



HAL
open science

Calcul de stabilité des berges d'un canal : Application au réseau de canaux de la Sèvre Niortaise

Jérôme Thiebot, Sylvain Guillou, Jean-Claude Brun-Cottan, Jean-Pierre Camuzard

► **To cite this version:**

Jérôme Thiebot, Sylvain Guillou, Jean-Claude Brun-Cottan, Jean-Pierre Camuzard. Calcul de stabilité des berges d'un canal : Application au réseau de canaux de la Sèvre Niortaise. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. <hal-03357986>

HAL Id: hal-03357986

<https://hal.science/hal-03357986v1>

Submitted on 29 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Calcul de stabilité des berges d'un canal : application au réseau de canaux de la Sèvre Niortaise

Jérôme Thiébot^(a), Sylvain Guillou^(a), Jean-Claude Brun-Cottan^(b) et Jean-Pierre Camuzard^(c)

(a) Groupe de Mécanique des fluides et de Rhéologie

LUSAC (EA 2607)

Site universitaire - BP 78 - 50130 Cherbourg Octeville

jerome.thiebot@unicaen.fr

(b) Centre de Morphodynamique Continentale et Côtière

24, rue des tilleuls - 14000 Caen

(c) Département Environnement - ENGREF - 19 Avenue du Maine - 75732 Paris cedex 15

Résumé :

Les berges de la Sèvre Niortaise sont régulièrement endommagées par des glissements circulaires. Des chantiers de restauration utilisant des soutènements par pieux, des géotextiles et des plantations ont déjà été réalisés. L'étendue des dégradations étant importante, l'optimisation des travaux est devenue nécessaire. Ainsi, nous travaillons à la réalisation d'un outil de modélisation des berges afin de mieux cerner les causes des glissements. Ce modèle est basé sur un calcul par éléments finis et sur une étude de stabilité. Une berge située à Damvix (85) a été simulée. Cette étude a permis de déterminer la géométrie des surfaces de rupture potentielles et de tester l'influence des différents facteurs déstabilisants.

Abstract:

Landslides regularly damage the banks of the Sèvre Niortaise River. As a consequence, refurbishing works must be carried out. Not only are there numerous deteriorated areas but works are also expensive. As a consequence, optimization is necessary. Therefore, we have designed a modelling tool in order to provide a better understanding of the mechanisms involved in the landslides. This model is based on a finite element calculation and on a slope stability analysis. A bank located in Damvix (85) has been simulated. This study has permitted to determine the geometry of the potential failure surfaces and to identify the most influent factors.

Mots-clefs :

Etude de stabilité, calcul par éléments finis

1 Introduction

Les berges du Marais Poitevin sont régulièrement endommagées par des glissements circulaires. Leur réhabilitation constitue un des enjeux majeurs dans la préservation de ce territoire habité qui possède un environnement fluvial remarquable. Lorsque les glissements se produisent, ils peuvent détériorer les chaussées situées le long des berges et engendrer des travaux coûteux. Les causes des effondrements des berges sont nombreuses et variées dans les marais. Les glissements résultent généralement de l'action combinée de plusieurs facteurs qui peuvent être de nature hydraulique, anthropique ou climatique. Ces facteurs agissent sur des échelles de temps variables et sont parfois difficiles à prévoir (pluie, galeries de ragondins, effets de la végétation, ...). De plus, le matériau qui constitue les berges a un comportement mécanique complexe (faible perméabilité, mémoire des chargements antérieurs, retrait,

gonflement, fissuration, ...). Afin d'améliorer la compréhension des mécanismes responsables des glissements, nous développons un modèle numérique. La complexité des chargements mis en jeu et le souhait de proposer un modèle souple et évolutif nous ont conduit à opter pour une modélisation de la berge par éléments finis.

2 Description du site d'étude

Les glissements qui ont été observés sur le site d'étude (Route des cabanes à Damvix (85)) sont de type circulaire : dans le plan vertical, la surface de rupture décrit un arc de cercle qui relie la base de la berge (niveau d'attaque de la berge par les eaux) et le bord de la chaussée. Dans le plan horizontal, les zones effondrées ont la forme de demi-loupes de quelques mètres de diamètre. La Figure 1 illustre ce type de dégradations.



FIG.1 – Glissement rotationnel observé sur le site d'étude

Une mission de reconnaissance géotechnique a déjà été réalisée par le CEBTP (2002) sur des sites voisins (Maillé, Bazouin et l'île d'Elle). Les échantillons prélevés à la tarière sont constitués d'argiles plastiques. Les essais de pénétration dynamique ont montré que, sur l'ensemble de l'épaisseur contrôlée (4 m), le sol possède une faible résistance aux sollicitations mécaniques. Des essais triaxiaux ont permis de déterminer les valeurs effectives de cohésion et d'angle de frottement interne suivantes : $\phi' = 32^\circ$ et $C' = 5$ kPa. Enfin des essais au bleu de méthylène ont mis en évidence la forte activité du sol. La Valeur de Bleu du Sol vaut 8,2.

Nous avons réalisé des essais complémentaires. Le contexte géotechnique du site d'étude est identique à celui des sites étudiés par le CEBTP. Le sol est constitué d'une fine couche de terre limono-argileuse marron jusqu'à 20 cm de profondeur puis d'une argile vasarde grise (jusqu'à l'arrêt des sondages à la tarière vers 6 m). La courbe granulométrique (réalisée avec un microgranulomètre laser « Coulter 230 ») fait apparaître deux familles principales de particules de diamètres de l'ordre de 0,2 et 5 μm (cf. Figure 2).

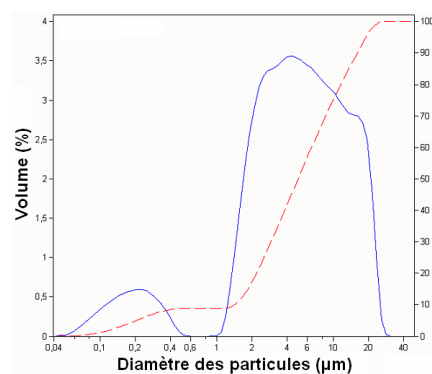


FIG.2 – Granulométrie du sol

La masse volumique des grains (mesurée avec un pycnomètre à hélium Micromeritics AccuPyc 1330) est de 2607 kg/m³. La surface spécifique du sol (mesurée avec un appareil Micromeritics FlowsorbII 2300) est de 66,8 m²/g, ce qui confirme la forte activité du sol. Des essais triaxiaux complémentaires sont en cours.

3 Présentation du modèle numérique

L'approche généralement utilisée pour analyser la stabilité d'une pente consiste (sur la base d'une description verticale en deux dimensions) à étudier l'équilibre d'une masse de sol délimitée par une surface de rupture et soumise aux efforts suivants : poids propre du massif, réaction du sol en place le long de la surface de rupture, chargements extérieurs éventuels et pressions interstitielles. Une étude de stabilité consiste à rechercher la surface de rupture la plus défavorable (dans une famille donnée, par exemple les ruptures circulaires), c'est-à-dire celle qui possède le plus petit facteur de sécurité. Un facteur de sécurité est défini en un point comme le rapport entre la résistance au cisaillement du sol et la contrainte de cisaillement s'exerçant sur une surface de rupture potentielle. Ce facteur local n'est pas constant le long de la surface de rupture. Deux solutions sont classiquement utilisées pour obtenir un facteur de sécurité global F (sur l'ensemble de la surface de rupture). Soit on calcule les contraintes en découpant le massif en tranches de géométrie simple et on fait des estimations sur les efforts entre ces tranches (les méthodes de référence sont celles de Fellenius (1936) et de Bishop (1955)), soit on utilise une modélisation plus fine généralement basée sur les éléments finis. Nous avons opté pour la deuxième solution car elle offre la possibilité de prendre en compte des chargements et des géométries complexes.

Le calcul par éléments finis est réalisé en utilisant un maillage vertical en deux dimensions. La modélisation est basée sur le calcul des contraintes et des déformations à l'équilibre en considérant un comportement spécifique du sol. Le calcul des contraintes et des déformations dans la berge est effectué, en chaque noeud du maillage, en considérant les efforts que sont le poids de la berge et de l'eau qu'elle contient, les pressions latérales induites par la Sèvre Niortaise, les pressions d'eaux interstitielles et le poids de la chaussée et des véhicules. Bien que l'eau joue un rôle important dans l'apparition des glissements, dans une première approche, nous avons choisi de découpler les phénomènes hydrauliques et le calcul par éléments finis. Pour modéliser le comportement du sol, nous avons opté pour une loi élastoplastique parfaite basée sur le critère de Mohr-Coulomb ce qui permet d'obtenir une bonne précision avec un nombre de paramètres à renseigner limité (le module d'Young E, le coefficient de Poisson ν , la cohésion interne effective C' et l'angle de frottement interne effectif ϕ'). Le comportement plastique est décrit à l'aide d'une loi d'écoulement associée sans écrouissage.

L'étude de stabilité repose sur le choix de surfaces de rupture potentielles et sur un critère de rupture qui fait intervenir les contraintes tangentielles et normales le long de celles-ci. Ces dernières sont déduites des résultats du calcul des contraintes par interpolation. Comme nous considérons un comportement drainé à long terme du sol, nous avons opté pour le critère de rupture suivant : $\tau = C' + \sigma' \cdot \tan \phi'$.

L'ensemble des calculs (calcul des contraintes par éléments finis et étude de stabilité) est réalisé en utilisant le système multiphysique Castem.

4 Paramétrisation

Nous avons utilisé des valeurs de module d'Young et de coefficient de Poisson standards données par Mestat (1998) : E = 10 MPa et $\nu = 0,35$. La masse volumique du sol saturé ρ_{sat} est égale à 1637 kg/m³. La masse volumique du sol non saturé $\rho_{\text{non sat}}$ est fixée à 1500 kg/m³. La pression exercée par la chaussée sur la berge P-Ch est de 10 kPa. Lorsqu'un véhicule est présent

sur la chaussée, on applique une pression (constante) supplémentaire P_V de 10 kPa par roue (on considère que la voiture roule au milieu de la chaussée et que ses roues mesurent 20 cm de large). Les dimensions du profil modélisé proviennent de relevés effectués par la DDE-79. Les dimensions de la berge et les notations sont indiquées sur la Figure 3. Les valeurs fixées sont les dimensions du talus : $H = 10,15$ m et $L = 27,28$ m, la largeur de la chaussée $L_R = 4$ m et sa position $D = 1$ m. N_S désigne le niveau de la Sèvre qui peut varier de 1,30 m NGF (pour un étiage prononcé) à 2,50 m NGF pour une forte crue. P_N est la profondeur à laquelle se trouve la nappe d'eau par rapport au niveau supérieur de la berge. Deux piézomètres (P1 et P2) ont été implantés de part et d'autre de la route. Les premières mesures réalisées entre fin décembre et fin février (niveau d'hiver) ont montré que le niveau le plus haut de la nappe était situé à environ 30 cm sous la surface du talus. Le maillage comporte 4045 nœuds et 7805 éléments triangulaires de type P1. Les déplacements sont bloqués le long de BC (on considère que le sol situé en dessous de cette droite est rigide), les déplacements sont bloqués horizontalement le long de AB et de CD. Les conditions au limite sont placées relativement proches du talus et de la zone de surcharge mais nous sommes assurés que cela n'avait d'influence ni sur le calcul des contraintes et des déformations ni sur la détermination du cercle critique.

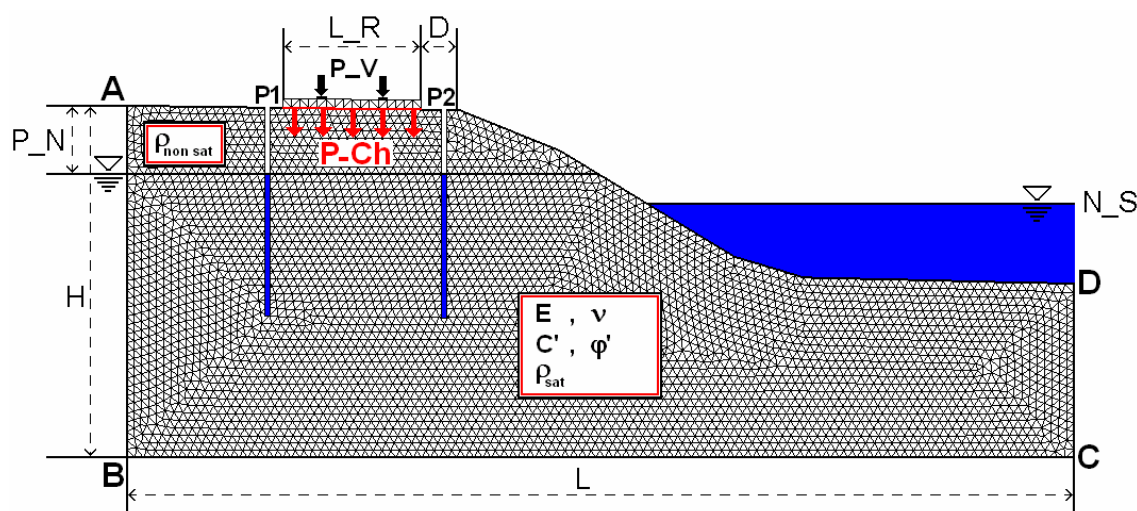


FIG.3 – Maillage et notations

5 Résultats et discussion

Les glissements se produisent lorsque les chargements mécaniques induisent des contraintes dans la berge qui dépassent un seuil admissible le long d'une surface de rupture. Généralement, ils se déclenchent pendant les décrues. C'est la situation que nous avons choisie comme référence, nous la noterons dans la suite S_0 . Elle correspond à un cas où le niveau de la Sèvre est à son niveau d'hiver ($N_S = 1,65$ m) et où le niveau de la nappe d'eau dans la berge est à son maximum ($P_N = 30$ cm).

Les contraintes calculées dans la situation S_0 sont représentées sur la Figure 4-A. Les déformations horizontales et verticales sont représentées respectivement sur les Figures 4-B et 4-C. Elles montrent un tassement reparti sur l'ensemble de la zone et des déformations horizontales faibles mais localisées dans la partie basse du talus.

Dans la situation de référence S_0 , la surface de rupture critique est associée à un facteur de sécurité de 1,65 et se trouve localisée dans la partie haute du talus (cf. Figure 5).

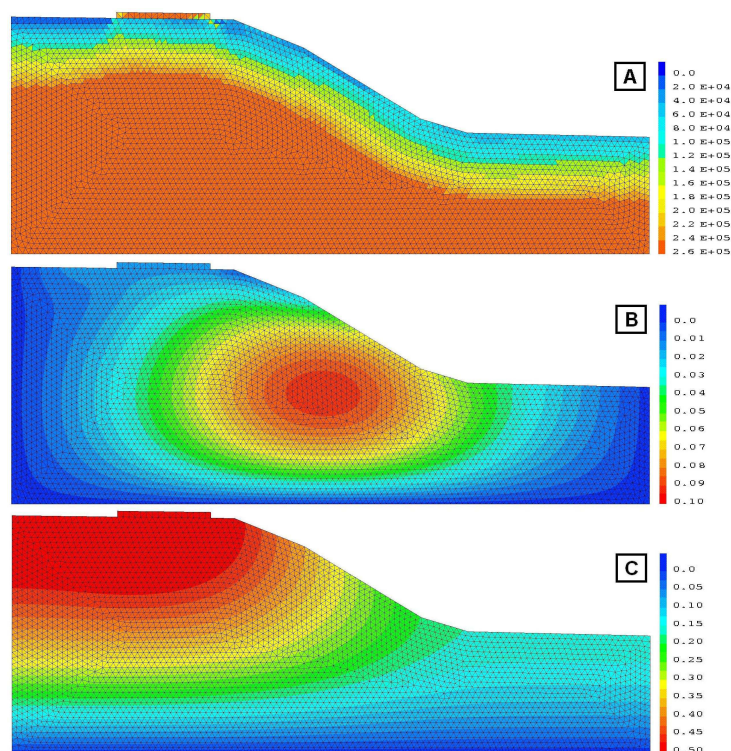


FIG.4 - Résultats du calcul par éléments finis pour la situation de référence S_0 : A) Contraintes dans la berge (en Pa) ; B) Déformations horizontales (en m) ; C) Déformations verticales (en m)

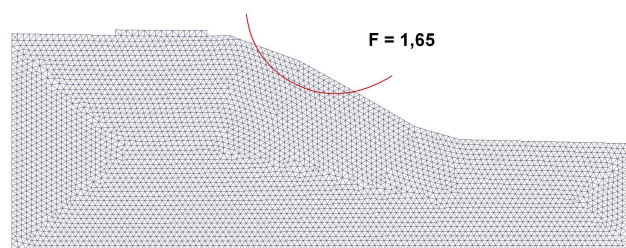


FIG.5 - Cercle critique dans la situation de référence S_0 et facteur de sécurité F associé

	Pression exercée par	Niveau de la Sèvre	Profondeur de la nappe P_N	F	Gain ou perte de stabilité
S_0	chaussée seule	1,65 m	30 cm	1,65	0 %
S_1	pas de chaussée	1,65 m	30 cm	1,66	+ 0,6 %
S_2	chaussée + véhicule	1,65 m	30 cm	1,57	- 4,8 %
S_3	chaussée seule	1,65 m	2 m	1,68	+ 1,83 %
S_4	chaussée seule	2,50 m	30 cm	1,67	+ 1,21 %
S_5	chaussée seule	1,30 m	30 cm	1,58	- 4,24 %
S_6	chaussée seule	1,30 m	2 m	1,59	- 3,6 %

TAB. 1 - Facteurs de sécurité F en fonction des différentes situations testées

Nous avons testé l'influence de la chaussée, du niveau de la nappe d'eau et du niveau de la Sèvre sur la stabilité de la berge. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. Dans un premier temps, nous avons réalisé une simulation sans route (S_1). Nous avons obtenu une surface de rupture critique localisée sensiblement au même endroit que dans le cas de référence avec un

facteur de sécurité très légèrement plus élevé. Une simulation réalisée en considérant la présence d'un véhicule conduit à un facteur de sécurité de 1,57 (S_2). On peut donc en déduire que la circulation des véhicules a une influence déstabilisatrice sur la berge. En plaçant la nappe d'eau à son niveau supposé d'été ($P_N = 2$ m) (S_3), on obtient un léger gain de stabilité puisque le facteur de sécurité associé à cette situation est de 1,68. Ensuite, nous avons testé l'influence du niveau de la Sèvre en considérant une forte crue ($N_S = 2,5$ m NGF) (S_4) et un étiage prononcé ($N_S = 1,3$ m NGF) (S_5) et nous avons constaté que la stabilité est meilleure lorsque le niveau de la Sèvre est haut. Comme les étiages prononcés se produisent pendant les périodes sèches, c'est-à-dire quand le niveau de nappe dans la berge est bas, nous avons également réalisé une simulation S_6 qui combine des niveaux bas pour la Sèvre et pour la nappe d'eau.

Dans tous les cas testés, les glissements sont peu profonds et n'affectent que la partie haute du talus ce qui est conforme aux observations faites sur le site (cf. Figure 1). Les simulations montrent que le poids de la berge influe notablement sur la stabilité de celle-ci. Il est donc nécessaire d'opter pour des techniques de restauration légères et de limiter autant que possible les surcharges dues à la circulation sur la chaussée. Les simulations mettent également en évidence l'action stabilisatrice jouée par les pressions d'eau de la Sèvre. Lorsque le niveau de cette dernière est haut, les pressions latérales s'exercent sur une grande partie du talus et le risque d'observer un glissement est faible. Ces constats confirment bien le fait que les décrues sont des périodes favorables aux glissements. En effet, lorsqu'elles se produisent, les pressions latérales induites par l'eau du canal chutent rapidement alors que le niveau de la nappe dans la berge diminue lentement du fait de la faible perméabilité du sol.

Tous les facteurs de sécurité obtenus sont supérieurs à 1, ce qui signifie que le massif est stable théoriquement. Il est toutefois nécessaire de considérer un coefficient de sécurité pour prendre en compte les incertitudes liées au calcul (les paramètres introduits sont issus de mesures qui comportent une certaine variabilité, des simplifications ont été faites, ...), les phénomènes locaux dus aux hétérogénéités du sol et le fait que notre calcul soit réalisé sur un profil type alors que certaines portions de berge peuvent présenter des dimensions sensiblement différentes. Un affinage des valeurs du module d'Young et du coefficient de Poisson, par exemple à l'aide d'essais pressiométriques réalisés avec une sonde lanternée, permettrait d'améliorer le paramétrage. D'autre part, le modèle pourrait être affiné par l'introduction de la cyclicité des chargements engendrés par la circulation des véhicules ou encore par la prise en compte dans le calcul aux éléments finis du couplage hydro-mécanique.

7 Remerciements

Nous tenons à remercier l'IIBSN, l'ENGREF et EDF – GEH ouest pour leur soutien financier.

Références

- Bishop, A. W. 1955 The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes. *Géotechnique* **5**, 7-17
- CEBTP 2002 Stabilité des berges, Rapport d'études géotechniques, 9 p.
- Fellenius, W. 1936 Calculation of the stability of earth dams. Second International Congress on large dams, Washington, **4**, 445-459
- Mestat, Ph. 1998 Du bon usage de l'élasticité dans les calculs de géotechnique. Dans *La Pratique des calculs tridimensionnels en géotechnique* (Ed. J-P. Magnan, A. Guilloux & P. Mestat), pp. 241 – 256. Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées.