

# Analyse et modélisation des glissements de terrain dans la région d'Alger: cas d'El Achour



Challenges from North to South  
Des défis du Nord au Sud

M.Filali<sup>1</sup>, A. Nechnech<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculté des sciences de la vie et sciences de la terre - Université Djilali Bounaâma, Khemis Miliana, Algérie

<sup>2</sup> LEEGO- Faculté de génie civil-université des sciences et de la technologie Hourri Boumedienne, Alger, Algérie

## ABSTRACT

The landslides represent a major treat for the population, buildings and different infrastructures. They are very common phenomena in the Algeirs region and caused great damaged to structures (cracking of the walls, rupture of pipes, landslides,...).This study is made on the Dounia park whose area exceed 1000 hectares in the Sahel and of which a major part is located in the municipality of El Achour. we will conduct a geotechnical analysis and interpretation of the Plaisancien marls formations, which cover a large part of Algeirs Sahel and represent the bedrock on which this city develops. An approach modeling of this phenomenon by the finite element code will be introduce to analyze the slope stability of the site with varios factors.

## RÉSUMÉ

Les glissements de terrain représentent une menace majeure pour la population, les bâtiments et les différentes infrastructures. Ils sont très fréquents dans la région d'Alger, dont fait partie notre site d'étude et où a été observé diverses signes d'instabilités tel que: fissurations des murs, rupture de canalisations, glissements de terrains,...etc. Cette étude est faite sur le parc Dounia qui s'étend sur plus de 1000 hectares dans le sahel marneux et dont la majeure partie se trouve dans la commune d'El Achour. On procèdera à une analyse et interprétation des paramètres géotechniques des marnes plaisanciennes qui couvre une large surface du sahel d'Alger et représentent le substratum, sur lequel, le développement de cette ville se dirige, ainsi qu'une approche de modélisation de ce phénomène par le code de calcul par éléments finis, nous permettant d'analyser la stabilité du site en prenant en considération différents facteurs.

## 1 INTRODUCTION

Les glissements de terrain sont des mouvements de masses actives qui peuvent causer de sérieux dommages aux infrastructures, ainsi qu'une rupture soudaine des talus. Dans ce contexte, l'analyse et la modélisation de ce phénomène naturel devient très importante pour la connaissance et la réduction de ce risque géologique.

Les glissements de terrain les plus fréquents dans la région d'Alger sont connus dans les marnes plaisanciennes qui couvrent une large surface et représentent le substratum sur lequel le développement de la ville se dirige, ainsi que les argiles sableuses formant le facies de transition entre le Plaisancien marneux et l'Astien molassique ( Bougdel, 2007).

Le parc Dounia, objet de notre étude couvrent une superficie de plus de 1000 hectares dans la banlieue Sud-Ouest d'Alger, dont plus de la moitié fait partie de la municipalité d'El Achour, sur des terrains marneux Plaisanciens, épais, à couverture grésosableuse astienne, très érodée, qui sont sujet à des instabilités lorsque la marne est altérée sur des pentes qui égalent ou dépassent les 10% . La faible stabilité de ces derniers est liée à l'infiltration des eaux à partir du plateau molassique, ainsi que l'urbanisation actuelle qui gagne ces bordures, en y réalisant d'inévitables terrassements, déclenchant des glissements de terrains et exposent les constructions à des dégradations diverses.

## 2 LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DU PARC DOUNIA D'EL ACHOUR

### 2.1 Description géologique et géomorphologique

Le site de notre étude fait partie du Sahel d'Alger qui s'étend entre, au nord le massif d'Alger, au sud, la rive gauche de l'oued El Harrach et , au sud-est la rive droite de l'oued Mazafran (figure.1).

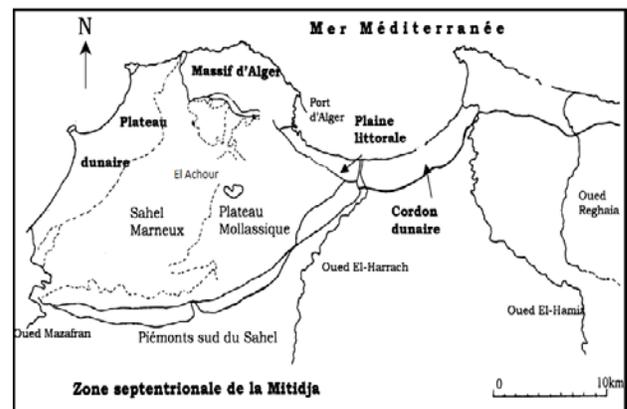
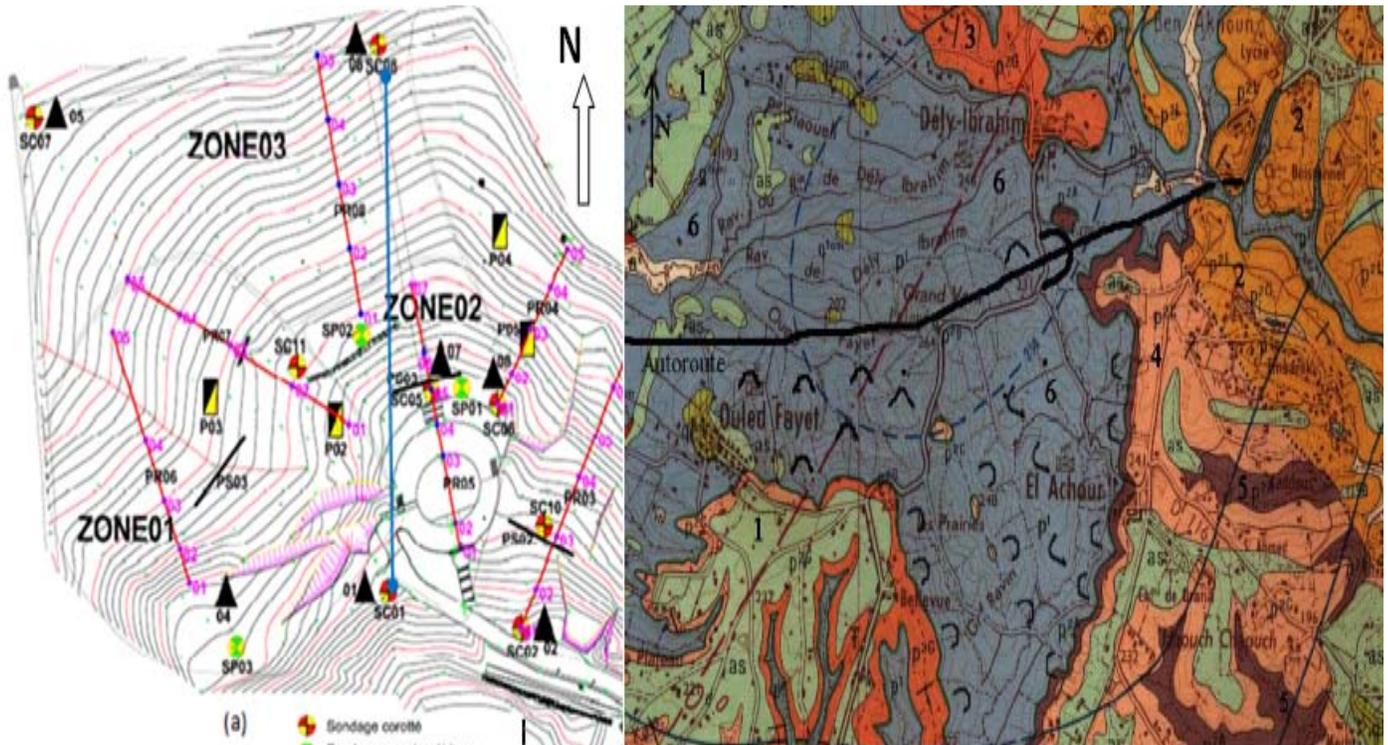


Figure 1. Les grands ensembles géographiques de la région d'Alger ( Z. Derrich et C.Lounis, 2004).



- 1: limon roux quaternaire (b)  
 3 - 4: faciès calcaires gréseux astien  
 5: faciès argileux sableux base astien  
 6: Marne bleu du Plaisancien

Figure 2. : (a) carte de situation (archive LHCC, 2011); (b) géologie de la région (extrait de la carte géologique de Cheraaa 1/50000 (A.Avmé et al. 1960)

Le parc Dounia est situé sur les terrains marneux d'âge Plaisancien à couverture grésosableuse astienne, formant en particulier les plateaux d'El Achour et Ouled fayet (figure.2). Ces derniers correspondent aux flancs SE et NO d'un pli anticlinal, d'échelle plurikilométrique de direction N30°E (Aymé, 1956).

Le Sahel marneux présente une topographie mamelonnée (collines et pentes) et est parcouru par un réseau hydrographique chevelu typique des terrains peu perméables.

Dans les zones où elles affleurent, les formations plaisanciennes sont massives. Elles ont une puissance de plus de 200 mètres. Ailleurs elles sont recouvertes par des dépôts récents. En profondeur (à partir environ de 12 m), la marne est saine et se présente comme une roche compacte indurée à cassure subconchoïdale de couleur gris-bleu uniforme, elle est surmontée par une zone légèrement altérée et fissurée qui peut atteindre jusqu'à 8 mètres.

Près de la surface, la marne est très altérée, de couleur gris-jaune à verdâtre et dont l'épaisseur varie avec l'intensité de l'altération.

## 2.2 Caractérisation géotechnique

les formations géologiques qui dominent dans la région sont les marnes du Plaisancien (Glangeand et al, 1952).

1952). Ces dernières, sensibles à l'eau, sont souvent altérées à la surface.

La figure 3 montre une coupe obtenue à partir des sondages réalisés sur site qui montrent la présence de marne altérée friable, surmontée par une couche de remblai de faible épaisseur. L'épaisseur du niveau altéré varie avec le degré d'altération suivie d'un autre niveau de marne plus compacte de couleur gris verdâtre. Des discontinuités de différents ordres sont observées dans les carottes et qui peuvent être d'origine tectonique.

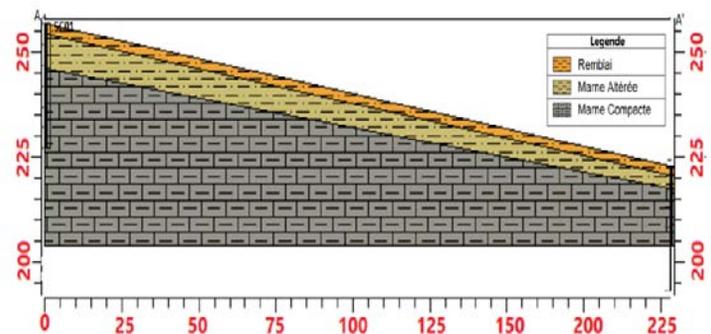


Figure 3. coupe stratigraphique suivant le profil AA'

Tableau 1. Caractéristiques physico-mécaniques des marnes plaisanciennes d'El Achour

Région	Profondeur (m)	$\gamma_d(t/m^3)$	Ip	Wl(%)	Cg (%)	Cc (%)	C (bars)	$\phi(^{\circ})$
<sup>1</sup> El Achour1	2-4.5	1.62	33	65	13.1	18.1	0.28	10
	4.9-9	1.68	27.78	60	13.1	17	0.3	11
	>11	1.7	25.9	42.2	11.2	12.3	0.5	22
<sup>2</sup> El Achour II	Marne altérée	1.51	32.1	61.3	8.2	19.8	0.3	10.6
	Marne saine	1.89	27.9	54.9	14.8	15	0.5	20.7
"Parc Dounia	Marne altérée	1.7	27	54	5.42	23.59	0.27	11
	Marne saine	1.87	26	57	3.92	11.63	0.47	15

<sup>1</sup> (H. Gadouri et M. Khellas, 2010) <sup>2</sup> (R. Bougdel, 2007);  $\gamma_d$ : poids volumique sec; Ip: indice de plasticité; wl: limite de liquidité; Cg: indice de gonflement; Cc: indice de compression; C: cohésion;  $\phi$ : angle de frottement

Les analyses minéralogiques réalisées par Z.Derriche et G.Cheikh lounis (2004), ont montrées que les marnes plaisanciennes sont à prédominance de montmorillonite et d'interstratifiés qui tend à diminuer avec la profondeur, et une teneur importante d'illite et une faible présence de kaolinite (tableau 2).

Tableau 2. Composition minéralogique des marnes plaisanciennes d'El Achour

Minéraux argileux	Marnes altérées	Marnes saines
Montmorillonite	24.75	18.8
Interstratifiés	13.75	14.10
Illite	11.00	9.40
Kaolinite	5.50	4.70
Chlorite	traces	Traces

L'analyse granulométrique a permis de mettre en évidence un sol fin dont le passant au 80  $\mu\text{m}$  est compris entre 97% et 99%.

La limite de liquidité mesurée dans les niveaux marneux varie de 54 à 57% et l'indice de plasticité de 25 à 28% , ce qui montre que la marne présente une importante plasticité qui augmente avec l'altération (tableau.2). Les mêmes résultats ont été obtenus pour différents endroits dans le Sahel marneux d'Alger selon les travaux de R.Bougdel (2007) et Z.Derriche et G.Cheikh lounis (2004).

La synthèse des travaux antérieurs réalisés par le (LHCC, 2011), (H.Gadouri et M. Khellas, 2010), permet d'estimer les caractéristiques physico-mécaniques des marnes, qui sont représentées dans le tableau.1

Ces résultats montre que les couches superficielles présentent des cohésions faibles de l'ordre de 0.4 bar à 0.5 bar avec des angles de frottement qui ne dépassent pas les 11°. Ces valeurs ont tendance à augmenter avec la profondeur, ceci confirme la présence de deux pôles marneux, le premier est situé entre 0.5m jusqu'à 8 m dont la densité sèche est en moyenne de 1.5 et qui correspond aux marnes altérées, par contre le deuxième pôle correspondant à la marne saine et de densité sèche pouvant atteindre 1.9 par endroit, se trouve à des profondeurs supérieures à 10 m.

Ces deux pôles sont sensibles, en présence d'eau au phénomène de retrait- gonflement, ceci s'explique par la présence de montmorillonite et d'illite en grande proportion.

### 3 ANALYSE ET MODELISATION DU GLISSEMENT

#### 3.1 Etat des lieux

Le parc Dounia présente différents signes d'instabilités, caractérisés par des crevasses ou niches d'arrachement, ainsi que des déplacements de masses sous formes de bourrelets limités par des fissures bien visibles à la surface (figure.4).

Ces glissements se sont produit dans des terrains meubles formés principalement par des marnes de couleur gris verdâtre d'âge Plaisancien qui sont surmontées par du remblai de faible épaisseur d'apparence mal consolidé.

Les structures de glissements observées dans la zone d'étude semble être étroitement liées aux facteurs suivants:

- géologique: présence de la marne qui est très sensible à l'eau et sujette à des glissements;
- géomorphologique: un terrain vallonné dont la pente est plus ou moins importante en faveur des glissements;
- assainissement: aucune mesure de drainage n'a été effectuée sur le terrain. Les eaux se déversent directement sur les talus marneux, provoquant ainsi leur saturation

Tableau 3. paramètres physico-mécaniques du terrain

Couches de sols	$\gamma_{unsat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\phi$ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )
Remblai	16.5	19.14	171057	0.4	9	5
Marnes altérées	20.5	20.7	855304	0.33	10	27
Marnes saines	21.7	21.9	3121945	0.33	15	45



Figure 4. signes d'instabilités dans la région d'étude

### 3.2 Analyse statique de stabilité

L'étude de la stabilité du site a été faite par le code de calcul par éléments finis Plaxis 2D 2012, sous l'hypothèse de déformations plane, en utilisant la loi de comportement Moh-Coulomb. Le nombre d'éléments choisis est de 15 nœuds pour le maillage. Les paramètres géotechniques utilisés sont résumé dans le tableau.3.

Dans notre étude, on a considéré différents scénarios, pour nous permettre de comprendre les facteurs qui peuvent avoir un rôle important dans le déclenchement

des glissements de terrain. Pour cela l'analyse de stabilité a été faite :

- sous l'effet du poids propre des terrains :
- sous l'effet du poids propre des terrains plus le bâtiment de dar Dounia;
- sous l'effet combiné de l'eau et de la charge .

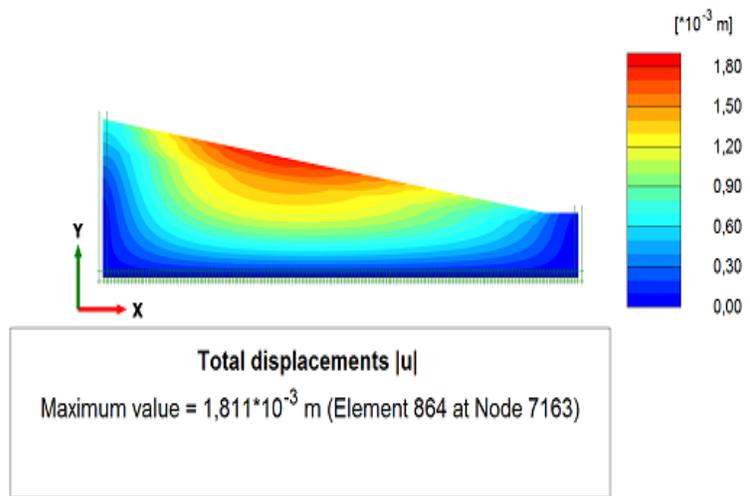


Figure 5: Les déplacements totaux sous l'effet du poids propre du terrain

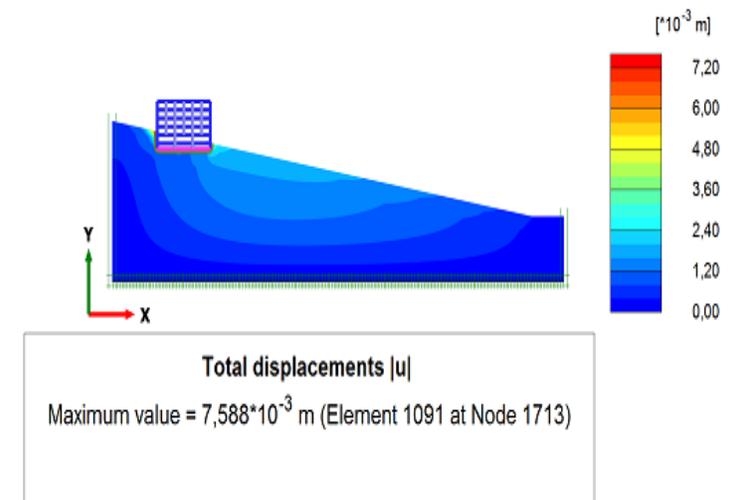


Figure 6: Les déplacements totaux sous l'effet du poids propre du terrain +le bâtiment Dounia

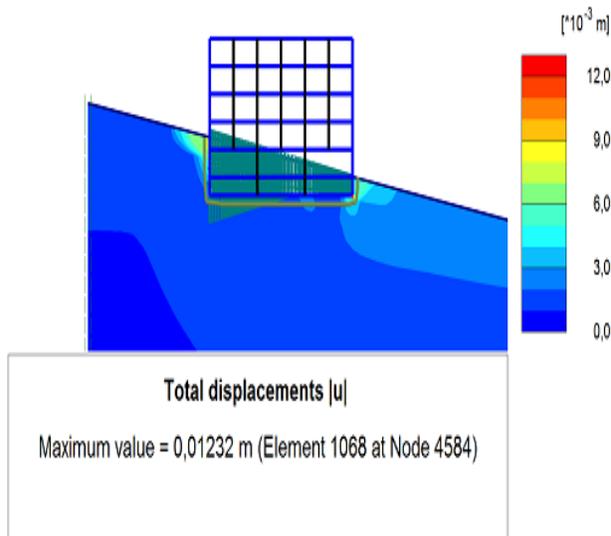


Figure 7: Les déplacements totaux sous l'effet combiné de l'eau et de la charge

D'après les résultats obtenus, on remarque que les déplacements totaux dus au poids des terres seul est de l'ordre de 0.0018 m (figure.5). la charge représentée par le bâtiment " Dar Dounia " engendre des déplacements de l'ordre de 0.007 m ( figure.6), qui aura tendance à augmenter sous l'effet combiné de l'eau (niveau de la nappe à la surface) et de la charge, jusqu'à 0.012 m, ce qui explique l'apparition des glissements sur site après des pluies torrentielles en Mai 2011; effectivement, une augmentation de la teneur en eau réduit la cohésion des terrain argileux et stimule le fonctionnement des mouvements de masses (J.M.Grandjean et al, 2006). Les déformations sont enregistrés principalement dans les couches superficielles qui correspondent à la marne altérée et la couche de remblai.

La stabilité du terrain est évalué par les coefficients de sécurité calculés à chaque étape (tableau 4).

Tableau 4. Calcul du coefficient de sécurité (FS)

Etat du terrain	FS
* Sous l'effet du poids propre du terrain	1.91
*sous l'effet du poids propre des terrains plus le bâtiment de dar Dounia;	1.9
*Eau + chargement	1.3

On remarque que le terrain devient vulnérable en présence d'eau avec un coefficient de sécurité inférieur à 1.5.

### 3.3 Analyse de stabilité sous l'effet des séismes

Le comportement des sols dans les conditions sismiques a été évalué par la méthode de Newmark qui est basé sur

l'évaluation des déplacements, ainsi que l'approche pseudo-statique qui est largement utilisée dans l'analyse de stabilités des murs de soutènements, fondations et pentes (Askari, F., Farzaneh, O. 2003).

En absence d'un enregistrement sismique dans la région d'étude, on a choisit de travailler avec l'enregistrement sismique standard de Plaxis (figure. 8) dont la magnitude du séisme M= 5.4 est proche du plus fort séisme qui a frappé la région en 1996 d'une magnitude M= 5.6.

Le chargement dynamique est appliqué à la base de la couches rigide avec un pic d'accélération égale à 0.25g et la durée du séisme est de 10s (figure. 9). les déplacements enregistrés sont supérieurs à ceux enregistrés dans les cas précédents

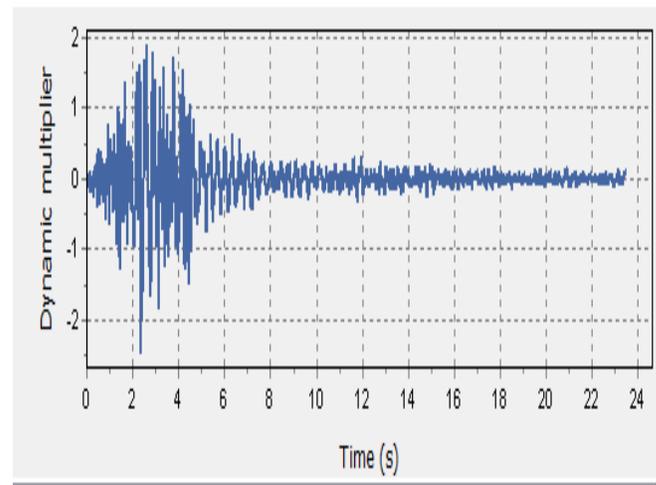


Figure 8: accélérogramme utilisé

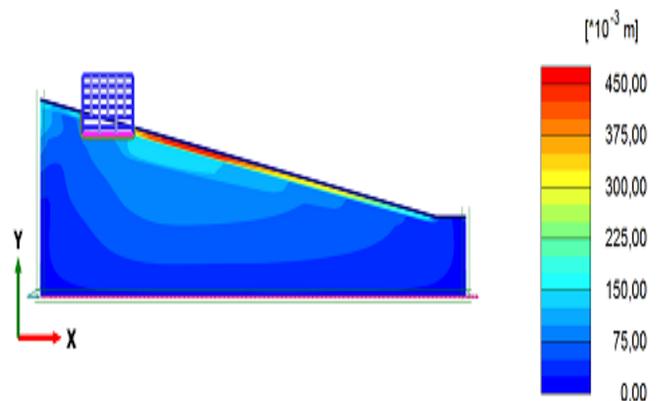


Figure 9: Les déplacements totaux sous l'effet combiné de l'eau, de la charge et du séisme

Tableau 5. Influence de la nappe et des sollicitations sismiques sur le coefficient de sécurité

Niveau de la nappe	0	-0.3	-0.5	-1	Absence de la nappe
Poids des terres	1.25	1.33	1.39	1.53	1.91
Poids des terres + la charge	1.3	1.41	1.47	1.61	1.9
Effet sismique (pseudo-statique)	0.67	0.72	1	1.12	1.36

Pour juger de la stabilité de la pente en fonction du facteur de sécurité, une analyse pseudo-statique a été réalisée en utilisant les coefficients sismiques horizontale et verticale  $K_h = 0.125$  (%g) et  $k_v = 0.0375$  (%g), obtenus selon les dernières révisions de la réglementation parasismique algérienne en 2003. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 5 en fonction du niveau de la nappe.

#### 4 DISCUSSION

Les caractéristiques structurales des versants marneux favorisent son instabilité. La topographie de la zone décrit des pentes allant jusqu'à 40% avec des angles de frottement plus petits, rendant ainsi le terrain propice aux glissements, ainsi la raideur de ces pentes contribue largement à l'usure de ces versants.

L'analyse de stabilité effectuée par le laboratoire de l'habitat et construction centre d'Alger mis en évidence l'influence de la pente avec un coefficient de sécurité de l'ordre de 1.4 (niveau d'eau au terrain naturel) pour une pente de 16% et de 1.15 pour une pente de 33% dans les mêmes conditions.

Les caractéristiques géotechniques montrent que les marnes plaisanciennes sont altérables et gonflantes en contact avec l'eau, c'est le cas des couches superficielles allant de 0 à 9 m, qui correspondent à la marne altérée surmontée par endroit par une faible couche de remblai et dont les caractéristiques mécaniques soulignent leur instabilité avec une faible cohésion de l'ordre de 0.27 bars et un angle de frottement qui ne dépasse pas 10°.

La mesure du coefficient de sécurité en adoptant différents scénarios a confirmé la vulnérabilité du terrain en présence d'eau où on a enregistré des valeurs inférieures à 1.5. En effet, un versant est jugé instable pour un coefficient inférieur à 1 et à la limite de stabilité entre 1 et 1.2 est stable quand il est supérieur à 1.5 (V. Robitaille et al. 1997).

L'analyse de stabilité de la pente a permis d'enregistrer les déplacements totaux dans différents cas et qui tendent à augmenter en présence d'eau et sous l'effet des séismes. Le maximum de déplacement est concentré dans les couches superficielles de remblai et marne altérée, ce qui concorde bien avec l'analyse géotechnique.

Il ne faut pas oublier que la sismicité élevée de la région contribue largement dans le déclenchement des mouvements gravitaires. Beaucoup de séismes ont été enregistrés ces dernières années dans la région, comme

celui d'Alger en 1996 de magnitude 5.6, celui de Bouira à l'Est d'Alger en 2006 de magnitude 4. Les secousses sismiques produisent des forces horizontales qui s'ajoutent aux pressions dans le terrain et qui sont souvent à l'origine des glissements même s'il s'agit de faible magnitude (F.H.Chehad et al. 2010)

#### 5 CONCLUSION

Les glissements de terrains constituent une menace croissante pour notre société et en particulier au niveau d'Alger où les zones d'habitations et d'activité industrielle se développent de plus en plus sur des formations à stabilité précaire représentées par les formations marneuses du sahel dont fait partie notre zone d'études. La synthèse géotechnique présentée ici montre que les marnes plaisanciennes ont des caractéristiques mécaniques médiocres. Elles sont plastiques et gonflantes, donc très sensibles à l'eau. Elles sont souvent altérées en surface et compactes en profondeur. Les cycles de gonflement-retrait jouent un rôle important dans ce type de mouvement (Derriche & Cheik-Lounis, 2004), les eaux de pluies provoquent le gonflement des marnes superficielles altérées, diminuant ainsi leur résistance au cisaillement. Les résultats montrent clairement la réduction de la cohésion dans les marnes altérées (0.27 bars), tandis que dans la marne saine atteinte par endroit les 1.08 bars. Elles se trouvent également dans un ensemble de collines avec des pentes qui peuvent atteindre par endroit les 40% et une inclinaison des strates dans le même sens.

Les séismes peuvent également jouer un rôle important dans le déclenchement des mouvements de terrain. Sachant que le site étudié se trouve dans une zone à sismicité élevée (zone III) selon la dernière révision des règles parasismiques algériennes (RPA-99/2003) qui joue un rôle non négligeable dans le déclenchement des mouvements gravitaires dans les terrains à stabilité précaire comme les marnes plaisanciennes d'Alger.

#### REMERCIEMENTS

Je remercie le LHCC pour l'acquisition des données relatives à ce projet. Je tiens à remercier les étudiants Oussama Bouaamra et Adam Chikhi étudiants en Master II à l'université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, pour leur collaboration dans ce travail.

## REFERENCES

- Aymé, A. 1955. Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure atlasique. *Bull. Serv. Carte d'Algérie* n° 8, 1955.
- Aymé, A. et al. 1964. Carte géologique au 1/50000, Alger N°21. *Pub service carte géologique, Algérie, Alger*
- Askari, F., Farzaneh, O. 2003. Upper-bound solution for seismic bearing capacity of shallow foundations near slopes. *Geotechnique* 53 (8), 697–702.
- Bougdel, R. 2007. Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes de l'Algérie du Nord, *thèse doctorat, USTHB, Alger*.
- Cehad.F.H etSadek.M. 2010. Modélisation globale des pentes sous sollicitations sismiques réel. Journée nationale de géotechnique et de géologie de l'ingénieur. Grenoble 2010
- Derriche, Z et Cheikh Iounis, G. 2004. Caractéristiques géotechniques des marnes plaisanciennes d' Alger, *Bull Eng Geol Environ*,63: 367-378.
- Gadouri, H. et Khellas, M. 2010. Analyse et interprétation des paramètres géotechniques des marnes plaisanciennes de la région d'El Achour-Ouled Fayet, *Mémoire Master II, UDBK, Khemis Miliana*.
- Glangeaud et al. 1952. Histoire géologique de la province d'Alger. 19è congrès géologique international, Monographie régionale, 1ère série, Algérie.
- Grandjean, O.M et al. 2006. Caractérisation de la structure interne et l'état hydrique de glissements argilo-marneux par tomographie géophysique: l'exemple du glissement coulée de Super-Sauze, *C.R Géosciences* 338,587-595.
- Robitaille.v et al. 1997. Mécanique des sols, théorie et pratique. Édit. Modulo, Montréal, Québec, 652 p.