

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Un Nouveau Procédé de Drainage: la Paroi Drainante

A New Drainage Way: the Continuous Drainage Diaphragm

DENIAU
G. CARTIER
MORBOIS
M. VIROLLET

S.I.F. Entreprise BACHY, Paris, France
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris
Laboratoire Régional de l'Quest Parisien, Trappes
Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Toulouse

RESUME La réalisation de paroi drainante de grande profondeur permet de palier les insuffisances des méthodes de drainage traditionnelles.

On présente ici leur principe de réalisation, qui allie les techniques des parois moulées et une boue biodégradable, ainsi que des mesures effectuées sur deux sites de glissement de terrain montrant l'efficacité du procédé.

INTRODUCTION

La plupart des études d'instabilité de versants naturels démontre le rôle prédominant des paramètres hydrauliques et la nécessité de faire chuter les pressions interstitielles. De façon courante, les drainages réalisés dans les chantiers de génie civil sont exécutés par forage de réseaux de drains subhorizontaux (Pilot et al. 1972). Cette méthode, souvent très efficace, est parfois délicate à envisager, notamment quand les longueurs de drains sont trop importantes, quand l'alimentation de la nappe se fait par une couche très localisée ou par des circulations et venues d'eau éparses, et surtout quand des déplacements importants et rapides risquent de cisailer les drains.

La tranchée drainante classique, captant toutes les alimentations de la nappe, est d'un fonctionnement plus systématique, mais est traditionnellement limitée à des profondeurs modestes et à de faibles venues d'eau, ou nécessite pour sa réalisation l'emploi de blindages et de techniques de rabattement de nappe.

La possibilité de réaliser une paroi drainante de grande profondeur (Fig. 1) permettant de résoudre la plupart des difficultés évoquées précédemment, a tout d'abord été envisagée conjointement par l'Entreprise SIF-BACHY avec le L.R.P.C. de TOULOUSE, dans l'étude d'un glissement de terrain dans la région Midi-Pyrénées. Le succès du confortement réalisé a alors encouragé le L.C.P.C. et le L.R.P.C. de TRAPPES à reconduire "l'expérience" lors de l'étude d'un glissement de remblai sur versant en région parisienne et à en préciser le fonctionnement dans le cadre d'un programme détaillé de suivi du chantier et de mesures.

TECHNIQUE DE LA PAROI DRAINANTE

L'idée de la paroi drainante résulte de la possibilité d'utiliser les méthodes et le matériel de paroi moulée (COLAS DES FRANCS, 1976) avec une boue biodégradable comme fluide d'excavation (MABILLOT, 1971).

Phases d'exécution de la paroi :

Le travail est généralement réalisé par excavation de panneaux successifs dont la longueur

d'ouverture, comme pour la paroi moulée, est fonction des conditions de stabilité. Chaque panneau peut faire l'objet d'une ou plusieurs passes de benne. Suivant les besoins, l'épaisseur peut varier de 0,50 m à plus de 1 m et la profondeur atteindre plusieurs dizaines de mètres. Les phases successives sont les suivantes (Fig. 2) :

- a - excavation du panneau n° 1
- b - pose d'un coffrage provisoire de soutènement du filtre à l'extrémité du panneau n° 1
- c - mise en place du filtre dans le panneau n° 1
- d - excavation du panneau n° 2
- e - pose d'un coffrage provisoire à l'extrémité du panneau n° 2
- f - mise en place du filtre dans le panneau n° 2
- g - extraction du coffrage du panneau n° 1
- h - excavation du panneau n° 3 ...

Après réalisation du dernier panneau, on collecte les eaux drainées par la paroi par un dispositif approprié.

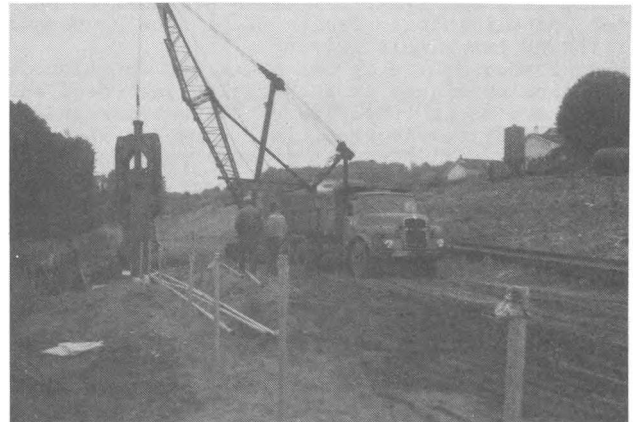


Fig. 1 Un chantier de paroi drainante

Utilisation de la boue biodégradable :

Dans les excavations de paroi moulée, le soutènement est assuré par un remplissage de boue

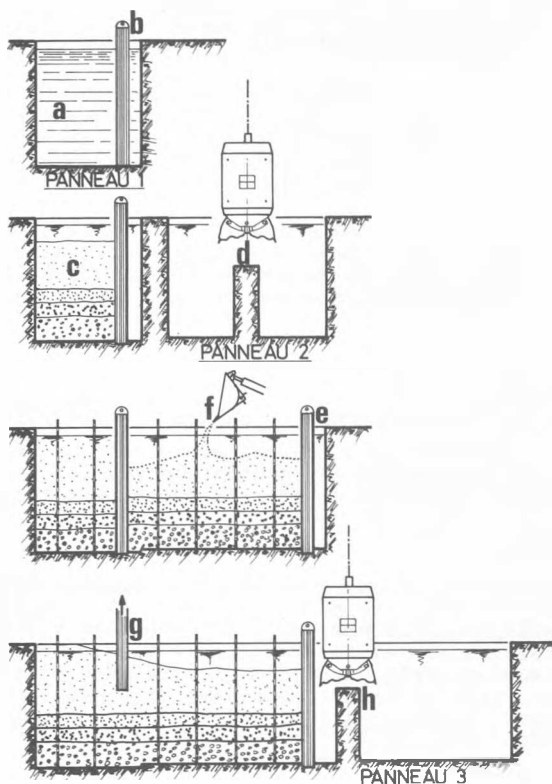


Fig. 2 Phases d'exécution d'une paroi drainante

bentonitique. Son utilisation n'est pas envisageable pour réaliser un drainage, car elle peut réduire la perméabilité de la formation par pénétration dans le terrain avoisinant et création d'une membrane étanche (cake) sur les parois de l'excavation ; et il est en outre pratiquement impossible de l'éliminer après mise en place du filtre. L'utilisation de boues biodégradables bien connues des foreurs d'eau résoud ces problèmes, puisque leur viscosité chute avec le temps jusqu'à devenir à peine supérieure à celle de l'eau (Fig. 3). Cette dégradation permet une élimination facile de la boue du massif filtrant par simple gravité. L'espérance de vie de ces boues est fonction des qualités chimiques et bactériologiques de l'eau, ainsi que de la température. Suivant les produits utilisés et les dosages, leur durée de vie naturelle peut varier de 2 à 8 jours pour des températures comprises entre 25°C et 10°C, mais peut être portée à plusieurs semaines par traitement limitant l'action enzymatique. A la mise en service, les analyses de l'eau peuvent mettre en évidence de nombreuses bactéries, liées à la composition des boues, mais qui ne sont pas pathogènes. Le prix relativement élevé de ces produits incite à les récupérer partiellement lors de la mise en place des matériaux filtrants. La boue usée est traitée et remise en service avec addition de boue neuve. Ces mélanges successifs compliquent l'évaluation de la durée de vie et sur un chantier de plusieurs semaines, il est nécessaire de faire des contrôles réguliers pour se prémunir d'une chute rapide de la viscosité. Ces contrôles pourraient être faits par comptage des bactéries, les risques de dégradation de la boue étant di-

rectement fonction de leur concentration. Sur chantier, on peut avoir plus simplement recours à un contrôle par dosage colorimétrique de la concentration résiduelle du produit de désinfection, les risques de prolifération bactérienne étant fonction inverse de cette concentration.

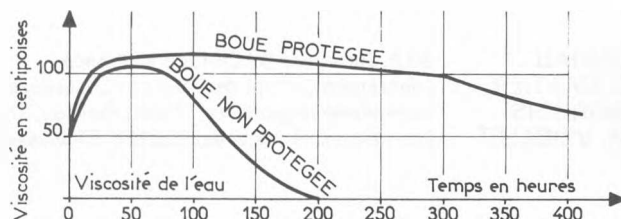


Fig. 3 Evolution de la viscosité de la boue

Définition et mise en place du massif filtrant

Comme pour une tranchée drainante classique, sa composition doit répondre à deux critères :

- avoir une perméabilité suffisante par rapport à celle du terrain pour obtenir un drainage correct,
- avoir une granulométrie telle que les grains du terrain ne puissent être entraînés par l'eau et provoquer un colmatage du filtre. On utilise généralement les recommandations de TERZAGHI :

- (1) $4 \text{ d}15 < \text{D}15 < 4 \text{ d}85$
 - (2) $\frac{\text{D}60}{\text{D}10} \leq 2$
- avec { d : sol à drainer
D : filtre

Si l'on veut réduire au maximum les pertes de charge, on cherche à composer un filtre progressif verticalement. La mise en place du massif filtrant peut se faire par simple déversement des différents agrégats dans l'excavation. Cette opération n'est entreprise qu'après élimination soignée des éléments de terrain dont la boue s'est chargée pendant le forage. On prend également la précaution de mettre en place des tubes crépinés pouvant permettre un contrôle de rabattement dans la paroi, un traitement éventuel pour accélérer la rupture de viscosité de la boue et décolmater ultérieurement la paroi si cela s'avérait nécessaire. On peut également envisager la mise en place d'équipements drainants complémentaires tels que géotextiles, collecteurs en fond de tranchée.

Evacuation de l'eau drainée :

Elle est pour chaque cas largement conditionnée par la topographie et la géologie du site. On retiendra les possibilités suivantes :

- extrémités de tranchée ou éperons débouchant naturellement à l'extérieur de coteau,
- forage de collecteurs subhorizontaux captant l'eau en fond de tranchée,
- pompages,
- drainage vertical, continu ou ponctuel, vers des horizons perméables sous-jacents.

PRESENTATION DES DEUX SITES INSTRUMENTES

Site A

Un glissement dans la région Midi-Pyrénées (Fig. 4) affecte un remblai ancien, de faible

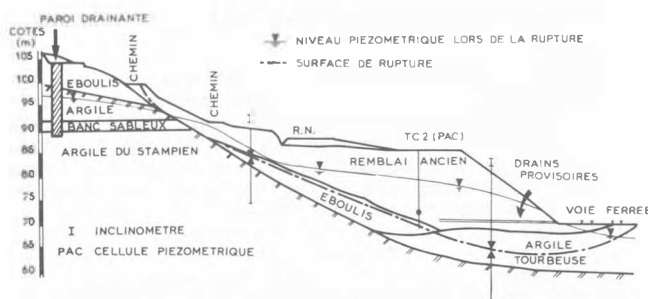


Fig. 4 Site A : coupe géotechnique

perméabilité d'ensemble, édifié en pied de versant lors de la construction d'une route nationale. Les sondages ont mis en évidence des formations superficielles argileuses sur le versant et des argiles tourbeuses à l'aval, ces dernières comblant un ancien bras mort de la Garonne sur lequel a été construit la voie ferrée. Le substratum molassique du Stampien est constitué d'une alternance irrégulière de couches argilo-marneuses et sableuses. Les piézomètres n'ont pas révélé de niveaux aquifères profonds. Par contre, de fortes venues d'eau, constatées dans une couche sableuse d'épaisseur variable, ont progressivement provoqué la remontée de la nappe dans le remblai jusqu'à entraîner la rupture détectée grâce au suivi des inclinomètres. Les calculs de stabilité en rupture non circulaire ont montré qu'un rabattement de 5 mètres de la nappe dans le remblai conduit à un gain de sécurité d'environ 20 % et donc vraisemblablement à une stabilisation du glissement. L'hétérogénéité et la faible perméabilité du remblai, la géométrie très variable du banc sableux, l'accès difficile à l'aval pour des machines de forage, ainsi que la valeur élevée des vitesses de déformation (jusqu'à 10 cm par jour) ont conduit à abandonner les solutions de drainage par drains subhorizontaux du banc sableux ou du remblai. Un captage des venues d'eau dans le banc de sable a donc été réalisé grâce à l'exécution, en dehors de la zone glissée, d'une paroi drainante d'environ 15 mètres de profondeur.

Site B

Environ 2 mois après sa réalisation, des fissures importantes sont apparues dans un remblai construit sur un versant de faible pente et destiné à la déviation d'une route départementale en région parisienne (Fig. 5). Le suivi des inclinomètres et de la topométrie de surface, ainsi que les résultats de la campagne d'essais (Pilot et al. 1978) ont alors révélé que l'édification du remblai avait réactivé un glissement ancien du versant. La rupture a été détectée entre 10 et 12 mètres de profondeur au sein des argiles très plastiques de Sparnacien, dont la résistance au cisaillement est particulièrement faible :

$$c'_{res} = 0 \text{ et } \theta'_{res} = 6 \text{ à } 9^\circ$$

Les couches sus-jacentes, caractéristiques des séries de la région parisienne sont le siège d'une nappe phréatique hydrostatique et suffisamment puissante pour être peu sensible à la pluviosité.

L'analyse de stabilité en rupture non circulaire a montré qu'un abaissément de la nappe à la base du sable de Cuise permet d'obtenir un gain de sécurité d'environ 20 %. Une paroi drainante de 12 mètres de profondeur a donc été réalisée afin d'éviter l'emploi de pointes filtrantes, blindages et pré-terrassements nécessités par une tranchée classique et de s'affranchir des sujétions d'entretien liées à la réalisation de drains subhorizontaux. L'emplacement de la paroi ne lui permet pas une efficacité maximale, mais résulte d'un compromis entre diverses contraintes d'environnement et techniques, et est compatible avec la vitesse faible des déplacements après rupture.

Dans les deux exemples, l'exutoire a été trouvé par forage d'un ou deux collecteurs atteignant la base de la tranchée.

MESURES EFFECTUEES - RESULTATS

Sur les deux sites, l'efficacité de la technique a pu être appréciée, d'une part en vérifiant que la nappe était rabattue en fond de paroi, et d'autre part en mesurant l'évolution des pressions interstitielles et des débits d'exhaure.

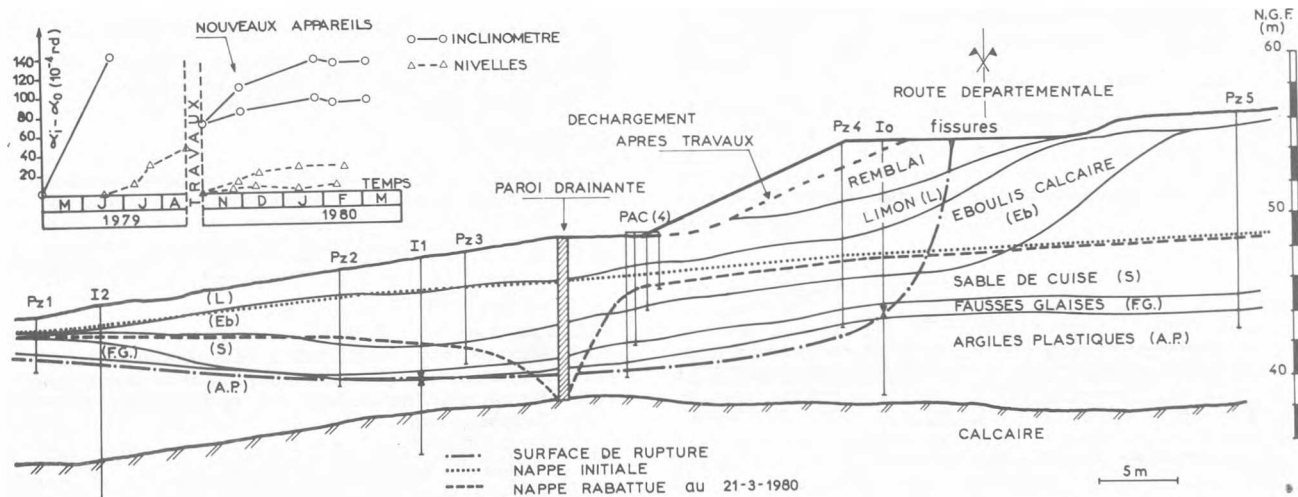


Fig. 5 Site B : coupe géotechnique

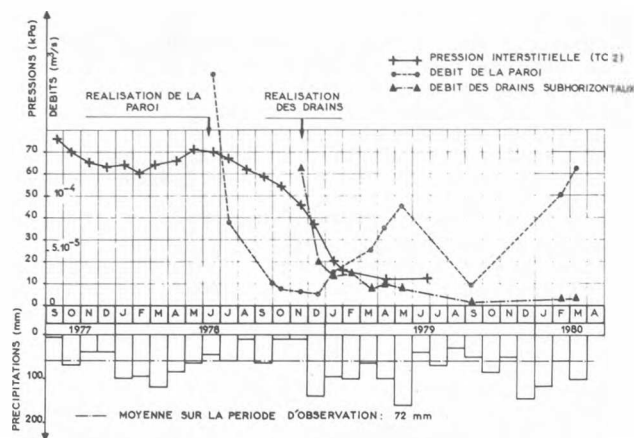


Fig. 6 Site A : résultats des mesures

Site A :

On a reporté sur la figure 6 les variations du débit de la paroi et de la pression interstitielle mesurée à proximité de la surface de rupture (cellule piézométrique TC 2). On constate que la chute des pressions interstitielles commence dès la mise en service de la paroi pour atteindre environ 50 kPa en régime permanent. Le débit se stabilise très rapidement et réagit aux fortes précipitations (pluies d'avril-mai 1979 et de mars-avril 1980) ce qui traduit un fonctionnement correct de la paroi. Pour augmenter la vitesse de dissipation des pressions, 9 drains subhorizontaux courts ont été réalisés à titre provisoire en pied de talus en Novembre 1978 sur un front de 100 m de largeur. Les résultats de la figure 6 confirment que cet objectif a été atteint : après avoir accéléré le rabattement (dès Novembre 1978), les drains ne jouent plus aucun rôle puisque leur débit, contrairement à celui de la paroi, ne réagit plus aux précipitations. Le drainage réalisé sur ce site a donc donné entière satisfaction, puisqu'un rabattement de 5 mètres a été obtenu et que les mouvements sur la route et la voie ferrée sont entièrement stabilisés.

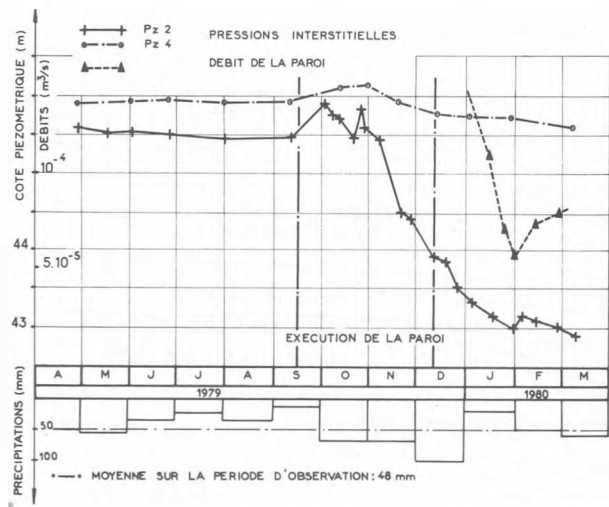


Fig. 7 Site B : résultats des mesures

Site B :

Dix-huit piézomètres ouverts et quatre cellules piézométriques ponctuelles ont permis de suivre le rabattement de la nappe de part et d'autre de la paroi. On remarque sur la figure 7 qu'après quelques fluctuations, dues principalement à des injections d'eau faites lors des travaux, la baisse des pressions interstitielles est continue malgré la pluviosité importante des mois d'hiver. La figure montre par contre que le rabattement, qui n'est d'ailleurs pas terminé actuellement, est important à l'aval, mais de faible amplitude à l'amont. A l'intérieur des panneaux, la baisse du niveau d'eau s'est faite immédiatement après le forage des collecteurs et jusqu'à 0,30 à 1,50 mètre du fond de la paroi. La courbe d'évolution du débit d'exhaure (Fig. 7) indique une stabilisation assez rapide à une valeur compatible avec les prévisions. L'efficacité du drainage a également été indirectement contrôlée par le suivi des déplacements, dont la figure 5 montre l'évolution. On constate un ralentissement très net du glissement peu de temps après que la paroi ait été terminée et une stabilisation complète pour le rabattement indiqué. Ceci correspond à un accroissement de 15 % du coefficient de sécurité. Quelques mois après sa réalisation, la paroi fonctionne donc correctement et le drainage du glissement est complet, comme en témoignent les cartes d'iso-rabattement qui ont été dressées.

CONCLUSIONS

Les méthodes traditionnelles de drainage sont généralement mal adaptées à l'hétérogénéité des alimentations et limitées à des profondeurs modestes. La paroi drainante profonde se révèle être une alternative intéressante puisqu'elle permet de capter systématiquement les eaux jusqu'à la profondeur souhaitée.

Les difficultés de la méthode avec les moyens actuels, résident dans le choix de l'implantation de la paroi qui, compte tenu de la topographie, doit permettre l'accès du matériel d'excavation et l'évacuation de l'eau drainée.

Les mesures et observations effectuées sur deux sites ont montré l'efficacité du procédé jusqu'à deux ans après sa mise en service.

Un suivi sur plusieurs années est nécessaire afin de pouvoir se prononcer sur la pérennité et les conditions d'entretien de la paroi qui sont liées à la conception du massif filtrant.

REFERENCES

- Colas des Francs E. (1976). Le développement parois moulées. Chantiers de France n° 82, p. 7 à 10 PARIS.
- Mabillot A. (1971). Le forage d'eau, guide pratique. La boue au "Revert", p. 88 à 94, CJF, NAINTE.
- Pilot, G. et al. (1970). Passage de l'autoroute Nancy-Metz au lieudit "Le Château-sous-Clévant", Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° spécial N, 181-197, Paris.
- Pilot, G., Pincent, B., Cartier G., Blondeau F. (1978) Mesure des déplacements et confortement des glissements de remblais sur versants, 7e Conf. Eur. de Mécanique des Sols, (3), 253-260, Brighton.