

## DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES D'UNE ZONE POTENTIELLEMENT INSTABLE – Cas de Boussouf, Constantine

Reçu le 16/12/2002 – Accepté le 31/12/2004

### Résumé

La majorité des terrains de la ville de Constantine ont une structure géomorphologique complexe avec des caractéristiques géotechniques favorisant des mouvements des terrains. Une campagne de reconnaissance géotechnique a été réalisée sur la base des essais *in-situ* et de laboratoire pour déterminer les caractéristiques géotechniques. L'interprétation des données existantes obtenues par le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est de Constantine a permis une caractérisation géotechnique de la zone étudiée. L'article propose une figure géométrique représentant les formes et les dimensions des particules avec des propriétés d'identification physique tels la granulométrie, l'indice de plasticité et l'activité du sol, utiles pour la classification des sols. La caractérisation géotechnique est aussi proposée avec des corrélations usuelles disponibles dans la littérature géotechnique. Dans cet article, l'étude se focalise sur le site de la cité Boussouf, connue par sa densité d'habitation très importante.

**Mots clés:** Glissement, Acquisition, Empreinte, Caractérisation.

### Abstract

Most of the region of Constantine has a complex geological and morphological structure with characteristics leading to instability. In this regard, an extensive geotechnical field and laboratory investigation has been carried out in order to study the characterisation of its soil properties. Using the available tests results, a geometrical figure whose shapes and dimensions reflect the identification properties such as particle-size distribution curve, plasticity and activity of soil are used as print, which characterise its constituent materials. The geotechnical characterisation is also proposed with the available relationship used in the literature. In this paper, the study will focus on the site of Boussouf well known for his highly density of housing.

**Keywords:** Landslide, Data acquisition and geotechnical characterisation.

**A. BELOUAR**

**A. BOULFOUL**

Département de Génie Civil  
Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Université Mentouri  
Constantine

**A. SERIDI**

Département de Génie Civil  
Université de Boumerdes  
Boumerdes, Algérie

### ملخص

إن أغلبية أراضي مدينة قسنطينة لها هيكلة مورفولوجية معقدة مع خصائص جيوتقنية مساعدة لعملية إنزلاقات التربة. أنجزت حملة معرفية جيوتقنية مع تجارب فوق الميدان وفي المخبر لتحديد الخصائص الجيوتقنية. سمحت لنا تأويلات المعطيات الموجودة والمستنتجة من مخبر الأشغال العمومية للشرق بقسنطينة بمعرفة الخصائص الجيوتقنية للمنطقة المدروسة. يقترح موضوع البحث الحالي بيان هندسي يمثل الأشكال وأحجام الحبيبات مع خصائص التعريف الفيزيائي مثل التصنيف الحبيبي، معامل اللدونة، ونشاط التربة المساعد لتصنيف التربة. والخصائص الجيوتقنية مقترحة أيضا مع المعادلات الموجودة في المراجع الجيوتقنية. من خلال هذا البحث درسنا منطقة بوالصوف، المتميزة بالكثافة السكانية الكبيرة والمعرضة للانزلاق.

**الكلمات المفتاحية:** انزلاق التربة، جمع المعطيات، بيان هندسي، تخصيص جيوتقني.

La ville de Constantine, située à l'Est de l'Algérie, est connue par des problèmes de glissement de terrain (Fig.1), accentués par une urbanisation anarchique sur des talus prédisposés à de tels mouvements.

Le fait que ses sols n'ont pas subi d'étude préalable concernant la stabilité des versants, à l'exception de la capacité des sols pour d'éventuelle construction de logements, le relief accidenté de la ville, la détérioration des canalisations, les travaux aux pieds des talus ainsi que l'action sismique, se sont conjugués pour favoriser ces mouvements. Notre étude porte sur la cité Boussouf à densité d'habitation très élevée, sur la base des résultats géotechniques obtenus à partir de la campagne de reconnaissance effectuée par le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est de Constantine. Les données brutes de ce site ont été stockées et traitées pour mettre au point cette caractérisation afin de mieux comprendre ces phénomènes d'instabilité.

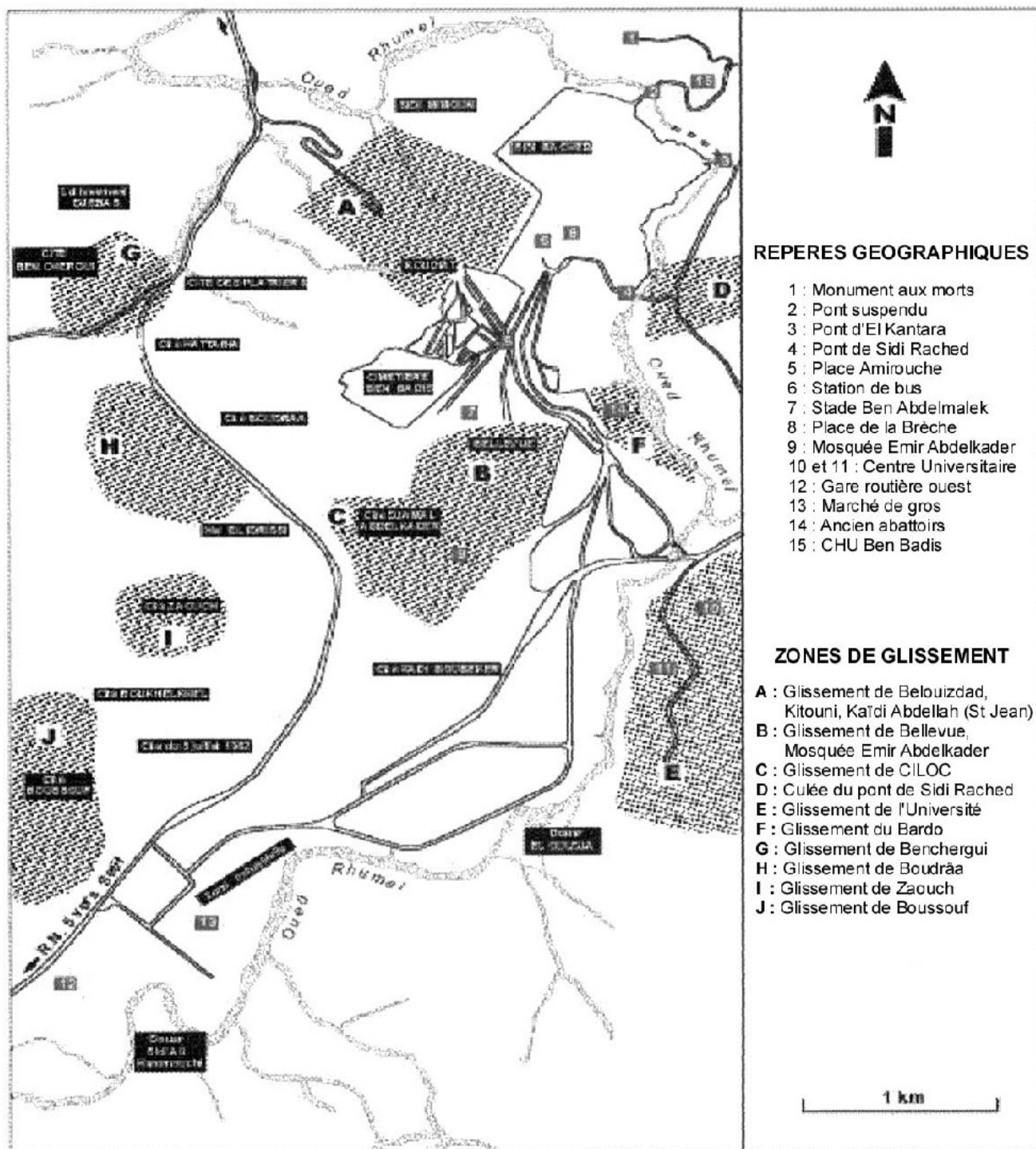
Une approche représentative des résultats d'essais a été prise en compte pour ces sols en fonction de leurs propriétés et de leurs natures puisqu'il s'agit d'une empreinte de sol; une caractérisation s'en suit, fonction des différents paramètres physico-mécaniques. Les résultats obtenus sont corrélés avec des caractéristiques directes ou indirectes puisées de la littérature géotechnique, accompagnées d'une analyse de stabilité afin de mieux cerner ces phénomènes.

### I- LOCALISATION DU SITE

#### I.1- Situation

La cité Boussouf est située dans la région Nord-Ouest de la ville de Constantine. La cité a été construite sur un versant qui avait à l'origine une vocation agricole.





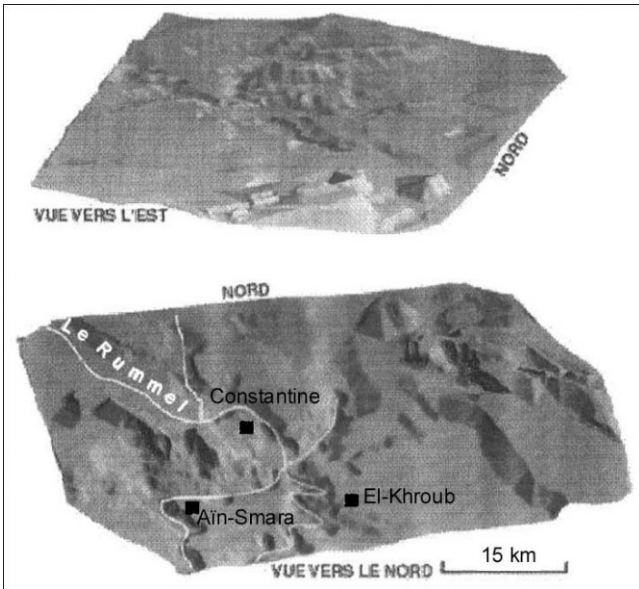
**Figure 1:** Principales zones de glissements localisées dans le périmètre urbain de la ville de Constantine.

**Tableau 1:** Sondages avec altimétrie.

Sondage	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>
Côte du terrain (NGA)	534,92	534,85	521,13	501,45	538,95	515,15	542,55	539	546,27	560,54
Profondeur du sondage (m)	27	25,85	17,80	14,35	23,50	15,60	22	23,50	22,80	23,95

La surface en mouvement en direction du Nord-Est est estimée à 5 ha environ, des niches d'arrachements sont visibles sur toute la cité et ceci sur tout le pendage du versant avec des crevasses, des dégradations de chaussés et des réseaux de canalisations. Le modèle numérique des terrains

de la ville (Fig. 2), ainsi que la carte des pentes dressée à partir des cartes au 1/25.000 nous ont permis de classer notre angle du talus naturel à 25° vers la vallée. Les niveaux du terrain naturel varient depuis la côte +560.54 (NGA) au Nord-Ouest au +501.45 (NGA) au Sud- Est (Tab.1).



**Figure 2:** Modèle numérique de terrain (MNT) montrant l'environnement topographique de Constantine et de ses environs (tiré à partir de la carte topographique au 1/500000).

## 1.2- Géologie de Constantine

### 1.2.1- Stratigraphie

L'analyse stratigraphique des formations géologiques de la région de Constantine (Fig.3) permet de distinguer [1,2] :

- Le rocher de Constantine,
- Les mio-pliocène marneux,
- Les dépôts récents du Quaternaire et les matériaux de remblai disposés par l'activité humaine.

Les deux dernières unités, sous-consolidées, sont à l'origine des glissements de Constantine.

**Le rocher de Constantine :** il est constitué de calcaires massifs d'âge cénoomanien à turonien sur lesquels l'ancienne ville a été construite. Tectoniquement, ce rocher se présente comme un horst faillé à flanc SE monoclinale ayant continué à se soulever inégalement en "touches de piano" pendant le quaternaire.

**Les marnes mio-pliocène :** Cette série calcaire est surmontée par une épaisse couche de marnes noires présentant parfois une faible schistosité. Quant la pente du substratum sur lequel repose ces marnes est importante, des glissements se manifestent à la faveur de phénomènes naturels exceptionnels tels les pluies diluviennes et le tremblement de terre de 1910 et 1947 respectivement qui ont entraînés de sérieux dommages à la culée Est du

Pont de Sidi Rached. Ces unités affleurent sur le côté Est du Rhumel, le Nord de la confluence Boumerzoug et au Sud du Rocher, y compris la partie supérieure de la culée Est du Pont Sidi Rached.

**Les conglomérats et sables du Quaternaire :** Parallèlement aux mouvements tectoniques de soulèvement du Rocher, une puissante série de couches continentales se déposait. Il s'agit de haut en bas d'une alternance de conglomérats et d'argiles sableuses rouges :

- Des cailloutis avec blocs pouvant atteindre 0,5 m<sup>3</sup> de volume noyés dans une argile limoneuse d'argile sableuse : Epaisseur 0 à 3 m.
- Une industrie paléolithique. Epaisseur 0 à 10 m.
- Placage d'argiles rouges de décalcification. Epaisseur 0 à 1 m.
- Des dépôts alluvionnaires formés de sables et de limons localisés au niveau du lit du Rhummel. Leur épaisseur est variable.
- Les remblais, issus de l'activité humaine, sont très répandus dans la région. Un grand remblai existe près de la terminaison Ouest du Pont Sidi Rached. Les mouvements de sol constatés sur ces niveaux ont été



	Saétien		Trias
	Moulouyen		Flysch Massiliel (allochtone)
	Pliocène		Zones en glissement
	Astaracien		Failles
	Lutétien supérieur -Priabonien		Oued principal
	Maestrichtien-Paléocène		Oued secondaire
	Crétacé supérieur		

**Figure 3:** Carte géologique simplifiée de Constantine (Source: Benaïssa, 1999).



la cause des dommages qui affectent les constructions et les routes avoisinantes : la station des bus Krikri en est un exemple. Plus grave encore, une ex-décharge d'ordures ménagères, pose un risque considérable aux maisons construites en amont et en aval de celle-ci.

L'ensemble de ces formations continentales, sous consolidées, sont très propices aux instabilités des pentes et aux glissements de terrain

### I.3- Expérimentation

Dix (10) sondages carottés ont été réalisés sur le site (Fig.4), allant de 15 m jusqu'à une profondeur de 35m tenant compte de l'altimétrie du terrain pour analyser la stabilité au glissement de ces sols dans la perspective de constructions et d'extensions de la ville dans cette zone.

Les essais d'identification physique et mécanique ont été réalisés sur un grand nombre d'échantillons prélevés sur le site au sein du Laboratoire des Travaux Publics de l'Est de Constantine. Ces essais ont été réalisés sur des échantillons intacts et remaniés. Il s'agit principalement de granulométrie, de limite d'Atterberg, de degré de saturation et densités humide et sèche suivant les méthodes françaises.

La pression de consolidation  $\sigma_c'$ , l'indice de compressibilité  $C_c$  et l'indice de gonflement  $C_g$  ont été obtenus à partir des essais oedométriques. Les essais mécaniques ont été limités aux essais de cisaillement rectiligne, à la boîte de Casagrande (essais non consolidé non drainé) et aux essais de compression simple.

Le tableau 2 représente certaines valeurs des essais obtenus au laboratoire pour une ou deux profondeurs seulement.

## II- ANALYSE et INTERPRETATION

Les échantillons prélevés sur ce site ont permis de mettre en évidence des sédiments d'ère quaternaire (un remblai, une formation d'argile brune et une formation

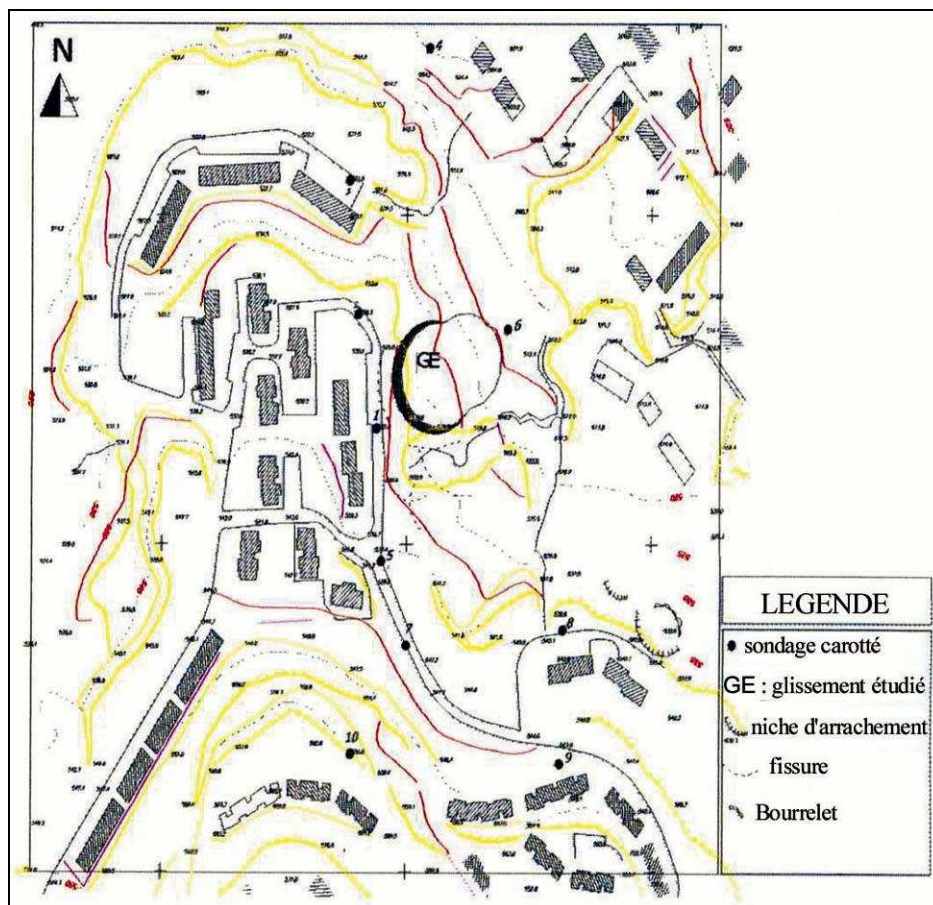


Figure 4: Plan d'implantation des différents sondages dans la cité Boussouf.

d'argile jaunâtre avec des traces de gypse) comme le montre les différentes coupes lithologiques selon les sondages (Fig. 5, 6).

### II.1- Méthodologie de classification d'un sol- empreinte

La nature d'un sol peut-être caractérisée par une simple figure géométrique appelée empreinte construite à partir des indices d'identification tels que l'indice de plasticité, l'activité et la courbe granulométrique. Ces différents éléments sont présentés graphiquement sur un tableau divisé en quatre quadrants. Le contour obtenu représente l'empreinte d'un sol. Elle peut-être comparée par superposition, ou par un simple coup d'œil, à celle d'un autre sol.

L'empreinte d'un sol [3,4] consiste dans l'abaque de plasticité [5], représenté par le premier quadrant, l'abaque de l'activité des sols [6], représenté par le second quadrant, la courbe d'analyse granulométrique, au troisième quadrant,

Tableau 2: Exemples de valeurs obtenus au laboratoire (Site: Boussouf/ Sondage N°: 10).

Lithologie	Prof. (m)	$\gamma_d$	$\gamma_h$	$\omega(\%)$	$S_r$	Passants (Granulométrie) (%)				Caractéristiques oedométriques									
						2mm	0.08mm	2 $\mu$	20 $\mu$	$W_L$	$I_p$	$I_c$	$P'_c$	$C_c$	$C_g$	$R_c$	$\omega_f$	$C_u$	$\phi$
Remblai	2÷3.5	1.82	2.03	11.47	63.81	100	100	68	42	57.4	42.2	1.08	3.4	0.25	0.008	1.2	24.14	0.15	13.5
Argile jaunâtre	9÷10.5	3.01	2.15	6.93	54.08	99	95	61	36	60	30.9	1.7	6.5	0.166	0.094	2.6	18.53	0.1	24

et enfin le quatrième quadrant ferme l’empreinte de caractérisation d’un sol.

L’empreinte (Fig.7) de ce site montre qu’on est en présence d’argile inorganique de forte plasticité selon la classification USCS (Unified Soil Classification System), ayant une activité extrême  $I_a$  supérieure 1.5, ce qui laisse supposer une argile montmorillonite calcique. Par ailleurs, le fuseau granulométrique montre un pourcentage de particules fines inférieur à  $2 \mu\text{m}$  uniquement dans le sens granulométrique dont les proportions sont comprises entre 20% et 65%, caractérisant ainsi la lithologie trouvée sur le site. On peut prédire que ces sols fins sont sujets à des instabilités. Ceci peut être expliqué par l’humidité qui joue un rôle défavorable dans la stabilité, puisque le gonflement (fixation de l’eau) suivi d’une rétraction (perte de l’eau fixée) occasionne généralement de sérieux dégâts.

## II.2- Caractérisation géotechnique

Les profils géotechniques (Fig.8a et 8b) représentent les résultats d’essais réalisés sur des échantillons intacts et remaniés, des dix sondages en fonction de leurs profondeurs. L’analyse de ces résultats fait apparaître des caractéristiques médiocres en surface et s’améliorent faiblement en profondeur (les pressions de consolidations faibles  $\sigma'_c < 2 \text{ kg/cm}^2$ , des cohésions très faibles  $C_u < 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ).

A partir de ces données, on peut conclure que ces sols sont en cours de consolidation et peuvent se mettre en mouvement sous n’importe quel chargement, ce qui laisse supposer la ligne de glissement probable suivant l’axe des sondage 1 et 6 (Fig. 9).

## II.3- Confrontation avec les résultats de la littérature

De nombreux auteurs ont proposé, après des études statistiques de résultats de laboratoire ou *in-situ*, plusieurs relations empiriques entre les paramètres mécaniques classiques (cohésion et angle de frottement) et d’autres paramètres physiques plus faciles à obtenir.

Pour le cas des matériaux argileux qui nous intéresse ici, nous avons utilisé le diagramme obtenu par Skempton et Delory [7]. On constate que les valeurs obtenues du rapport  $C_u$  dans les essais non consolidés non drainés à la pression effective du sol sus-jacent  $P_o'$ , sur le site de Boussouf, semblent se positionner en droites parallèles (Fig. 10).

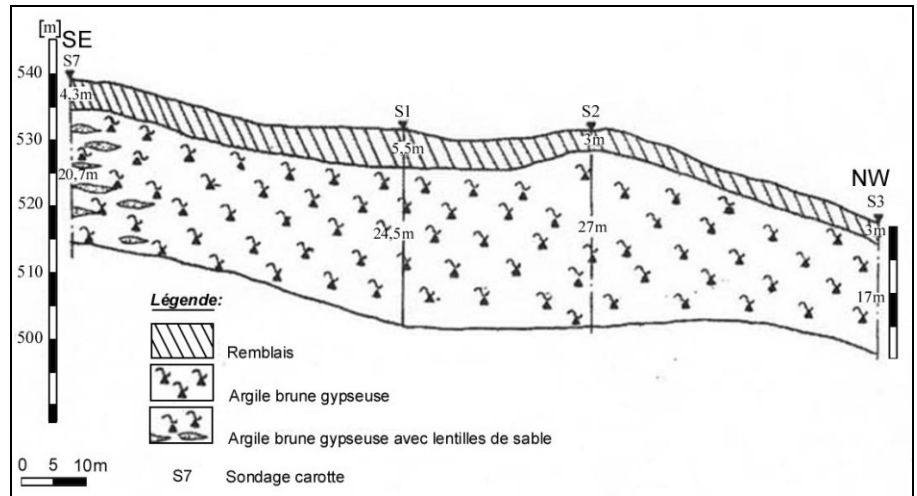


Figure 5: Coupe lithologique suivant les sondages S7, S1, S2, S3.

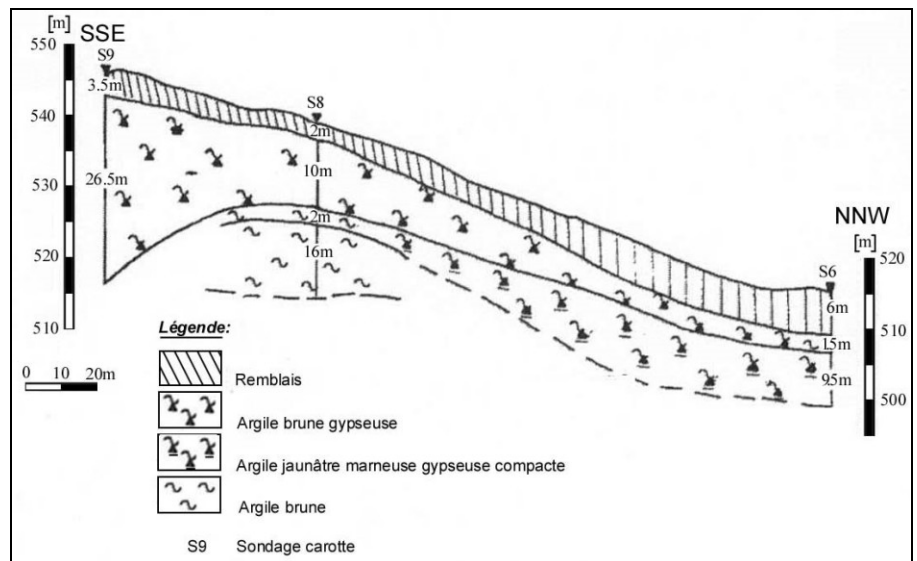


Figure 6: Coupe lithologique suivant les sondages S9, S8, S6.

La zone B représente l’argile brune, qui coïncide avec la relation de Skempton et Delory [7].

$$C_u/P_o' = 0.11 + 0.0037 I_p$$

Le rapport  $C_u/P_o'$  est sensiblement constant ce qui représente des argiles normalement consolidés et relativement homogènes:

- La zone A représente l’argile jaunâtre gypseuse.
- la zone C représente la couche du remblai.

En se référant aux estimations des propriétés établi par Peck et Reed [8], on constate que pour une teneur en eau moyenne ( $\omega = 25\%$ ) de notre site, les valeurs de la résistance à la compression  $R_c$  sont assez faibles ( $R_c = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ ) (Fig.11), ce qui confirme l’état de consolidation de ce site ainsi que sa nature lithologique.

## II.4- Détermination des caractéristiques résiduelles

La stabilité des terrains, déjà affectés par des glissements anciens ou réactivés, doit être menée en utilisant les caractéristiques résiduelles [9]. Elles sont obtenues à partir des essais de cisaillement alternés à la

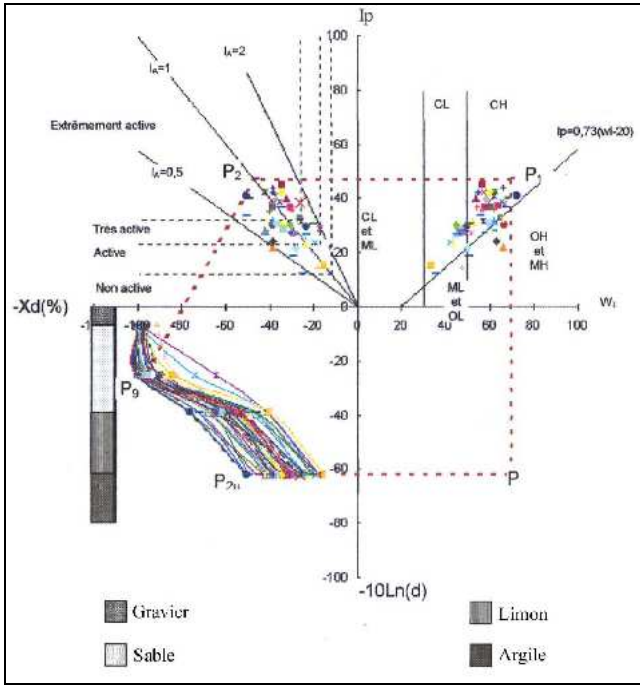


Figure 7: Application de l'empreinte au site de Boussouf.

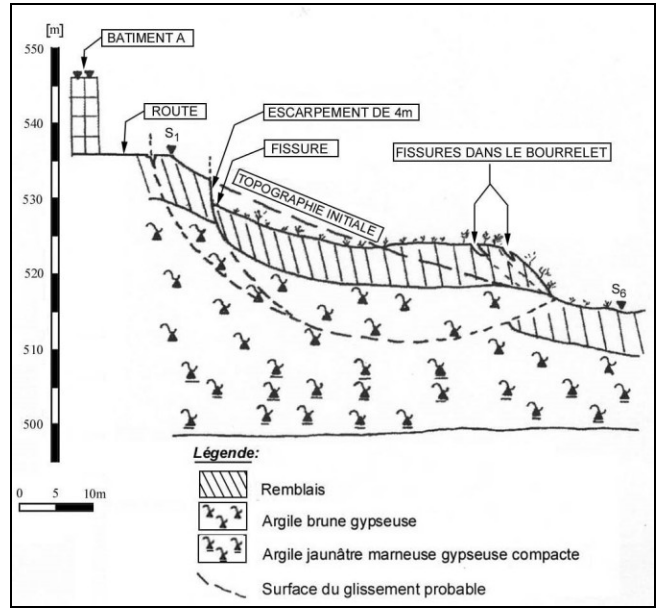


Figure 9: Surface de rupture probable suivant l'axe S1, S6 du glissement de Boussouf.

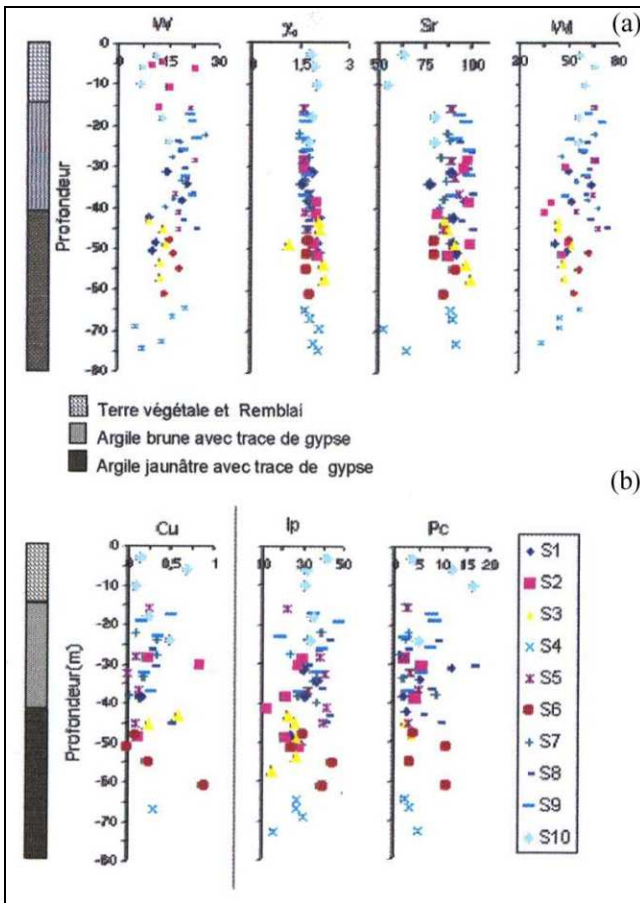


Figure 8a et b: Synthèse des résultats d'essais géotechniques du site Boussouf.

boite circulaire. Seulement, dans les terrains argileux ou marneux, il y a lieu de distinguer :

- Les caractéristiques de cisaillement à court terme

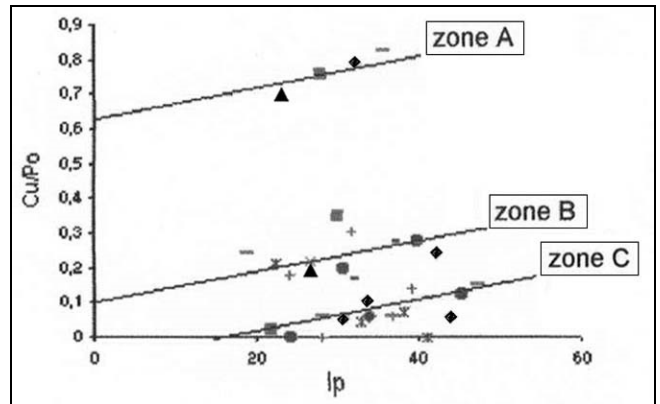


Figure 10: Relation entre  $C_u/P_o$  et  $I_p$  pour les argiles de Boussouf.

$C_u$  et  $\varphi_u$  (essai non consolidé non drainé).  
 Les caractéristiques de cisaillement à long terme  $C'$  et  $\varphi'$  (essai consolidé drainé, essai consolidé non drainé avec la mesure de la pression interstitielle).  
 Les caractéristiques résiduelles  $C_r$  et  $\varphi_r$  (essai de cisaillement alterné).  
 L'évaluation de  $\varphi_r$  dans ce cas sera faite à partir de  $\varphi$  par l'équation de Bjerrum [10] suivante :  

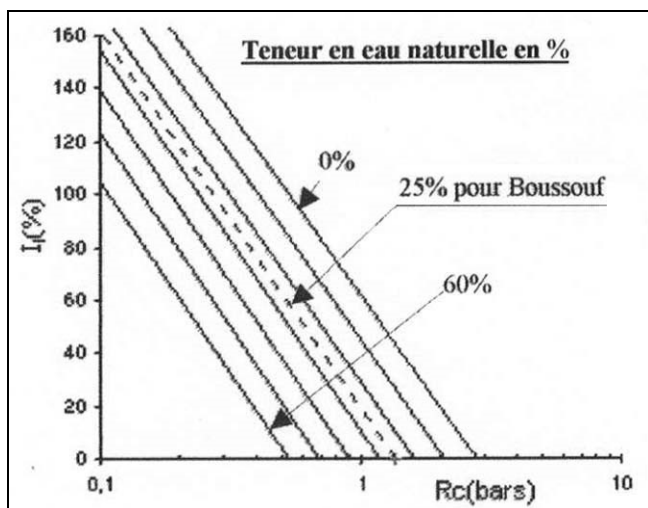
$$\varphi_e = 1,15(\varphi - 9)$$
 où  $\varphi_e$  = angle vrai de Hvorslev [11].  
 Rowe [12] a suggéré que  $\varphi_{mob}$  pourrait être pris égal à :  

$$\varphi_{mob} = \varphi_e \times 0,75$$
 tandis que l'évaluation de  $C_r$  sera faite à partir du graphe  $C_u$  à la profondeur  $C_u = 0$ .  
 Nous avons également utilisé la relation établie par Biarez [13] :

$$\text{tg } \varphi' = 1.64 - 0.8 \log W_L \quad (\text{pour } W_L < 50 \%)$$

qui a donné un angle de frottement résiduel  $\varphi_r = 14^\circ$  et une cohésion résiduelle  $C_r = 0$ .

Un calcul de stabilité avec ces paramètres en utilisant le logiciel Nixes et Troll nous a permis d'obtenir un facteur de sécurité inférieur à l'unité ( $F_s < 1.0$ ).



**Figure 11:** Relation entre l'indice de liquidité et la résistance à la compression simple pour le site de Boussouf (d'après Peck 1940).

## II.5- Discussion des résultats

Ces formations sont très fragiles. Cette fragilité provient essentiellement des propriétés intrinsèques des matériaux. Elles correspondent à la composition minéralogique qui pourrait être réalisée ultérieurement, la fabrique, la texture et la granulométrie.

L'évaluation de ces paramètres permettra certainement de quantifier la fragilité de ces formations au déplacement. Il faudrait aussi prendre en considération les caractéristiques reliées à la structure, soit tous les aspects qui décrivent les composantes et l'ordre de la séquence stratigraphique, l'orientation du pendage, ainsi que le système de fractures, de failles et de discontinuités [14].

Les agents externes ont aussi une incidence directe sur la stabilité des forces de résistance initiales, et on peut identifier deux types :

- l'altération et autres transformations physico-chimiques qui correspondent au ramollissement de l'argile, à l'hydratation des minéraux argileux, à l'assèchement de l'argile et des lithologies sédimentaires ;

- les changements de forces intergranulaires, causés par le contenu en eau et la pression d'eau interstitielle [15]. Ils sont habituellement tributaires de la variation des conditions climatiques, de la transformation des conditions du couvert végétal ou des différentes méthodes d'irrigation.

La réduction des forces de résistances peut aussi être provoquée par des événements externes que l'on appelle "facteurs déclencheurs" suffisamment important pour provoquer un changement rapide des conditions de stabilité. Souvent, un seul phénomène de déclenchement pourra expliquer la mise en place d'un mouvement de terrain. Ces conditions extrêmes sont habituellement provoquées par les événements suivants :

- pluies intenses,
- changements brusques du niveau d'eau de la nappe phréatique,
- activités humaines (excavations, irrigations).

Nous prétendons que la prédiction exacte du type de mouvement pourrait être estimée sans que la mesure des propriétés internes des matériaux soit réalisée et sans que

les éléments déclencheurs les plus susceptibles de se produire soient connus. De toute façon, le concept que nous privilégions vise plutôt à établir l'emplacement des zones sensibles, le type de mouvements pouvant se produire, ce que l'on considère suffisamment adéquat pour protéger les populations locales et orienter les décideurs à des fins futurs de développements urbains.

## CONCLUSION

L'étude que nous avons menée a permis de mettre en évidence le risque important de l'instabilité du site Boussouf. Elle a montré clairement des signes révélateurs d'instabilités et l'appartenance de ces terrains à des sols fins avec une forte plasticité.

La synthèse des résultats d'essais de la campagne géotechnique a montré la faible capacité de ces sols avec des caractéristiques physico-mécaniques médiocres en surface et s'améliorant très faiblement en profondeur, montrant ainsi des sédiments sous-consolidés qui peuvent se mettre en mouvements facilement.

L'analyse des corrélations a montré des droites linéaires qui sont en bonne harmonie avec la lithologie du site (deux formations argileuses et un remblai) et qui reflète bien la formation géologique de ces terrains. Ces sols sont souvent sujets à des glissements.

En conséquence, le risque d'instabilité de ce site à grande densité d'habitation rend impérative la nécessité d'une réflexion sur son possible confortement avec une étude très détaillée en tenant compte des caractéristiques résiduelles, de la pression interstitielle et de l'activité sismique de la région.

## NOTATIONS ET SYMBOLES

- $C_u$  : cohésion non drainée ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $d$  : diamètre des particules (mm)
- $I_a$  : indice d'activité
- $I_L$  : Indice de liquidité
- $I_p$  : Indice de plasticité
- $\sigma'_c$  ou  $P_c'$  : pression de consolidation ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $C_c$  : indice de compressibilité
- $C_g$  : indice de gonflement
- $P_o'$  : pression effective du sol sus-jacent ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $R_c$  : résistance à la compression ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $S_r$  : degré de saturation (%)
- $x_d$  : pourcentage des passants (%)
- $\omega$  ou  $W$  : teneur en eau (%)
- $W_L$  : limite de liquidité (%)
- $\gamma_d$  : densité sèche
- $\gamma_h$  : densité humide
- $\phi$  : angle de frottement interne ( $^\circ$ ) (non drainé)
- $\phi^{\square}$  : angle de frottement interne effectif ( $^\circ$ )
- $\phi_{mob}$  : angle de frottement mobilisé ( $^\circ$ )
- $\phi_e$  : angle vrai de Hvorslev ( $^\circ$ )
- $C_r$  : cohésion résiduelle ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $C'$  : cohésion effective ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $\phi_r$  : angle de frottement résiduel ( $^\circ$ )
- $\mu$  : micron



## REFERENCES

- [1]- Coiffait P.E., "Un bassin post-nappe dans le cadre structural. L'exemple du Bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale)", Thèse de Doctorat d'Etat ès Science Naturelle, Nancy, (1992).
- [2]- Benaissa A., "Propriétés géotechniques de quelques formations géologiques propices aux glissements de terrains dans l'agglomération de Constantine (Algérie)", *Bull. Eng. Geol. Env.*, 57, (1999), pp. 301-310
- [3]- Andrei S., Manea S., "Forecast of moisture movement in unsaturated soils", Proc. of the 2 Int. seminars on soil mechanics and foundation engineering of Iran, (1993), pp. 160-174.
- [4]- Andrei S., Manea S., "Systematisation, stockage and re-used of data regarding soil stabilisation", *Revue of the Romanian society for soil mechanics and foundation engineering*, (1995), pp. 43-74.
- [5]- Casagrande A., "Effect of rate of loading under strength of clays and shale's at constant water content", *Géotechnique*, II, (1951), pp. 251-263.
- [6]- Van der Merwe D.H., "The prediction of heave from the plasticity index and the percentage of Clay Fraction", *Transaction S.A Institution of Civil Engineering*, 6, N°6, (1964), pp. 103-107.
- [7]- Skempton A. W. , Delory, F.A., (1957), "Stability of naturel slopes in London clay", *Compte rendu du 4eme congrès international de mécanique des sols*.
- [8]- Peck R.B., Reed W.C., (1954), "Engineering properties of Chicago subsoils", University of Illinois, Bull 423, 51, N°44.
- [9]- Alhayari M., "Une détermination des caractéristiques mécaniques résiduelles des versants naturels : Méthodes à l'équilibre limite et des éléments finis", Thèse de Doct., Univ. Joseph Fourier, Grenoble I, (1989), 214p.
- [10]- Bjerrum L., "Theoretical and experimental investigation on the shear strength of soils", *Norwegian Geotechnical Institute Publication*, N°5, Oslo, Norway, (1954).
- [11]- Hvorslev M.J., "Uber die festigkeitseigenschaften gestorter bindiger boden", *Ingeniorviden-kabelige Skrifter*, ser.A, 35, (1937).
- [12]- Rowe P.W., "General report on papers in section 1", *Proceedings of the Brussels Conf. on Earth Pressure Problems*, Brussels, Belgium, Vol.3, (1958), pp. 25-30.
- [13]- Biarez J., Favre J.L., "Corrélations de paramètres en mécanique des sols", *Ecole Centrale des Arts et Manufactures*, (1976), pp. 1-15.
- [14]- Paulsen S., Krauter E., Hanisch J., "Rapport d'expertise sur les glissements de terrain de la ville de Constantine (Algérie)", *Institut Fédéral des Géosciences et des ressources naturelles Hanovre (R.F.A)*, N° arch. 117989, (1999).
- [15]- Bishop A.W., "Progressive failure with special reference to the mechanism causing it", *Proc. Geotechnical Conf. Oslo*, II, (1967), pp. 3-10. □