

DELMAS, PH., Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

MATICHARD, Y., Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Nancy, France

TRAITEMENT DE GLISSEMENTS DE TERRAIN PAR OUVRAGES RENFORCÉS PAR GEOTEXTILES

LANDSLIDES CONFORTATION WITH GEOTEXTILE REINFORCED EARTH WORK

BEHANDLUNG VON ERDRUTSCHUNGEN DURCH GEOTEXTILVERSTÄRKTEN BAUWERKE

Les glissements de terrain posent souvent à l'ingénieur des problèmes de conception du système confortatif liés à la géométrie du site, son inaccessibilité, aux mauvaises caractéristiques des sols et à la nécessité de choisir un ouvrage acceptant des déformations induites par le terrain.

La réalisation d'une butée renforcée par géotextiles peut permettre de répondre de façon originale et peu onéreuse au problème.

Les auteurs proposent :

- une méthode de dimensionnement permettant le calcul des efforts induits par les terres en mouvement sur le massif renforcé et leur prise en compte dans le calcul de stabilité,
- son application à un cas concret.

INTRODUCTION

La stabilisation des glissements de terrain, voire la confortation des pentes de stabilité précaire, est l'un des problèmes les plus délicats que l'ingénieur géotechnicien ait à résoudre. La multiplicité des cas de figure qui peuvent se présenter ne permet pas en effet de généraliser l'emploi de solutions confortatives standard. Cependant, bien souvent lorsque le site le permet, une solution de butée associée à un drainage adéquat s'avérera la plus efficace et la plus économique.

Dans cette hypothèse la réalisation d'un massif de butée, renforcé au moyen de géotextiles, pourra s'avérer particulièrement intéressante. Outre la possibilité de modifier la géométrie de la butée en réalisant par exemple un parement aval vertical, les géotextiles permettent l'emploi de sols de caractéristiques mécaniques moyennes réduisant ainsi le coût global de l'ouvrage. D'autre part, leur souplesse de mise en oeuvre constitue un atout important dans les sites d'accès souvent difficile que sont les zones de glissement. Enfin, une fois l'ouvrage construit, les géotextiles conféreront à la butée une aptitude à accepter sans dommages les déformations que pourraient imposer les masses instables amont.

I - DIMENSIONNEMENT

L'analyse de stabilité d'un massif de butée renforcé par géotextile nécessite un certain nombre d'étapes lors du dimensionnement. En effet, après la vérification préalable de la bonne adéquation du mode de confortation choisi au type de glissement étudié, seront nécessaires :

Landslide confortation is one of the most embarrassing problems the geotechnical engineer has to solve, because of the magnitude of the strengths necessary for stabilize the movements and also because of the necessity to choose a solution which accepts the strains induced by the instable mass.

The construction of a geotextile reinforced earth abutment is sometimes the technical and economical best solution. The authors present :

- a specific design method taking into account the strengths induced by the landslide,
- its application to an example.

- l'étude de stabilité de la pente et des massifs, prenant en compte d'une part la surface de glissement déclarée, se prolongeant au sein du massif le long des lits de géotextile, d'autre part les surfaces de rupture potentielle, amont, aval, et internes au massif ;

- l'étude de la stabilité de la butée vis-à-vis des ruptures par renversement, glissement sur sa base ou poinçonnement du sol support sous l'effet des efforts engendrés par les masses instables.

Suivant le type de rupture, le niveau de sécurité à exiger devra tenir compte du risque réel de rupture qui dépend du niveau de connaissances des caractéristiques mécaniques et hydrauliques des matériaux ainsi que de la précision de la méthode de calcul.

* Ainsi pour la surface de rupture déclarée :

En pratique sur le profil initial du glissement, on vérifiera en général, dans un premier temps, que les paramètres caractérisant le site (résistance au cisaillement, pression interstitielle) permettent à partir d'un calcul de stabilité inverse de retrouver un coefficient de sécurité sur la résistance au cisaillement de sol $FS = 1$. Puis, prenant en compte la solution confortative choisie, ici le massif en géotextile, on s'assurera que le gain de stabilité $\Delta F/F$, ainsi apporté, est bien supérieur à la valeur minimale de $\Delta F/F$ permettant de s'affranchir de désordres à venir. En général pour les ouvrages en terre le gain de sécurité souhaité sera compris entre 15% et 30 %.

* Pour les surfaces de rupture potentielle, y compris internes au massif renforcé, le coefficient de sécurité sur la résistance au cisaillement du sol est classiquement pris égal à $FS = 1.5$.

L'analyse des surfaces interceptant les géotextiles nécessitera, par ailleurs, la prise en compte de coefficients de sécurité complémentaires sur le frottement sol-renforcement ainsi que sur la résistance en traction des produits pour se garantir en particulier des risques de fluage des polymères (Delmas et al. [1]).

* Pour les modes de rupture "externes" du massif, on pourra se rapprocher des règlements en vigueur pour les ouvrages de soutènement [2] en adaptant toutefois les méthodes de calcul au caractère déformable des ouvrages renforcés par géotextile, en particulier lors de l'évaluation des contraintes verticales à la base du massif. On notera cependant que cette dernière analyse nécessitera l'évaluation des efforts amont exercés sur la butée renforcée.

Si, sous la ligne de glissement déclarée le calcul des efforts exercés par le sol situé à l'amont ne pose pas de problème particulier, et pourra être réalisé suivant les calculs de poussée classiques, l'analyse des efforts engendrés par la masse instable est plus délicate.

Dans le cas des ouvrages de soutènement Virollet et al. [3] ont proposé une approche des efforts sur le parement amont du mur à partir de calculs en analyse limite. Les auteurs mettent clairement en évidence que les efforts exercés peuvent être très élevés et atteindre des valeurs voisines, voire supérieures, à celles obtenues par un calcul en butée.

Cependant dans le cas d'un massif de butée classique réalisée au moyen de matériau frottant, l'approche de ces efforts pourra se faire à partir de l'analyse de stabilité le long de la surface de glissement fictive prolongeant au sein du massif la surface existante. Ainsi on peut tracer en fonction de l'abscisse x , la réaction horizontale du sol (RH) par la masse de sol amont sur une ligne verticale fictive d'abscisse x (Cartier [4] (figure 1)

$$RH(x) = \sum_0^x (N_i \sin \alpha_i - T_i \cos \alpha_i)$$

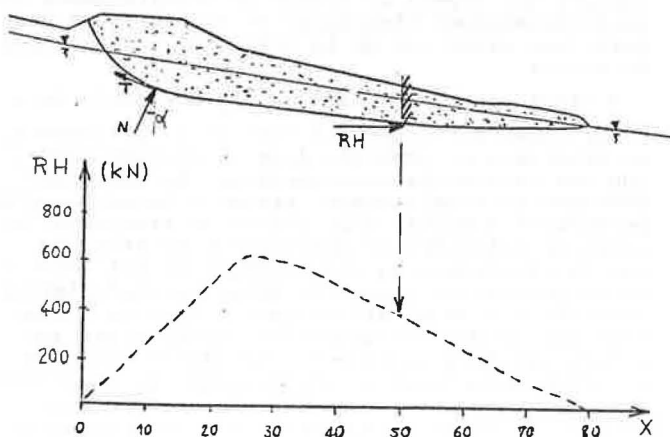


Fig.1 - Evaluation de l'effort horizontal (RH) le long d'une ligne de glissement d'après Cartier [1]

Dans le cas des massifs de butée renforcés par géotextile, cette deuxième approche semble la plus raisonnable dans la mesure où l'ouvrage agira sur le glissement, non comme un soutènement rigide, mais plutôt comme un massif capable de reprendre une résistance au cisaillement importante.

II - EXEMPLE : GLISSEMENT DE LIXING (FRANCE)

II-1 Présentation du site

Lors de la réalisation en 1977 d'une voie nouvelle située près de SARREGUEMINES (France), le déblai de LIXING d'une hauteur totale de 18 m, situé au pied d'un versant naturel penté à 17°, a été l'objet de désordres, et a dû être retaluté pendant les travaux suivant une pente $tg \beta = 1/2$, comportant une risberme d'une largeur de 6 m à mi-talus.

Aucun désordre apparent n'est ensuite survenu jusqu'en 1983, lorsqu'un glissement de grande ampleur intéressant à la fois le déblai et le versant amont s'est déclenché.

Bien que les formations marnocalcaires du Muschelkalk disposées suivant un pendage de 30° vers la chaussée, soient l'objet de circulation d'eau, l'étude hydrogéologique n'a cependant pas permis de mettre en relief la présence d'une nappe phréatique dans la pente. Aussi les causes des désordres sont à rechercher dans l'action conjointe du déchargement du pied de versant par le déblai et de l'évolution lente dans le temps des caractéristiques mécaniques des matériaux marneux.

L'étude géotechnique a permis de préciser la nature et le pendage des couches géologiques ainsi que la surface de glissement. Celle-ci est plane et suit la base d'un niveau marneux qui repose sur un banc calcaire fracturé (figure 2). L'étude des caractéristiques mécaniques des couches marneuses intactes a permis de confirmer l'expérience locale de ces formations, à savoir un angle de frottement interne $\varphi' = 20^\circ$ et une cohésion variant de 5 à 10 kPa suivant la profondeur. Un calcul de stabilité inverse suivant la surface de rupture déclarée a permis de préciser les caractéristiques de résistance résiduelle dans ces matériaux ($C'_r = 0$ kPa, $\varphi'_r = 20^\circ$).

II-2 Conception de la solution confortative et dimensionnement

L'analyse de stabilité a conduit à mettre en évidence les principaux paramètres de l'instabilité à savoir la modification de géométrie du talus et la baisse des caractéristiques mécaniques dans les marnes, sachant que l'hydraulique du site ne paraît pas avoir été un facteur prépondérant sur le déclenchement des mouvements, hormis les circulations dans les bancs calcaires.

Une solution confortative a donc été recherchée afin de permettre une amélioration des efforts résistants de la pente, au moyen d'une butée de pied. Cependant, compte tenu de la géométrie de la surface de glissement, biaise par rapport au talus, et de l'importance des masses en mouvement, la mise en place d'un masque en pied de glissement nécessitait l'emploi d'un volume de matériau très important.

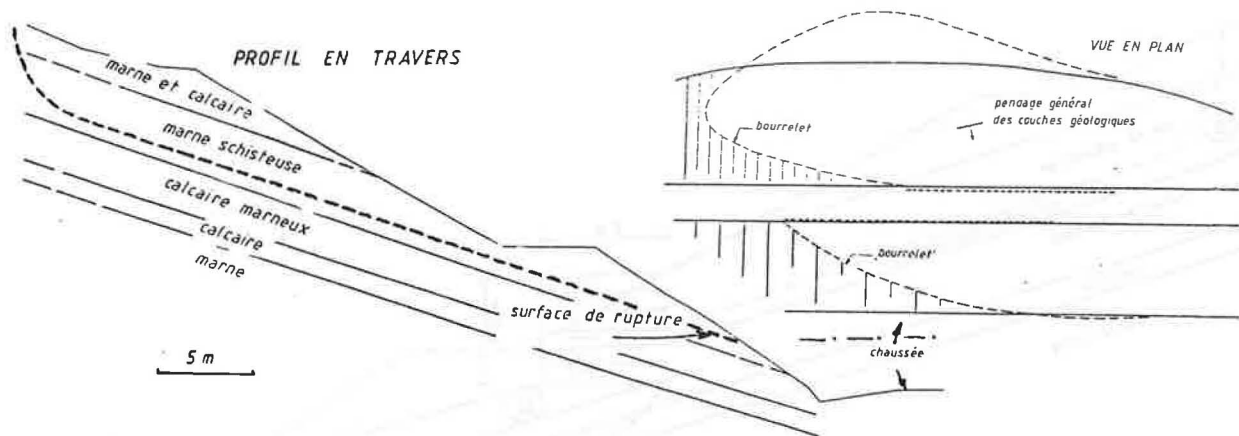


fig. 2 - Profil en travers et vue en plan du site du glissement de LIXING (France)

C'est la raison pour laquelle la solution finalement retenue tend à diminuer le volume de matériau d'apport en scindant le massif de butée en deux :

- un massif aval ayant pour rôle d'assurer la stabilité de la fondation du massif amont, et la stabilisation de la partie aval du glissement ;
- un massif amont garantissant la stabilisation du glissement à l'amont.

Le choix d'un renforcement par géotextiles est lié principalement à la volonté de rentabiliser au mieux le volume de matériaux d'apport en réalisant un parement aval vertical, et de minimiser son coût en utilisant le sable (grès vosgiens) disponible dans une carrière voisine du chantier et de caractéristiques mécaniques moyennes ($c' = 0$ kPa et $\psi' = 35^\circ$ à 95 % de l'optimum proctor normal, soit $\gamma_d = 17$ kN/m³).

L'analyse de stabilité et le dimensionnement ont été réalisés suivant la méthodologie présentée précédemment :

. Stabilisation du glissement :

Le calcul de stabilité, effectué le long de la surface de rupture (1) (figure 3), permet de dimensionner la largeur de la butée amont sous réserve de se fixer au préalable le coefficient de frottement sol-géotextile et le gain de sécurité $\Delta F/F$. Dans le cas présent, pour une valeur de frottement $\text{tg } \psi_{\text{eff}} = 2/3 \text{ tg } \psi'$ et $\Delta F/F = 20\%$ le calcul fournit une largeur de mur de 5 m, pour une hauteur de 4.5 m. Par ailleurs, le calcul permet d'évaluer l'effort de poussée sur le massif dû au glissement $RH = 90$ kN/m.

. Stabilité "externe" du massif amont :

L'analyse de stabilité vis-à-vis de la rupture du massif par renversement, poinçonnement du sol de fondation et glissement sur sa base, sous l'action des sollicitations calculées précédemment a pu être vérifiée et a permis d'évaluer les efforts transmis au sol de fondation par cette butée amont.

. Stabilité du massif aval :

Le dimensionnement de la butée aval est alors effectué pour garantir la stabilité de la pente sous les actions dues à la butée amont en particulier. Ainsi la sécurité vis-à-vis de la rupture le long des surfaces (2) et (3) (figure 3) est assurée avec un coefficient $FS = 1.5$ sous réserve de réaliser une butée aval d'une hauteur de 3 m.

. Dimensionnement interne des massifs :

Le dimensionnement interne des massifs a été réalisé à partir des conditions de mise en oeuvre du sol (épaisseur de couche sous multiple de l'espacement des lits de géotextile $\Delta h = 0.75$ m) déterminant les principaux paramètres caractéristiques du géotextile pour vérifier à la fois la stabilité vis-à-vis des différentes surfaces de rupture potentielle et le critère de déformation admissible de l'ouvrage. Le calcul réalisé suivant la méthode en déplacement (Delmas et al. [1]), pour assurer un déplacement le long de toute surface potentielle inférieur à 0.025 m, fournit les caractéristiques suivantes du géotextile :

$$\text{Module } K = 500 \text{ kN/m} \quad T_R > 100 \text{ kN/m}$$

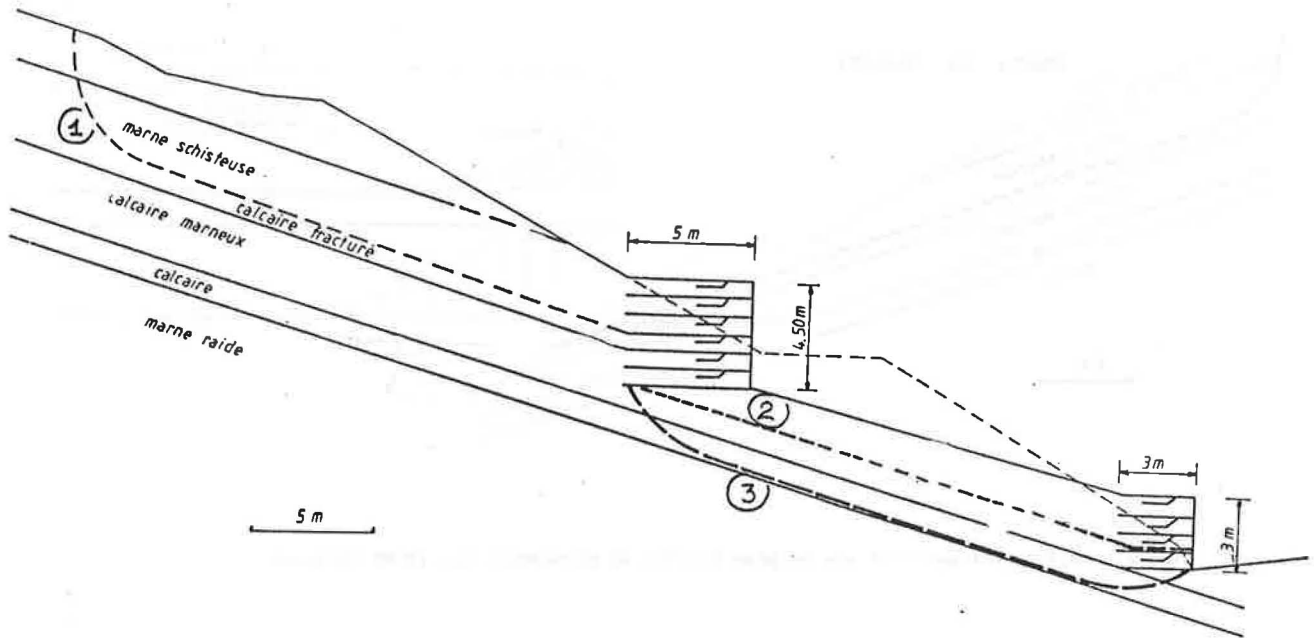


Fig. 3 - Profil en travers de la solution proposée et surfaces de glissement analysées dans le calcul de stabilité

II-3 Déroulement des travaux et suivi de l'ouvrage

Les travaux se sont déroulés sur une période de deux mois entre Octobre et Décembre 1984. L'ouvrage amont d'une longueur totale de 80 m a été réalisé en deux plots afin de garantir une stabilité optimale pendant la durée des travaux. Ceci a nécessité la mise au point d'un procédé de jonction entre les plots spécialement conçu pour ce chantier.

On notera, par ailleurs, qu'une esthétique correcte de l'ouvrage a pu être assurée grâce à l'utilisation conjointe du coffrage et du parement, objet d'un brevet des Laboratoires des Ponts et Chaussées (figures 4 et 5).



Fig. 4 - Vue d'ensemble du site après confortation

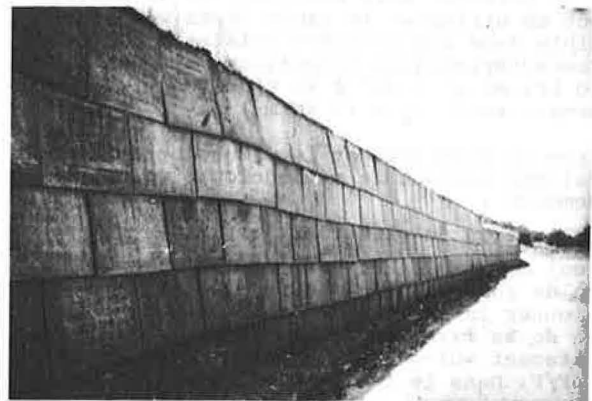


Fig. 5 - Vue partielle du mur

Les mesures réalisées sur les ouvrages au moyen de jauges de déformation collées sur les nappes et d'inclinomètres ont permis de confirmer les prévisions du dimensionnement et sont présentées dans le tableau I.

Tableau 1

Déformation du géotextile		
MUR AMONT		
n° de nappe* Distance du parement	2ème	4ème
1 m	2.6 %	2.0 %
2 m	1.3 %	2.5 %
3 m	0.85 %	0.94 %
4 m	0.55 %	0.82 %

*les nappes sont numérotées de bas en haut

Après 12 mois la variation de déformation localisée n'excède pas 3 o/oo.

Mesures inclinométriques sur 12 mois	
MUR AMONT	MUR AVAL
Déplacement inférieur à 1 mm	Déplacement inférieur à 1 mm

CONCLUSION

La solution de renforcement de la butée de stabilisation du glissement de LIXING (FRANCE) au moyen de géotextiles a permis non seulement d'apporter une solution originale mais surtout d'obtenir une économie importante en autorisant, et en optimisant, l'emploi de matériau d'apport peu onéreux.

Les derniers développements des méthodes de calcul (méthode en déplacement, en particulier) ont permis de prendre en compte dans le dimensionnement la spécificité de comportement des géotextiles au sein des massifs de butée.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DELMAS Ph., BERCHE J.C., GOURC J.P., (1985) Le dimensionnement des ouvrages renforcés par géotextile : "Programme CARTAGE", Journées des Laboratoires des Ponts et Chaussées Lyon, 25 pp.
- [2] Les ouvrages en Terre Armée (1979). Recommandations et règles de l'art. Direction des Routes et de la Circulation Routière, 196 pp.
- [3] VIROLLET M., BLONDEAU F. (1976) Comportement des murs de soutènement en zone "instable". Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, numéro spécial II, pp 149-154.
- [4] CARTIER G. (1985) La stabilisation des pentes instables par clouage. Journées des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Lyon, 26 pp.