

Etude géologique, cartographique et géotechnique du glissement de terrain du Jbel Outka (Rif central, Maroc)

Geological, cartographic and geotechnical study of Jbel Outka landslide (Central Rif, Morocco)

Zouhair AT TIMA, Mohamed ROUAI & Abdelilah DEKAYIR

Abstract : This study focuses on the analysis of the recent Tissoufa landslide, located on the southern flank of Jbel Outka in Central Rif (northern Morocco). The mass movement is a rotational complex landslide, in a context of thrust nappe. The geological environment is characterized by a superposition of Numidian resistant sandstone-quartzite beds on Senonian schistose gray marls and loose Cretaceous schist.

We present a geological, morphological and environmental study site in order to describe the main features to help understand the genesis and the mechanisms of this landslide.

The main parameters triggering the slip are the steep slopes (> 30°), the high rainfall (1400 mm / year), the texture and the mineralogy of the materials (clays and silts, weak cohesion). The anthropogenic factors consist mainly of deforestation and the extension of cultivated areas and the change of hydraulic properties of soil cover following the installation of an artificial irrigation system by the villagers.

Keywords: Landslide, thrust nappe, geotechnics, Rif, Morocco.

Résumé : Cette étude porte sur l'analyse du glissement de terrain de Tissoufa, situé sur le flanc sud du Jbel Outka dans le Rif central (nord du Maroc). En effet, il s'agit d'un glissement de terrain rotationnel complexe, en domaine de nappe de charriage. L'environnement géologique est caractérisé par une superposition de bancs gréseux-quartzitiques résistants du Numidien sur des marnes grises schisteuses sénoniennes et des schistes friables du Crétacé inférieur.

Nous présentons ici une étude géologique et morphologique du glissement, ainsi qu'une analyse d'essais géotechniques des matériaux, pour mieux comprendre la genèse et les mécanismes de cet important mouvement de masse.

Les principaux paramètres déclencheurs du glissement étudié sont la forte pente du versant (>30°), la forte pluviométrie (1400 mm/an), la nature, la texture et la minéralogie des matériaux glissés (argiles et silts, faible cohésion). Les facteurs anthropiques consistent principalement en la déforestation et l'extension des zones cultivées et dans le changement des propriétés hydrauliques des terrains, déstabilisés suite à l'installation d'un système d'irrigation artificiel par les villageois.

Mots clés: Glissement de terrain, nappe de charriage, géotechnique, Rif, Maroc.

INTRODUCTION

Les glissements de terrain, principalement déclenchés par de fortes pluies constituent un risque naturel qui affecte les pentes marneuses dans la vallée de Tissoufa. En effet, en détruisant des zones agricoles, en endommageant des maisons, des routes, des carrières et d'autres infrastructures de base, ces glissements de terrain ont des conséquences économiques, sociales et écologiques néfastes.

¹Equipe Géo-explorationset Géotechniques, Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, B.P.11201 Zitoune, Meknès-Maroc.Courriels :<u>z.attima@edu.umi.ac.ma</u>, <u>mohamed.rouai@gmail.com</u>, <u>dekayir@yahoo.fr</u>

En 2013, à cause de fortes précipitations hivernales, un glissement complexe a touché la commune de Rhafsai (Fig. 1) sur le versant oriental du Jbel Outka ; ceci sur une superficie de 8,34 ha, une longueur de 500 m et une largeur de 287 m. Aussi, l'atténuation de ce fléau nécessite une méthodologie efficace pour l'analyse, la quantification et la prévention.

L'objectif principal de la présente étude est de placer ce glissement de terrain dans son contexte géomorphologique, d'étudier les caractéristiques mécaniques des terrains suspecter les causes tant naturelles qu'anthropiques possibles et analyser le mécanisme à l'origine de ce glissement.



Figure 1 : Aperçu sur le glissement de Tissoufa.

1 : Glissement de Jbel Outka, 2 : Niche d'arrachement du glissement,3 : Route P5302 détruite, 4 : Exemple type d'une maison détruite.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Situation géographique

La zone d'étude relève administrativement de la région de Fès-Meknès. Elle est située à 30 Km au NW de Taounate et à de 11 km au NE de la commune de Rhafsai, précisément sur la route secondaire P5302 entre douar Rkiba et douar Tissoufa (Fig. 2 et 3). Elle a pour les coordonnées Lambert : X = 550445 m; Y = 457658 m

Contexte géomorphologique

Située au nord du Maroc, la chaîne du Rif fait partie des chaînes alpines de la Méditerranée occidentale, connues par la complexité de leur structure géologique; celle-ci est formée de trois grands domaines structuraux (zones internes, zones des flyschs et zones externes) qui dérivent d'anciens sillons et rides du Nord au Sud (DURAND *et al.*, 1960; 1962) (Fig.3).



Figure 2 : Situation du glissement de Jbel Outka (Google Earth 2013).



Figure 3 : Situation de la zone d'étude sur un extrait de carte géologique de Rhafsay –Kelaa des Sels au 1/50000.



Figure 4 : Coupe géologique et lithostratigraphie synthétique extraites de la carte géologique Rhafsay-Kelaa des Sels en 1/50000.

Notre secteur d'étude « Jbel Outka » fait partie des nappes des flyschs et surtout la nappe numidienne caractérisée par des bancs gréseux quartzitiques résistants, épais de plus de 200 mètres qui reposent sur un matériel homogène (beaucoup moins résistant) composé de marnes grises schisteuses sénoniennes ainsi que sur des schistes très friables du Crétacé inférieur. Ce complexe fait partie de la zone marno-schisteuse du Rif central datant du Jurassique et du Crétacé (Fig. 4) (MAURER, 1968).

L'analyse géomorphologique du versant instable du Jbel Outka permet une bonne appréciation du mouvement de terrain, et constitue un moyen d'investigation efficace des mouvements de terrain de grande ampleur. Cette analyse facilite la détermination des mécanismes d'instabilité du versant, l'étude de sa structure et une délimitation primaire de la surface instable.

En effet, les crêtes du Jbel Outka, montagne isolée située dans la partie orientale de Tissoufa, avec des altitudes allant de 1200 à 1600 mètres, dominent généralement par un abrupt de 200 à 300 m de hauteur une basse montagne. Elle est délimitée au nord par l'oued Maachoq, au sud par Ghafsai, à l'est par l'oued Amzaz et à l'ouest par l'oued Aoulai. « De 1000 m environ et jusqu'à 600-700 m, s'étendent de longs glacis rayonnants, disséqués et isolés par des vallées profondes ; ils forment l'assise de la montagne et lui donnent l'allure d'un immense cône aplati » (MAURER, 1968). Cette situation le met davantage en déséquilibre, et favorise le déclenchement du glissement.

Au niveau du site étudié, la pente est très forte $(>30^\circ)$ et donc suffisamment élevée pour créer le contraste de gravité et induire le mouvement de masse.

Climat

Avec des précipitations annuelles qui dépassent en moyenne 1400 mm/an et une température moyenne minimale de 3°C en saisons froides et une moyenne maximale de 36°C en saisons chaudes, la zone jouit d'un éventail bioclimatique allant du subhumide à perhumide (EL MAZI *et al.*, 2017).

Pour la zone d'étude, des informations sur les précipitations quotidiennes sont disponibles à partir de la station météorologique sise à proximité de la montagne Outka (Fig.5 et 6) ; la pluviométrie annuelle moyenne fluctue entre 753 mm comme valeur minimale enregistrée en 2000 et 3117 mm observée en 1997. Ces précipitations modifient en général les caractéristiques physiques et mécaniques du terrain et constituent le moteur principal pour les glissements.



Figure 5 : Précipitations annuelles de la région Fès-Meknès. (Source : Monographie de la région Fès-Meknès, 2015).



Figure 6 : Précipitations moyennes annuelles enregistrées dans la station de Jbel Outka entre 1978 et 2013 (EL MAZI *et al.*, 2017). Source : données de l'agence du bassin hydraulique du Sebou.

MATERIEL ET METHODES

Durant la présente étude, trois étapes principales ont été suivies : la première étape a consisté en l'observation générale sur le terrain du secteur d'étude ; celle-ci a permis de relever d'une part les indices et d'autre part de prélever les échantillons de sols et de roches ; ceci dans le but de faire une étude détaillée de l'environnement géomorphologique, géologique et climatologique.

La seconde étape a consisté en une analyse et l'interprétation de la série d'images multidates de Google Earth (2003, 2011 et 2013), dans le but de suivre et de cartographier le glissement du Jbel Outka (Fig. 10) et les différentes unités du paysage montagneux ; l'objectif ultime étant de comprendre la genèse du glissement de terrain et d'en connaître les causes.

La troisième étape consiste à prélever des échantillons du sol non remaniés (E1 et E2), altérés (E3 et E4) et très remaniés (E5) respectivement au niveau de la niche d'arrachement, à la surface de la masse glissée et au niveau du bourrelet frontal, à l'aide de carottier cylindrique en métal (h= 25 cm, Φ = 18 cm)(Fig. 10). Les échantillons ont été enrobés dans la paraffine, étiquetés et acheminés au laboratoire pour la réalisation des essais d'identification physique (analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056) et par micro-granulomètre laser, la détermination des limites d'Atterberg (NFP 94-051), l'activité de Skempton Ac = Ip / %(< 2 µm), la valeur de bleu du méthylène VBS (g/100g de sol) réalisée sur la fraction inférieure à 2 mm (NF P 94-068) et la valeur de la surface spécifique totale Sst := 21 VB (< 2 µm) et des essais mécanique (essai à l'œdomètre (XP P 94-090-1)) et l'essai de cisaillement direct (NF P 94-071)), ainsi que des analyses minéralogiques par diffraction des rayons X sur poudre totale et agrégats orientés). Toutes ces analyses ont été réalisées respectivement au Laboratoire public d'Etudes et d'Essais (LPEE) de Meknès (Maroc) et au Centre de Recherches et des Technologies (CRT) du technopôle de Borj Cedria (Tunisie).

RESULTATS

Acquisition de l'information avec Google Earth

De nombreux auteurs (FISHER *et al.*, 2012 ; GUZZETTI *et al.*, 2012 ; COROMINAS *et al.*, 2014) ont employé des méthodes pour la collecte, le traitement et l'analyse des données basées sur l'analyse des images Google Earth ; permettant la détection et la cartographie de glissements de terrain notamment en exploitant la visualisation en 3D et les couvertures multi-temporelles. L'analyse et l'interprétation de la série d'images multidates de Google Earth (2003, 2011 et 2013) (Fig.7, 8 et 9), ont permis de cartographier le glissement (Fig.10) et les différentes unités du paysage montagneux (végétation, cultures, lacs, réseaux hydrographique, routes, maisons). Ces différentes surfaces se distinguent sur les images de Google Earth en fonction de leur critères morphologiques (déplacement superficiel, drainage superficiel, forme générale du glissement), leur géométrie et l'aspect du couvert végétal. Par ailleurs, la comparaison entre les images de la série (Fig. 7, 8 et 9) montrent que :

- La population est en croissance continue, d'où une charge de constructions envahissant de plus en plus le territoire, sans tenir compte des conditions géotechniques du versant.
- Le déboisement inhérent aux besoins de la population en bois de chauffage, le surpâturage et les extensions des zones cultivées en plantes médicinales vers le lac, qui se trouve au niveau de l'amont du Jbel Outka, font reculer la forêt (déforestation). Cette extension est responsable de l'avancée spectaculaire du front de déforestation et reste l'ennemi principal de la stabilité du versant.
- La présence d'écoulements superficiels avec un changement et un détournement de trajectoires des eaux causent des dommages, surtout en cas de drainage des eaux à la surface du versant, dans des canaux en plastique perforé.
- L'augmentation des risques d'incendie à Jbel Outka, en particulier, constitue un fléau qui menace la pérennité de la forêt. En moyenne, 16 incendies, souvent d'origine criminelle, sont enregistrés annuellement causant la disparition de 58 ha de formation forestière (EL MAZI *et al.*, 2017).

Analyse minéralogique par diffraction des rayons X

La figure 11 représente les diffractogrammes des rayons X des échantillons étudiés (E1, E2, E3, E4 et E5), bruts en poudre. Les phases cristallines détectées sont le quartz et des phyllosilicates, notamment l'illite et la kaolinite.

L'identification des phases argileuses a été effectuée sur préparations orientées. En effet, la muscovite est un mica de raie 001 à 10 Å, dont le diffractogramme ne se distingue de celui de l'illite que par la largeur de la raie principale.

Les diffractogrammes réalisés après les traitements successifs sont présentés sur les figures 12 et 13. Au normal, un pic autour de 7Å (d) montre clairement la présence de kaolinite. La raie à 10.0 Å indique la présence d'illite. Le gonflement à l'éthylène - glycol affecte uniquement le pic de la smectite, dont l'équidistance passe de 14/15 Å à 17 Å. Le chauffage à 550°C provoque la transformation de toutes les argiles, hormis l'illite.

Ainsi, toutes ces mesures de diffraction X confirment clairement la présence de la kaolinite et de l'illite dans les cinq échantillons (E1, E2, E3, E4 et E5) étudiés avec des traces de smectite dans les échantillons E3 et E5.



Figure 7 : Informations extraites de l'image Google Earth 2003.



Figure 8 : Informations extraites de l'image Google Earth 2011.



Figure 9 : Informations extraites de l'image Google Earth 2013.



Figure 10 : Cartographie détaillée de la zone du glissement de Jbel Outka.



Figure 11 : Diffractogramme des rayons X sur poudre des échantillons étudiés.



Figure 12 : Exemple type d'une identification des argiles de l'échantillon E1 (préparation orientée) : Normal (N) - gonflé (GL) – chauffé à 550°C(CH).



Figure 13 : Exemple type d'une identification des argiles de l'échantillon E5 (préparation orientée) : Normal (N) - gonflé (GL) – chauffé à 550°C(CH).

Analyses géotechniques

Essais d'identification physique

Dans le tableau synthétique I, sont reportées les valeurs moyennes des principaux paramètres mesurés au niveau de chaque échantillon.

Echantillons	Niche d'arrachement		Surface de la	Bourrelet	
Paramètres	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5
% <80 μm	58	29	44	69	85
% < 2 μm	25,81	19,72	40,15	22,08	83,54
W _L %	39	40,3	51,6	39,5	63
L _P %	24	30	34,15	26,5	36
I _P %	15	10,3	17,45	13	27
A _c , SKEMPTON ,(1953)	0,6	0,5	0,34	0,6	0,32
VBS					
	2,91	1,87	3,52	3,04	6,86
S _{st,} GAILLABAUD & CINOT., (1982)	61	39	73,92	64	144

Tableau I : Propriétés physiques des échantillons étudiés.

 $\% < 80\mu$ m : pourcentage de passant au tamis 80 µm,% < 2 µm : proportions des particules inférieures à 2 µm, Ac : activité de Skempton, IP : indice de plasticité, Wl : limite de liquidité, VBS : valeur de bleu du méthylène, Sst : valeur de la surface spécifique totale.

Ainsi, on peut noter que le pourcentage de la fraction argileuse est compris entre 20 et 26 % pour les échantillons E1, E2 et E4 ; par contre, les échantillons E3 et E5 révèlent des valeurs élevées. Pareillement, les échantillons E1, E2 et E4 montrent des valeurs de limite de liquidité et de plasticité très proches, alors qu'E3 et E5 montrent des valeurs élevées, égales à 51% et 63 % respectivement.



Figure 14 : Diagramme de Casagrande des échantillons étudiés.

Ces échantillons, placés dans le diagramme de Casagrande indiquent que les sols dont ils relèvent sont dans leur globalité des argiles et des limons moyennement plastiques (Fig.14).

Par ailleurs, les valeurs d'activités obtenues pour les cinq échantillons sont inférieures à 0,6 ; elles traduisent ainsi des activités faibles.

Quant à la valeur au bleu de méthylène VBS, exprimée en bleu adsorbé par 100 g de l'échantillon sec, elle est inférieure à 2,5 pour l'échantillon E2, comprise entre de 2,5 et 6 pour les échantillons E1, E3 et E4 et supérieure à 6 pour l'échantillon E5. Indiquant que les sols dont ils relèvent sont, dans leur globalité, moyennement plastiques.

Enfin, la valeurde la surface spécifique varie entre 39 et 73 m²/g dans les échantillons E1, E2, E3 et E4 et est supérieureà 140 dans l'échantillon 5 ; ces résultats indiquent que les échantillons étudiés sont composés d'un mélange de minéraux argileux, contenant essentiellement de l'illite et de la kaolinite.

Estimation du potentiel de gonflement à partir des essais d'identification

Pour les cinq échantillons de cette étude, le potentiel de gonflement est analysé à l'aide d'une identification qualitative. Cette méthode consiste à déterminer indirectement (sans essais mécaniques) une corrélation entre le potentiel de gonflement et certains paramètres géotechniques (essais d'identification physique) selon plusieurs auteurs (tableau II).

Méthode d'estimation de potentiel	Paramètres de classification	Potentiel de gonflement				
de gonflement		Niche d'arrachement		Surface de la masse glissée		Bourrelet
		E 1	E 2	E 3	E 4	E 5
SEED et al. (1962)	Ac, %< 2 μm	Faible	Faible	Faible	Faible	moyen
PRIAN et al. (2000)	IP %	moyen	Faible	moyen	Moyen	élevé
DAKSANAMURTHY & ROMAN (1973)	Wl %	moyen	moyen	élevé	moyen	élevé
WILLIAMS & DONALDSON (1980)	IP %, %< 2 μm	moyen	faible	moyen	moyen	élevé
CHASSAGNEUX et al. (1996)	VBS	moyen	faible	moyen	moyen	élevé
BIGOT & ZERHOUNI (2000)	Ip, %< 80 μm, VBS	moyen	faible	moyen	moyen	élevé

 Tableau II : Potentiel de gonflement des cinq échantillons étudiés obtenus à partir de différents critères géotechniques établis selon plusieurs auteurs.

 $\% < 80 \mu m$: pourcentage de passant au tamis 80 μm , $\% < 2 \mu m$: proportions des particules inférieures à 2 μm , Ac: activité de Skempton, I_P: indice de plasticité, W₁: limite de liquidité, VBS: valeur de bleu du méthylène.

D'après les résultats obtenus et selon la plupart des méthodes utilisées, le potentiel de gonflement des sols est en général :

- Faible dans les schistes du Crétacé inférieur (E2) et moyen dans les marnes grises schisteuses sénoniennes (E1) prélevées au niveau de la niche d'arrachement.

- Moyen dans les schistes argileux (E3 et E4) à la surface de la masse glissée.

- Élevé dans les pâtes noirâtres argileuses (E5) prélevées au niveau du bourrelet.

Essais oedométrique

Les valeurs retenues pour les échantillons sont présentées dans le tableau III.

Echantillons	Niche d'arrachement		Surface de la	Bourrelet	
	E1	E2	E3	E4	E 5
Paramètres					
Ce	0.105	0.102	0.157	0.086	0.150
Cs	0.048	0.025	0.015	0.030	0.050
σι	54	51	62	56	38

Tableau III: Paramètres mécaniques des échantillons étudiés.

Cc : coefficient de compressibilité, Cs : indice de gonflement, σc : contrainte de préconsolidation.

En se référant à la classification basée sur les coefficients de compressibilité (PHILIPPONNAT & HUBER, 1979, LERAU., 2006), les échantillons E1 (Fig. 15), E2, E3 et E5, avec Cc entre 0,1 et 0,2 indiquent la présence de sols argileux moyennement compressibles alors que l'échantillon E4, avec Cc égal à 0,086, est peu compressible.



Figure 15 : Exemple type de courbe œdométrique d'un échantillon prélevé sur le terrain de glissement de Jbel Outka (E1).

Légende : Cc : coefficient de compressibilité, Cs : indice de gonflement, σc : contrainte de préconsolidation.

De leur côté, les valeurs obtenues des indices de gonflement sont légèrement plus élevées dans les matériaux E1 et E5 en comparaison avec E2, E3 et E4 dont les valeurs sont inférieures au seuil des matériaux gonflants (Cs= 0,04) selon COSTET & SANGLERAT, 1988. Ceci indique que les matériaux E2, E3 et E4 sont moins déformables que E1 et E5.

Quant à l'indice des vides évalué sur les matériaux étudiés, il est entre 0,36 et 0,60. Selon Philipponnat et Huber, 2000, cet indice est encadré par des valeurs limites de 0,4 et 1 caractérisant la présence de limons et d'argiles dans les matériaux étudiés.

Enfin, les valeurs de la contrainte de préconsolidation (σ 'p) sont légèrement plus élevées en E1, E2, E3 et E4 qu'en E5, attestant que ces matériaux sont moyennement compressibles.

Essai de cisaillement

Dans le tableau IV, les résultats des essais de cisaillement à la boite de Casagrande (Cisaillement Direct : CD), réalisés sur les matériaux testés montrent que les valeurs moyennes des cohésions effectives varient de 50 kN/m² à 89 kN/m² et les valeurs moyennes de l'angle de frottement effectif varient de 7° à 15°.

Echantillons	Niche d'arrachement		Surface de la	Bourrelet	
	E1	E2	E3	E4	E1
Paramètres					
C'p (kPa)	89	49,67	50,667	55,667	61
φ'p (°)	8,25	14,04	15,11	14,57	7,41

Tableau IV : Paramètres mécaniques des échantillons étudiés.

C'p (kPa) : la cohésion, $\phi 'p$ (°) : l'angle de frottement



Figure 16 : Exemple type de courbe intrinsèque d'un échantillon prélevé de glissement de Jbel Outka (E1).

Il est à noter que dans les sols, la rupture résulte du dépassement de la contrainte de cisaillement maximale qu'unsol puisse maintenir ; par conséquent, la résistance au cisaillement est le principal facteur pour la compréhension du comportement d'une masse de sol, les paramètres de résistance au cisaillement d'un sol étant la cohésion (C'p) et l'angle de frottement (ϕ 'p).

Ainsi, au niveau de la niche d'arrachement, la valeur de l'angle de frottement interne (ϕ 'p) obtenue sur l'échantillon E1 (Fig. 16) est plus faible que celle de l'échantillon E2 ; ceci serait dû à la teneur en argiles plus faible en E2. Inversement, la cohésion (C'p) trouvée en E2 est inférieure à celle trouvée en E1. Le même cas pour la surface de la masse glissée en E3 et E4 en comparant par rapport au bourrelet E5. De nombreux auteurs (BAUDRACCO *et al.*, 1982 ; CHRISTARAS, 1991 ; CHIGIRA *et al.*, 2002) ont rapporté que l'augmentation de la cohésion et la diminution de l'angle de frottement sont corrélés à l'accroissement de la teneur de l'argile.

Dans notre cas, la présence des schistes friables du Crétacé inférieur (E2) au-dessous des schistes argileux superficiels (E3) permet le déversement des eaux infiltrées au niveau de fissurations, à cause d'irrigation des cultures dans la zone d'étude à travers des canaux en plastique perforé, aggrave la situation. En effet, les schistes argileux sont très résistants en terme de caractéristiques mécaniques, avec une cohésion de plusieurs centaines de kN/m². Cependant, mis en contact prolongé avec l'eau, ils sont de forts absorbants et leurs propriétés mécaniques se dégradent gravement, jusqu'à provoquer un glissement de terrain.

En effet, cette couche (E2), de couleur brune, a une épaisseur variable entre 1 et 4 m avec une moyenne de 2,5m ; aussi, un angle de frottement de 14° et une cohésion de 50 kPa témoignent d'une faible résistance au cisaillement par rapport aux marnes grises schisteuses sénoniennes (E1) sus-

jacentes (ϕ 'p = 8° et C'p = 89 kPa). En outre, les essais de gonflement réalisés à l'aide d'un appareil œdométrique sur les échantillons intacts prélevés à différents endroits, donnent des pressions et des amplitudes de gonflement moyen variant respectivement entre 38 et 62 kPa, et entre 1,5 et 5 %. Ces résultats sont en accord d'une part avec les classifications basées sur les paramètres d'identification physique, et d'autre part, sont en concordance avec les résultats de l'analyse minéralogique qui ont révélé la présence de l'illite et de la kaolinite.

En fait, les fortes précipitations et la teneur en argiles sont principalement responsables de la réduction de la résistance et par conséquent du glissement dans la zone d'étude.

CONCLUSION

Au cours du présent travail, les observations et les études menées ont montré que plusieurs facteurs auraient contribué au glissement de terrain de Jbel Outka. Ceux-ci peuvent être regroupés en facteurs d'ordre naturel (prédisposition et déclencheurs), auxquels s'ajoutent les facteurs anthropiques.

Les facteurs de prédisposition au glissement dans la zone d'étude sont : la forte pente (> 30°), l'importante teneur en éléments fins (argiles et silts), un mélange de minéraux argileux contenant essentiellement de l'illite et de la kaolinite, la faible cohésion, l'angle de frottement interne assez élevé et le potentiel de gonflement faible dans les schistes du Crétacé inférieur (E2) et moyen dans les marnes grises schisteuses sénoniennes (E1) (au niveau de la niche d'arrachement). Aussi, la superposition de bancs gréseux-quartzitiques résistants (grès du Numidien) sur de des marnes grises schisteuses sénoniennes et des schistes très friables (du Crétacé inférieur), assez tendres, constitue d'importantes charges supplémentaires qui amplifient le mouvement.

Quant aux facteurs déclencheurs, ils se résument à l'action hydraulique où l'augmentation saisonnière de la pression hydrodynamique, liée aux fortes précipitations (dépassant les 1400 mm/an) et la présence des écoulements superficiels avec un changement et un détournement des trajectoires des eaux par des canaux en plastique perforés, jouent un rôle important dans la perte de stabilité des matériaux.

Enfin, l'intervention anthropique à travers la déforestation et l'extension des zones cultivées pour des plantes médicinales dans une pente relativement abrupte, conduit à un changement dans les caractéristiques géophysiques du versant et qui le rend sensible aux mouvements de masse.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARDIZZONE, F., CARDINALI, M., GALLI, M., GUZZETTI, F. & REICHENBACH, P., 2007. Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne Lidar, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7 : 637–650, doi:10.5194/nhess-7-637-2007.

BAUDRACCO J., BEL M. & PERAMI R., 1982. Effets de l'altération sur quelques propriétés mecaniques du granite du Sidobre (France). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 25 : 33-38.

BIGOT, G. & ZERHOUNI, M-I.,2000. Retrait, gonflement et tassement des sols fins, Bulletin du Laboratoire des Ponts et Chaussées 229 : 105-114.

COROMINAS, J., VAN WESTEN, C., FRATTINI, P., CASCINI, L., MALET, J. P., FOTOPOULOU, S., CATANI, F., VAN DEN EECKHAUT, M., MAVROULI, O., AGLIARDI, F., PITILAKIS, K., WINTER, M. G., PASTEUR, M., FERLISI, S., TOFANI, V., HERVÁS, J., &SMITH, J. T., 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of engineering geology and the environment:* 79:209-263.

CHASSAGNEUX D., STIELJES L., MOUROUX P., MÉNILLIET F. & DUCREUX G.H., 1996.Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse/pluie) à l'échelle départementale. Approche méthodologique dans les Alpes de Haute-Provence. Rapport BRGM/RR-39218-FR, 74p.

CHIGIRA M., NAKAMOTO M. & NAKATA E., 2002. Weathering mechanisms and their effects on the landsliding of ignimbrite subject to vapor phase crystallization in the Shirakawa pyroclastic flow, northern *Japan Engineering Geology*, 66: 111-125.

CHRISTARAS B., 1991. Méthode d'évaluation de l'altération et modification des propriétés mécaniques des granites en Grèce du Nord. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43: 21-26.

COSTET J. & SANGLERAT G.,1988. Cours pratique de Mécanique des sols 2 (Calcul des ouvrages). 3e Ed./ Paris. Dunod. 3.

DAKSHANAMURTHY V. & RAMAN V., 1973. A simple method of identifying an expansive soil. *Soils Found* 13 (1): 97–104.

DJEDID A. & BEKKOUCHE A., 2001. Identification and prediction of the swelling behaviour of some soils from the Tlemcen region of Algeria. *Bull LPC* 4375(233) : 69–77.

DURAND D., HOTEINGER M., MARCAISL., MATTAUER J., MILLIARD M. & SUTER G., 1960–1962. Données actuellessur la structure du Rif. In livre mémoire P Fallort, mem. *Soc. Géol. fr, hors series,* n°1, t i : 399-422.

EL MAZI M., HOUARI A. & EL FENGOUR M., 2017. Apport de la télédétection et du SIG au suivi de la dynamique spatiotemporelle des forêts dans le massif numidien de Jbel Outka (Rif central, Maroc), Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT), n.º 11 (junho). *Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território*, 11: 171-187

FISHER, G. B., AMOS, C. B., BOOKHAGEN, B., BURBANK, D. W. & GODARD, V., 2012. Channel widths, landslides, faults, and beyond: The new world order of high-spatial resolution Google Earth imagery in the study of earth surface processes. *Geological Society of America.Special Papers*, 492:1-22.

GAILLABAUD P & CINOT J.C., 1982. Utilité de l'essai au bleu de méthylène en terrassements routiers, Travail de fin d'études à l'ENTPE, Lyon, 153p.

GUZZETTI, F., MONDINI, A. C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M. & CHANG, K. T.,2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112:42-66.

LÉRAU J., 2006. Cours de Géotechnique 1, Chapitre 1, 3ème année Ingénierie de la construction, Département de Sciences et Technologies, INSA Toulouse : 6-8 p.

MAGNAN D., 1993. Caractérisation in situ des sols gonflants : l'essai Expansol. Thèse de doctorat, Université J. Fourier, Grenoble : 190 p.

MAURER, G., 1968. Les montagnes du Rif central, étude géomorphologique. Trav. Inst. Sc. Chérif., Rabat, Ser. Géol. et Géogr. Phys. :138-141.

PHILIPPONNAT G., ET HUBER B., 1979. Fondations et ouvrages en terre, Eyrolles, Paris, 499 p.

PHILIPPONNAT G. & HUBERT B., 2000. Fondations et ouvrages en terre, Deuxième tirage 2000, 576p.

PRIAN J.P., DONSIMONI M., VINCENT M. avec la collaboration de DENIS L., GALLAS J.-C., MARTY F. & MOTTEAU M., 2000. Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. Rapport BRGM n° RP-50376-FR.

RAHHAL M.E., HAJAL M., SEOUD J.P. & RAFIE E., 2013. Analyse des glissements de terrains en région urbanisée. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013.

SEED H.B., WOODWARD R.J. & LUNDGREN R., 1962.Prediction of swelling potentiel for compacted clays. *J Soil Mech Found Div ASCE* 88:107–131.

SKEMPTON A.W.,1953. The colloidal activity of clays. Proceeding of the Third International Conference of Soils Mechanics and Foundation Engineering: 57-61.

VIJAYVERGIYA V.N.& GHAZZALY O.I., 1973. Prediction of swelling potential for natural clays, 3rd Int.Conf. onExpansive Soils, Haifa: 227–236.

WILLIAMS A.B & DONALDSON G.W., 1980. Developments related to building on expansive soils in South Africa. In: Proceedings of the 4th international conference on expansive soils, Denver 2:834–844.

Normes utilisées :

AFNOR 1993, détermination des limites d'Atterberg, limite de liquidité à la coupelle, limite de plasticité au rouleau. Normalisation française, NF P 94-051.

AFNOR 1994, reconnaissance et essais : Essai de cisaillement rectiligne a la boîte, Cisaillement direct. Normalisation française, NF P 94-071-1.

AFNOR 1995, essai de gonflement a' l'odomètre. Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes. Normalisation française, XP P 94-090-1.

AFNOR 1996, analyse granulométrique d'un sol, méthodes par tamisage. Normalisation française, NF P 94-056. AFNOR 1998, reconnaissance et essais : mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Normalisation française, NF P 94-068.