



## CARACTÉRISATION DU GLISSEMENT AFFECTANT LE VERSANT CÔTIER DE TIGZIRT (ALGERIE)

### CHARACTERIZATION OF THE LANDSLIDE AFFECTING THE TIGZIRT COASTAL SLOPE (ALGERIA)

Réception : 10 /01 /2020

Acceptation : 05/05 /2020

Publication : 25 /06 /2020

**GUIROUS Lydia <sup>1</sup>, MELBOUCI Bachir <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire Géomatériaux Environnement et Aménagement - Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, [lguirous@yahoo.com](mailto:lguirous@yahoo.com)

<sup>2</sup> Laboratoire Géomatériaux Environnement et Aménagement - Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, [melbouciba@hotmail.fr](mailto:melbouciba@hotmail.fr)

#### RESUME

La morphologie du Nord algérien est caractérisée par des versants à stabilité précaire. Le glissement de terrain de la ville de Tizirt (Wilaya de Tizi-Ouzou, Algérie) est un phénomène gravitaire représentant l'un des cas de glissements actifs et spectaculaires qu'a connu la région au cours de ces dernières années. Il affecte une formation marneuse souvent altérée et fissurée. Les cas de désordre liés à cet aléa sont de plus en plus nombreux et leurs conséquences de plus en plus lourdes. Les facteurs à l'origine de ces glissements sont principalement liés à la structure géologique, aux conditions hydro-climatologiques et à la topographie de la région. Mais leurs mécanismes d'évolution ne sont pas totalement connus, d'où il est difficile d'établir des prévisions fiables. L'instabilité est localisée dans un versant composé de marnes surmontées par des dépôts quaternaires récents d'une inclinaison d'environ 13 à 15°. Ce mouvement est sous forme plan avec une ligne de rupture bien apparente dans les sondages. L'étude a pour objectif de mieux connaître les causes de l'instabilité de ce glissement particulier qui est soumis à deux actions simultanées : d'une part le mouvement gravitaire du versant vers la mer et d'autre part l'action de la mer sur le versant. Ainsi, l'étude que l'on propose de développer se situe à la charnière entre la géologie, la géomorphologie et la mécanique des sols, et permet une analyse plus globale et plus fines des instabilités du versant.

**Mots-clés** : Glissement de Tizirt, Désordres, Caractéristiques, Calcul de stabilité.

#### ABSTRACT

The morphology Northern Algeria is characterized by precarious stability of slopes. The landslide in the city of Tizirt (Tizi-Ouzou, Algeria) is a gravity phenomenon representing one case of active and dramatic shifts experienced by the region over recent years. It affects a marl formation often altered and cracked. The cases related to this hazard disorder are becoming more numerous and their consequences more severe. The factors behind these shifts are mainly related to the geological structure, hydro-climatic conditions and topography of the region. But the revolutionary mechanisms are not fully known; this is the reason why it is difficult to make reliable forecasts. Instability is located in a slope composed of marl overlain by Quaternary deposits of recent inclination of about 13 to 15 °. This movement's shape is plan with a clearly visible fracture line in the polls. The aim of the study is to better understand the causes of the instability of this particular sliding which is subjected to two simultaneous actions, on the one hand the gravitational movement of the slope towards the sea and on the other hand the action of the sea on the slope. Thus, this study is situated at the cross roads between geology, geomorphology and soil mechanics, and allows a more global and finer analysis of the instabilities of the slope.

**Keywords**: Tizirt slope, Troubles, Features, Stability calculation.

## 1- Introduction

Les glissements de terrain jouent un rôle clé dans l'évolution du relief et représentent un risque majeur pour les populations en domaine montagneux, sismique et côtier. Un des freins important à la compréhension et à la prévention de ces instabilités gravitaires est le manque de données sur leur dynamique d'évolution. En effet, le caractère destructeur et imprévisible de ces événements rend les mesures sur le terrain extrêmement difficiles [1]. Dans leur principe, les mouvements de terrain sont bien compris : ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs qui peuvent être dus à l'effet de la gravité, de l'eau, des séismes ou des actions anthropiques. Leur dynamique répond naturellement à des lois de la mécanique. Ces mouvements de terrain présentent une typologie très variée en termes de forme (glissement plan, rotationnel, solifluxion...), d'ampleur (quelques mètres cubes jusqu'à plusieurs millions de mètres cubes) et de cinématique (entre quelques millimètres par an et plusieurs mètres par seconde). Dans ce travail, on étudiera le glissement de « Tizirt », où l'on constate ces dernières années une concentration croissante des populations et des activités largement rassemblées sur les franges côtières. La prédiction des mouvements de terrains est un challenge très important dans le domaine de la géotechnique. Beaucoup de facteurs prédisposant, déclenchant ou révélateurs tels que les caractéristiques géotechniques, les caractéristiques hydrologiques, les conditions de site et de séisme, influencent le comportement des pentes (naturelles ou artificielles) [2]. Ce mouvement est bien localisé à des profondeurs moyennes. Il évolue de manière lente dans le temps vers des profondeurs plus prononcées [3]. Certains signes sont visibles en surface (fissures dans les murs des habitations, bourrelets dans les champs, poteaux penchés...). Comme il est influencé aussi par d'autres phénomènes

naturels soit : hydrogéologiques ; dynamique ..., etc. [4].

## 2- Contexte géographique, géologique, hydrologique et géotechnique

La ville de Tizirt est fondée dans des terrains marneux surmontés par des dépôts quaternaires récents fissurés. Selon les études géotechniques de [5], cette ville balnéaire est affectée par plusieurs instabilités de terrain. Il s'agit de la zone Est, la zone Centrale et la zone Ouest. Ce mouvement est actif et étendu : il affecte une superficie supérieure à 136 ha et s'étend sur une longueur d'environ 1390 m. Ce glissement affecte le versant depuis les sommets des collines Sour-Bouaouine, Agouni Rehal et Tissira Ghoulid à une altitude d'environ 270 m jusqu'au large des plages Feraoun et Tassalast au bas de la RN24 [6]. Il s'effectue à l'interface entre le substratum marneux et les couches superficielles. Il mobilise une couche de sol d'une épaisseur maximale supérieure à 30 m. Le versant se déforme avec un mouvement lent et progressif vers le Nord (vers la mer) d'après l'étude de [5]. L'instabilité de ce site est connue depuis au moins 1977. Plus récemment, les différents constats qui ont été établis sur les lieux, ont identifié cette instabilité et ont conclu à un glissement de terrain [6, 7].

## 3- Localisation des zones instables à Tizirt

Au niveau de Tizirt, trois zones instables ont été répertoriées : il s'agit de la coulée centrale de Tizirt s'étalant du creux de la plage Feraoun à l'Est au ravin du ruisseau d'Azal à l'Ouest et des deux autres coulées Est (d'Agouni Rehal) et Ouest (au droit de la route du port).

Dans la coulée centrale, la partie Est est soumise à une érosion littorale et la partie Ouest entièrement déstabilisée entre la RN24 et la côte avec une activité plus forte au niveau du lieu dit « Les Bungalows » [4, 8].

Dans la coulée Ouest, la pente abrupte de la RN24 présente deux instabilités : une instabilité diffuse entretenue par des rejets d'eau pluviale et une instabilité chronique entretenue par une instabilité non maîtrisée d'eau pluviale.

Dans la coulée Est, l'affaissement de la RN24 en deux endroits peut se poursuivre et affecter les habitations.

#### 4- Indices observés

L'influence des variations du niveau de la nappe au sein du massif sur les déplacements en surface traduit une commande hydraulique typique des glissements de terrain profonds affectant les versants côtiers marneux [9]. En effet, les variations cycliques des pressions interstitielles au niveau de la surface de glissement induisent des phénomènes de fluage, responsables d'une déstructuration progressive et d'une réorientation des minéraux argileux en feuillets parallèlement à la direction du cisaillement, se traduisant par des déformations engendrant des désordres dans le versant (figures 1, 2 et 5).

Ainsi, de nombreux indices de glissement ont été observés. Au niveau des bungalows, le premier a été complètement endommagé et renversé, les autres présentent également des fissurations assez importantes [6, 10]. On peut aussi observer l'inclinaison de certaines constructions (figure 4), la fissuration sur les murs, les fissures de soulèvement de dallage, la fissuration et l'effondrement des murs de clôture (figure 3) et l'endommagement des conduites d'eaux. D'autres indices peuvent être aussi cités tels que : ouverture centimétrique de joints entre blocs (Figure 6) ; niches d'arrachement (figure1), nombreuses fissures d'ordre centimétrique généralement perpendiculaires à la pente du site (Figure 2) ainsi que des affaissements et dégradations de la route nationale RN24 à l'entrée du port.



**Figure 1 :** Désordres montrant un affaissement d'environ 5 m.

**Figure 1:** Disorders showing a sagging of about 5 m.



**Figure 2 :** Désordres montrant la surface de rupture.

**Figure 2 :** Disorders showing a rupture surface



**Figure 3 :** Fissuration d'un mur de clôture.

**Figure 3:** Cracking of a fence wall



**Figure 4 :** Inclinaison et basculement d'une structure et fissuration des poteaux.  
**Figure 4:** Inclination and tilting of a structure and cracking of columns



**Figure 5 :** Repoussement de la ligne de côte.  
**Figure 5:** Pushing back the coast line.



**Figure 6 :** Écartement du joint de dilatation.  
**Figure 6:** Spacing of the expansion joint.

Les signes observés permettent de définir le caractère actif du mouvement. Cependant, l'allure du pied du versant a largement été remodelée par le mouvement de terrain et le phénomène d'érosion côtière. Plusieurs signes d'érosion ont été observés : présence de zones chaotiques de roches en bord de mer, recul du trait de côte (figure 5) (observé sur les photos aériennes), changement de la couleur de l'eau en bord de mer (présence de particules fines dans l'eau), etc.

## 5- Spécificité de la zone d'étude

Les glissements de terrain côtier affectent considérablement l'écosystème. Le mouvement gravitaire du versant vers la mer cause une augmentation du niveau de la mer et ainsi l'inondation de certaines zones du versant. Ce phénomène est observé pour la ville côtière de Tizirt. En utilisant l'outil de cartographie Map-Info et en exploitant des images aériennes de Tizirt prises en 2006, 2011 et en 2016, on a observé une importante évolution du trait de côte au niveau de Tizirt [4]. Des zones d'inondation ont été observées sur les limites Est et Ouest du glissement ; tandis qu'au niveau de la zone de glissement, une avancée du trait de côte a été observée. Cette dernière est due à la formation d'un bourrelet de pied dû au mouvement de terrain. En effet d'après [11], la morphologie des versants instables est caractérisée par l'observation d'une zone de soulèvement du terrain au niveau du pied du glissement appelée bourrelet de pied ou bourrelet frontal.

## 6- Contexte géologique et hydrogéologie

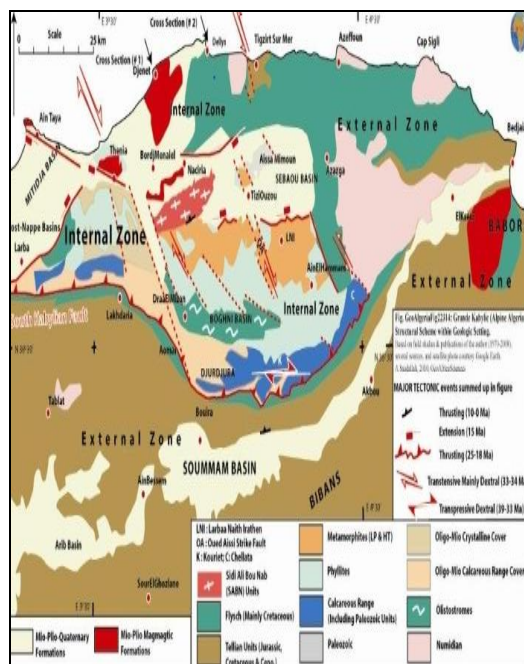
La région de Tizirt est constituée de formations appartenant à l'unité tellienne de Dellys et des terrains appartenant à l'unité numidienne (figure 7).

L'unité tellienne est constituée de marnes et bio micrites en plaquettes. La formation numidienne est constituée d'argiles numidiennes à la base, de grès numidiens et

des formations marneuses et marno-calcaires très fossilifères.

Le bassin versant de la région de Tizgirt s'étale du sommet de la montagne jusqu'à la mer. L'analyse de la carte du réseau hydrographique montre l'absence de grands cours d'eau importants à l'exception de petits oueds qui circulent en période de crue et qui sont généralement secs en été.

Il est à remarquer que le pendage est vers le Nord et dans le même sens que la pente générale des terrains. Cette structure pourrait constituer une prédisposition au glissement des formations supérieures par rapport aux formations inférieures.



**Figure 7 :** Carte géologique des faciès rencontrée à Tizgirt selon [12].

**Figure 7 :** Geological map of the facies encountered at Tizgirt according to [12].

## 7- Données climatiques

Les précipitations de la région de Tizgirt sont irrégulières et le climat a été décrit comme assez froid en hiver et chaud et sec en été. Les précipitations les plus élevées sont obtenues au mois de novembre (109.8 mm) et la température maximale de (30.7°C) au mois d'août. Les humidités minimales sont de

l'ordre de 40.8% en juillet et maximales de l'ordre de 94% en février.

## 8- Caractéristiques géotechniques des formations

La géologie locale du site affecté par le mouvement de terrain est étudiée en exploitant les résultats des sondages carottés réalisés dans la région en 2002 (huit sondages) par le laboratoire LNHC et en 2009 (cinq sondages) par le laboratoire GEOMICA [13]. Les résultats des investigations réalisées montrent l'existence dans cette région de deux couches principales de sol et d'une zone remaniée d'une épaisseur d'environ 2 m (l'interface entre les éboulis de grès argileux et la marne grise).

**8.1- Les éboulis argileux :** il s'agit d'une couche de grès emballée dans une matrice argileuse. Cette couche est d'une épaisseur de 10 m à 29 m.

**8.2- La deuxième couche est une marne beige altérée :** il s'agit de la frange altérée du substratum marneux d'une épaisseur moyenne d'environ 2m. L'altération de la marne a été facilitée par l'action physico-chimique de l'eau (l'eau de mer et hydrologie du site) et la morpho-structure du substratum (marne à aspect schisteux). Cette couche est caractérisée par des caractéristiques mécaniques faibles. Le substratum est constitué de marne grisâtre feuilletée avec un taux de  $\text{CaCO}_3$  compris entre 43 et 51%. Cette couche est caractérisée par LNHC [5].

L'étude géotechnique de la zone de Tizgirt a conclu à un glissement suivant une surface plane. Celle-ci est localisée au niveau d'une fine couche altérée située à l'interface d'éboulis/marnes. Elle est plane dans les hauteurs en amont et est circulaire en aval au pied immergé dans l'eau.

Les principales caractéristiques physiques des terrains de Tizgirt sont regroupées dans le tableau 1.

**Tableau 1 :** Caractéristiques physiques des formations de Tizirt.  
**Board 1:** Physical characteristics of Tizirt formations.

Formations	Densité sèche	Passant à 2 $\mu\text{m}$ (%)	Passant à 80 $\mu\text{m}$ (%)	Passant à 2 mm (%)	WP (%)	WL (%)	IP	W <sub>nat</sub> (%)
Éboulis grésio-argileux	1,43 à 1,73	45 à 52	75 à 80	87 à 98	27 à 38	44 à 73	17 à 46	19 à 30
Marne altérée	1,38 à 1,58	15 à 29	42 à 60	72 à 95	25 à 35	48 à 63	18 à 38	20 à 30
Marne saine	1,99 à 2,34	35 à 45	74 à 90	86 à 98	25 à 31	49 à 59	23 à 29	27 à 40

Comme le glissement de Tizirt est relativement ancien donc les paramètres  $C$  et  $\phi$  à prendre en compte dans les calculs de stabilité le long de la surface de glissement sont très certainement proches des caractéristiques résiduelles :  $C_{\text{rés}} = 0$  et  $\phi_{\text{rés}} \leq \phi \leq \phi_{\text{pic}}$ . Vu le manque de données sur l'étude géotechnique, on a eu recours aux corrélations établies par [14]. Celles-ci consistent en un calcul de stabilité à rebours (rétro-analyse à l'équilibre limite), en considérant une nappe à 3 m de profondeur, une pente infinie de  $15^\circ$  et une surface de glissement parallèle au terrain naturelle à 30 m de profondeur. Le coefficient de sécurité obtenu est alors égal à 1.

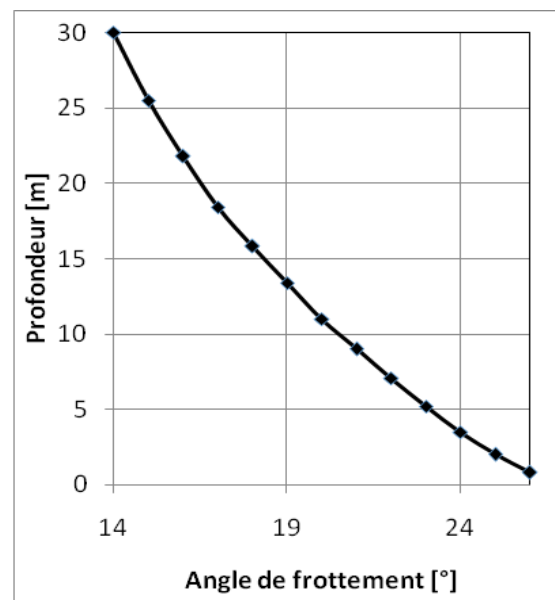
En considérant que  $F = 1$  lorsque la nappe est au niveau du terrain naturel (cas le plus favorable pour le calcul de  $\phi'$ ) et avec  $\beta = 14^\circ$ , il vient :  $\phi' \approx 26^\circ$ .

On en déduit pour :

- éboulis grésio-argileux :  $IP = 17$  à  $46 \rightarrow \phi'_{\text{pic}}$  de l'ordre de  $26^\circ$  à  $31^\circ$  ;
- marne altérée :  $IP = 18$  à  $38 \rightarrow \phi'_{\text{pic}}$  de l'ordre de  $27^\circ$  à  $31^\circ$  ;
- substratum marneux sain :  $IP = 23$  à  $29 \rightarrow \phi'_{\text{pic}}$  de l'ordre de  $28^\circ$  à  $30^\circ$ .

La figure 8 ci-après représente l'évolution de la profondeur de la nappe par rapport au terrain naturel permettant d'obtenir  $F=1$  en fonction de l'angle  $\phi'$  (avec  $\beta = 14^\circ$  et

une surface de glissement située à 30 m de profondeur).



**Figure 8 :** L'évolution de la profondeur de la nappe par rapport au terrain naturel permettant d'obtenir  $F=1$  en fonction de l'angle  $\phi'$ .

**Figure 8:** The evolution of the depth of the water table compared to the permanent natural ground of obtaining  $F=1$  according to the angle  $\phi'$ .

## 9- Facteurs déclencheurs de l'instabilité

Ce glissement de terrain s'explique par la conjonction de facteurs de prédisposition (permanents : nature et structure des formations géologiques, pente, etc.) et des facteurs déclencheurs comme : la pluie, une fuite de canalisation, une secousse sismique ou une nappe souterraine selon ces fluctuations liées aux conditions météorologiques ou parfois aux actions humaines.

### 9.1-Facteurs permanents

Ces facteurs sont liés directement aux conditions du site : géométrique et géologique (sa topographie, sa morphologie et sa stratigraphie). Le versant est de pente variant de 20° à 25° et le pendage des couches est de 20° à 40° et orienté dans la même direction vers la mer. Cela favorise la mobilisation du versant.

### 9.2-Facteurs accidentelles

Ces facteurs sont liés à l'environnement qui entoure le versant. Ils peuvent être internes ou externe. Les principaux facteurs climatiques sont :

- L'altération qui est due aux changements climatiques brusques (alternance de sécheresse et de vague de froid). L'effet de la température élevée, la pluie, le vent, etc., active la fragmentation et le remaniement du substratum ;
- L'augmentation des pressions interstitielles par infiltration d'eau ;
- L'accumulation des précipitations qui fragilisent les substratums ;
- L'intensité des orages. Prenant l'exemple des eaux de pluie qui vont s'infiltrer dans le sol et qui engendreront l'augmentation du niveau de la nappe qui induira une augmentation de la contrainte de cisaillement dans le sol et qui engendrera le glissement de terrain [15];
- La salinité des eaux de mer est aussi un facteur défavorable pour la stabilité du massif. Elle rentre en interaction avec des substances chimiques du substratum et casse leurs

liaisons. Ce qui favorise la fissuration superficielle et profonde des roches et le phénomène de transport des fines.

Dans le domaine hydrogéologique, les modifications du régime hydraulique (saturation du matériau, augmentation des pressions interstitielles, etc.) varient selon les saisons et les fluctuations de la nappe (teneur en eau des échantillons).

La nature sismo-tectonique des diverses extensions intervenant le long de la frontière est variable et, dans un sens général, représente les étapes intermédiaires, entre les éléments des deux extrémités de convergence des plaques africaine et européenne. Ce qui fait que Tizirt fait partie de cette zone fortement active classée par le RPA dans la zone IIa.

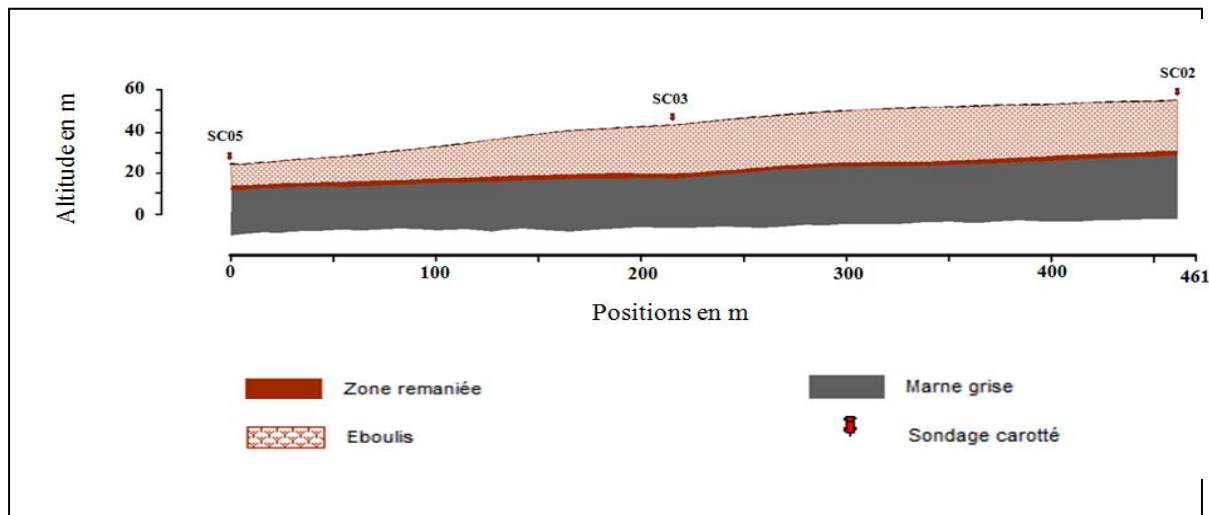
## 10- Structure du glissement de Tizirt

Une seule surface de glissement a été observée dans ce versant instable. Cependant, la présence en profondeur d'autres zones de faiblesse ou de rupture qui n'ont pas été reconnues n'est pas exclue vu que les investigations réalisées sont incomplètes (les sondages carottés ne sont pas profonds). L'analyse des photos aériennes prises à des dates différentes (2006, 2009, 2011 et 2014) permet d'observer une importante déformation du pied du versant. Cette déformation est due soit à un mouvement de terrain profond soit au fluage des couches superficielles de la marne.

La surface de glissement dans cette région se développe au niveau de la frange altérée du substratum marneux qui présente les caractéristiques mécaniques les plus faibles [16]. Elle se trouve à une profondeur supérieure à 30 m et a mis en œuvre plusieurs mécanismes d'affaissement compartimentés. Il s'agit du déplacement gravitaire de la couche d'éboulis argileux d'une épaisseur d'environ 30 m, par rapport au substratum marneux sain, le long d'une surface de glissement plane.

La surface de rupture hypothétique est reportée sur une coupe longitudinale du versant instable (figure 9). La coupe géologique du versant a été définie en exploitant les résultats du sondage SC01 et des coupes transversales

réalisées à partir des sondages SC05-SC03-SC02 et SC05-SC04. Pour la définition de la lithologie du site en amont du sondage SC01, les couches de sol ont été supposées suivre le pendage observé en aval (parallèles à la pente du versant).



**Figure 9 :** Profil géologique réalisé selon les sondages SC05-SC03-SC02.

**Figure 9:** Geological profile produced according to surveys SC05-SC03-SC02.

La sismo-tectonique régionale peut causer une rupture brusque du versant instable de Tizirt (vu que cette ville est localisée dans une zone tectonique active [17] ; ce qui engendrerait l'inondation totale ou partielle des plages proches de la zone de glissement et probablement d'une marée haute de l'autre côté de la méditerranée).

En outre, le glissement de terrain du centre-ville de Tizirt est aussi lié aux aménagements du site et à l'activité tectonique des failles. L'effet du recul du niveau de la mer, d'environ 0.12 m/an à 0.75 m/an, au niveau du Nord de l'Algérie, (résultant de l'effet des changements climatiques récents) engendre une augmentation du niveau de la mer évalué à environ 2 mm/an à 2.5 mm/an [18, 19, 20]. Les sollicitations mécaniques induites par le séisme dans le versant et le soulèvement probable du versant relativement récent à l'échelle géologique du fait du jeu de la faille de Thénia [21] (faille à l'origine du séisme de Boumerdès), a sans doute accentué la vulnérabilité de ce versant côtier à stabilité précaire et déjà fragilisé par l'important développement de l'urbanisation ; ce qui a conduit à l'amorce d'une instabilité de terrain qui affecte environ 136 Ha [22].

## 11- Calcul de stabilité

Pour vérifier et confirmer la forme de la surface de glissement, les calculs de stabilité sont effectués en trois phases : sans nappe avec surcharges, avec nappe sans séisme, avec nappe et séisme dont l'incidence de ces paramètres sur les glissements est très importante. Pour mettre en évidence l'action de cette nappe, la stabilité sera vérifiée en faisant fluctuer le niveau de la nappe jusqu'à 10m de profondeur. La région de Tizirt étant située dans une région sujette aux séismes, les calculs selon les différentes phases seront menés avec d'abord la méthode statique (sans sollicitation sismique), puis en tenant compte de l'excitation sismique du sol, par la méthode pseudo-statique, caractérisée par les coefficients sismiques  $a_h$  et  $a_v$  conformément au règlement parasismique algérien, zone classée IIa groupe d'usage 2,  $a_h=0.075$   $a_v=0.0225$ .

L'outil de calcul de stabilité utilisé est TALREN 4. C'est un logiciel qui offre diverses méthodes de calcul interactif (telles que la méthode de Fellenius, de Bishop, et de Morgenstern-Price) avec possibilité d'étudier le renforcement. Dans des configurations simples du terrain en pente, telles que le cas de notre application où le terrain a un nombre limité de couches, il est possible de déterminer le coefficient de sécurité du versant selon les



différentes conditions soit morphologique, la pente, le chargement, la présence ou non de la nappe ainsi que l'excitation sismique.

Ces trois méthodes d'équilibre limite sont fondées sur l'hypothèse de la division de la masse susceptible de glisser en tranches et ceci implique des hypothèses supplémentaires sur les forces entre tranches et par conséquent sur l'équilibre.

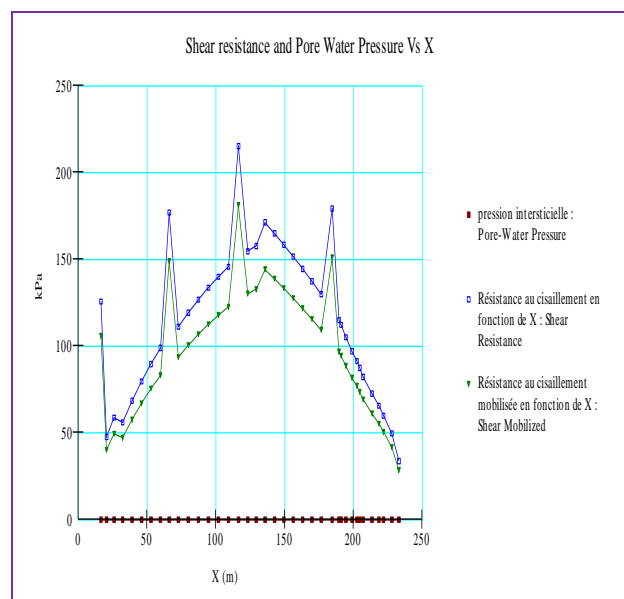
Les valeurs des coefficients de sécurité  $F_s$  calculés selon les trois méthodes (Fellenius, Bishop et Morgenstern-Price) sont approximativement proches, bien qu'ils changent selon les conditions imposées et les hypothèses et les simplifications appropriées à chaque méthode. En effet, la méthode de Fellenius donne des valeurs de  $F_s$  très petites, du fait qu'elle est élaborée sur des hypothèses très simplificatrices. La méthode de Bishop est la plus adaptée à ce type de calcul en tenant compte des forces horizontales inter-tranches et des poussées d'écoulement. Par contre, la méthode de Morgenstern-Price reste une méthode précise et applicable à toutes les géométries et types de sol. Elle tient compte de l'inclinaison des efforts inter-tranches. Celle-ci a donné les valeurs les plus élevées de  $F_s$ .

Dans la première phase où le versant est sans nappe, sans surcharge et sans séisme, les calculs obtenus à partir des trois méthodes vérifient sa stabilité ( $F_s > 1,5$ ). En introduisant l'effet des charges dans la première phase, le versant devient instable avec un coefficient de sécurité  $F_s$  variant de 1.10 à 1.45 en fonction de la méthode choisie ; ceci confirme que les surcharges ont un effet néfaste sur la stabilité du versant. En reproduisant le cas réel d'un versant avec nappe et surcharge en phase 2, les calculs aboutissent à une instabilité certaine du profil avec  $0,66 < F_s < 1,02$ . En baissant la nappe à 8 m de profondeur, le coefficient de sécurité des trois méthodes varie entre 0.74 et 1.33. Ceci montre que la variation du niveau de la nappe à une grande importance sur la stabilité du site, les infiltrations des eaux sous la couche du remblai provoque une diminution de ce coefficient. Par contre, la présence d'une excitation sismique dans la phase 3 sur le versant accentue son instabilité et cela quelque soit la méthode utilisée avec  $0,57 < F_s < 0,74$ . Donc, l'effort sismique et la position de la

nappe ont une très grande influence sur la stabilité du site étudié.

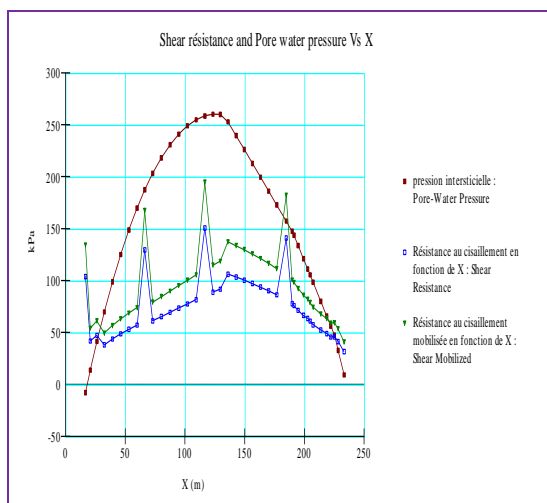
La figure 10 illustre la répartition de la résistance au cisaillement du versant et de la résistance au cisaillement mobilisée le long de la surface de rupture. Le graphe suit une allure hyperbolique avec des pics au droit des surcharges sur le profil.

Dans le cas sans nappe, la résistance au cisaillement mobilisée sur le talus est légèrement inférieure à la résistance au cisaillement du versant. Le versant est alors proche de la stabilité. Tandis que dans le cas de la présence de la nappe, la figure 11 montre que la résistance au cisaillement mobilisée est supérieure à la résistance propre du versant. Le versant est alors instable.



**Figure 10 :** résistance au cisaillement le long de la surface de rupture selon la méthode Morgenstern et Price dans le cas avec surcharge et sans nappe ;

**Figure 10:** shear strength along the fracture surface according to the Morgenstern and Price method, in the case of overload and without water table,



**Figure 11** : résistance au cisaillement le long de la surface de rupture selon la méthode Morgenstern et Price dans le cas avec nappe, surcharge et effet du séisme.

**Figure 11:** shear strength along the fracture surface according to the Morgenstern and Price method in the case with water table, overload and effect of earthquake.

Cette instabilité est accentuée non seulement par la présence d'une excitation sismique mais aussi par l'urbanisation anarchique simulée par des surcharges tout au long du profil.

## 12- CONCLUSION

Le glissement de terrain du centre-ville de Tizirt est caractérisé par un mouvement lent et étendu. Plusieurs facteurs ont agi pour activer cette instabilité ; il s'agit des conditions du terrain (le contexte géologique et morphologique), de l'eau et de l'homme. La zone affectée par le mouvement de terrain s'étale sur une superficie supérieure à 136 ha. Il est caractérisé par des périodes de calme (période estivale) et des périodes d'accélération du mouvement qui correspondent aux périodes de fortes précipitations représentées par une augmentation du niveau de la nappe. En outre, l'historique de ce glissement a montré l'existence d'une relation étroite entre l'activité du glissement et le climat (les précipitations). Les résultats des calculs de stabilité ont mis également en évidence cette relation ; ce qui démontre que ce glissement est caractérisé par une commande hydraulique.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] CONFORTI M., RAGO V., MUTO F., VERSACE P., (2016) : GIS-based statistical analysis for asses sings hallow-land slide susceptibility along the highway in Calabria (Southern Italy). *Ren. On line Soc. Geol. It* 39: 155 – 158.
- [2] IETTO F., PERRI F., CELLA F., (2018) Wheat herring characterization for landslides modeling in granitoid rock masses of the capo Vaticano promontory (Calabria, Italy). *Landslides* 15:43 – 62.
- [3] DJERBAL L., KHOUDI I., ALIMRINA N., MELBOUCI B. et BAHAR R. (2017), Assessment and mapping of earth quake induced landslides in Tizirt city, Algeria. *Natural Hazards - Journal of the international society for the prevention and mitigation of Natural Hazards* (2017) ; DOI :10.1007 /s11069-017-2831-5
- [4] MELBOUCI B. (2016) : Dynamic behavior analysis of Tizirt landslide. *Cahier du centre Européen de Géodynamique et de séismologie. Volume 31, Luxembourg 2016, p113-124.*
- [5] LNHC 2002 : Étude géotechnique de la zone de glissement 1<sup>ière</sup> tranche Tizirt ; ministère de l'habitat et de l'urbanisme de la wilaya de Tizi-Ouzou. Note interne.
- [6] GUIROUS L., (2017) : Caractérisation et modélisation du glissement de terrain de Tizirt sous l'effet du signal sismique de Boumerdès. Thèse de doctorat de l'Université de Tizi-Ouzou, Algérie.
- [7] DJERBAL L., KHOUDI I., ALIMRINA N., BAHAR R., MELBOUCI B. (2015): Contribution to study and mapping of the risks induced by Tizirt Landslides (Algeria). *Proceeding of 16<sup>th</sup> African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Pp 463-470. 27-30 April 2015, Hammamet, Tunisia.*



- [8] DJERBAL L., GUIROUS L., et MELBOUCI B., (2013). Effet de l'eau sur l'activité et la propagation du glissement de terrain de Tizirt (Algérie). International Congress on Materials and Structural Stability, Rabat, Morocco, 27 – 30 novembre 2013.
- [9] PICARELLI L., URCIUOLI G., RUSSO C., (2004). Effect of ground water regime on the behaviour of clayed slopes. Can. Geotech. J. 41(3):467–484
- [10] GUIROUS L., DUBOIS L., et MELBOUCI B. (2014). Contribution à l'étude du mouvement de terrain de la ville de Tizirt (Algérie). Bulletin of Engineering Geology and Environment, Volume 73, Issue 4 (2014), page 971-986.
- [11] BESSON L., (2005). Les risques naturels : de la connaissance pratique à la gestion administrative. Éditions Techni. Cites, Voiron. Collection dossier d'expert technique, no 442, p 610.
- [12] SAADALLAH A., 1992 : Le cristallin de la grande Kabylie (Algérie) – sa place dans la chaîne des Maghrébides. Thèse de doctorat en science, USTHB, 260 pages.
- [13] GEOMICA (2009) – Étude géotechnique de la zone de tassement d'Ain El Hammam (phase II) – Rapport interne.
- [14] BJERRUM L., and SIMONS N.E., (1960), "Comparison of Shear Strength Characteristics of Normally Consolidated Clays", *Proceedings of the ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohesive Soils*, Boulder, pp. 711-726.
- [15] WU L.Z., ZHANG L.M., ZHOU Y., LI B. E., (2017). Analysis of multi-phase coupled seepage and stability in anisotropic slopes under rainfall condition. Environ Earth Sci. 76(14):469.
- [16] GUIROUS L., et MELBOUCI B., (2019) : Caractérisation et modélisation du glissement de terrain de Tizirt sous l'effet du signal sismique de Boumerdès. Ouvrage publié aux Éditions Universitaires Européennes.
- [17] YELLES-CHAOUICHE A., BOUDIAF A., DJELLIT H., BRACENE R., (2006). La tectonique active de la région Nord Algérienne. C.R. Géoscience 338: 126–139.
- [18] AYADI K., BOUTIBA M., (2012). L'érosion côtière : un mal qui ronge la côte sableuse entre Zéralda et Douaouda-Marine (Ouest d'Alger), 1<sup>er</sup> Séminaire National sur les Géo risques, 4 et 5 décembre 2012, Jijel, Algérie, pp 140–150
- [19] BOUAKLINE S., BOUTIBA M., GUETTOUCHE M., (2012). Érosion de la côte Ouest d'Alger : diagnostic et mesures GPS., 1<sup>er</sup> Séminaire National sur les Géo risques, 4 et 5 décembre 2012, Jijel, Algérie, pp 151–158
- [20] BOUTIBA M., DJOUDER F., SEMAOUNE A., (2012). Évaluation de la vulnérabilité de la côte Ouest du golfe de Béjaia (Algérie centrale) à l'élévation du niveau de la mer., 1<sup>er</sup> Séminaire National sur les Géo risques, 4 et 5 décembre 2012, Jijel, Algérie, pp 159–165
- [21] BOUDIAF A., RITZ J.F., PHILIP H. (1998). Drainage diversions as evidence of propagating active faults: example of the El Asnam and Thénia fault, Algeria. Terra Nova 10:236–244.
- [22] MELBOUCI B., (2016). Dynamic behavior analysis of Tizirt landslide. Cahier du centre Européen de Géodynamique et de séismologie. Volume 31, Luxembourg 2016, p113-124.