



HAL
open science

Apport de la prospection électrique à l'étude d'un glissement de terrain dans la ville de Constantine (Algérie). Electrical survey contribution to a landslide study in the City of Constantine (Algeria).

Abdelkader Benaïssa

► **To cite this version:**

Abdelkader Benaïssa. Apport de la prospection électrique à l'étude d'un glissement de terrain dans la ville de Constantine (Algérie). Electrical survey contribution to a landslide study in the City of Constantine (Algeria).. Pangea infos, 2005, 43/44, pp.53-60. insu-00956856

HAL Id: insu-00956856

<https://insu.hal.science/insu-00956856v1>

Submitted on 7 Mar 2014

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

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

Apport de la prospection électrique à l'étude d'un glissement de terrain dans la ville de Constantine (Algérie)

Electrical survey contribution to a landslide study in the City of Constantine (Algeria)

Abdelkader BENAÏSSA

Université Mentouri, Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du territoire, B.P. 325, 25000 Constantine, Algérie.
e-mail : bena_kader@yahoo.fr
Tel. 213 (31) 62 58 11 / Fax 213 (31) 90 38 52

Texte reçu le 25 février 2003

Résumé

Cet article présente les résultats d'une prospection électrique réalisée sur le glissement de terrain (février 1997) du Ciloc, situé à l'extension ouest de la ville de Constantine.

Les sondages électriques (basés sur le dispositif de Schlumberger) montrent un ensemble argilo-marneux, renfermant des niveaux perméables. Ces niveaux favorisent l'alimentation en eau et les surpressions interstitielles déstabilisatrices. Les coupes géoélectriques obtenues traduisent un ensemble de mouvements emboîtés dont l'enveloppe inférieure est assimilable à un plan. Ce dernier se localise à une profondeur de 8 à 10 m.

Les sondages électriques pluridirectionnels, permettant d'étudier l'évolution de la fissuration en profondeur, semblent confirmer cette profondeur du glissement.

Mots clés : Glissement de terrain, prospection électrique, hydrogéologie, Constantine.

Abstract

This paper presents the results of an electrical survey carried out on the Ciloc landslide (February 1997) in the west suburb of the City of Constantine.

Vertical electrical soundings (measured after the Schlumberger pattern) show a marl-clay mass with permeable layers. These layers favour the flow of water and the destabilising interstitial overpressure in this soil mass. The obtained geo-electrical sections show a series of channelised movements with a lower limit which can be considered as a plane. The latter is situated about 8 or 10 m deep.

The multi-directional electrical soundings allow the study of the development of fracturing at depth and seem to confirm this depth.

Key words: *Landslide, electrical survey, hydrogeology, Constantine.*

1. INTRODUCTION

Cet article fait part des résultats d'une campagne de prospection électrique réalisée sur le glissement de terrain survenu dans la ville de Constantine en février 1997.

Depuis cette date, ce glissement menace cinq immeubles de 10 étages, dits du Ciloc, situés à la périphérie d'un secteur urbain (photo 1).

Il affecte un versant entaillé dans des formations argilo-marneuses. Cette formation a été localement ravinée, lors de son dépôt. On observe alors une chenalisation le long de laquelle s'est effectuée une sédimentation grossière favorisant la mise en charge de l'eau déstabilisant le massif.

On propose dans cet article de montrer d'une part que la prospection électrique est un bon moyen d'investigation pour déceler cette chenalisation et d'autre part que les sondages électriques pluridirectionnels, permettant d'étudier l'évolution de la fissuration en profondeur,

1. INTRODUCTION

This paper gives the results of an electrical survey carried out on the landslide that occurred in the City of Constantine in February 1997.

Since that date, this landslide has been threatening five buildings of 10 storeys, called Ciloc, located on the edge of an urban district (photo 1).

It is affecting an incised slope in marl-clay formations. This formation has been locally eroded during its deposition. We, therefore, see channels along which a coarse sedimentation has been taking place, focusing water flow which is destabilising the massif.

In this paper we propose on the one hand that electrical survey is a good tool to detect this channelling and on the other hand, that multi-directional electrical soundings allow study of the evolution of fractures at depth and can reveal useful information on the depth of

peuvent révéler des renseignements utiles sur la profondeur de la surface de glissement.



the slide surface.

Photo 1 – Niche d'arrachement du glissement du Ciloc (B = pied du bâtiment B) / Scar of the Ciloc landslide (B = building foot).

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU SITE ETUDIE

Une cartographie de ce glissement (fig. 1) montre que l'arrachement en tête qui présente une forme arquée, avec des décrochements de 1 à 2,5 m, s'étend sur une distance de 60 m. Il passe à 2 ou 3 m de l'angle sud-ouest d'un immeuble d'habitation.

Le glissement s'étend vers le sud-ouest sur une centaine de mètres de long. Le bourrelet frontal est bien marqué dans la topographie. Une percolation d'eaux résiduaires provenant de l'immeuble se produit en tête du glissement.

On note également l'existence d'une source à la base du bourrelet frontal.

La géologie a été reconnue par sondages carottés (fig. 1) et par analogie avec d'autres versants de structure analogue (Benaïssa & Bellouche, 1999).

La formation argilo-marneuse du Serravallien (Coiffait, 1992), nettement stratifiée, est affectée d'un pendage régulier, parfois constant sur plusieurs centaines de mètres. Ce pendage, toujours orienté dans le sens de la pente, est de l'ordre de 10 à 15°.

Cet ensemble argilo-marneux, que l'on peut considérer comme globalement homogène à l'échelle des versants, se caractérise en fait par une grande hétérogénéité à l'échelle métrique, à la fois dans le plan vertical et dans le plan horizontal.

L'hétérogénéité lithologique permet d'expliquer le comportement hydrogéologique de ces formations. Les forages ont fourni des renseignements concernant l'hydrogéologie :

- le forage S9, resté sur toute sa hauteur dans la formation argilo-marneuse, a rencontré deux niveaux piézométriques différents. En outre, les mesures effectuées (Peignaud, 1977) ont indiqué que le niveau piézométrique inférieur (correspondant à la section crépinée entre 575 et 577 m) était plus élevé que celui du niveau supérieur (section crépinée entre 595 et 597 m).
- D'autre part, le forage voisin (S4) situé à une trentaine

2. GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONTEXT OF THE STUDY SITE

A map of this slide (Fig. 1) shows that the head of the slide is arched, with wrench faults of 1 to 2.5 m, extending over a distance of 60 m. It passes 2 or 3 m of the south-west corner of an inhabited building.

The slide extends towards the south-west over a length of hundred of meters. The front lobe is well marked on the topography. A percolation of residual water from the building is occurring at the head of the landslide.

We note also the existence of a spring at the base of the frontal lobe.

The geology has been recognised by core drilling (Fig. 1) and by analogy with other slopes of a similar structure (Benaïssa & Bellouche, 1999).

The well bedded marl-clay Serravallian formation (Coiffait, 1992), has a steady dip, sometimes constant over some hundreds of meters.

This dip, always oriented down-slope, is about 10 to 15°.

This marl-clay ensemble which we can consider generally homogeneous on the scale of the hillside is in fact characterised by a large heterogeneity on a metric scale, vertically as well as horizontally.

Lithological heterogeneity enables to explain the hydrogeological behaviour of these formations. Boreholes yield information on the hydrogeology:

- *Borehole S9 is entirely within the marl-clay formation, and crossed two different piezometric levels. Measurements indicated (Peignaud, 1977) that the lower piezometric level (corresponding to the slotted section between 575 and 577m) was higher than the upper level (slotted section between 595 and 597 m).*
- *On the other hand, the neighbouring borehole (S4),*

de mètres est totalement sec.

Les corrélations entre niveaux d'eau des forages se révèlent donc difficiles. De telles venues d'eau (qui ne sont pas des nappes phréatiques proprement dites), liées à la structure complexe du massif, présentent des charges appréciables mais de faibles débits. Ces faibles débits sont souvent, à tort, considérés comme un bon élément de stabilité : "il y a peu d'eau dans le versant, donc celui-ci est sain". Dans les niveaux les plus argileux de très faible perméabilité (inférieure à 10^{-7} m/s), les débits sont parfois insignifiants.

Aussi est-il d'un intérêt majeur de pouvoir distinguer le cheminement préférentiel de l'eau sur le site du glissement.

3. PROSPECTION ELECTRIQUE DETAILLEE

31. Le sondage électrique

La prospection a été effectuée par la méthode des sondages électriques. La figure 1 montre l'implantation des 39 sondages réalisés. Le quadripôle utilisé est un dispositif de Schlumberger ($AB_{max} = 150$ m).

thirty metres away, is totally dry.

Correlation between water levels in boreholes is therefore difficult. Such in-rush of water (which are not strictly ground water tables) are related to the complex structure of the massif, and are significant but with a low rate of water. These low discharges are often, wrongly, considered as an indication of stability: "there is little water in the slope, so it is healthy".

In clay-rich layers of very low permeability (less than 10^{-7} m/s), rates of water are sometimes insignificant.

Also, it is of major interest to be able to distinguish the preferential progress of water on the landslide site.

3. DETAILED ELECTRICAL PROSPECTING

31. Electrical sounding

The surveying has been carried out using electrical sounding. Figure 1 shows the location of 39 drill sites. The quadripole used is a Schlumberger pattern ($AB_{max} = 150$ m).

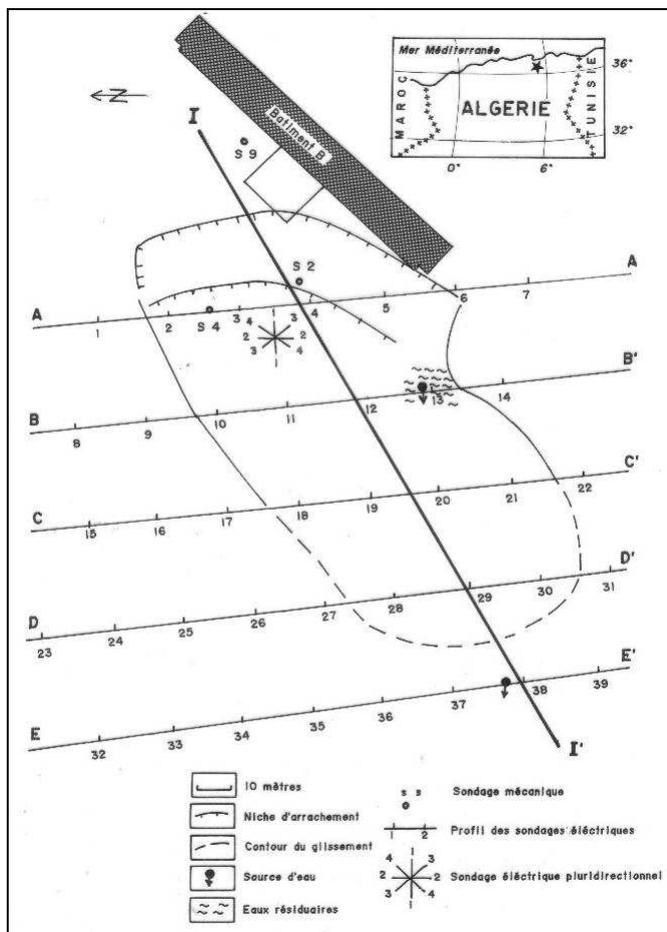


Fig. 1 – Morphologie du glissement du Ciloc et implantation des sondages de reconnaissance / The Ciloc landslide morphology and localisation of reconnaissance drills.

L'interprétation des mesures a été réalisée grâce au

Interpretation of borehole logs was carried out using

logiciel WinSev 2.0. Ce programme a été développé par Jenny & Borreguero (1994). La courbe théorique calculée utilise la méthode décrite par Koefoed (1979) tirée de *Geosounding Principles* avec huit points calculés par module logarithmique.

Les résultats de cette interprétation sont rassemblés dans les coupes des figures 2 et 3.

WinSev 2.0 software. This programme has been developed by Jenny & Borreguero (1994). The calculated theoretical curve uses the method described by Koefoed (1979) taken from Geosounding Principles with eight points calculated by logarithmic modulus.

The results of this interpretation are shown in the sections of figures 2 and 3.

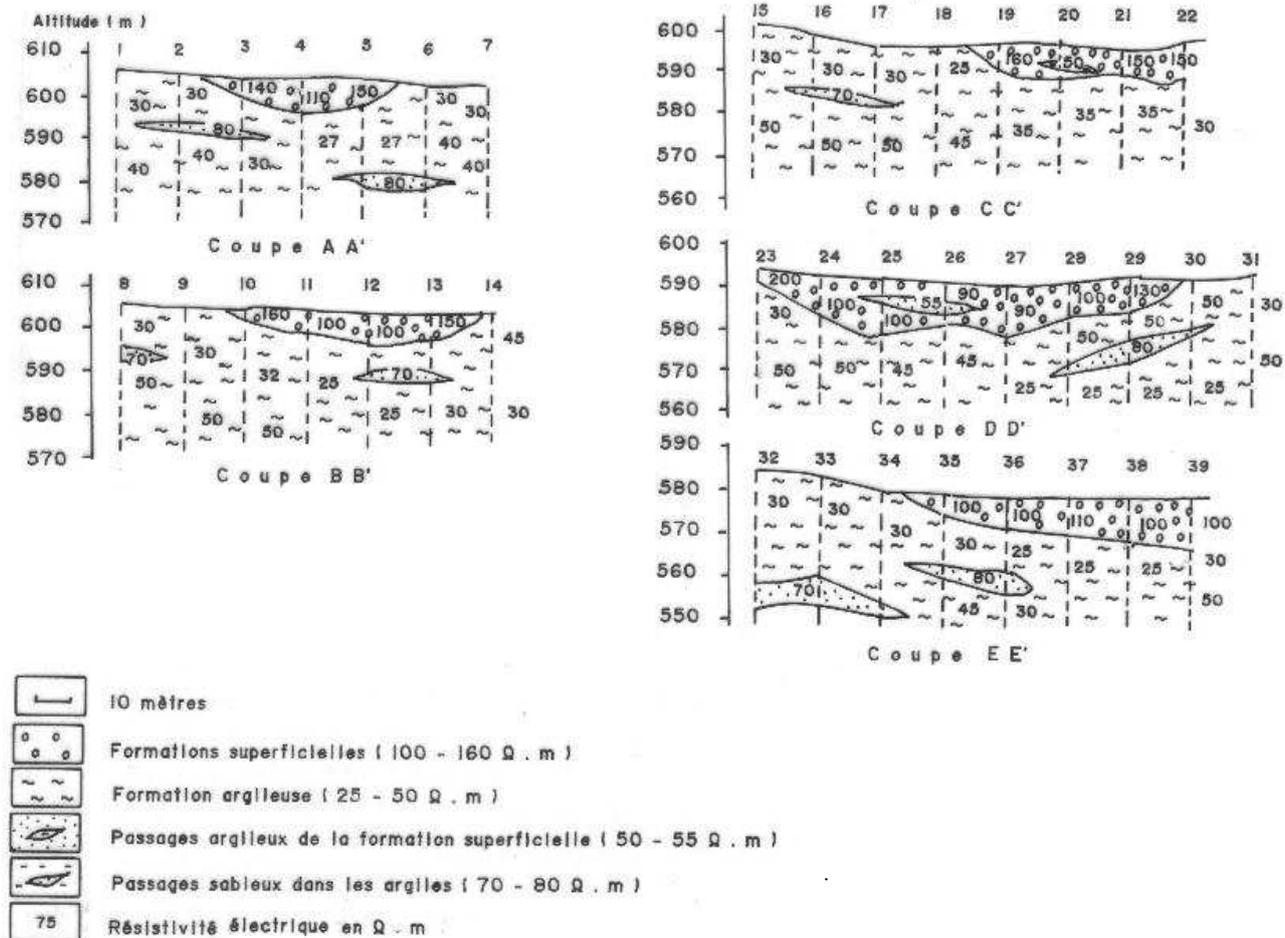


Fig. 2 – Coupes géoélectriques transversales du glissement du Ciloc / *Geo-electrical cross-sections of the Ciloc landslide.*

Ces coupes font apparaître :

- une couche supérieure (sa résistivité oscille de 100 à 160 Ωm) dont la puissance varie de 6 à 10 m. Elle correspond à une tranche de terrain très décomprimée et non complètement saturée. On y observe parfois des passages latéraux à plus faible résistivité (jusqu'à 60 Ωm sur le sondage SE 20 par exemple).
- au-delà, une couche inférieure de résistivité 25 à 50 Ωm , mais là encore, possibilité de passages localisés à résistivité plus forte. Selon la teneur en eau et le pourcentage d'argile, les passées sableuses se caractérisent par des résistivités de 70 à 80 Ωm . Les couches sableuses au sein de cette formation peuvent être discernées par la méthode électrique lorsque leur

These sections show:

- *A high layer (with a resistivity that spans from 100 to 160 Ωm) has a thickness varying from 6 to 10 m. It is a portion of highly decompressed and not completely saturated terrain. It shows occasionally lateral passages with lower resistivity (up to 60 Ωm on the SE 20 sounding for example)*
- *Below, there is a lower layer of resistivity from 25 to 50 Ωm , but here again, there is a possibility of localised passages with a stronger resistivity. Depending on content of water and the clay percentage, sandy channels are characterised by resistivities from 70 to 80 Ωm . The sandy layers within this formation can be detected by the electrical method*

épaisseur dépasse 1 à 2 m. Précisons que, du fait de leur faible épaisseur, la résistivité de ces couches est déterminée très approximativement.

Au vu de ces résultats, nous pouvons émettre les hypothèses suivantes : nous pensons que la résistivité égale à 25–50 Ω.m correspond aux terrains en place non remaniés. C'est sans doute le remaniement et la dessiccation qui s'en suit qui font monter la résistivité dans les couches superficielles. La limite $\rho_a \geq 25 \Omega.m$ a été tracée sur les coupes des figures 2 et 3. Elle représente la surface de glissement située à une profondeur de 8 à 10 m.

Vu en coupe (fig. 3), le glissement observé semble se rattacher au type plan. Cependant, l'hétérogénéité des configurations géométriques et géotechniques suggère un ensemble de mouvements emboîtés dont l'enveloppe inférieure est assimilable à un plan.

when their thickness is over 1 to 2 m. Because they are so thin, the given resistivity of these layers is very approximate.

In view of these results, we can give the following hypotheses: we think that the resistivity of 25–50 Ω.m corresponds to non-reworked in-situ terrains. It is undoubtedly the reworking and the following desiccation that raises the resistivity in the superficial layers. The limit $\rho_a \geq 25 \Omega.m$ has been plotted on the sections of figures 2 and 3. It represents the slide surface which is situated at a depth of 8 to 10 m.

Seen in section (Fig. 3), the observed landslide appears to be related to the planar-type. However, heterogeneity of geometric and geotechnical configurations suggests a series of movements of which the lower limit is comparable to a plane.

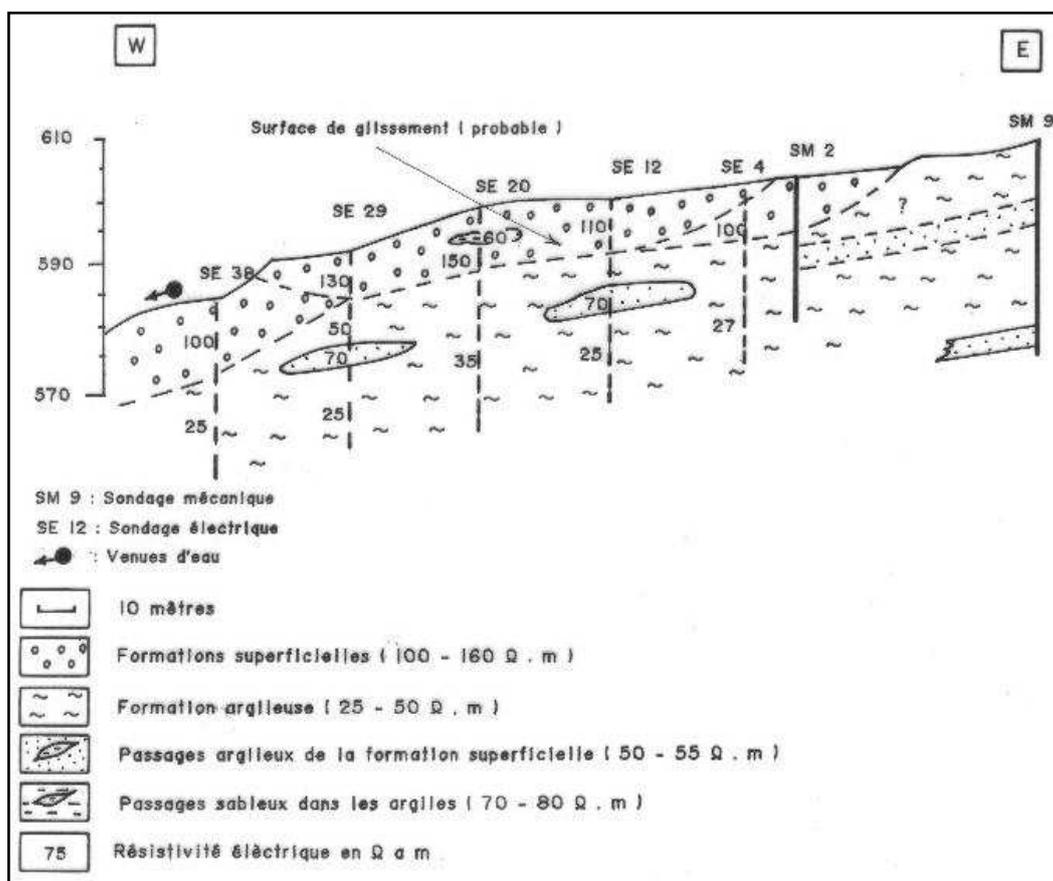


Fig. 3 – Coupe géoélectrique longitudinale du glissement du Ciloc / Longitudinal geo-electrical section of the Ciloc landslide.

Enfin, la coupe de la figure 3 suggère nettement l'existence d'un drain relativement continu qui débouche sur l'émergence d'une source "intermittente". De même la corrélation entre les sondages SE 16, SE 17, SE 32, SE 33 et SE 34 indique l'existence d'un autre "drain" plus profond que le premier. Ainsi on est en présence

Finally, the section of figure 3 clearly suggests the existence of a relatively continuous drain which leads to the occurrence of an "intermittent" spring. Similarly, correlation between the soundings SE 16, SE 17, SE 32, SE 33 and SE 34 indicates the existence of another "drain" which is deeper than the first one. Thus, we can

d'au moins deux écoulements :

- un écoulement de surface, sur quelques mètres d'épaisseur ;
- un écoulement profond se poursuivant jusqu'au cœur du versant.

32. Sondages électriques pluridirectionnels

On sait que la résistivité apparente est toujours plus grande perpendiculairement à la direction des fissures que parallèlement à cette dernière. Cette anisotropie étant indépendante de la résistivité du matériau de remplissage des fissures, on utilise souvent cette propriété pour étudier les directions de fissuration en réalisant des sondages pluridirectionnels, c'est-à-dire en mesurant la résistivité, au même point, selon plusieurs directions.

Sur le glissement du Ciloc, nous avons réalisé quatre sondages (dispositif de Wenner) centrés sur le point O, où le sol apparaît comme homogène du point de vue électrique, et où les fissures sont bien visibles en surface (fig. 1). Nous avons calculé $1/\rho_a$ conductivité électrique apparente, pour quatre directions différentes, et sur une profondeur d'investigation approximative maximale de $AB/3 = 12$ m.

Puis nous avons porté, sur les axes des directions des sondages, la conductivité apparente pour la profondeur $AB/3 = 3$ m, 6 m, 8 m et 12 m (fig. 4).

mention at least two flows:

- A surface flow, several metres thick;
- A deep flow continuing to the heart of the slope.

32. Multi-directional electrical soundings

We know that the apparent resistivity is always bigger perpendicularly to the direction of fractures than when it is parallel to it. This anisotropy is independent of the resistivity of fracture-filling material; so we often use this property to study the fracture directions by carrying out multi-directional soundings, i.e. by measuring resistivity from the same point in many directions.

On the Ciloc landslide, we carried out four soundings (Wenner pattern) centred on the point O, where the soil appears homogenous from an electrical point of view, and where fractures are well visible on the surface (Fig. 1). We calculated an apparent electrical conductivity of $1/\rho_a$ for four different directions, and on an approximate maximum investigation depth of $AB/3 = 12$ m.

We then carried out, along the axe of the soundings directions, an apparent conductivity for depths $AB/3 = 3$ m, 6 m, 8 m and 12 m (Fig. 4).

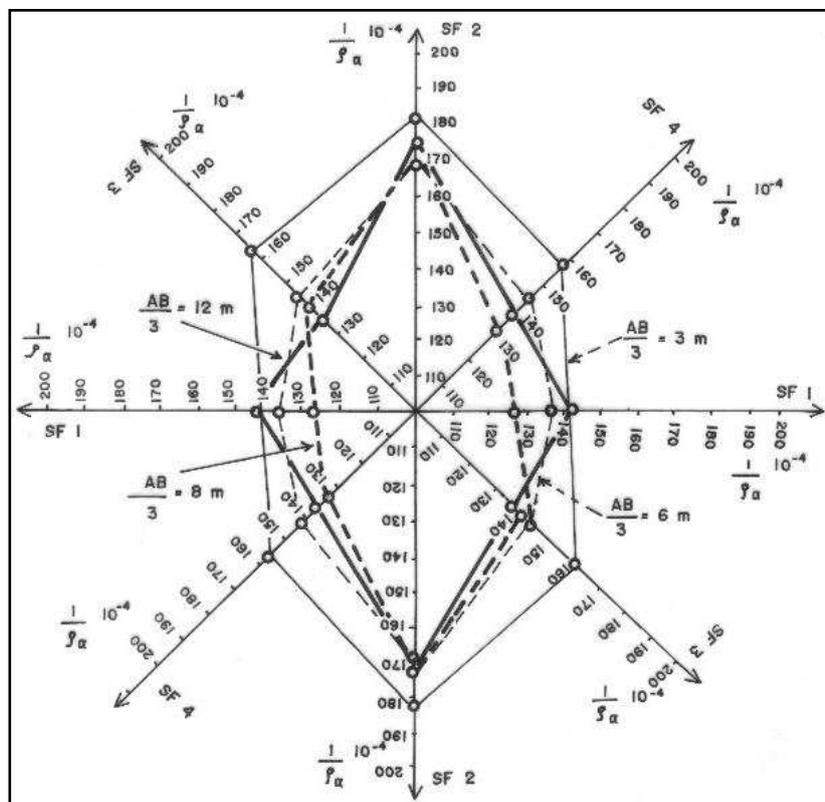


Fig. 4 – Etude de la fissuration (sondages électriques pluridirectionnels) / Fracturing study (multi-directional electrical soundings).
On constate que la conductivité du terrain est mini- / One notices that the terrain conductivity is minimal

male selon le profil 1-1, dont la direction est perpendiculaire à celle des fissures et sensiblement orientée dans le sens du déplacement.

D'autre part, on constate que le plus fort contraste de résistivité ρ_{11}/ρ_{22} se situe à 8 m de profondeur, la valeur à 12 m étant beaucoup plus faible et montrant que les fissures sont déjà fermées. Ceci constitue un indice supplémentaire permettant de penser que la profondeur du glissement se situe vers les 8-10 m.

4. CONCLUSION

Au terme de cette étude, les points suivants ont pu être établis.

L'étude hydrogéologique détaillée des glissements de la ville de Constantine doit être entreprise. Nous avons montré ici l'intérêt d'une approche par une reconnaissance géophysique permettant à moindre coût de préciser, entre autres paramètres, l'hydrogéologie des glissements.

- La reconnaissance hydrogéologique par la prospection électrique a permis de préciser les zones préférentielles de circulation des eaux, ce qui est essentiel pour l'étude hydrogéologique du glissement de terrain.
- Ces zones sont assez profondes. Dans une éventuelle confortation par drainage, ceci interdit des captages par tranchées. Les drains subhorizontaux semblent ici mieux indiqués.
- Enfin, les sondages électriques pluridirectionnels nous ont permis d'étudier la direction dominante des fissures en profondeur et d'avoir ainsi une estimation sur la profondeur de ce glissement.
- Vu sa situation en milieu urbain, l'origine des "alimentations" peut être très diverse (ruptures de conduites d'eau potable, de collecteurs divers, précipitations, ...). Ainsi l'initialisation de ce mouvement n'est pas facilement explicable à moins d'admettre une très forte mise en charge hydraulique à un instant donné ou une rupture progressive par la base.
- Plus généralement, le glissement du Ciloc avait été choisi comme site expérimental, car il présentait des observations par sondages mécaniques, ce qui a permis des recoupements fort utiles. Vu la très forte analogie géologique des différents glissements dans l'agglomération de Constantine, cette méthode d'étude peut être "facilement généralisée". Elle s'inscrit alors en droite ligne avec les préoccupations des milieux officiels de la ville de Constantine.
- Par son caractère "inoffensif", la prospection électrique est tout à fait indiquée en milieu péri-urbain. □

along the profile 1-1, which is perpendicular to the fractures and is oriented roughly along the sense of movement.

On the other hand, one notices that the stronger contrast of resistivity ρ_{11}/ρ_{22} is situated at a depth of 8 m, the value at 12 m is much lower and shows that fractures are already closed. This is an extra sign implying that the slide is situated at 8 to 10 m depth.

4. CONCLUSION

At the end of this study we can establish the following points.

A detailed hydrogeological study of landslides of the City of Constantine should be carried out. We showed here the value of a cheap geophysical reconnaissance allowing determination of the hydrogeology of landslides and other parameters.

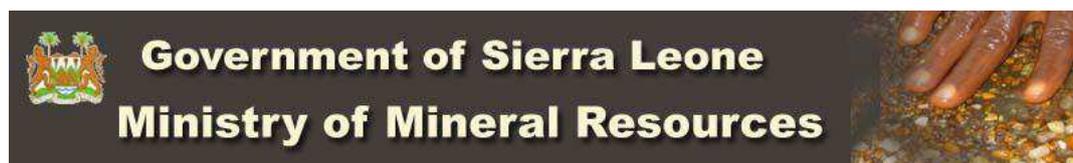
- Hydrogeological reconnaissance by electrical survey has allowed determination of preferential zones of water circulation, which is essential for the hydrogeological study of landslides.
- These zones are quite deep. In a possible reinforcement by drainage, this forbids trench catchments. Sub-horizontal drains appear here to be a better recommendation.
- Finally, multi-directional electrical soundings have allowed us to study the dominant direction of fractures at the depth and also provided an estimation of the landslide depth.
- In view of its localisation in an urban place, origins of water supply can be very diverse (breakages of drinking water pipes, or other containers, rainfalls, ...). Thus, it is difficult to explain the initiation of this movement other than as a very high hydraulic load at a given instant or a progressive rupture at the base.
- More generally, the Ciloc landslide has been chosen as an experimental site because it has been a subject of mechanical drilling, which allowed very useful cross-checking of information. Given the very high geological analogy of different landslides in the Constantine urban centre, this method of study can be "easily generalised". It then fits into the preoccupations of the officials of the city of Constantine.
- By its "inoffensive" nature, electrical surveying is recommended in the urban environment. □

Références

- Benaïssa A., Bellouche M.A. (1999) – Propriétés géotechniques de quelques formations géologiques propices aux glissements de terrain dans l'agglomération de Constantine (Algérie). – Bull. Eng. Geol. Env., n° 57, p. 301-310.
- Coiffait P.E. (1992) – Un bassin post-nappes dans son cadre structural : l'exemple du bassin de Constantine (Algérie nord-orientale). – Th. Doct. Etat Sci. nat., Nancy 1, 405 p.
- Jenny J., Borreguero M. (1994) – WinSev 2.0, logiciel d'interprétation des sondages électriques pour P.C. sous Windows.
- Koefoed O. (1979) – Geosounding principles, 1 - Resistivity sounding measurements. – Elsevier Publ. Co, Amsterdam, 276 p.
- Peignaud M. (1977) – Mesure en place de la pression interstitielle. – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Note d'information technique n° 66.

GEOINFO

<http://mmr-sl.org>, the direct link to



Home	Acts & Policies	Mineral Rights	Reports	Cadastre Maps	Administrative Forms	Contacts
------	-----------------	----------------	---------	---------------	----------------------	----------

Ministry of Mineral Resources (MMR) - Mission Statement

To promote investment and regulate the mining Industry in Sierra Leone through the adoption and implementation of appropriate policies and programmes geared towards the realization of potential economic benefits from mining and related activities for sustainable national development and improved quality of life and prosperity for the people of Sierra Leone.

About the MMR Website

The objective of the MMR website is to make it easier for the mining sector to invest in Sierra Leone, provide the information needed to facilitate the licensing process, and also provide the general public transparent information about all licenses and license holders.

© This website is powered by Sierra Leone Information System.