

ANALYSE DES FACTEURS D'INSTABILITÉ D'UN VERSANT URBANISÉ

ANALYZES FACTORS OF INSTABILITY OF AN URBANIZED SLOPE

Mohamed KHEMISSA, Ahmed SEDDIKI

Laboratoire de Développement des Géomatériaux, Université de M'sila, Algérie

RÉSUMÉ – On présente dans cette communication les résultats d'une série de calculs de stabilité effectués sur un versant urbanisé, dont la rupture a causé des désordres importants dans le versant lui-même et dans les ouvrages situés dans son voisinage immédiat. Ces calculs visent à analyser les causes probables de rupture du versant afin de proposer la solution de confortement adéquate. Les résultats obtenus montrent que c'est l'action conjuguée de plusieurs facteurs négatifs qui ont déclenché le glissement.

ABSTRACT – This paper presents the results of a series of calculations of stability carried out on an urbanized slope, of which rupture caused the important disorders in the slope itself and the works located in its immediate vicinity. These calculations aim at analyzing the probable causes of rupture of the slope in order to propose the solution of adequate reinforcement. The results obtained show that it is the combined action several negative factors which started the slip.

1. Introduction

La ville d'Aomar est située à la jonction des deux routes nationales RN5 et RN25, à 20 km au nord-ouest de Bouira (Algérie). Cette ville s'étale sur une superficie de 6970 ha et se compose d'environ 50 % de montagnes, 35 % de collines et 15 % de plaines. Les mouvements de terrains apparus dans cette ville sur un versant situé à proximité de la RN25 ont causé des désordres importants dans un établissement scolaire situé en amont du talus (écartement des joints de dilatation des blocs, apparition de fissures dans la cour et dans le mur de clôture, rupture du sol d'assise de la soute à mazout située près de la couronne, escarpement du terrain et apparition de bourrelets en aval du talus, apparition de fissures et léger affaissement du corps de chaussée).

Cette communication a pour objet d'analyser les causes probables de rupture du versant à partir de données recueillies auprès du Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction (LNHC, antenne de Bouira). Après description sommaire du site, on expose les conditions retenues pour les calculs de stabilité et leur mise en œuvre, puis on analyse les principaux facteurs d'instabilité du talus liés aux propriétés mécaniques des sols, aux conditions climatiques et aux effets sismiques probables.

2. Description sommaire du site

2.1. Contexte géologique et géomorphologique

Le versant d'Aomar est situé au milieu d'une cuvette formée d'un ensemble de reliefs élevés de la chaîne du Mont Djurdjura au nord et du massif tellien au sud. La campagne de reconnaissance effectuée par le LNHC révèle l'existence de trois couches de sols d'épaisseurs variables d'un sondage à l'autre. La figure 1 présente une vue en plan du site et l'implantation des sondages de reconnaissance géotechnique exécutés.

A l'emplacement des sondages, on rencontre de haut en bas (figure 2) :

- une couche d'argile limoneuse entre 0 et 3 m de profondeur ;
- une couche d'argile marneuse altérée entre 3 et 7 m de profondeur ;
- une couche de marne compacte à partir de 7 m de profondeur.

On notera, par ailleurs, que les observations faites sur le terrain semblent situer la ligne de rupture dans la couche de marne altérée.

2.2. Caractéristiques géotechniques des sols

La figure 3 présente l'évolution des caractéristiques géotechniques des sols en fonction de la profondeur. Le tableau I donne les valeurs des paramètres mécaniques considérées dans les calculs de stabilité du versant.

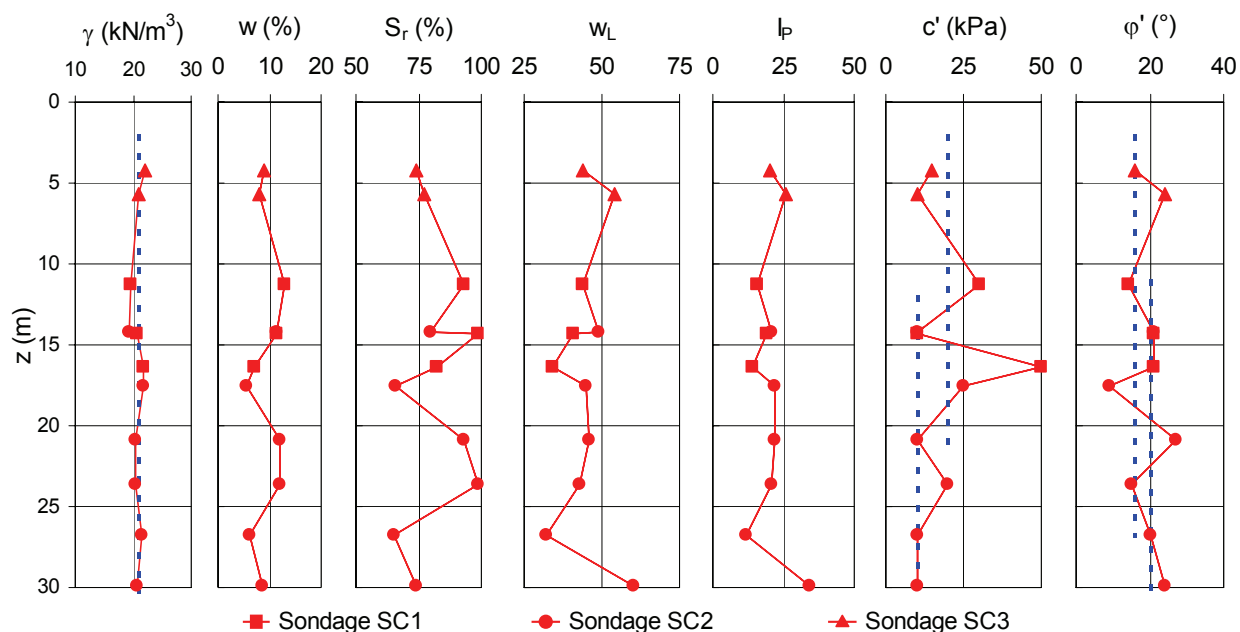


Figure 3. Evolution des caractéristiques géotechniques des sols en fonction de la profondeur.

Tableau I. Valeurs considérées des paramètres de calcul.

Couches de sol	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Argile limoneuse	21	20	16
Argile marneuse	21	20	16
Marne compacte	21	10	20

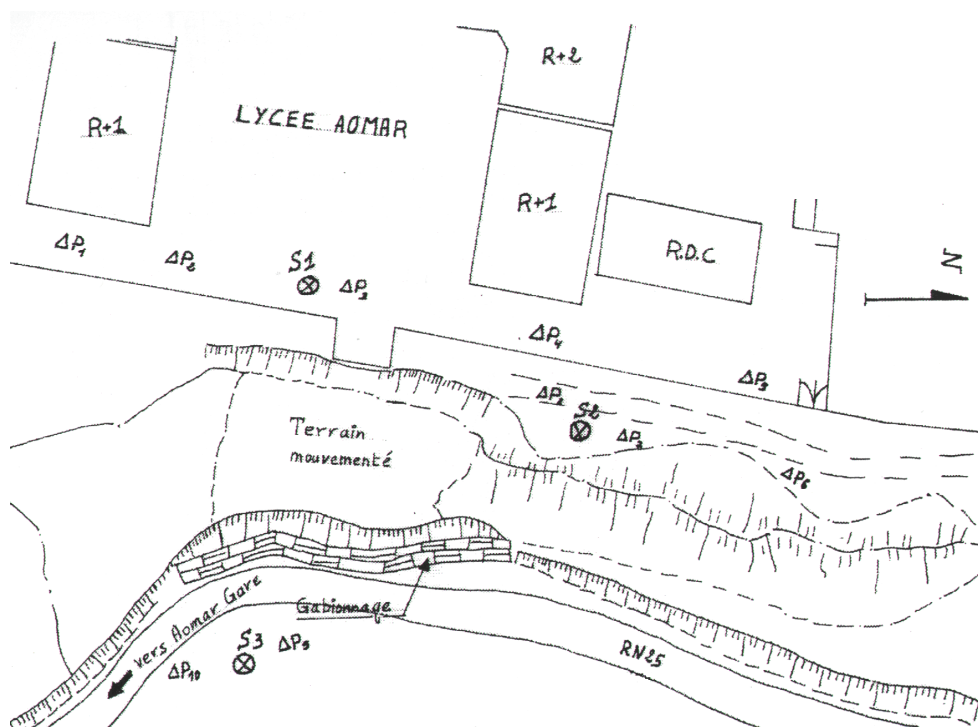


Figure 1. Vue en plan du site et implantation des sondages de reconnaissance géotechnique effectués.

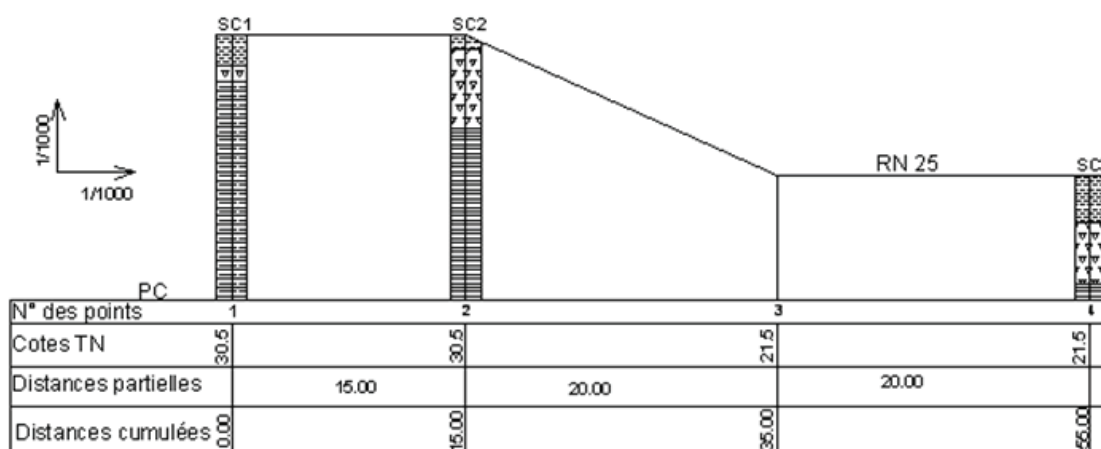


Figure 2. Profil en travers du versant dans l'axe du glissement – position des trois sondages effectués (SC1, SC2 et SC3).

2.3. Caractéristiques sismiques

La ville d'Aomar est classée par le règlement parasismique algérien (RPA 99 – version 2003) comme une zone de sismicité moyenne (zone IIa). Toutefois, la position géographique de cette ville laisse craindre une activité sismique comparable à celle des villes limitrophes (figure 4). Le tableau II donne les valeurs des coefficients pseudo-statiques horizontal k_h et vertical k_v pris en compte dans les calculs de stabilité sismique du versant.

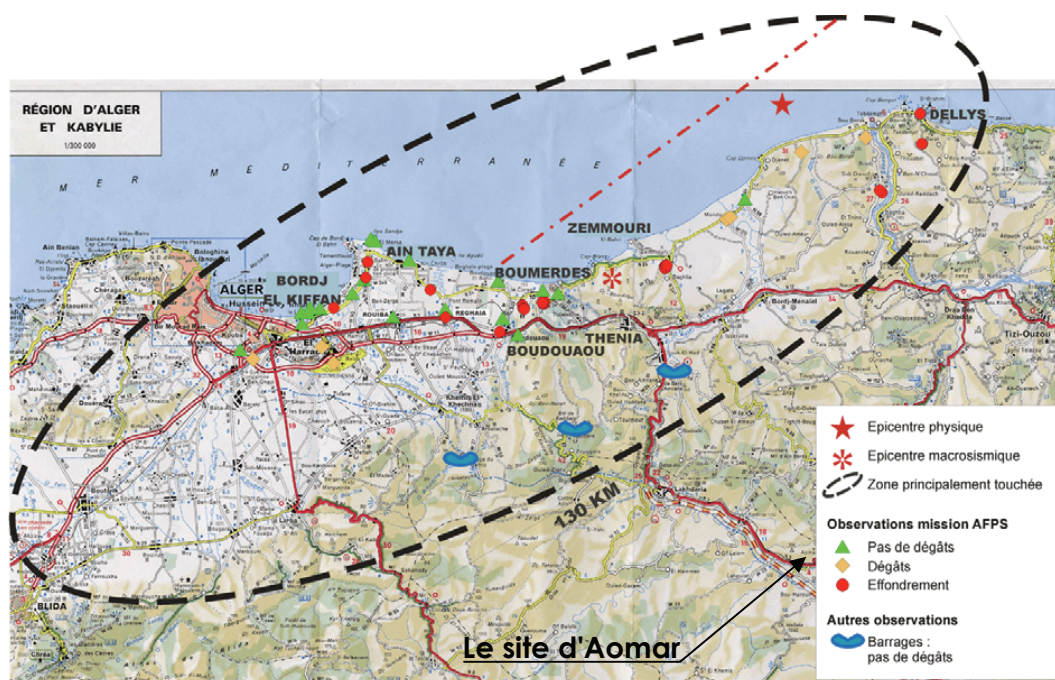


Figure 4. Localisation du séisme du 21 mai 2003 en Algérie (AFPS, 2003).

Tableau II. Valeurs des coefficients d'accélération pseudo-statiques horizontal k_h et vertical k_v .

Groupe	1A	1B	2	3
Valeur de k_h	0,08g	0,06g	0,05g	0,04g
Valeur de k_v	$\pm 0,02g$	$\pm 0,02g$	$\pm 0,02g$	$\pm 0,01g$

$g=10 \text{ m/s}^2$ – accélération de la pesanteur

3. Calculs de stabilité

3.1. Profil géométrique considéré

Le profil du versant d'Aomar, décrit dans un repère cartésien, est composé de segments délimitant les couches de sols constituant le massif. Le massif est constitué de trois couches de sols : une couche d'argile limoneuse reposant sur une couche d'argile marneuse altérée qui elle-même repose sur une couche de marne compacte. Les conditions aux limites sont choisies par défaut : déplacements libres sur les deux côtés verticaux et bloqués à la base (substratum).

3.2. Outils numériques utilisés

Les calculs ont été effectués à l'aide des deux logiciels suivants :

- le programme PETAL-LCPC de calcul de stabilité des pentes en ruptures circulaires et non circulaires par la méthode des tranches ;
- le code PLAXIS de calcul en éléments finis des ouvrages géotechniques par la méthode de réduction des paramètres de cisaillement.

3.3. Localisation de la ligne de rupture potentielle

Les observations faites sur le terrain et les résultats de l'étude géotechnique effectuée permettent de constater qu'il s'agit d'un glissement rotationnel en raison d'un basculement de la masse glissée le long d'une surface sensiblement circulaire et en raison aussi de la présence de bourrelets en contrebas du talus et d'un escarpement franc le long de la couronne.

Les calculs effectués en équilibre limite à l'aide du programme PETAL-LCPC montrent que la rupture est localisée dans la couche de marne altérée (figure 5). Pour une cohésion quasi nulle, la valeur de l'angle de frottement interne effectif serait de l'ordre de $\phi'=10^\circ$ correspondant à un coefficient de sécurité critique $F=1$.

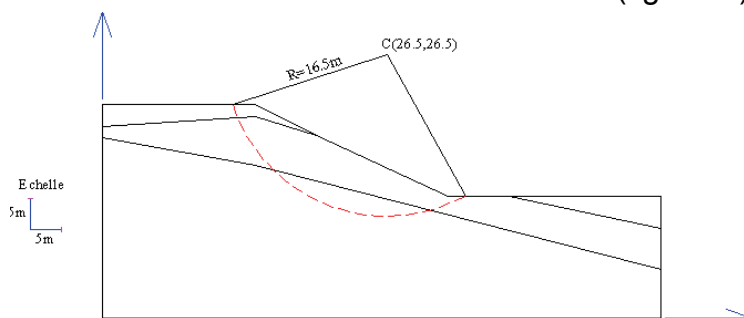


Figure 5. Localisation de la ligne de rupture potentielle du talus à l'aide du programme PETAL-LCPC.

Les calculs effectués en éléments finis à l'aide du code PLAXIS s'accordent avec les observations faites sur le terrain et confirment l'hypothèse d'une rupture circulaire. Toutefois, sous l'effet du chargement gravitaire seul, le calcul du facteur de sécurité à l'aide du code PLAXIS ne passe pas avec les paramètres de cisaillement résiduels : il y a donc effondrement du talus. Ce calcul confirme les résultats obtenus en équilibre limite et laisse penser qu'il s'agit *a priori* d'un glissement réactivé. Cependant, l'enquête menée au LNHC ne mentionne aucun indice direct ou indirect qui va dans ce sens. Au contraire, tout laisse présager qu'il s'agit d'un glissement nouveau. Aussi, doit-on chercher d'autres causes ayant conduit à la rupture du talus.

4. Analyse des causes probables de rupture du talus

Sous l'effet du chargement gravitaire seul, la valeur du facteur de sécurité obtenue est égale à $F=1,51$. On peut alors penser que le versant est stable. Toutefois, sa rupture a déjà eu lieu. Pour la justifier, on va donc examiner, pour différentes accélérations sismiques plausibles comprises entre $a=0$ (sans séisme) et $a=0,08g$ (caractéristique sismique du site), les effets réels d'une chute de résistance des sols, d'une variation éventuelle du niveau de la nappe, d'un chargement excessif en amont du talus et d'un déchargement possible en aval de celui-ci.

4.1. Effet d'une chute de résistance des sols

La variation de la cohésion effective d'une valeur de plus ou moins 25 %, fait varier le facteur de sécurité d'une valeur de 8 à 10 % (figure 6). La variation de l'angle de frottement interne effectif d'une valeur de plus ou moins 25 %, fait varier le facteur de sécurité d'une valeur de 15 à 18 % (figure 7). Le versant reste stable ou à la limite de la stabilité, même pour une valeur maximale de l'accélération horizontale du séisme caractérisant le site.

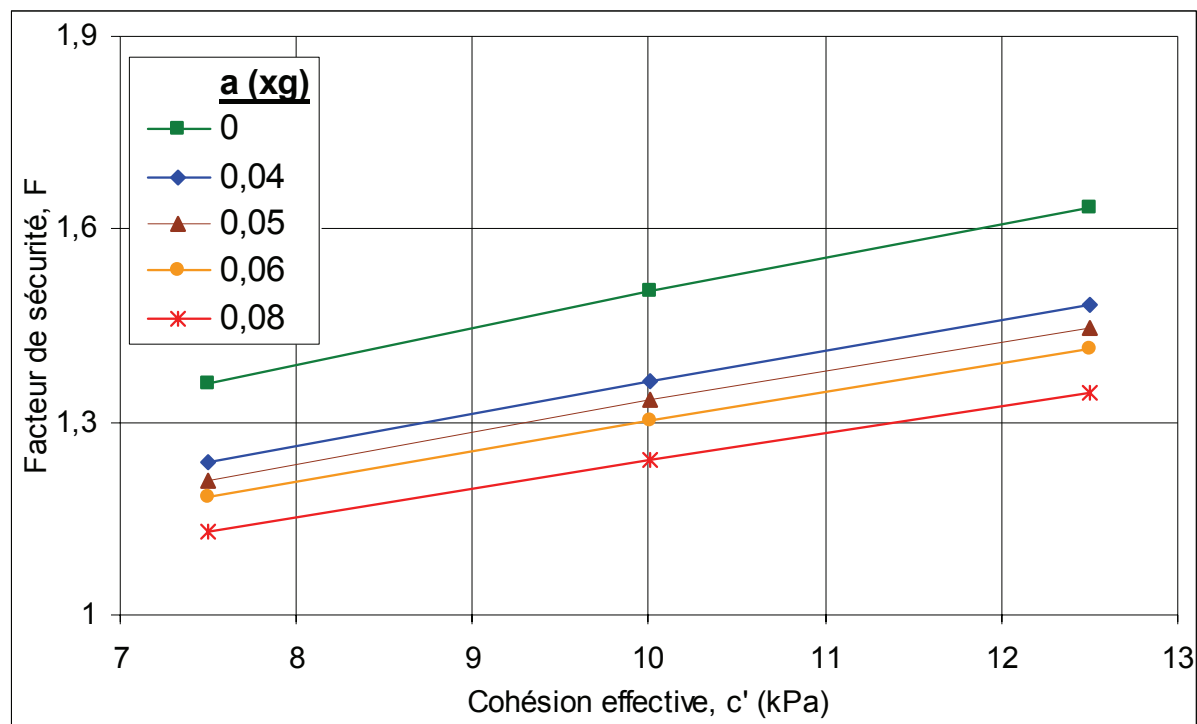


Figure 6. Influence de la cohésion effective sur le facteur de sécurité.

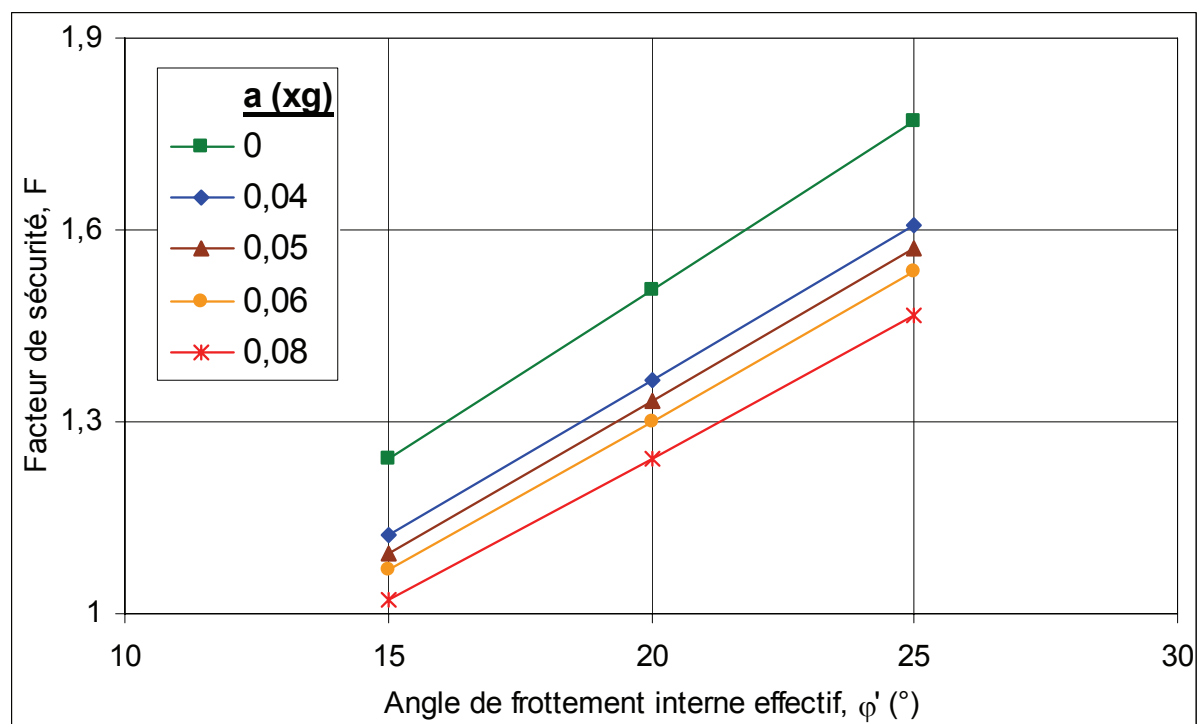


Figure 7. Influence de l'angle de frottement interne effectif sur le facteur de sécurité.

4.2. Effet d'éventuelles surpressions interstitielles

L'enquête effectuée sur le terrain juste après le glissement du versant indique que les sols étaient saturés d'eau. Cependant, aucune mesure piézométrique n'a été réalisée pour situer le niveau de la nappe. Toutefois, en raison des variations saisonnières dues à des phénomènes superficiels d'évapotranspiration et à un drainage par infiltration vers le contrebas du talus, les calculs ont été effectués dans l'hypothèse de fluctuations de la nappe entre l'état sec et l'état saturé parallèlement à la pente du talus. A sec, le versant est stable même en cas de séisme. En présence de nappe, il devient instable et s'effondre sous l'action d'une faible secousse sismique lorsque le niveau de l'eau atteint 16,5 m de hauteur (figure 8).

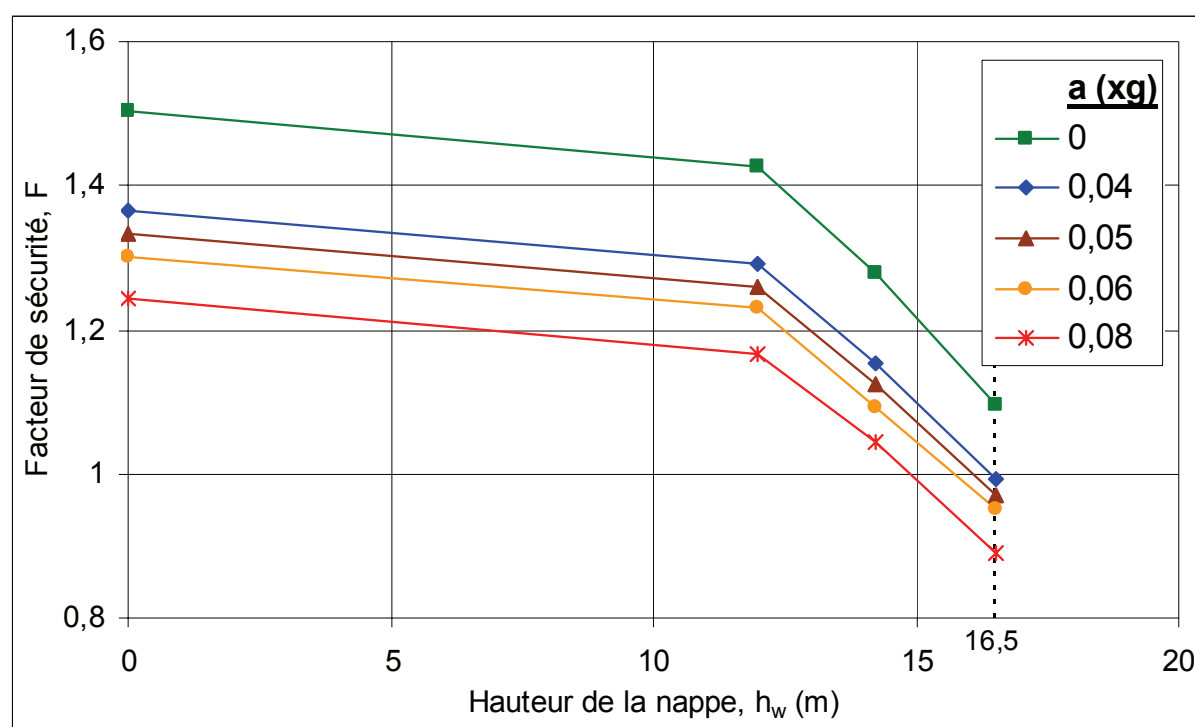


Figure 8. Influence des fluctuations de la nappe sur le facteur de sécurité.

4.3. Effet d'un chargement excessif en amont du talus

Côté amont, le versant d'Aomar est situé à proximité d'un établissement scolaire. Le poids de cet ouvrage, ou tout simplement celui du camion citerne qui approvisionne la soute à mazout aurait contribué au glissement du versant. On a soumis l'amont du talus à un chargement uniforme, dont la position et l'intensité sont variables. Les surcharges appliquées en tête de talus ont une influence négative sur leur stabilité. Mais, dans le cas présent, on a remarqué que le versant reste stable même en présence d'un séisme d'accélération horizontale $a_h=0,08g$.

4.4. Effet d'un déchargement possible en aval du talus

Côté aval, le versant d'Aomar est situé à proximité d'une route. Le creusement possible d'un fossé, ou d'une quelconque excavation à cet endroit, constitue un déchargement suffisant pour déstabiliser le versant. On a modélisé plusieurs cas de

déchargement, dont on ne retient ici que le cas du creusement d'un fossé ayant rendu le versant instable en présence d'une légère secousse sismique d'accélération horizontale $a_h=0,04g$. La figure 9 présente le maillage déformé du talus déchargé en aval auquel correspond un facteur de sécurité égal à $F=0,97$.

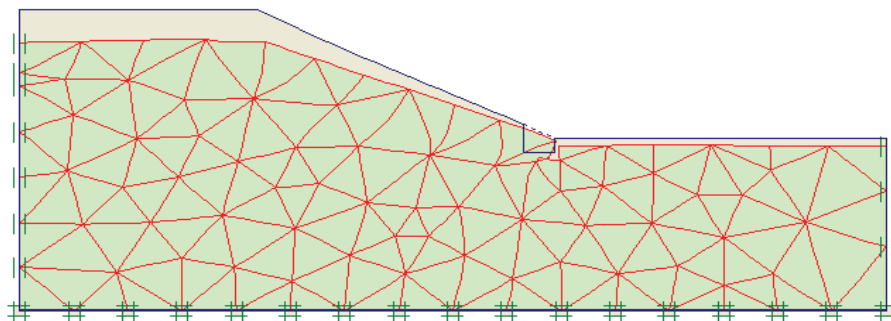


Figure 9. Maillage déformé du talus déchargé en aval.

5. Conclusions

L'analyse de stabilité effectuée sur le versant d'Aomar montre que la rupture s'est produite dans la couche de marne altérée ; ceci ayant été confirmé par les observations faites sur le terrain et par l'analyse des sondages exécutés qui ont situé la ligne de rupture à ce niveau.

Les causes de rupture peuvent être multiples. Toutefois, on peut penser qu'elles proviennent de l'une des deux causes suivantes ou de leur combinaison :

- une augmentation des sollicitations par suppression de la butée de pied associée à une modification des caractéristiques hydrauliques du terrain sous un séisme plus ou moins ressenti (ou sous une quelconque source de vibration) ;
- une modification notable des caractéristiques mécaniques des sols (perte de résistance au cisaillement des sols par remaniement).

Cependant, il va de soi que, dans tous les cas, la rupture provient pour l'essentiel de la nature minéralogique des formations alluvionnaires. Les marnes étant des roches évolutives, leur comportement change en présence d'eau et deviennent très plastiques. La rupture du versant peut donc être attribuée à une perte de résistance au cisaillement des sols sans oublier bien sûr des conditions hydrauliques et probablement sismiques défavorables.

6. Références

- AFPS (2003). Le séisme du 21 mai 2003 en Algérie. Rapport de mission de l'Association Française du Génie Parasismique.
- Durville J.L., Sève G. (1996). Stabilité des pentes : Glissements en terrain meubles. Techniques de l'ingénieur, C254.
- Khemissa M. (2006). Méthodes d'analyse de la stabilité et techniques de stabilisation des pentes. Actes des JNGG 2006 : "Risques géotechniques et environnementaux liés à l'aménagement". INSA de Lyon, France, Kastner et al. (Eds.), III.9-III.16.
- PETAL-LCPC. Programme d'étude de la stabilité des talus en ruptures circulaires et non circulaires. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France.
- PLAXIS. Finite element code for soil and rock analyses. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- RPA 1999. Règlement Parasismique Algérien (version 2003).