une épaisseur élémentaire de 0,80 m a donc été retenue et les calculs selon les diverses méthodes de dimensionnement (2) ont été réalisés.

Les diverses méthodes de calcul nous ont donné des taux de travail théoriques dans l'armature la plus sollicitée (nappe inférieure) de :

	taux de travail théorique
BD R 2224.....	35 % de la résis-
TER 2013 R.....	27 % tance à la
STA AJOUR 135.....	27 % rupture
UCO 44 614.....	30 %

Les calculs ont été réalisés à partir des caractéristiques à long terme du limon $\phi' = 30^\circ$ et $C' = 0 \text{ kPa}$ en appliquant sur la caractéristique $\text{tg } \phi'$ un coefficient de 0,67 pour prendre en compte l'interaction sol-géotextile au niveau des calculs d'ancrage.

Instrumentation de l'ouvrage

Afin de permettre de mieux appréhender le fonctionnement de l'ouvrage une instrumentation importante a été réalisée sur l'ensemble des quatre sections (figure 3).

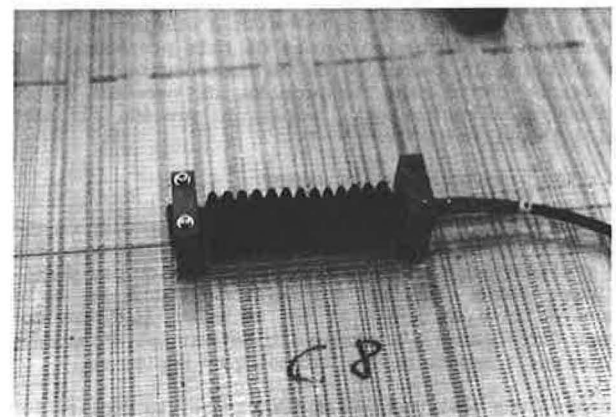


photo 2 : Capteur de déplacement type LCPC

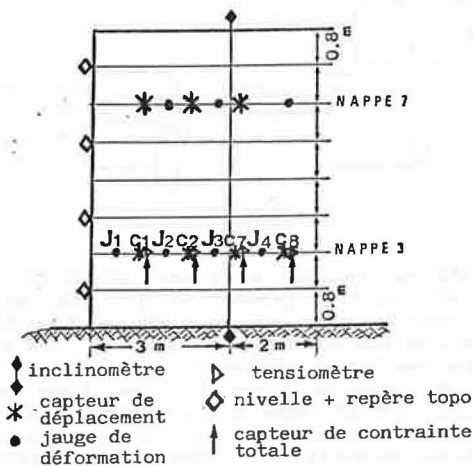


figure 3 : Parement vertical : implantation de l'instrumentation

- Cette instrumentation comporte deux types de suivi :
- suivi des déformations de l'ouvrage
 - * repère topographique et mesure de nivellement
 - * tube inclinométrique
 - suivi du comportement interne
 - * capteur de déplacement type potentiométrique mis au point par le Laboratoire de Rouen lié à la nappe par collage et boulonnage (photo 2)
 - * jauges de déformations TOKYO SOKKI YL 60 grande déformation ; elles ont été étalonnées par un essai de traction selon la Norme NF G 38014
 - * capteur de pression totale type Glötz
 - * tensionnètre : suivi des pressions interstitielles négatives et positives.

A-2- Mise en oeuvre (3)

Sur les quatre sections retenues furent testées trois techniques de mise en oeuvre différentes (figure 4)

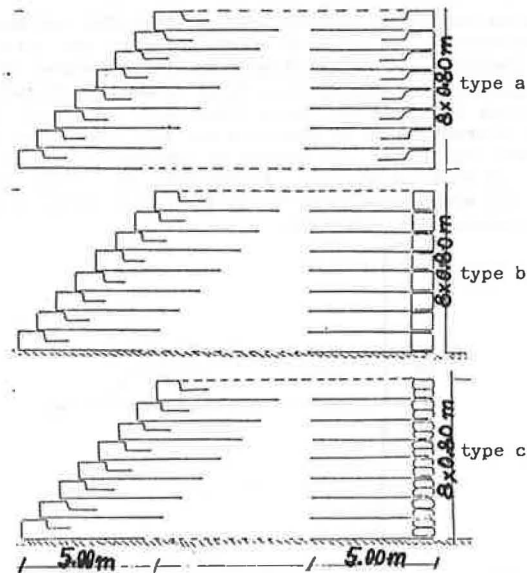


figure 4 : Trois profils-types de l'ouvrage de Rouen

Deux sections (BD R 2224 et UCO 44614) font appel à une technique classique (type a) du coffrage mobile lié à l'ouvrage par des sangles textiles (figure 5). Pour le

parement incliné la chaise est triangulaire (photo 3). Pour le parement vertical, on y associe un point de réaction sur le boudin précédent.

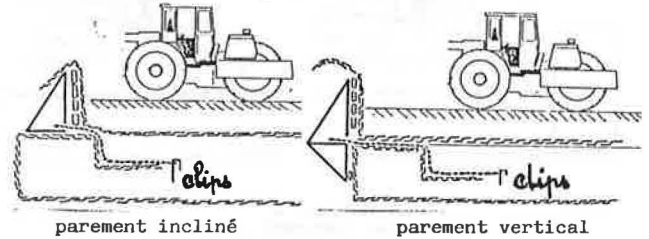


figure 5 : Technique classique : type a



photo 3 : Coffrage mobile ancré au remblai par sangle textile (Parement incliné)

Les deux autres sections (TER 2013 et STABILENKA AJOUR 135) font appel à la technique classique pour le parement incliné et à deux techniques de "parement-coffrage" à base de conteneurs textiles pour la réalisation des parements verticaux (photos 4 et 5). Cette technique (type b et type C) ont l'avantage de servir de coffrage lors de la mise en oeuvre (figure 6) et de constituer un élément de parement. Ces éléments permettent la réalisation d'ouvrage de grandes hauteurs sans contact avec le sol adjacent à l'ouvrage.

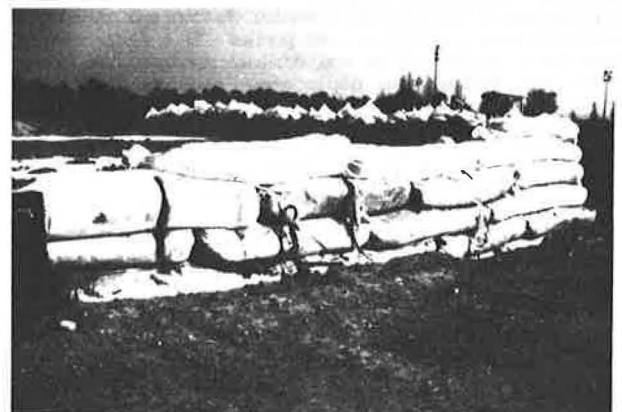


photo 4 : Coffrage parement : conteneur textile long type ENKA

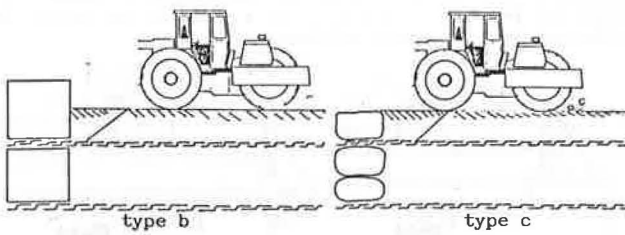


figure 6 : Technique "parement coffrage" parement vertical - type b : conteneur cubique
type c : conteneur de forme allongée



photo 5 : Coffrage parement : conteneur cube

Contrôle et suivi de mise en oeuvre

Les densités et la teneur en eau du matériau mis en oeuvre ont été contrôlées sur chaque couche de l'ensemble de l'ouvrage. La densité varie de 92 à 95 % du γ_d Optimum Proctor Normal. La teneur en eau varie entre 19 et 21 % (W Optimum Proctor Normal + 5).

Le contrôle du nivellement a permis de mettre en évidence un certain renversement de l'ouvrage pendant la construction par aplatissage des poches des parements verticaux (figure 7) (type a) et de montrer, compte tenu des caractéristiques mécaniques faibles du matériau de remplissage, l'intérêt de l'emploi de conteneurs souples préformés pour rigidifier ces poches. Il a également été constaté l'intérêt d'un bon dimensionnement des conteneurs pour éviter leur déplacement sous les sollicitations de compactage (figure 8).

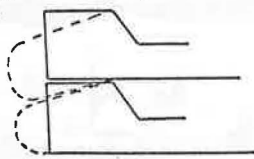


figure 7

A-3- Comportement observé

Déplacements

Une proportion très forte de la déformation totale s'est produite pendant la mise en oeuvre. Une des causes

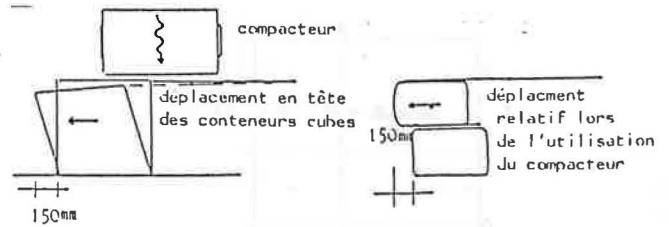


figure 8

de ces déformations, qui ont atteint plusieurs dizaines de centimètres près du parement vertical, est explicitée sur la figure 8 ; pour la section équipée du géotextile ayant la plus faible adhérence (figure 2) il s'est produit, pour les nappes inférieures, un glissement du géotextile au sein du limon à cause d'une mauvaise mobilisation à court terme du frottement sol/géotextile, la nappe ne permettant pas la dissipation des surpressions interstitielles créées par le compactage et les couches sus-jacentes.

Déformations relatives dans les nappes

Les capteurs de déformation (photo 2) ont eu un meilleur fonctionnement que les jauges, ces dernières ayant accusé, lors d'étalonnage au laboratoire, un glissement (une différence entre la déformation imposée et la déformation "lue" par la jauge) assez dispersé. La figure 9 donne les allures des déformations relatives sur les nappes 3 du parement vertical (figure 3). Le tableau ci-après rassemble les déformations maximales mesurées sur ces nappes et les tensions correspondantes compte tenu de la raideur déterminée en laboratoire.

	Déformation maximale ϵ %	Tension maximale kN/m	Pourcentage de la force de rupture
UCO 44 614	3 %	30	33 %
TER 2013 R	3 %	21	18 %
STA AJOUR 135	2,7 %	29	22 %
BD R 2224	2 %	9*	13 %

*La valeur de la tension dans le BD R 2224 est peut-être sous-estimée. A titre de comparaison il est intéressant de regarder les caractéristiques des armatures en acier d'une solution standard en Terre Armée. On obtient, pour l'acier à 2/3 de la limite élastique, un effort dans le lit d'armature de 32 kN/m, ce qui est comparable aux efforts repris par les nappes de géotextile ; par contre la raideur d'un lit d'armature en acier est de 42 000 kN/m, soit près de 50 fois plus forte que celle des géotextiles employés.

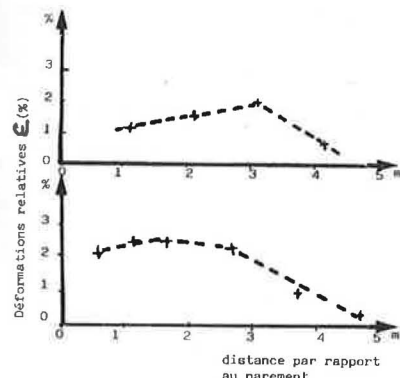


figure 9 : Répartitions des déformations relatives mesurées sur les nappes 3 du parement vertical

Pressions interstitielles

Le limon utilisé a une perméabilité d'environ 10^{-9} m/s , sa mise en oeuvre a été effectuée à une teneur en eau de l'ordre de 5 points au-dessus de l'Optimum Proctor, des pressions interstitielles élevées ont donc été générées pendant le remblaiement. Ainsi un coefficient de pression interstitielle de 0,70 (pression interstitielle $u = 60 \text{ kPa}$ et charge totale des terres $\sigma_z = 86 \text{ kPa}$) a été mesuré au centre du remblai en dehors des zones renforcées par géotextile, à 4 mètres de profondeur, juste à la fin de la mise en oeuvre du remblai ; un an après ce coefficient était de 0,35. Les tensionnètres installés au voisinage immédiat de deux nappes de géotextile (figure 3) ont donné des réponses très différenciées suivant la structure du géotextile. Pour les points de mesure situés à 3,50 m du parement (figure 10 a) le tissé STA AJOUR 135 a accusé des pressions interstitielles positives de l'ordre de 20 kPa à la fin de la construction, cette surpression s'est dissipée en 350 jours ; par contre le même point sur le non-tissé aiguilleté BD R 2224 avait déjà, à la fin de la période de construction une pression interstitielle négative, ce géotextile a assuré, pendant la mise en oeuvre, la dissipation totale des surpressions interstitielles dues au remblaiement. Aux points situés à 2,50 m du parement (figure 10 b) la différence de comportement est moins marquée à cause de l'influence du drainage assuré par le parement ; à 1,50 m (figure 10 c) l'influence du parement drainant est prépondérante. La dissipation assurée par la nappe BD R 2224 à forte perméabilité améliore à un double titre la stabilité du massif renforcé :

- 1) la pression interstitielle étant plus faible au sein du sol, celui-ci peut mobiliser une résistance au cisaillement plus forte ($\tau = C' + (\sigma - u) \text{tg } \phi'$)
- 2) l'action mécanique du géotextile est également améliorée car la dissipation des pressions interstitielles au contact de la nappe et du sol assure une meilleure adhérence.

Ainsi le délicat problème des surpressions interstitielles rencontré par ailleurs dans d'autres techniques d'amélioration du comportement des sols fins quasi-saturés trouve une solution heureuse grâce à l'emploi de géotextile ayant à la fois une bonne résistance mécanique et une forte perméabilité.

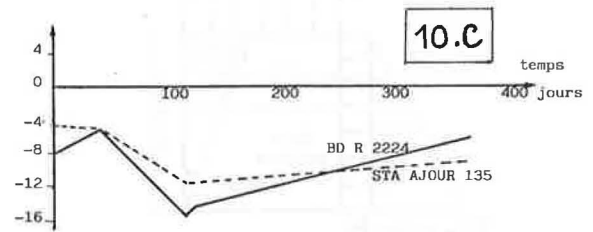
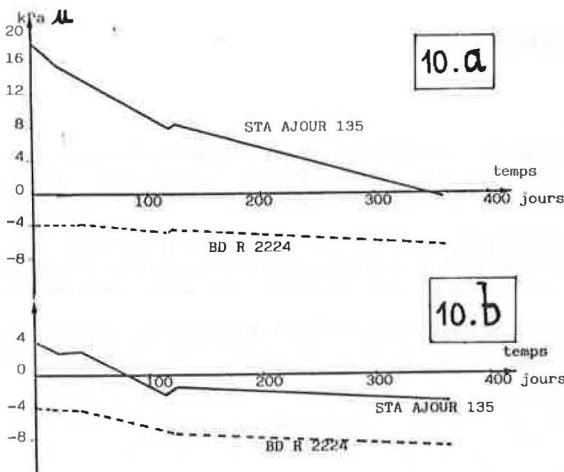


figure 10 : Pressions interstitielles enregistrées au voisinage immédiat des nappes 3
 a : Points de mesure à 3,50 m du parement vertical
 b : Points à 2,50 m du parement
 c : Points à 1,50 m du parement

B - TRANSFERT DE TECHNOLOGIE : OUVRAGE TROUVILLE-sur-Mer

B-1- Présentation de l'ouvrage

D'après l'étude de stabilité, la solution confortative créant un massif drainant permet d'obtenir un coefficient de sécurité de 1,50 après travaux. Il a donc été retenu de réaliser un remblai consolidé par nappes géotextiles (figure 11) avec réemploi des matériaux locaux (sable de dragage de la rivière Touque). Sa réalisation fait appel à la technique de la conteneurisation cube précédemment décrite.

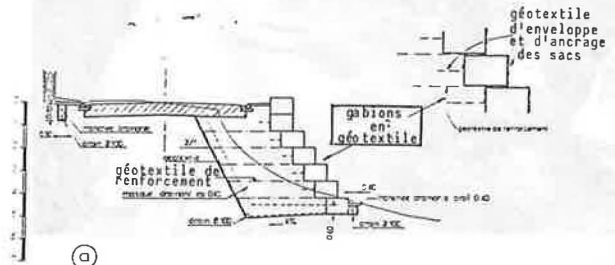


figure 11 : Parement en "gabions" textiles

Dimensionnement

Le dimensionnement a été réalisé à partir de la méthode dite "standard" (2). Le massif renforcé comprend deux zones (figure 12). Une zone active qui tend à glisser et qui est retenue par le géotextile est une zone passive qui retient en ancrage le géotextile. Le lieu des tensions maximales par cette méthode est la ligne de séparation du coin de Rankine. Le taux de travail théorique est alors de 20 % de la charge de rupture du géotextile. La longueur utile des nappes (4 mètres) est fixée par l'étude au renversement.

Les contrôles

Les caractéristiques mécaniques et de contact des nappes utilisées (tissé polypropylène UCO 44614) ont été contrôlées selon les normes NF G 38014 :

- masse surfacique : = 550 g/m²
- résistance à la rupture : = 96 kN/m
- mobilisation du frottement : $\text{tg } \phi'_G / \text{tg } \phi' = 0,8$
- ϕ'_G angle de frottement géotextile/sable

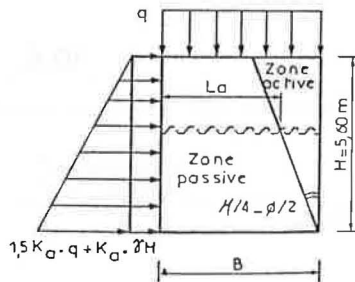


figure 12 : Schéma du dimensionnement

B-2- Mise en oeuvre

- Le chantier a débuté par l'approvisionnement du sable, le remplissage et le stockage des sacs (trois cents sacs).
- Cette phase terminée, la fouille est ouverte et le fond de forme mis à la cote.
- Ensuite la réalisation du massif lui-même par couche élémentaire de 0,70 m est entreprise (une semaine pour un massif de 60 m de long et 5 m de hauteur (photo 6).



photo 6 : Mise en oeuvre : la nappe de renfort enveloppe les conteneurs-cube qui servent de coffrage-parement

La possibilité de fractionner le chantier en atelier distinct s'est montré être un facteur de facilité et de rapidité de réalisation.

Pour un ouvrage de ce type se posait le problème de l'esthétique. On peut dire que la technique retenue et les précautions observées ont permis de réaliser un ouvrage d'un excellent aspect général (photo 7).

B-3- Conclusion

La solution "tout textile" retenue pour conforter le glissement de la route de la corniche à Trouville-sur-Mer se caractérise par sa facilité de mise en oeuvre, par son coût relativement faible et par un aspect général fini satisfaisant. L'emploi des sacs cubiques pour le parement, permettant d'éviter tout



photo 7 : Ouvrage de Trouville-sur-Mer : vue générale

coffrage, constitue une solution originale très intéressante. Associant souplesse et résistance, ce type de renforcement par géotextile, offre également une solution avantageuse pour les remblais à emprises limitées ou pour des soutènements.

C - UNE AVANCEE TECHNIQUE NOTABLE

La réalisation des ouvrages de Trouville-sur-Mer et de Rouen ont permis de mettre en évidence quelques points très importants :

- La gamme des matériaux utilisables en remblai renforcé par géotextile est plus vaste que celle actuellement proposée par les techniques concurrentes. Cependant il faut, pour le réemploi de matériau de mauvaise caractéristique, une attention particulière aux caractéristiques d'adhérence sol-géotextile (réalisation d'essai de frottement avec le matériau à la teneur en eau de mise en oeuvre et sous contrainte de sollicitation avec le délicat problème des conditions à "court terme" pour les sols fins quasi saturés).
- Les conteneurs cubiques se sont révélés être une solution très intéressante à la fois pour la construction et pour l'aspect global de l'ouvrage.

REFERENCES

- (1) PUIG J. - BLIVET J.C. (1973) Remblai à talus vertical armé avec un textile synthétique - Bull. liaison des Ponts et Chaussées - mars-avril 1973
- (2) DELMAS Ph. - GOURC J.P. - PERRIER H. (1985) Dimensionnement d'ouvrages renforcés par géotextile XIème congrès Int. de méca. des sols - SAN FRANCISCO
- (3) PERRIER H. (1985) OUVRAGE EXPERIMENTAL GEOTEXTILE Compte-rendu de mise en oeuvre - Doc recherche LCPC
- (4) DOUILLOT H. - BLIVET J.C. - PERRIER H. (1985) Stabilisation d'un glissement de terrain par renforcement tout textile - Revue générale des routes mars 1985