

VOLMAN W.

Koninklijke Wegenbouw Stevin Utrecht, NL

KREKT L.

Enka Glanzstoff Arnhem, NL

RISSEEUW P.

Akzo Research Laboratories Arnhem, NL

Armature de traction en textile, un nouveau procédé pour améliorer la stabilité des grands remblais sur sols mous

Reinforcement with fabrics, a new technique to improve the stability of embankments on weak subsoils

Several large-scale trials have been conducted to find out whether a strong woven fabric reinforcement under an embankment constructed on soil of low bearing capacity may make a contribution to the stability of the embankment.

Under practically identical conditions, two embankments were constructed on soil of low bearing capacity in the Zevenhoven polder in the Netherlands. One of the embankments was reinforced with a woven fabric, the other was non-reinforced. The reinforced embankment, which had a height of 4.5 metres, was constructed in four days without giving rise to any problems. The non-reinforced embankment, however, spontaneously slid away when it had reached a height of 3.5 metres. Measurements made during and after construction showed that the fabric under the reinforced embankment absorbed substantial loads and served to enhance the slip resistance of the soil. For the measurements, specially designed equipment was used.

In a large-scale follow-up test, a fabric reinforcement was used in the construction of the earth embankment, of 8 metres height, of national road no. 6 near Muiden, the Netherlands. The fabric serves to prevent squeezing in the subsoil - a 2-metre peat layer of low water permeability - which must remain intact to ensure adequate separation between surface and ground water.

In a joint project with the engineering firm of Oranjewoud, a fabric was used to widen a road at Nederhorst-den-Berg, the Netherlands. The fabric serves to prevent irregular and lateral squeezing. To establish the fabric's effectiveness, extensive measurements were conducted.

Avant-propos

D'un point de vue géotechnique, les plaines basses du littoral néerlandais se composent de sols caractérisés par des propriétés mécaniques et hydrologiques très spécifiques, qui posent des exigences particulières aux fondations et au drainage des constructions.

Parallèlement aux solutions traditionnelles apportées aux problèmes posés, et qui ne cessent d'être perfectionnées, se développe aussi depuis quelques années l'utilisation des matériaux à base de textiles synthétiques.

Les possibilités sur ce plan sont si nombreuses que, pour faire un choix valable parmi les différents matériaux proposés, il convient d'avoir une connaissance suffisante de leurs propriétés techniques et, plus particulièrement, de leurs propriétés intéressant le génie civil.

La nature des problèmes à résoudre exige que l'on procède non seulement à des études préalables à l'échelon laboratoire mais aussi à des essais in situ sur des ouvrages expérimentaux grandeur nature.

Les auteurs des présentes donnent un compte rendu de leurs constatations faites à l'occasion

de trois essais d'application d'une armature en tissu synthétique Stabilenka dans le secteur du génie civil.

Les essais ont été réalisés à Zevenhoven, à Muidenberg et à Nederhorst-den-Berge, trois localités situées dans la région de basses tourbières du centre des Pays-Bas.

But de l'étude

La présente étude a été entreprise en vue de vérifier les avantages économiques et techniques qui sont liés à l'emploi des textiles synthétiques dans la stabilisation des grands remblais aménagés sur des sols peu consistants (levées de terre, etc.). Réalisés selon les procédés traditionnels, les grands remblais peuvent susciter divers problèmes pendant l'exécution ou après l'achèvement des terrassements. Ce sont entre autres les différences de tassement, les interpénétrations de sols, les déformations latérales et les éboulements. Bien souvent de tels problèmes entraînent d'importantes pertes de matériaux et de temps et on ne peut généralement les résoudre qu'à grands

frais et à grand renfort de main-d'oeuvre.

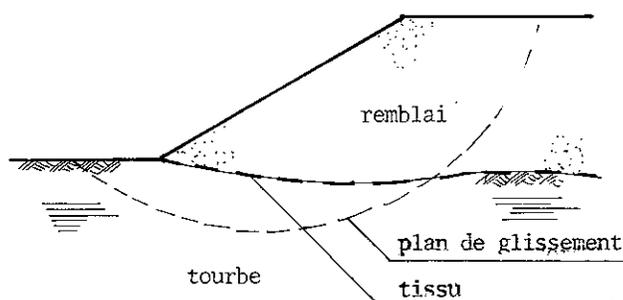


fig. 1

L'intégration d'une armature textile entre le sol et le remblai a été envisagée pour la raison suivante:

Activée localement par les contraintes qui résultent des irrégularités de tassement, des interpénétrations de sols ou de la formation d'un plan de glissement, la nappe textile augmente la résistance au cisaillement et assure une répartition des contraintes en supprimant ou atténuant les phénomènes en question.

Les remblais expérimentaux

Voulant vérifier si le textile remplit effectivement le rôle qui lui est attribué, on a procédé, en juin - septembre 1975, à l'établissement de deux remblais de sable identiques dans les polders de Zevenhoven près d'Utrecht. Ces remblais ont été posés l'un sur une armature textile et l'autre directement à même le sol. Le terrain choisi pour ces essais se compose d'une couche mixte de 5 mètres de limons et de tourbes alternés sur une assise de sables du pléistocène. Les caractéristiques de ce sol et, notamment, sa densité (γ), sa cohésion (c) et son angle de frottement interne (φ), ont été définis par le Laboratoire de Mécanique des Sols à Delft sur des carottes en l'état prélevées sur place.

profondeur(m)	nature du sol	densité kN/m^3	cohésion k Pa	angle de frottement
1	tourbe	10,0	4,5	$17,5^\circ$
	argile	15,5	2,0	$18,0^\circ$
2	tourbe	10,3	5,5	$3,2^\circ$
3	argile	13,7	2,0	$18,5^\circ$
4	tourbe	11,0	6,0	$29,0^\circ$
5	sable			

fig. 2

Le tissu a été mis en oeuvre sur le terrain préalablement essouché et déblayé sur 30 cm de profondeur, étant donné que des essais antérieurs ont fait ressortir qu'un gazon très structuré apporte un gain de stabilité qui ne peut être négligé. En vue de reproduire aussi fidèlement que possible les conditions réelles d'aménagement, les deux remblais, qui devaient mesurer chacun 18 x 36 m au sol et atteindre 4 m de haut, ont été pourvus de talus en pente douce 1:3 sur leurs petits côtés et de talus en pente raide 1:1 sur leurs grands côtés, ceci pour éviter les déstabilisations dans le sens de la longueur et les favoriser justement dans le sens de la largeur.

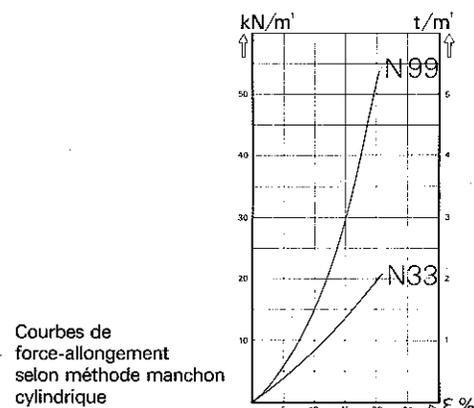


fig. 3

Les deux remblais ont été édifiés à dessein à des cadences très rapides, c'est-à-dire en 4 jours et à raison de 1 mètre par jour (alors que la situation locale exigeait des cadences de 0,25 m par jour et une période de 2 mois pour le repos du remblai).

L'armature textile

Etant donné le tassement prévu (soit à peu près l'équivalent de 1 m) et le surcroît de résistance estimé nécessaire (selon Bishop) pour contrer les glissements de sol, on a porté le choix sur un tissu nylon N 99 (c'est-à-dire avec 9 fils/cm en chaîne et en trame) qui présente des valeurs de l'ordre de 20% pour l'allongement à la rupture et de 60 kN/m pour la résistance à la rupture, soit quelque 30 - 40 kN/m de résistance effective si l'on tient compte de la contrainte prolongée.(fig.3) Ces valeurs de force-allongement ont été déterminées par la méthode de mise en charge biaxiale, dont les différents paramètres sont les plus proches de la réalité. (2) Les nappes textiles ont été mises en oeuvre par bandes de 5,20 m de largeur (en standard), déroulées dans le sens de la largeur avec des chevauchements de 30 à 50 cm et lestées de sable pour éviter qu'elles ne soient soulevées par le vent.

Déroulement des mesures

On a procédé régulièrement aux relevés suivants:

- hauteur des remblais
- tassement du sol
- pression interstitielle de l'eau dans le sol
- allongement de l'armature pendant les travaux et après leur achèvement
- déports horizontaux du sol

Le tassement a été mesuré à l'aide de 11 tassomètres incorporés dans chacun des remblais au niveau de son axe longitudinal.

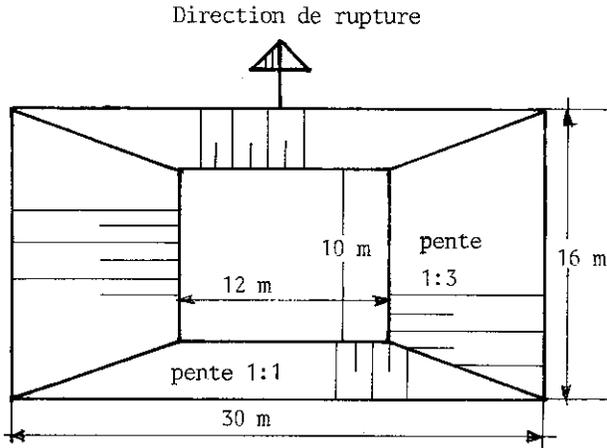


fig. 4: plan du remblais

On a nivelé non seulement les tassomètres mais encore le plan supérieur des remblais au niveau de ces tassomètres de manière à pouvoir mesurer l'épaisseur des couches de sable rapportées.

La pression des eaux interstitielles a été enregistrée au moyen de douze piézomètres électriques mis en place par le Laboratoire de Mécanique des Sols de Delft sous la médiane des deux remblais et sous le milieu des talons, à des profondeurs de 1, 10, 2, 10 et 3, 60 m par rapport au niveau initial du sol.

L'allongement du tissu a été mesuré de deux façons, à savoir:

- à l'aide de jauges sous forme de bandelettes extensibles collées en plusieurs endroits sur l'armature, et
- grâce à un quadrillage de fils rouges ayant été incorporés au tissu blanc en cours de filature et formant des carreaux de 50 cm de côté.

On a pu mesurer ainsi l'allongement du tissu pendant et après les travaux de remblai (1). On a en outre procédé à des relevés périodiques au théodolite pour mesurer le déplacement latéral du sol par référence à la position d'un certain nombre de piquets plantés en terre au préalable.

Résultats des mesures

Malgré les cadences d'édification très rapides de 1 mètre par jour, le remblai armuré a pu

atteindre sans problème la hauteur prévue d'environ 4,50 m, avant de manifester certaines pertes de stabilité annonçant la formation d'un plan de glissement.

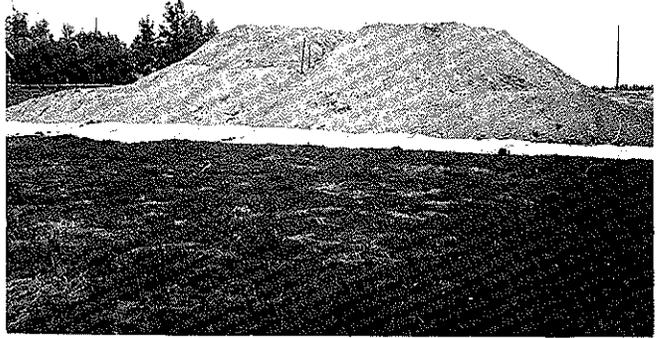


photo 1: vue du remblai armuré

La remblai sans armature a toutefois accusé des pertes d'équilibre accompagnées d'effondrements sur ses talus 1:1 en recevant, dans la 4ème journée, la couche de sable qui devait le porter à quelque 3,50 m.



photo 2: vue du remblai sans armature

Une heure à peu près avant ces déstabilisations, les hydromètres placés sous le remblai se sont soudain détraqués et la vitesse de déplacement des piquets s'est amplifiée à vue d'oeil. La masse s'étant ensuite immobilisée, on a essayé de porter le remblai à la hauteur prévue de 4,50 mais en vain, car de nouveaux effondrements se sont produits.

Dans la mesure où les essais sont comparables entre eux, on peut dire que le remblai armuré tassait davantage que le remblai sans armature.

Cette différence peut évidemment provenir d'un manque d'homogénéité du sol ou encore d'une déficience des tassomètres mais il se peut également qu'elle doive être attribuée à la plus grande cohésion que le tissu confère au remblai et à la concentration consécutive des charges sur une surface plus réduite (pression spécifique accrue), cela à l'encontre de ce qui se passe dans le remblai sans armature, où le déplacement horizontal des masses rapportées et, par conséquent, l'étalement des charges exercées se trouvent au contraire favorisés. Mesuré 3 mois plus tard sur le tissu détérré, le tassement total du remblai armaturé s'établit à 80 cm environ. L'hypothèse émise plus haut est corroborée par le fait que, à ce stade, l'armature avait déjà subi d'importantes déformations du fait des contraintes absorbées. Les valeurs d'allongement relevées vont de quelques pourcents sous le talon du remblai à quelque 15% sous le milieu de ce dernier. Compte tenu des coefficients de force-allongement du tissu, on peut donc évaluer à quelque 20 kN/m l'importance des contraintes exercées sur l'armature.

Les phénomènes de tassement vertical étant responsables d'une part de 0,5 à 1 %, on peut admettre que les pourcentages d'allongement restants sont imputables au déplacement latéral du sol sous-jacent. Ce fait se trouve confirmé du reste par les relevés qui ont été faits au théodolite.

Conclusions

Sachant que l'armature est déjà mise en pré-contrainte pour l'équivalent de 10 à 15 kN/m à son point d'intersection avec le plan de glissement en puissance, on peut dire que la résistance à l'éboulement est la somme de cette force de précontrainte et de la résistance conférée à l'armature par la déformation - encore élastique - du sol provoquée à l'amorce du plan de glissement.

Le LGM de Delft a mis sur ordinateur les différents paramètres du plan de glissement examiné, pour définir, selon Bishop, les facteurs de sécurité pouvant intervenir en cas de pertes de stabilité (1).

La nappe d'armature a été prise en compte en tant que couche cohérente de matière ayant une épaisseur minimale de 1 cm.

Les résultats de ces calculs nous ont permis de conclure que, pour ce qui concerne ces essais de Zevenhoven, l'application d'une armature textile du type examiné augmente de plus de 10% le facteur de sécurité, c'est-à-dire la résistance offerte en cas de déstabilisation.

Muiderberg

But de l'étude

Un remblai de sable pour la rampe de raccordement des routes nationales RW6 et RW1 à Muiderberg a été établi sur une qualité forte de toile technique, pour éviter que les matériaux rapportés ne s'enfoncent dans la couche tourbeuse de 2 mètres qui recouvre le sol sous-jacent.

Cette couche tourbeuse assurant la séparation des eaux de surface et les eaux se trouvant à une plus grande profondeur dans le sol devait obligatoirement rester en place. Les eaux souterraines communiquent en effet par l'intermédiaire d'une assise de sables primitifs avec l'Etang de Naarden, site classé dont le plan d'eau doit être conservé à son niveau actuel, qui est plus élevé. Le but de l'expérience était en outre d'évaluer les possibilités offertes sur les plans de la mise en oeuvre et de l'ancrage des grandes surfaces de textiles synthétiques, ainsi que le coût de telles opérations.

Ouvrage expérimental

Le remblai a été réalisé par pompage et comprenait une partie dépourvue d'armature destinée à servir de témoin dans les comparaisons.

La partie de 8,50 mètres de haut, qui est la plus élevée de la rampe se situe sur quelque 17.000 m² de tissu.

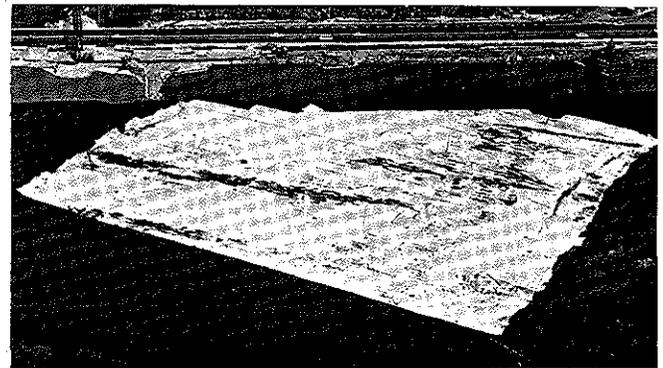


photo 3: vue aérienne du chantier

Le tissu utilisé est le même que pour l'essai précédent. Les talus ont été aménagés avec des pentes de 1:4.

Les bandes de tissu ont été disposées au droit de l'axe de la voie afin qu'elles absorbent convenablement les contraintes horizontales s'exerçant dans le sens de la largeur.

Cette armature a été ancrée au sol et n'offre ainsi aucune prise au vent. L'ancrage a été réalisé à l'aide de fers à béton enfoncés à des distances de 5 mètres dans le chevauchement des joints de recouvrement. La jonction des bandes entre les fers à béton a été effectuée par agrafage tous les 50 cm dans le chevauchement.

Quatre rangées de témoins d'allongement ont en outre été prévues, comprenant chacune 9 points de mesure. Ces jauges ont été préréglées alternativement à 10 et à 15% d'allongement du tissu.

Exécution de l'ouvrage

Au cours des travaux, l'ancrage s'est avéré insuffisant pour assurer le maintien du tissu quand le vent atteint la force 7. On l'a donc renforcé en prévoyant tous les cinq mètres un sac de sable 25 kg et un fer à béton et en doublant le nombre d'agrafes de manière à réaliser une fixation tous les 25 cm. L'ancrage ainsi obtenu s'est avéré suffisamment efficace pour résister au vent de force 7, à l'échelle Beaufort.

La première couche de sable de 1,50 m a été apportée sur le tissu quelques semaines plus tard. La couche suivante n'a été mise en place que 3 mois après, le travail ayant été exécuté en 4 semaines.

Aucune perte de sable n'a été enregistrée à l'endroit de l'armature alors que, dans la portion dépourvue de nappe qui se situe au-dessus d'un sol de mauvaise texture à l'endroit d'un fossé, le remblai s'est enfoncé.

Résultat des essais

N'ayant pas encore constaté de rupture des témoins d'allongement, on peut admettre que l'allongement de la nappe n'est nulle part supérieur à 10%, valeur qui recoupe celle que l'on obtient en mesurant le déplacement des tassomètres, c'est-à-dire un maximum de 1%.

Compte tenu des pourcentages d'allongement dus aux irrégularités de tassement, l'allongement du tissu ne serait donc pas supérieur à 1 - 2%.

Discussion des résultats

La faible sollicitation en traction de l'armature provient vraisemblablement de la faible pente donnée aux talus et des cadences d'exécution assez lentes que l'on a observées pour édifier le remblai. Pendant les travaux on n'a relevé aucun enfoncement de matériaux dans le sol. La nappe a donc prouvé son efficacité à ce point de vue. Par ailleurs, l'opération a mis en évidence qu'il convient de bien ancrer les nappes d'armature qui ne doivent être enterrées que beaucoup plus tard.

Nederhorst-den-Berg

But et description de l'étude

Le troisième ouvrage expérimental que nous abordons est un élargissement de route aménagé au lieu dit Middenweg et situé en partie au-dessus d'un wateringue.

Cette région est caractérisée dans son ensemble par des sols de faible portance (voir graphique). Afin d'égaliser les différences de portance entre la chaussée en place et le fossé, et en vue d'éviter les irrégularités de tassement, on a interposé une nappe en textile synthétique entre le sol et la couche de fondation à base de ponce de laitier hydraulique.

La contribution de cette armature a été mesurée à l'aide de témoins d'allongement ayant la forme de bandelettes graduées (2).

Les bandes de tissu ont été déployées au droit de l'axe de la chaussée existante étant donné l'intérêt accordé à la résistance en traction dans le sens de la largeur.

Les bandes d'armature se prolongent au-dessus de l'ancienne chaussée et réalisent ainsi un ancrage plus solide. Au bord de l'élargissement, les bandes se rebroussent pour revenir sur l'ancienne chaussée et constituent de cette façon une armature de traction dans la partie supérieure de l'ouvrage.

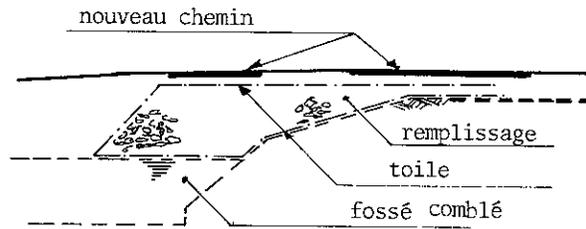


fig. 5

Le choix a été porté sur un textile tissé au lieu d'un non-tissé, le premier s'avérant plus efficace que le second en tant qu'armature de traction (résistance de 4 à 5 fois supérieure pour un même poids au mètre carré).

Résultats

Six mois plus tard la nouvelle chaussée n'accuse toujours pas de fissurations. Les mesures d'allongement ont fait ressortir que le tissu ne s'est étiré nulle part de plus de 10%, confirmant ainsi la valeur élevée de sa résistance en traction (2.000 kgf/m).

Conclusions

Les résultats de ces essais montrent que les textiles synthétiques peuvent apporter une contribution valable à la solution des problèmes très spécifiques qui se posent aux Pays-Bas en matière d'aménagement de remblais sur les sols mous. La sécurité accrue qui résulte de la réduction des pertes de stabilité grâce à ces matériaux textiles autorise la réalisation de talus plus raides et des cadences de terrassement plus rapides. Il est évident que l'efficacité de ces armatures dépend dans une forte mesure des dimensions des remblais, des cadences de terrassement, de la condition des sols et des propriétés intrinsèques du matériau textile choisi.

Ces conditions peuvent être différentes selon les cas. Bien que la présente étude ne porte que sur trois ensembles de conditions, les résultats qu'elle dégage pourront néanmoins servir valablement de guide dans le dimensionnement d'une armature textile pour les ouvrages présentant une certaine analogie avec les expérimentations que nous venons de décrire (3).

Bibliographie

- (1) J.H. van Leeuwen
W.J.J.G. Volman

Etude prospective du rôle constructif des nappes Stablenka dans les remblais de sable.

Compte rendu conjoint Enka Glanzstoff et Koninklijke Wegenbouw Stevin.
- (2) J.H. van Leeuwen
Akzo Research
Laboratories Arnhem

Methods of determination of the stress-strain behaviour of fabrics - woven and non-woven - in laboratory as well as in practice.
- (3) A.C. Maagdenberg
Rijkswaterstaat
State Laboratory
Delft

Fabrics below sand embankments over weak soils.
Technical specifications and their application in a test area.