

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.

Etude en Vraie Grandeur de Versants Naturels Instables

Full Scale Study of Natural Unstable Slopes

F.BLONDEAU Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.
 A.PERROT Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Nancy.
 G.PILOT Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

RESUME - On rapporte les principaux résultats obtenus à l'issue de cinq années d'observation sur deux sites naturels instables situés dans l'Est de la France entre Metz et Nancy. Ces deux sites situés dans les argiles du Lias sont représentatifs du comportement des versants naturels en argile surconsolidée de "l'auréole liasique" du Bassin Parisien.

L'analyse de stabilité effectuée selon les surfaces de rupture observées met en évidence le rôle joué par la résistance résiduelle dans le cas de glissements réactivés (Ville au Val, partie amont de Corny) et par les caractéristiques ramollies dans le cas de premiers glissements (partie basse de Corny).

INTRODUCTION

Vis à vis de la stabilité des versants naturels, les propositions de Skempton (1969) peuvent se résumer ainsi :

- lorsque le versant est naturellement instable, on utilise les paramètres c' et ϕ'
- lorsque le versant n'a pas subi de glissements antérieurs, on utilise c' et ϕ' .

Ces recommandations étaient particulièrement valables pour l'argile de Londres, objet d'études intensives. Elles demandaient à être confirmées sur d'autres types de sols, comme l'ont fait en particulier Noble (1973) aux USA et Chandler (1974) sur le Lias en Angleterre.

Cette dernière formation donne lieu, en France, à de nombreux glissements, en particulier en Lorraine où l'on en a recensé plus de 200 depuis 10 ans. On y a entrepris des recherches sur le comportement de plusieurs versants situés entre Metz et Nancy (Pilot 1969). On rapporte ici les résultats obtenus sur deux d'entre eux - Corny et Ville au Val, observés en piezométrie et déformations depuis cinq ans.

GEOLOGIE

La figure 1 montre la localisation des affleurements argileux du Toarcien (Lias) entre Nancy et Metz (situé à 10 km au nord de Corny), formant les versants de la Moselle. Les taches noires représentent les zones manifestement instables.

Cette région a été soumise, de même que le Bassin Londonien, aux effets périglaciaires Würmiens qui prédisposent à la formation de versants instables.

Sous le calcaire bajocien couronnant généralement les buttes, la stratigraphie de ces versants se décompose en (figure 2) :

- argiles du toarcien (30 à 40 m d'épaisseur)



Figure 1 - Affleurement du toarcien et glissement dans le lias de Lorraine

- Schistes cartons (10 à 20 m) constitués de marnes bitumineuses altérables à l'air.
- grès médioliasiques (12 à 15 m) aquifères.
- marnes à ovoïdes, sableuses en tête, schisteuses en dessous.

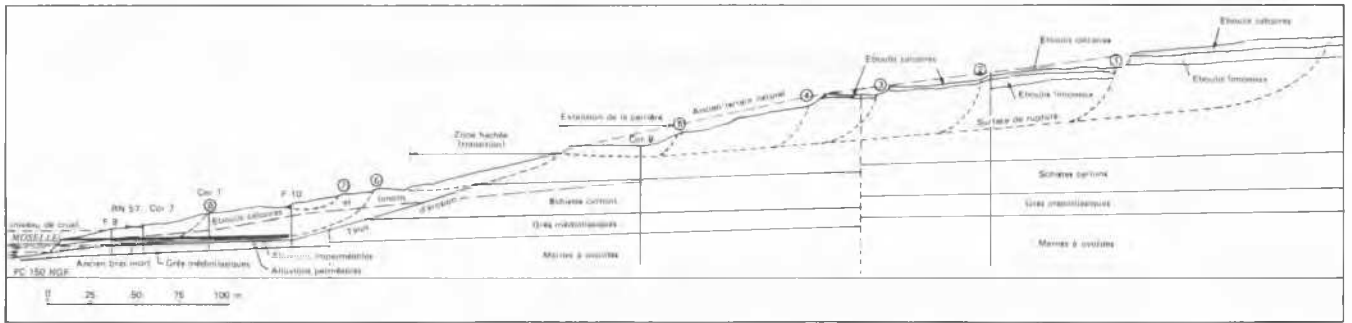


Fig 2 - Coupe du site de Corny

Le site de Ville au Val (fig. 3) se situe au niveau d'affleurement de grès médioliasiques, c'est à dire à la base de la série.

Les deux versants sont recouverts de formations de pentes : éboulis calcaires et limons éoliens en tête (à Corny) plus argileux au milieu de versant. En pied, on trouve des alluvions fines pouvant atteindre 20 m d'épaisseur.

Les deux sites sont recoupés par des failles qui jouent certainement un rôle vis à vis du régime hydraulique et du comportement mécanique.

HISTORIQUE DES MOUVEMENTS

Le glissement de Ville au Val (Blondeau, Perrot 1976)

Ce versant instable sur 2 km de long présente de nombreux signes caractéristiques des mouvements : moutonnements, arbres inclinés, fissures de traction, dépressions, bourrelets de pied d'1,50 m de hauteur. La pente transversale varie de 5 à 22 %. Le plus ancien glissement connu avec précision date de 1910, à la suite d'une forte pluviométrie (167 mm d'eau du 2 au 12 novembre). Les mouvements les plus récents, datant de février 1970 à mai 1970 (10 cm de déplacements) et décembre 1973 (6 cm) correspondent également à de fortes pluies succédant à une période de gel. A titre d'exemple, la figure 4 montre cette corrélation pluie-glissement ainsi que l'élévation résultante des niveaux des trois piézomètres du forage VIL 3.

Les conditions de gel-dégel jouent un rôle très important vis à vis des exutoires de nappes en pied de versant, donc vis à vis de la piézométrie.

La surface de rupture localisée par inclinomètres est

à 2,25 m de profondeur en VIL 2, 2,50m en VIL 3, 3,50m dans le puits visitable près de VIL 3 bis, 4 m en VIL 4 bis. Elle se développe uniquement dans le manteau d'éboulis et d'argile glissée. Par ailleurs on note une très sensible augmentation de la résistance à la pénétration dynamique juste sous le niveau ainsi mis en évidence. Des difficultés en haut du site n'ont malheureusement pas permis d'instrumenter suffisamment la partie amont du versant, ce qui a obligé à faire certaines hypothèses pour compléter les observations et déterminer ainsi les quatre surfaces de glissement le long desquelles seront effectués les calculs de stabilité :

- ABC : glissement générale du versant
- ABC' : glissement amont

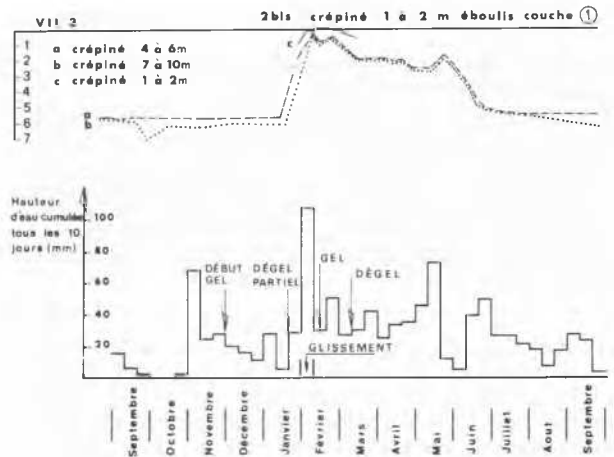


Figure 4 - Corrélation pluviométrie-piézométrie à Ville au Val

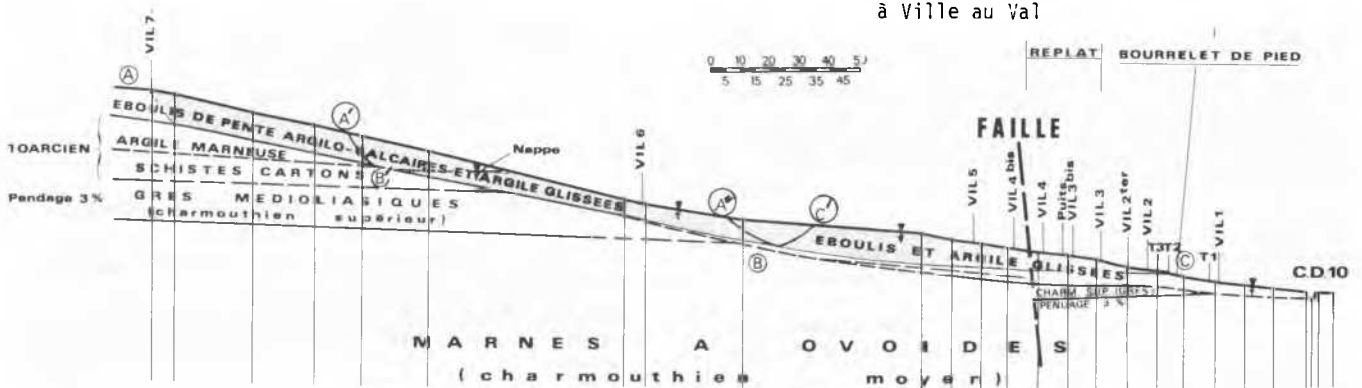


Figure 3 - Coupe géologique du site de Ville au Val

- A'B'BC' : glissement médian
- A'BC,A"BC : glissement aval (cette zone a fait l'objet de la majeure partie des reconnaissances et de l'instrumentation).

Le glissement de Corny (Blondeau, Perrot 1976)

Le site de Corny (fig. 2) a subi le 14 mai 1970 (peu après le glissement de Ville au Val situé à 20 km), d'importants désordres d'un volume de quatre à cinq millions de mètres cubes de sol, affectant une zone d'environ 600 m x 600 m. Ce glissement s'est produit après une forte pluie (90 mm en trois jours) et au moment de la décrue rapide de la Moselle qui coule en pied. Des mouvements antérieurs de moindre ampleur s'étaient produits en 1937 et en 1956, à la suite de fortes pluies (24 mm en 24 heures).

L'étude détaillée des désordres fait apparaître trois types de mouvements :

- glissements amonts (numérotés 1 à 5), emboîtés les uns dans les autres. Ils apparaissent sur les documents les plus anciens (1908) et ont été relatifs à chaque phase de mouvement. La disposition des surfaces de glissement a été déduite de relevés inclinométriques obtenus lors des derniers mouvements et se situe dans le toarcien en place, à plus de 20 m de profondeur.
- glissements avals (numérotés 6 à 8), datant de 1970 disjoints des précédents qui ont provoqué les dommages majeurs ; les surfaces de glissement n'ont pas été localisées d'après des mesures inclinométriques, mais déduites de la topographie, des indices de surface, ainsi que des types de sol rencontrés en profondeur.
- glissements pelliculaires dans la zone centrale, sans connection particulière avec les précédents.

CALCULS DE STABILITE

Les calculs de stabilité ont été réalisés le long des surfaces de rupture indiquées sur les figures 2 et 3.

La méthode de calcul utilisée est la méthode des perturbations (Raulin et autres 1974).

Paramètres mécaniques

Les caractéristiques géotechniques des sols rencontrés le long des surfaces de rupture sont mentionnées dans le tableau suivant :

	Manteau d'altération		Toarcien en place
	Corny(aval)	Ville au Val	Corny (amont)
CaCO ₃ (%)	3-8	4-15	10-47
W _n (%)	19-41	23-25	7-22
WL (%)	45-67	50-52	42-51
<2 μ (%)	35-60	41-60	40 ⁽¹⁾
C' (kPa)	10-15	10-20	0-40
ϕ' (°)	19-25	17-21	25
ϕ'_{res} (°)	11 ⁽¹⁾	10-14	-

(1) une seule mesure effectuée.

La dispersion des caractéristiques mesurées à Corny s'explique par la grande étendue du versant (600m), et par le fait qu'il recoupe une série stratigraphique

variée. Le manteau d'altération à l'aval de Corny a des caractéristiques comparables à celui de Ville au Val qui se situe au même niveau dans la série stratigraphique.

Régime hydraulique

Dans les deux cas on est en présence de plusieurs nappes. Celle de la couverture d'éboulis donne un niveau piézométrique se situant entre 0 et -1 m par rapport au terrain naturel en période défavorable. C'est celle que nous prenons en compte pour les calculs de stabilité.

A Corny, cependant, la base du versant est en contact avec la Moselle. Le niveau variable de celle-ci, en cas de crue, impose le niveau piézométrique des alluvions que l'on trouve juste sous le niveau de la surface de rupture.

Dans la partie amont de chaque versant, le régime hydraulique du substratum est moins bien connu, faute d'appareillage suffisant et l'on est alors réduit à faire des hypothèses, en particulier pour les glissements 1 à 5 de Corny où l'on a supposé le niveau piézométrique au terrain naturel, hypothèse très pessimiste vis à vis des surfaces de rupture considérées, mais qui donne une valeur maximale par le calcul des paramètres mécaniques mobilisés en place.

Analyse de stabilité

On présente figures 5 et 6 les principaux résultats de calculs effectués selon les diverses surfaces de rupture observées ou supposées. Chaque fuseau de courbes est le lieu des couples (c' , ϕ') tels que $1 < F < 1,10$. On a indiqué les fourchettes de paramètres mesurés en laboratoire.

A Ville en Val, les caractéristiques de pic donnent des valeurs de F très supérieures à 1 et seules les caractéristiques résiduelles permettent d'expliquer la rupture. La zone de mesure, correspondant au glissement A"BC n'est pas la plus défavorable, ce qui confirme le fait que le glissement remonte bien en amont, dans la zone malheureusement peu accessible pour la mise en place d'appareils.

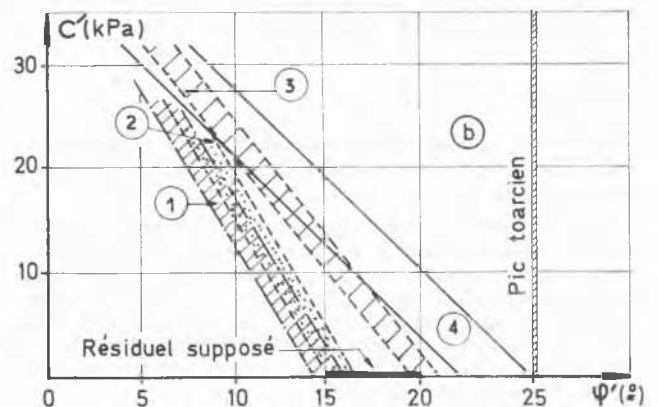


Figure 5 - Diagrammes de stabilité de Ville en Val

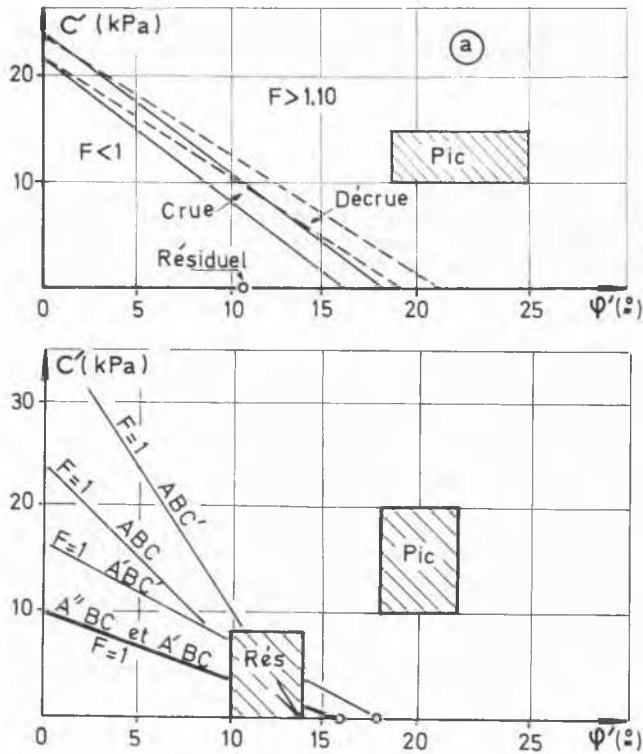


Figure 6 - Diagramme de stabilité de Corny

A Corny on note que :

- le régime de décrue de la Moselle qui a amorcé le glissement abaisse le coefficient de sécurité de la partie aval de 15 % par rapport au régime de crue (figure 6a).
- la zone aval, stable avant 1970, présentait au moment de la décrue un frottement de pic mais pas de cohésion. Ceci correspond aux caractéristiques ramollies (Skempton 1970). Les paramètres résiduels donnent en effet $F \neq 0,75$, à la crue, ce qui est beaucoup trop faible.
- dans la partie amont, réactivée, les caractéristiques résiduelles déduites des essais d'identification expliquent les mouvements et la résistance de pic est de toute évidence trop forte (figure 6b). Par ailleurs l'état de stabilité décroît avec la longueur de la rupture ($F_4 < F_3 < F_2 < F_1$), ce qui laisse supposer un schéma de rupture progressive vers l'amont.

CONCLUSION.

Cinq années d'observation sur deux sites instables dans l'argile du Lias permettent de dégager les éléments suivants :

- les mouvements sont concentrés sur de courtes périodes correspondant à une forte pluviométrie consécutive à une période de gel, l'action de ce dernier étant vraisemblablement de bloquer les exutoires des nappes. Ce point est à préciser par l'étude du bilan hydrologique prenant en compte l'ensemble des phénomènes : précipitations, évapotranspiration, ruissellement, gel, dégel.
- les zones réactivées sont à l'état résiduel

- les zones stables offrent avant rupture une résistance correspondant à un frottement de pic, sans cohésion (caractéristiques résiduelles).

Ceci confirme les bases sur lesquelles étaient fondées ces observations. Certains points demeurent à préciser, tels que la cause exacte des premiers mouvements dans certaines zones et la corrélation précise avec la météorologie; des mesures sont poursuivies dans ce but.

BIBLIOGRAPHIE

- Blondeau, F., Perrot, A., (1976)
Le versant expérimental de Ville au Val. Le versant naturel instable de Corny.
Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Paris, n° spécial II Vol. I.
- Chandler, R.J., (1974)
A shallow slab slide in the Lias, near Uppingham Rutland.
Geotechnique vol. XX, n° 3 pp. 153-260.
- Noble, H.L., (1973)
Residual strength and landslides in clay and shale.
ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, vol. 99, SM9, pp. 705-719.
- Pilot, G., (1969)
Discussions.
7ème Congrès International de Mécanique des Sols. Mexico, vol. III, pp. 408-409.
- Raulin, P., Rouques, G., Toubol, A., (1974)
Calcul de la stabilité des pentes en rupture non circulaire.
Rapport de Recherche, Laboratoire des Ponts et Chaussées, Paris n° 36.
- Skempton, A.W., Hutchinson, J., (1969)
Stability of natural slopes and embankments ; état des connaissances.
7ème Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations. Mexico, pp. 291-340.
- Skempton, A.W., (1970)
First time slides in overconsolidated clays.
Geotechnique XX n° 1.